

SZAKDOLGOZAT

Tisza Ádám Bálint, 2022.04.29.

Szakdolgozat

Rákosi vipera (*Vipera ursinii rakosiensis*) élőhelyeken
táplálkozó madarak fészkeiből kinyert kígyócsigolyák
geometriai morfológiai azonosítása

Szerző:

Tisza Ádám Bálint

Állatorvostudományi Egyetem

Biológia BSc III. hallgató

Témavezetők:

Dr. Korsós Zoltán

Állatorvostudományi Egyetem, Ökológia Tanszék

Egyetemi docens

Mizsei Edvárd

Debreceni Egyetem, Ökológiai Tanszék

PhD hallgató

Állatorvostudományi Egyetem

Budapest, 2022

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék	3
Rövidítések jegyzéke	4
Bevezetés	5
Célkitűzések	8
Anyag és módszer.....	9
A vizsgált fajok.....	9
A mintavételi területek.....	11
Mintagyűjtés	12
Geometriai morфомetria adatok	13
Elemzés	15
Eredmények	19
Fészektartalom-minták válogatása.....	19
Referencia-csigolyák vizualizációja	20
Határozási módszer tesztelése	22
Ismeretlen fajú csigolyák határozása	23
Következtetések.....	24
Összefoglalás	26
Abstract.....	27
Irodalomjegyzék	28
Köszönetnyilvánítás	31

Rövidítések jegyzéke

IUCN – International Union for Conservation of Nature

LC – Least Concern

EN – Endangered

GPA – Generalized Procrustes Analysis

PCA – Principal Component Analysis

LDA – Linear Discriminant Analysis

Bevezetés

A ragadozófajok jelenléte vitathatatlan fontossággal bír Földünk ökoszisztémájának működésében, többek között energia- és anyagáramlási [1], élőhely-formálási [2] és biodiverzitás-megőrzési [3] szempontokból. Emellett a ragadozók jelentős szelekciós erőt képviselnek a prédafajok evolúciós fejlődésében [4, 5]. A ragadozás idővel magának a ragadozónak a táplálékszerzését is sikertelenebbé teheti, így kénytelenek adaptálódni, hogy lépést tartsanak a préda saját adaptációival [6]. Ezáltal ökológiailag változatos életközösségek képesek kialakulni. A magas prédafaj-diverzitás elsődlegesen segíti elő a predátorfajok niche-varianciájának növekedését [7], ami maga után vonja a generalista predátorok kialakulását. A generalista predátorok széles táplálékbázissal rendelkeznek, ezáltal élőhelyükön egyszerre többféle taxonómiai csoportba tartozó prédafajok egyedeire jelentenek veszélyt.

A szárazföldi táplálékhálózatokat uraló gerinces állatok közül a változó testhőmérsékletű hüllők energia-gazdálkodása merőben eltér az emlősökétől és a madarakétól egyaránt. Az alapvető életműködéseikhez szükséges belső testhőmérsékletet nem képesek tartósan fenntartani, ezáltal a környezetből és a Nap sugaraiból származó energiát használják fel. Ehhez kénytelenek elhagyni menedéket nyújtó bűvőhelyeiket, ami jelentősen megnöveli az áldozattá válás kockázatát [8]. Számos predátor kihasználja a napozás nyújtotta sebezhetőséget, közülük is talán legnagyobb mértékben a magasból, vizuális ingerek alapján vadászó madarak. Az általuk kifejtett folyamatos predációs nyomás erősítheti a hüllőpopulációk fragmentálódását [9, 10], valamint szelekciós tényezőként a prédafajok viselkedését [8] és morfológiáját [11, 12] is alakíthatja.

A hüllőkön belül a kígyók (Serpentes) mortalitásáért is világszerte kimondottan jelentős hányadban felelősek különféle madarak. Rendszeres vagy alkalmi kígyófogyasztóként dokumentált fajok fordulnak elő a vöcsökalakúak (Podicipediformes), a gólyaalakúak (Ciconiiformes), a vágómadár-alakúak (Accipitriformes), a sólyomalakúak (Falconiformes), a tyúkalakúak (Galliformes), a darualakúak (Gruiformes), a lilealakúak (Charadriiformes), a kakukkalakúak (Cuculiformes), a bagolyalakúak (Strigiformes), a szalakótaalakúak (Coraciiformes), a harkályalakúak (Piciformes) és az énekesmadár-alakúak (Passeriformes) rendjében [13, 14, 15]. Közülük előfordulnak specialista ragadozók, pl. a kígyászölyvek (*Circaetus* nem) vagy a kígyászkeselyű (*Sagittarius serpentarius*), melyek evolúciósan alkalmazkodtak elsődleges zsákmányállataik, a hüllők elejtésére. Ezzel szemben a legtöbb

kígyót fogyasztó madárfaj generalistának minősül, emiatt feltételezhetőleg nem függenek elsődlegesen hullóprédáktól, így egy megfogyatkozó kígyópopuláció valószínűleg nem funkcionálna negatív visszacsatolásként a növekvő ragadozópopulációra.

Nem szabályozott állományú, gyakran antropogén forrásokat is kihasználó ragadozófajok szélsőséges esetben képesek a prédafajok kipusztítására is, emiatt kiemelkedően fontos az általuk fellépő természetvédelmi problémák vizsgálata és kezelése [16, 17, 18]. Többszörösen bizonyított az ún. mezopredátor felszabadulási hipotézis (mesopredator release hypothesis), mely szerint ha egy a trofikus hálózatban magasabb elhelyezkedésű, esetenként csúcsragadozó, kikerül egy adott ökoszisztémából, akkor egy alacsonyabb helyzetű ragadozó populációja jelentősen megnövekszik, ami aktív természetvédelmi tevékenységek hiányában egyes prédafajok jelentős állománycsökkenését vagy kihalását eredményezheti [3, 19, 20]. A védelemre szoruló prédafaj és az előnyben lévő ragadozófaj koegzisztenciájának megőrzéséhez szükséges a populációs trendek megismerése, a préda túlélésének elősegítése élőhelyfejlesztéssel és/vagy ragadozó-gyérítéssel, valamint a sikeres állománynövekedéshez szükséges az egyedsűrűség meghatározása és fenntartása a prédafajnál [21].

A természetvédelmi beavatkozások előtt fontos megismerni a prédafajra kifejtett predációs nyomás mértékét és a fajok közti táplálkozási kapcsolatok dinamikáját. A predációs nyomás egy adott populációt vagy közösséget érintő zsákmányejtések mértéke, mely várhatólag minél magasabb, annál nagyobb veszélyt jelent az adott prédafaj populációs stabilitására. Egzakt értékét természetes körülmények között nehéz megállapítani, de számos módszert alkalmaznak a becslésére. Legkevésbé ideális esetben csupán az egyes ragadozófajok jelenlét-hiány adata áll rendelkezésre a vizsgált területeken [22], viszont részletesebb vizsgálatoknál pontosabb kategóriákat, értékeket állapítanak meg pl. ragadozódiverzitás [23], biomassa [24], modellekkel szembeni predációs események [25, 26], valamint béltartalom és egyéb prédamaradványok feldolgozása [27, 28] alapján.

A ragadozókat érintő táplálkozásbiológiai vizsgálatok nem csupán a predációs nyomás megbecslését teszik lehetővé, hanem az egyes ökoszisztémák megismerését is. A magas trofikus szinten elhelyezkedő, gyakran csúcsragadozónak számító ragadozó madarak fészektartalmának és köpeteinek vizsgálata fajdiverzitási és fajeloszlási jelentőséggel is bírhat [29, 30], emellett a lokális táplálékhálózatnak és a predátor-préda viszonyoknak feltárását is elősegíti. A kígyók legnagyobb valószínűséggel fennmaradó részei a csigolyák,

mivel aránylag ellenállóak és példányonként sok van belőlük, valamint fajra jellemző morfológiai bélyegekkal rendelkeznek. Emiatt a kígyófajok azonosítása a madarak fészkeiből vagy köpeteiből származó mintákból többnyire csigolyák azonosításával zajlik [31, 32, 33]. A csigolyaalapú határozás hiányossága, hogy a zsákmányul esett kígyók egyedszáma így nem, vagy csak kevéssé megállapítható.

A fajok (vagy taxonok) közti morfológiai különbségek leírásának és a morfológiára alapozott faji (vagy egyéb taxonra vonatkozó) azonosításnak alapvetően három módja van: szubjektív vizuális különbségtétel, hagyományos morfometria és geometriai morfometria. A szubjektív vizuális különbségtétel a morfológiai bélyegek mérés nélküli, de alapos, energiaigényes összehasonlítását jelenti. Ennél megbízhatóbb módszernek bizonyult [34] a hagyományos morfometria, mely távolságokkal számoló, többváltozós statisztikák alkalmazását jelenti, valamint a geometriai morfometria, mely két- vagy háromdimenziós térben kijelölt pontok, ún. landmarkok koordinátaival végez többváltozós statisztikai elemzéseket. A két morfometriai módszer közötti főkülönbség, hogy a hagyományos morfometria inkább a méretekre, míg a geometriai morfometria kizárólag a formákra vonatkozó információkat veszi figyelembe. A geometriai morfometriát kifejlesztése [35, 36; 37] után rohamosan kezdték el használni a biológia számos területén [38], többek között a herpetológiában is [39], korszerűségének, egyszerű használatának és hatékonyságának köszönhetően. Világszerte rengeteg kígyófajnak, köztük az ebben a kutatásban szereplőknek is [40], ismertek az egyes csigolyamorfológiai sajátosságai, viszont a csigolyák egyenkénti, helyes azonosítása vizuális különbségtétellel rendkívül időigényes, nagy szakmai tapasztalatot kíván, ráadásul így is fennáll az ismeretlen mértékű hibalehetőség veszélye.

Célkitűzések

Kutatásom célja a rákosi vipera (*Vipera ursinii rakosiensis*) kiskunsági élőhelyein előforduló kígyófajokra (rákosi vipera, vízisikló (*Natrix natrix*), rézsikló (*Coronella austriaca*)) vonatkozó, csigolyaalapú, faji azonosításra alkalmas geometriai morfometriai módszer kifejlesztése, tesztelése, valamint kígyászölyvek (*Circaëtus gallicus*) és egerészölyvek (*Buteo buteo*) fészkeiből származó fészektartalom-minták és köpetek gyűjtése, a mintákból ismeretlen fajú kígyócsigolyák kinyerése és a módszer ezeken történő, próbaszerű alkalmazása. Az új módszer várhatóan alkalmas lesz az ismeretlen fajú kígyócsigolyák hatékony és megbízható határozására.

Ha a kutatás sikeresnek bizonyul, akkor az új módszer segítségével pontosabb ismereteket szerezhethetünk arról, hogy az egyes kiskunsági ragadozófajok milyen gyakorisággal fogyasztanak rákosi viperát, melynek ismerete lehetővé teszi a predációs nyomás becslését, a predátor-préda kapcsolatok feltárását, valamint szükséges fajvédelmi akciók megalapozását.

Anyag és módszer

A vizsgált fajok

Rákosi vipera (*Vipera ursinii rakosiensis* Méhely, 1983)

A rákosi vipera a parlagi vipera (*Vipera ursinii*) síkságokon, füves élőhelyeken előforduló, az IUCN vörös listáján EN besorolású, hazánkban fokozottan védett alfaja, a Kárpát-medence legveszélyeztetettebb gerinces állata [41]. Magyarországon a Kiskunságban és a Hanságban vannak jelenleg ismert populációi, ezen kívül Erdélyben fordul még elő [42]. Aránylag kistermetű, 40-50 cm-es, vaskos kígyófaj, a nőstények nagyobb testűek, mint a *Vipera ursinii ursinii* alfaj esetében, ezáltal nagyobb az utódszám is [43]. Alapszíne világosszürke vagy sárgásbarna, hátán a *Vipera* nemzetség európai fajaira jellemző sötét, cikk-cakkos mintázat található, melyet közelrokon fajoknál aposzematikus bélyegnek tartanak [11, 12]. Elsődlegesen egyenesszárnyúakkal táplálkozik, de kisemlősöket is fogyaszt.

A rákosi vipera megőrzése érdekében 2004 óta védelmi program zajlik, melynek keretein belül sikeresen megnövelték élőhelyeinek kiterjedését és eloszlását, valamint fogságban tenyésztett példányok elengedésével igyekeznek a meglévő állományokat erősíteni és új populációkat kialakítani [44]. Ennek ellenére állományainak egyedsűrűsége nem növekedett kimutathatóan, melyet az élőhely-degradáció mellett, feltételezhetően a predációs nyomás akadályoz jelentős mértékben. A rákosi vipera bizonyított ragadozói a vörös róka (*Vulpes vulpes*) és a borz (*Meles meles*) [45], az egerészölyv (*Buteo buteo*), a hamvas rétihéja (*Circus pygargus*), a fehér gólya (*Ciconia ciconia*) és a dolmányos varjú (*Corvus cornix*), de feltételezhetően még számos egyéb faj fogyasztja, főleg a juvenilis és szubadult példányokat.

Vízisikló (*Natrix natrix* Linnaeus, 1758)

A vízisikló hazánk egyik leggyakoribb és legváltozatosabb külsejű kígyója. Egész Dél- és Közép-Európában, valamint Magyarország minden táján elterjedt. Vízparti nádasoktól száraz rétekig többféle élőhelytípuson is előfordul, nem függ a vizes közegtől, ám kedveli azt [46]. A felnőtt példányok általában 100-120 cm-re, de akár nagyobbra is megnőnek, gyakran jellegzetes tarkófolttal rendelkeznek, mely kontrasztot képez az alapszínezettel, főleg a juvenilis példányoknál, és egyesek szerint aposzematikus bélyeg [47]. Főként kétéltűekkel táplálkozik, de kisebb mértékben halakat és kisemlősöket is fogyaszt, utóbbi inkább a szárazabb területeken élő példányokra igaz [48, 49].

Rézsikló (*Coronella austriaca* Laurenti, 1768)

A rézsikló Európa nagy részén és a Közel-Keleten fordul elő, egész Magyarországon elterjedt. Számos élőhelytípuson fellelhető, de elsősorban a jó minőségű és a fő táplálékát képviselő gyíkokkal gazdag területeket kedveli. Kisemlősökkel, gyíkokkal és kisebb kígyókkal, ritkábban akár más rézsiklókkal vagy keresztes vipera (*Vipera berus*) ivadékokkal is táplálkozik. Rákosi vipera fogyasztását eddig nem sikerült bizonyítani. Legkisebb hazai siklófajunk, kb. 60-80 cm-re nő meg, rövid termete és színezete miatt gyakran összetévesztik a viperákkal, esetenként el is pusztítják emiatt. [50]

Kígyászölyv (*Circaëtus gallicus* J. F. Gmelin, 1788)

A kígyászölyv szélesesen elterjedt, aránylag nagytestű, hüllőspecialista ragadozó madár, világszinten, az IUCN vörös listáján LC besorolású, viszont Magyarországon fokozottan védett, 2019-ben hazánkban 45 revírje volt ismert. Északnyugat-Afrikától és Nyugat-Európától Közép-Ázsiáig előfordulnak költő állományai. Vonuló, a legtöbb európai példány Afrikában, a Száhel-övezetben tölti a telet. Magyarországon domb- és hegyvidékeken, illetve a Duna-Tisza közében, sík területeken fellelhető. A mocsarakkal, nedves rétekekkel, tisztásokkal szeldelt erdőket kedveli. Aránylag kisméretű fészket jól elrejtve, általában magas fenyőfélék felső lombkoronájába rakja, mely segíti, hogy egy pár erős költési és kirepülési eséllyel nevelje fel évi egyetlen utódját. Táplálékát általában 16-30 km²-es, de zsákmányállatban szegény területen, akár 100 km²-es territóriumban, gyepes, mocsarak felett keresi. Az összes zsákmány kb. 90%-át hüllők adják, legnagyobb részben erdei sikló (*Zamenis longissimus*) és vízisikló, de fogyaszt egyéb kígyókat, gyíkokat, kisemlősöket, akár madarakat is. [51]

Egerészölyv (*Buteo buteo* Linnaeus, 1758)

Az egerészölyv szélesesen elterjedt, közepes méretű, generalista ragadozó madár, világszinten, az IUCN vörös listáján LC besorolású, Magyarországon védett. 2016-2017-ben itthoni fészkelőállományát 19.000-24.000 pár közöttire becsülték, ám ez feltehetőleg csupán az egynegyede a teljes állománynak. Majdnem egész Európában és Ázsia nagy részén költ, a hazai madarak állandóak, a nagy kiterjedésű, fátlan puszták kivételével szinte mindenhol fellelhetőek. Az erdőfoltokkal és nyílt területekkel mozaikos területeket kedveli, de fajtól függetlenül kisebb facsoportokra, akár magányos fákra is építi fészket, melyet egy pár gyakran több éven át használ, általában évi 2-3 fióka nevelésére. Revírje nem nagy, gyakran találhatóak aktív fészkek egymástól néhány 100 méterre. Költési időszakban kis területen, kb. 1-2 km-es körzetben keres táplálékot, fő tápláléka a mezei pocok (*Microtus arvalis*),

emiatt vonzódik a mezőgazdasági területekhez, alacsony vegetációjú szántóföldekhez. Jelentős mértékben fogyaszt még egyéb kisemlősöket, gyíkokat, kígyókat, kétéltűeket, rovarokat, madarakat, akár dögöket is. Megfigyelték azt is, hogy egyes párok vagy példányok táplálékspecialistává válhatnak, élőhelytől függően egy adott prédafajt vagy -típust részesítenek előnyben. [52]

A mintavételi területek

Peszéradacs

Kunpeszér és Kunadacs települések külterületén fekszenek a Peszéradacsi-rétek, ahol jelenleg is hazánk legnagyobb egybefüggő rákosivipera-állományai élnek. Emellett a Rákosivipera-védelmi Központ is itt található, ahol a rákosi viperák fogságban történő tenyésztése zajlik. A terület döntő hányadán mezőgazdasági hasznosítás folyik, a legnagyobb kiterjedésű gyephasznosítás a szarvasmarha-legeltetés. Jellemzőek a néhol fasorokkal és erdőfoltokkal tagolt, de nagy kiterjedésű üde rétek, időszakos vízborítású láprétek, sztyepprétek, homokpusztagyeppek, viszont az évek múlásával egyre nagyobb kiszáradás jellemzi a nedvesebb területeket is. Gyakori növénytársulások zsombékoló fűféléi pl. a kormos csáté (*Schoenus nigicrans*), a homoki szürkekáká (*Holoschoenus romanus*), a kékperje (*Molinia hungarica*) és a kunkorgó árvalányhaj (*Stipa capillata*). A gazdag herpetofaunának nagy számban előforduló fajai a vízisikló, a rézsikló, a homoki gyík (*Podarcis tauricus*), a fürge gyík (*Lacerta agilis*) és a zöld gyík (*Lacerta viridis*). A terület madárfaunája is igencsak változatos, rendszeresen költő faj többek között a túzok (*Otis tarda*), a parlagi sas (*Aquila heliaca*), a hamvas rétihéja (*Circus pygargus*), a barna rétihéja (*C. aeruginosus*), a kígyászölyv, az egerészöly, a vörös vércse (*Falco tinnunculus*), a kék vércse (*F. vespertinus*), a szalakóta (*Coracias garrulus*), a gyurgyalag (*Merops apiaster*) és a fehér gólya (*Ciconia ciconia*). Erősen abundáns, gyérítéssel kezelt fajok a vörös róka (*Vulpes vulpes*), a borz (*Meles meles*), a dolmányos varjú (*Corvus cornix*) és a szarka (*Pica pica*).

Bugac

A Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság területén található másik ismert rákosi vipera élőhely-komplexum a kisebb kiterjedésű Bócsa-bugaci homokpuszta. A területen egy 2019 óta zajló akció célja két, egymástól ökológiailag reprodukciósan izolált rákosivipera-populáció összekötése egy élőhely folyosó kialakításával. A rákosivipera-élőhelyek nagy részén mezőgazdasági hasznosítás folyik, többnyire szarvasmarha-legeltetés, akárcsak

Peszéradacson. Az erdővel határolt, nagy kiterjedésű pusztára jellemző társulás a nyílt homokpusztagyep, melyet szélsőséges, kedvezőtlen tényezők formáltak, pl. a tápanyagszegény alapkőzet, és az egyre nagyobb mértékű szárazság. Jellemző fűféléi többek között a homoki csenkesz (*Festuca vaginata*) és a homoki árvalányhaj (*Stipa borysthenica*). Peszéradacshoz hasonlóan itt is jellegzetes hüllőfajok a vízisikló, a rézsikló (kisebb egyedsűrűségben), a homoki gyík (*Podarcis tauricus*), a fürge gyík (*Lacerta agilis*) és a zöld gyík (*Lacerta viridis*); valamint a madarak közül jellemző a túzok (*Otis tarda*), a hamvas rétihéja (*Circus pygargus*), a barna rétihéja (*C. aeruginosus*), a kígyászölyv, az egerészölyv, a vörös vércse (*Falco tinnunculus*), a szalakóta (*Coracias garrulus*) és a fehér gólya (*Ciconia ciconia*). A vörös róka (*Vulpes vulpes*), a borz (*Meles meles*), a dolmányos varjú (*Corvus cornix*) és a szarka (*Pica pica*) mellett Bugacon jelentős mértékben vadásszák az aranszakált (*Canis aureus*) is.

Orgovány és Ballószög

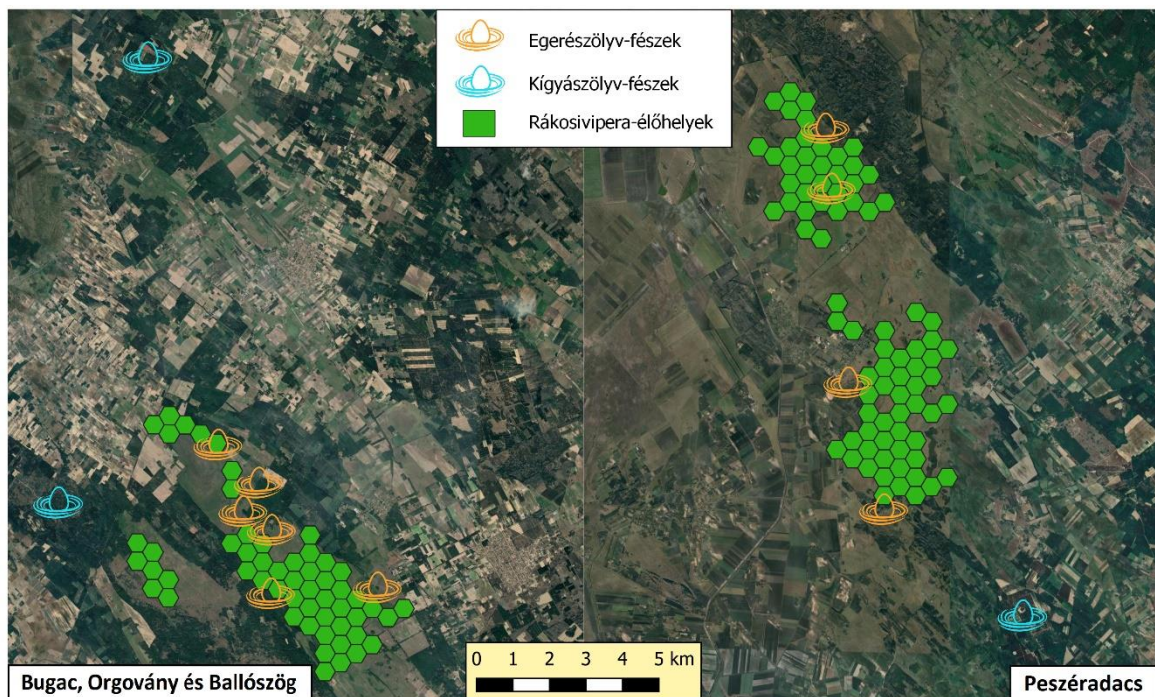
A Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság területén, Bugac szomszédságában található települések. A Orgoványi-rétek kimondottan gazdag élővilággal rendelkeznek, mocsarak, láprétek, szikések és homokbuckák is borítják, továbbá megannyi védett fajnak adnak otthont. Ismert rákosi vipera populációi nincsenek, viszont mindkét település erdeiben fészkelnek kígyászölyvek, amik minden valószínűséggel táplálkoznak a Bócsa-bugaci homokpusztán is, így ezekre a területekre is kiterjedt a mintagyűjtés.

Mintagyűjtés

A kígyászölyv fészektartalom-minták három költőterületről származnak, melyekből egy Kunadacson, egy Orgoványon és egy Ballószögön található (1. ábra), az utóbbi esetében a fészekminta fészek alatt gyűjtött köpeteket jelent. Megfigyelhető a térképen (1. ábra), hogy a legtávolabbi fészektől (a ballószögötől) kb. 10 km-re van a hozzá legközelebb eső viperaélőhely. Ez soknak tűnhet, de költési időszakban egy kígyászölyvpárnak ekkora távolságra eső terület még bőven a táplálkozási területén belül eshet [51]. Mindhárom területről gyűjtöttünk mintát 2020.09.25-én, a kunadacsi esetében 2020.07.16-án, az orgoványi esetében 2020.07.18-án is.

Egerészölyv fészektartalom-mintát tíz darab fészekből gyűjtöttünk, ezekből hat Bugacon és négy Peszéradacson található. Ezek a fészkek mind viperaélőhelyen vagy közvetlenül mellette helyezkednek el. Mivel egy egerészölyvpár költési időszakban átlagosan 1-2 km-es körzeten belül keres táplálékot [52], a fészkekben található maradványok egésze vagy

jelentős része minden bizonnyal vipera-élőhelyről származik. A peszéradaci fészkekből 2021.12.17-én, a bugaciakból pedig 2021.12.18-án gyűjtöttünk mintát.



1. ábra: Térkép a megmintázott madárfészkek és az ismert rákosvipera-élőhelyek hollétéről

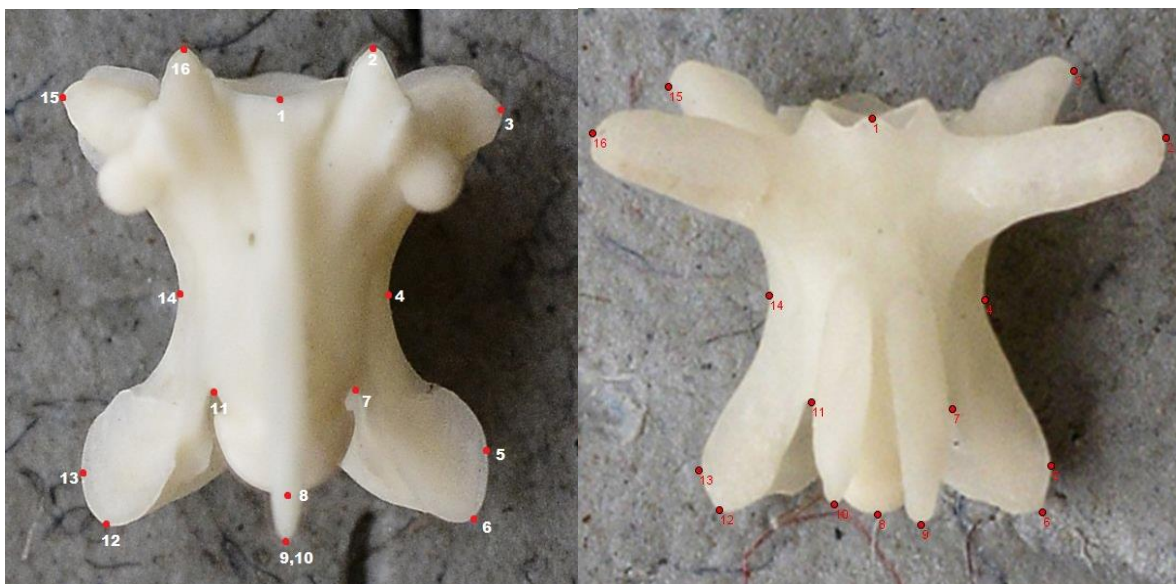
A fészektartalom-mintákból minden csontmaradványt kiválogattunk. Ezeken belül csak a csigolyákon, és ezen belül is csak a kígyócsigolyákon végeztem geometriai morfometriai határozást, de megállapítottam az egyes fészkekben talált gyík- és egyéb csigolyák számát is.

Geometriai morfometria adatok

A geometriai morfometriai módszer lényege, hogy egy objektum morfológiai jellegzetességeit kvantifikáljuk kijelölt koordinátpontok, ún. landmarkok segítségével. Ehhez először is szükséges az objektum azon oldalának kiválasztása, amin a legjobban látszódnak ezek a jellegzetességek. Esetünkben ez a kígyócsigolyák ventrális, hasoldali nézetét jelenti. Ezután ki kell választani a landmarkokat, melyeknek megfelelően kell ábrázolniuk az objektum formáját, így nem szabad se túl keveset, se fölöslegesen sokat alkalmazni. Fontos, hogy a landmarkok kijelölése minden példányon (ezesetben minden csigolyán) megismételhető legyen [56]. Ezeknek a követelményeknek megfelelően, a 2. ábrán látható módon választottunk ki 16 db landmarkként funkcionáló pontot.

A csigolyák a gerincoszlop egyes régióiban formailag jelentősen eltérhetnek egymástól. A kígyók esetében az akár több száz csigolyából álló, függesztővek nélküli gerincoszlopot

alapvetően két részre lehet osztani, preszakrális (avagy prekaudális, farok előtti) és kaudális (farokvégi) régióra. Hozzánk hasonlóan a kígyók is egyetlen atlaszal és axissal (1. és 2. nyakcsigolyák) rendelkeznek. Az igazi siklófélék alcsaládjában (Colubrinae), melybe a rézsikló is tartozik, a preszakrális régió nyak- és törzscsigolyákra bontható, ám bár esetükben sem túl markáns a különbség. A kaudális régió mindhárom faj esetében kloákális (avagy szakrális) és kaudális csigolyákra bontható [40]. Mivel a rákosi viperának és a vízisiklónak nincsenek elkülönülő nyak- és törzscsigolyái, valamint atlasz, axis és kloákális csigolyákból összességében nem volt elég referencia példány, kutatásomban kettő csigolyatípusra vonatkozólag végeztem geometriai morfometriai határozást: preszakrális és kaudális (2. ábra).



2. ábra: A kiválasztott landmarkok preszakrális (balra) és kaudális (jobbra) rákosi viperacsigolyákon elhelyezve, ventrális nézetben (poszterior véggel lefelé)

Referencia-adatbázis

A referencia adatbázishoz a Magyar Természettudományi Múzeum Állattárának Kétéltű- és Hüllőgyűjteményéből származó, 939 db ismert fajú csigolyát használtunk fel. Ezekből 76 db volt rézsiklóé, 392 db rákosi viperáé és 471 db vízisiklóé. A csigolyákat ventrális oldallal felfelé Bluetech gyurmaalapra helyeztük, majd lefotóztuk a 3. ábrán látható módon egy Nikon D600 DSLR géppel és Micro-Nikkor 55 mm f2.8 objektívvel. Több képet is készítettünk róluk különböző mélységélességben, melyeket egymásra stackeltem, ezzel javítva a képek minőségét. A képeket Adobe Photoshop alkalmazással csigolyánként beforgattam és megvágtam, majd az ImageJ alkalmazással minden csigolya egyéni képén bejelöltem a 16 db landmarkot és exportáltam a hozzájuk tartozó koordináta-adatokat.



3. ábra. Bluetech gyurmára felhelyezett rézsiklócsigolyák. A háttérben látható négyzetek oldalhossza 1 cm.

Ismeretlen csigolyák adatbázisa

A fészektartalom-mintákból kiválogatott ismeretlen fajú csigolyák landmark-adatainak adatfelvételét ugyanúgy végeztem, ahogyan a referencia csigolyák esetében, egy különbséggel. A fészektartalmakból gyűjtött csigolyák jelentős része sérült volt bizonyos szinten, ahogy a 4. ábrán is látható. Emiatt nem minden esetben volt lehetőség mind a 16 db landmark megjelölésére, tehát a koordináta-adatok kigyűjtése mellett minden sérült csigolyánál rögzítettem, hogy melyik landmark hiányzik. A sérült csigolyákat csakis a meglévő landmarkjaik alapján határoztuk.



4. ábra. Kígyászölyv fészektartalmából kiválogatott, ismeretlen fajhoz tartozó kígyócsigolyák.

Elemzés

Koordináta-adatok igazítása általános prokrusztész-analízissel

A további adatfeldolgozást és -elemzést az R 4.1.1. statisztikai környezetben végeztük [54]. A presz akrális és a kaudális csigolyák egymástól külön voltak kezelve, de az elemzés menete ugyanaz volt mindkét esetben. Mind a referencia, mind az ismeretlen fajú csigolyák

koordináta-adatain először általános prokrusztész-analízist (GPA) hajtottunk végre a *geomorph* csomag „gpagen” [55] funkciójával. A referencia csigolyák esetében ezt vizualizáltuk is. A GPA egyfajta statisztikai formaanalízis, ami egy 2 vagy 3 dimenziós formákat leíró adatkészletet transzformál. A formák eredeti koordinátáit szuperimpozícióval egymásra helyezi, majd a referencia formához, az átlaghoz igazítja őket, kizárólag a formák méretének változtatásával és elforgatásával egyenértékű adatváltozást engedélyezve. Ennek a célja, hogy a landmarkok által képviselt formák egymással összehasonlíthatóak legyenek, az eredeti méret és forgatástól függetlenül, valamint, hogy kiszűrődjenek az esetleges műhibák, amik az objektum tökéletlen szögből történő lefotózásából adódhatnak. A „gpagen” funkció az új koordináta-adatokat kiírja egy táblázatba.

Vizualizáció főkomponens-analízissel

A referencia csigolyákon a *geomorph* csomag „gm.prcomp” funkciójával [55] főkomponens-analízist (PCA) végeztünk a GPA által már létrehozott prokrusztészi koordináta-adatokkal. A PCA egy többváltozós, adatredukációs eljárás, mely oly módon csökkenti le a dimenziókat, hogy az adathalmaz variabilitása megmaradjon. Célja, hogy megtalálja egy adathalmaz változóinak azon lineáris kombinációit, melyek a lehető legjobban magyarázzák az adathalmaz varianciáját. A lehetségesen korreláltatható változókat lineárisan korrelálhatatlan változókká, ún. főkomponensekké alakítja ortogonális transzformációval. A főkomponensek száma mindig kisebb vagy egyenlő az eredeti változók számával. Az adathalmaz varianciáját az első főkomponens magyarázza legjobban, majd a második, az utolsó a legkevésbé. A PCA eredményét olyan koordináta rendszerben van lehetőség ábrázolni, melynek tengelyei az első és a második főkomponensek, és egy pont egy példányt jelöl. Ideális esetben az egyes csoportok pontjai látványosan elkülönülnek egymástól, ami a csoportok közti különbségek meglétének köszönhető, ez esetben a fajok csigolyáinak morfológiai különbözőségeinek.

Lineáris diszkriminancia-analízissel végzett határozás tesztelése

Az ismeretlen fajú csigolyák meghatározása előtt teszteltük a módszert, hogy megvizsgáljuk mennyire megbízható. Ehhez a referencia csigolyák adatkészletét használtuk fel (továbbra is külön kezelve a preszakrális és a kaudális csigolyákat), oly módon, hogy a referencia csigolyák véletlenszerűen kiválasztott 25%-át ismeretlen fajú, meghatározandó csigolyaként kezeltünk. A maradék 75% gyakorló adatként szolgált. Mivel az igazi ismeretlen fajú csigolyák jelentős része nem rendelkezik mind a 16 landmarkkal, ezért több szimulációt futtattunk, amelyben eltérő szinten beállítottuk a hiányzó landmarkok arányát 0%-tól 80%-

ig, 5%-os lépésenként. A landmarkok véletlenszerűen lettek kitörölve az ismeretlenként kezelt csigolyák között. Mind a 17 hiányzási szinten 10-10 ismétlést futtattunk le a szimuláció során. Mind a gyakorló, mind az ismeretlenként kezelt csigolyákon GPA-t, majd a gyakorlókon a *MASS* csomag „lda” funkciójával [56] lineáris diszkriminancia-analízist (LDA) végeztünk.

Az LDA a PCA-hoz alapvetően hasonló statisztikai eljárás, mivel mindkettő a független változók olyan lineáris kombinációit keresi, ami a lehető legjobban magyarázza az adathalmaz varianciáját, viszont az LDA kimondottan igyekszik olyan modellt készíteni, ami a függő változók által kialakított csoportok közti különbségeket hangsúlyozza ki. A kapott kombinációk alkalmasak adatok lineáris klasszifikálására, esetünkben a csigolyák fajszintű besorolására. Ehhez a *stat* csomag „predict” funkcióját használtuk, mely az LDA modellje és a rendelkezésére álló landmarkok alapján kiszámította, hogy az ismeretlenként kezelt csigolyák milyen valószínűséggel tartoznak az egyes kígyófajokhoz. Ezekhez az adatokhoz társítottuk az egyes csigolyáknál a landmarkok meglétének mértékét, a legvalószínűbbnek ítélt faj nevét, valamint, hogy melyik szinten lefuttatott szimulációhoz tartozik.

A *caret* csomag „confusionMatrix” funkciójával [57], megállapítottuk a szimulációk predikciós eredménye alapján a módszer, landmarkok meglététől függő érzékenységet, specifikusságát és pontosságát (külön a preszkrális és a kaudális csigolyák esetében), majd ábráztuk ezeket. Az érzékenység annak a valószínűségét jelenti, hogy pozitív érték esetén pozitív eredményt kapunk, tehát annak, hogy egy fajhoz olyan csigolya lesz rendelve, ami ténylegesen ahhoz a fajhoz tartozik. A specifikusság ezzel szemben annak a valószínűsége, hogy negatív érték esetén negatív eredményt kapunk, tehát hogy egy fajhoz nem lesz olyan csigolya rendelve, ami valójában nem ahhoz a fajhoz tartozik. A pontosság a modell átfogóbb megbízhatóságát fejezi ki az érzékenység és a valószínűség átlagával.

Ismeretlen fajú csigolyák határozása lineáris diszkriminancia-analízissel

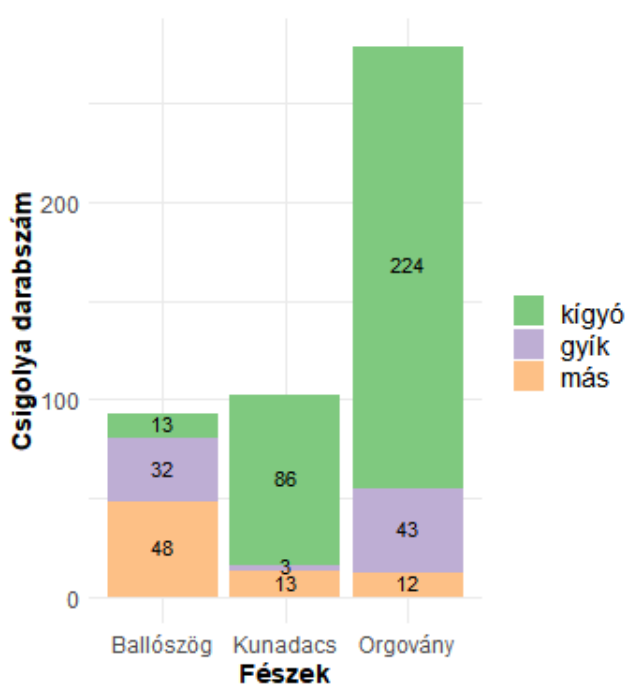
A fészektartalom-mintákból kinyert, ismeretlen fajú csigolyák azonosítását ugyanúgy végeztük, mint a módszer helyességének ellenőrzését, azzal a különbséggel, hogy a referencia csigolyák 100%-a adja a gyakorló adatokat, és a ténylegesen ismeretlen fajú csigolyák az ismeretlen adatokat. A hiányos csigolyák esetében egyesével illesztettünk LDA-kat, amelyekben adott ismeretlen csigolya hiányzó landmarkjait eltávolítottuk az ismert csigolyák adatai közül is. Az eredményül kapott határozásokhoz társítottuk a

landmarkok meglétének mértékét, a legvalószínűbbnek ítélt faj nevét, valamint a landmarkok megléte alapján az érzékenységet és a specifikusságot. Végül megállapítottam, hogy az egyes fészkekből kinyert, sérült kígyócsigolyákból melyek megbízhatóan határozhatóak a teszthatározás alapján, majd ábrázoltam, hogy ezekből mennyi a rákosivipera-, a vízisikló- és a rézsikló-csigolya.

Eredmények

Fészektartalom-minták válogatása

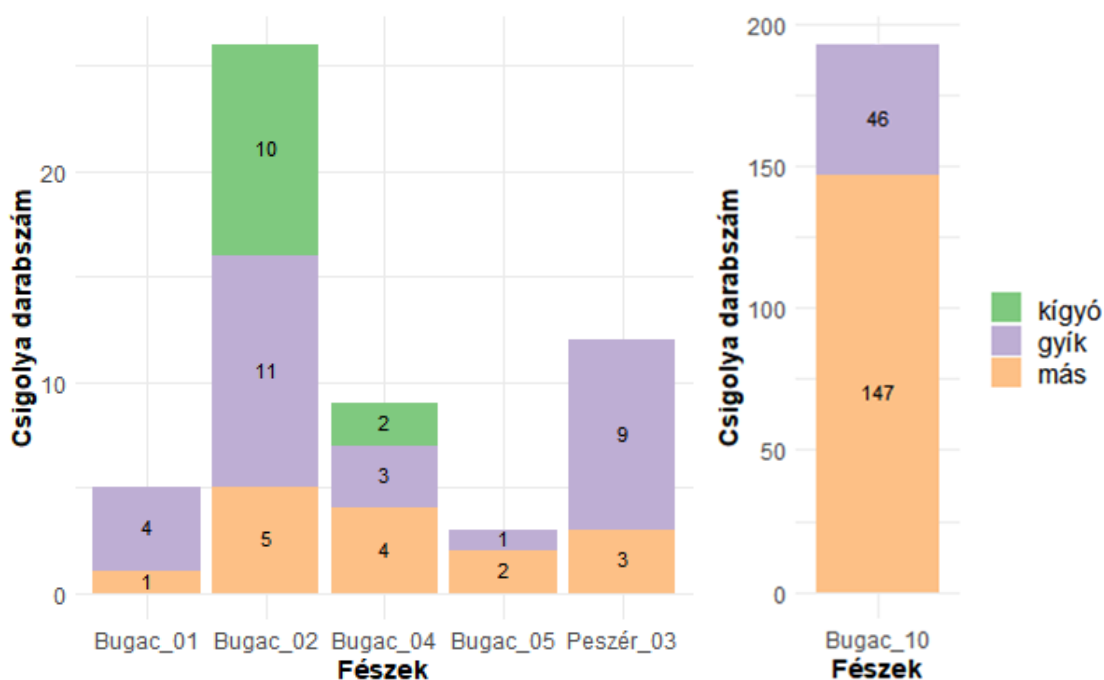
Mindhárom kígyászölyv-költőterületen, a kunadacsi és az orgoványi fészkek esetében mindkét (gyűjtési időben elkülönülő) mintában találtunk kígyócsigolyát. Az 5. ábrán látható, hogy a kígyócsigolyák mellett hány darab gyík- és más taxonokhoz tartozó csigolya volt még az egyes fészkekben. A kunadacsi fészkekből, a 07.16-án gyűjtött mintából 13 kígyó- és 3 gyíkcsigolya került elő, a 09.25-én gyűjtöttből pedig 73 kígyó- és 0 gyíkcsigolya. Az orgoványi fészkekből, a 07.18-ai mintavételből 14 kígyó- és 18 gyíkcsigolyát találtunk, a 09.25-eiben pedig 210 kígyó- és 25 gyíkcsigolyát. A 210 kígyócsigolyából 165 egy vízisikló teteméhez tartozott (egybefüggő gerincoszlop), melynek csigolyáit nem határoztuk meg, lévén, hogy nem volt rá szükség az azonosításhoz. A ballószögi fészkek esetében a csigolyák 43%-a, a kunadacsinál 87%-a és az orgoványinál 97%-a hullőpredációra utal. A ballószögi fészkekből több gyík-, mint kígyócsigolya került elő, míg a kunadacsinál és az orgoványinál ez fordítva történt. Mindhárom fészektartalom-mintában rengeteg pikkely volt, kígyóé és gyíké egyaránt.



5. ábra. Kígyászölyv fészektartalom-mintákban talált kígyó-, gyík- és egyéb csigolyák darabszáma

A megmintázott tíz darab egerészölyvfészkekből csupán hatból került elő csigolya, kígyócsigolya pedig csak kettőből, ahogyan a 6. ábrán is látható. Ennek ellenére

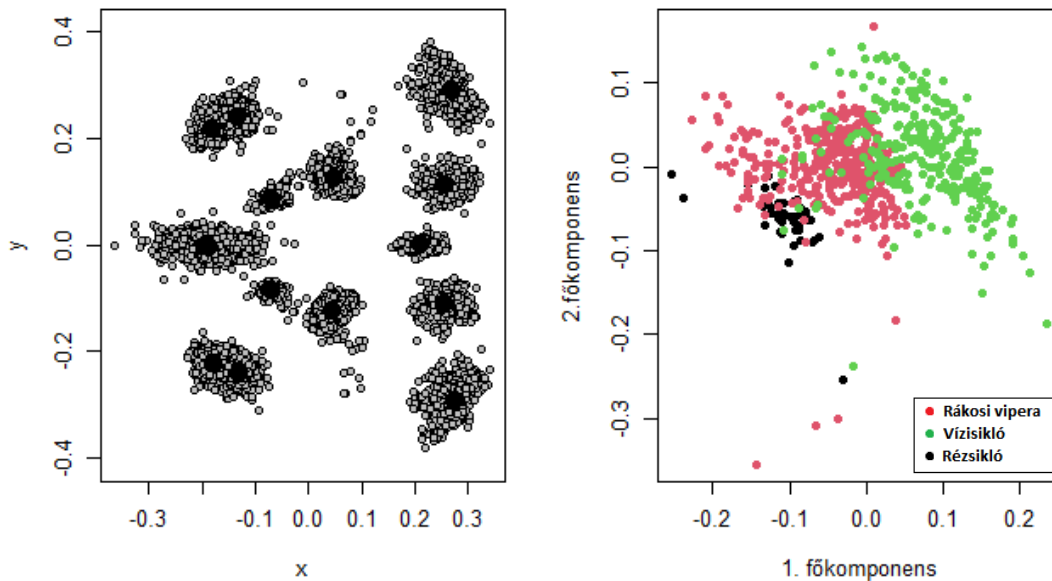
gyíkcsigolya minden fészekben jellemző volt. A csigolyákat tartalmazó fészkekkel ellentétben, azokban melyekben semmilyen csigolyát nem találtam nem volt pikkely sem.



6. ábra. Egerészölyv fészektartalom-mintákban talált kigyó-, gyík- és egyéb csigolyák darabszáma

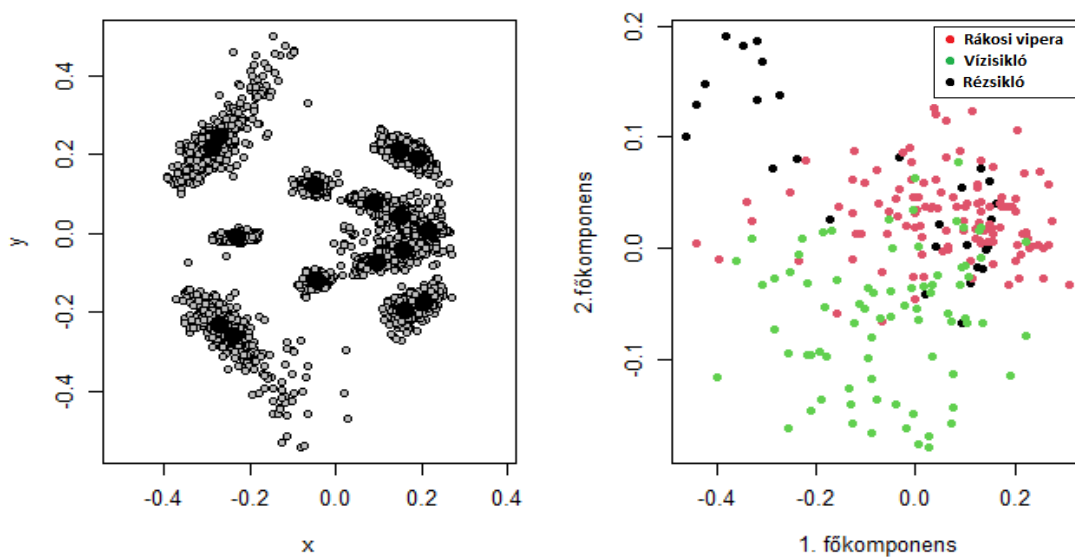
Referencia-csigolyák vizualizációja

A 7. ábrán látható a preszakrális referencia csigolyákon elvégzett GPA és PCA eredménye. A GPA ábrán minden kis szürke kör egy landmark prokrusztészi koordinátpontját jelöli. A nagyobb fekete pontok az egyes landmarkok átlagát jelöli, tehát összességében az átlagos formát. Ez alapján látszik, hogy néhány csigolya az átlagostól erősen eltérő alakú, viszont a legtöbb az átlag köré csoportosul, aránylag alacsony a variancia. A PCA eredményét mutató ábrán egy pont egy referencia csigolyát jelöl az első és a második főkomponens tengelyének mentén. Megállapítható, hogy a pontfelhők elkülönülnek egymástól, viszont van átfedés a fajok között, legjobban a vízisikló fedí át a másik kettőt. Az első főkomponens mentén a vízisikló és a rézsikló között nagyobb a morfológiai eltérés, mint a rákosi vipera és a vízisikló vagy a rákosi vipera és a rézsikló között. Ugyanez, kisebb mértékben, de a második főkomponensről is elmondható.



7. ábra: GPA (poszterior véggel balra) és PCA eredménye a preszacrális csigolyák esetében

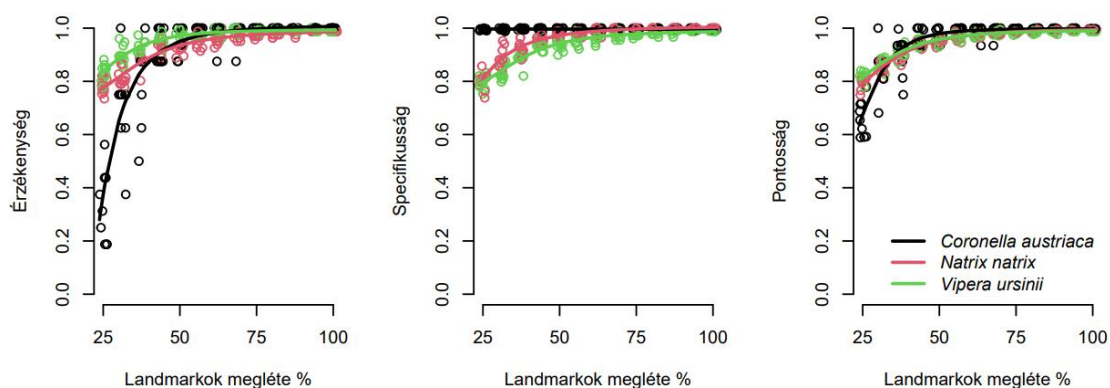
A 8. ábrán a kaudális referencia csigolyákon elvégzett GPA és PCA eredménye látható. A GPA ábra alapján elmondható, hogy a kaudális csigolyák esetében két nyúlványnál, azaz 4 landmarknál sokkal nagyobb volt a variancia, mint a preszacrális csigolyáknál. A többi landmark aránylag egységes volt, alacsony varianciával. A kaudális csigolyákra vonatkozó PCA ábrán látható egyrészt, hogy kevesebb volt a referencia csigolyák száma, másrészt, hogy a preszacrális csigolyákhoz hasonlóan itt is van pontfelhőkbe különülés, de nagyobbak az egyazon fajhoz tartozó csigolyák közti eltérések. Emellett itt is van némi átfedés, és szintúgy a vizisikló fed át a legjobban a másik két fajjal. Szintén hasonlóság, hogy amíg a vizisiklónak és a rézsiklónak többnyire vannak saját, csak rájuk jellemző morfológiai értékei, addig a rákosi vipera pontfelhőjére mindkét siklófaj értékei rácsúsznak.



8. ábra: GPA (poszterior véggel jobbra) és PCA eredménye a kaudális csigolyák esetében

Határozási módszer tesztelése

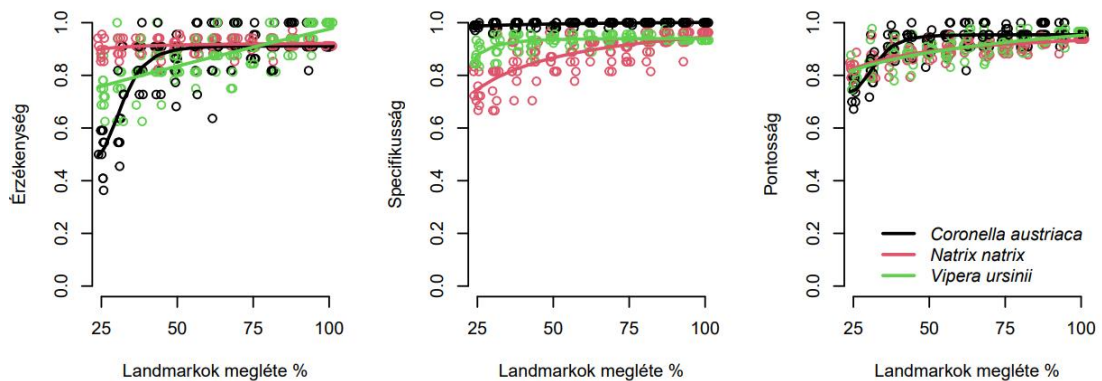
A 9. ábrán látható, hogy az egyes kígyófajok esetében a preszokrális csigolyán alapuló határozás mennyire érzékeny, specifikus és pontos a landmarkok meglététől függően. Általánosságban megállapítható, hogy a landmarkok 75%-os meglétéig (legalább 12 db landmark), mindhárom érték elég magas a megbízható határozáshoz. 50%-os landmark megléttől (8 db) lefelé a határozás pontossága mindhárom kígyófaj esetében erősen csökken. A pontosságot ábrázoló görbék a rákosi viperánál és a vízisiklónál majdnem illeszkednek egymásra, valamint az érzékenységre és a specifikusságra nézve is csekély köztük az eltérés, bár a rákosi viperánál valamivel jobb az érzékenység, a vízisiklónál pedig a specifikusság. A rézsikló esetében 50 %-os landmark megléttől lefelé nagyobb mértékben csökken a pontosság mértéke, ami az érzékenység meredek lejtésének köszönhető, mivel a specifikusság értéke még 25%-os landmark meglét (4 db) mellett is 1. Emellett a rézsiklónál megállapítható az érzékenységről, hogy nagyobbak az eltérések az egyes szimulációk esetében, mint a másik két fajnál.



9. ábra. A preszokrális csigolyák geometriai morfolometriai határozásának érzékenysége, specifikussága és pontossága a landmarkok %-os meglétének függvényében, szimulációk alapján

A 10. ábrán az egyes kígyófajok kaudális csigolyáján alapuló határozás érzékenysége, specifikussága és pontossága látható, a landmarkok meglététől függően. Megállapítható, hogy a kaudális csigolyák határozásának megbízhatósága jóval kisebb mindhárom kígyófaj esetén. A pontosság 100%-os landmark meglét (16 db landmark) mellett is csupán 0,9-0,95 közötti értéket ad, valamint a landmarkok meglétének csökkenésével is hamarabb romlik, mint a preszokrális csigolyáknál. A preszokrálishoz hasonló viszont, hogy a rákosi vipera és a vízisikló pontossági görbéje majdnem illeszkedik egymásra, viszont itt a rákosi viperánál magasabb a specifikusság, és a vízisiklónál magasabb az érzékenység. Ismét a rézsiklónál csökken a legmeredekebben az érzékenység, a specifikusság viszont 25%-os landmark meglétnél is 1. A rézsikló pontossága 37,5%-os landmark meglétig (6 db) magasabb, mint a

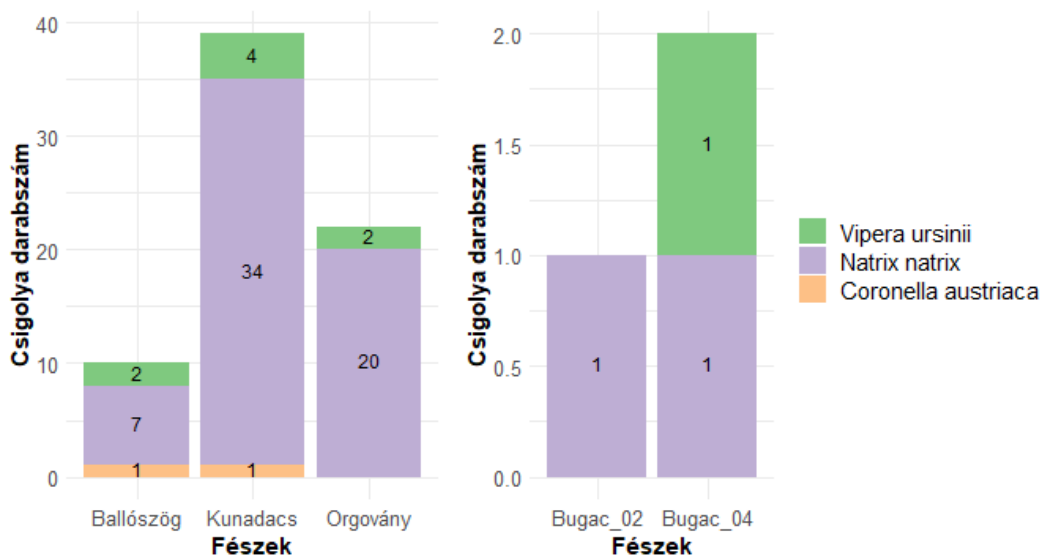
másik két kígyófajé. A rézsikló specifikusságát leszámítva, az egyes szimulációk minden esetben változatosabb értékeket adtak, magas a szórás a görbék körül.



10. ábra. A kaudális csigolyák geometriai morfometriai határozásának érzékenysége, specifikussága és pontossága a landmarkok %-os meglétének függvényében, szimulációk alapján.

Ismeretlen fajú csigolyák határozása

A határozási módszer tesztelése által kapott megbízhatósági értékek alapján az 50%-nál alacsonyabb landmark megléttel rendelkező preszakrális csigolyákat és a 80%-nál kisebb landmark megléttel rendelkező kaudális csigolyákat geometriai morfometriai módszerrel meghatározhatatlannak minősíttem. Emiatt a 11. ábrán a 154 db talált kígyócsigolyából csak 73 db-ot ábrázoltam (59 db preszakrális és 14 db kaudális), melyek alapján messze a legtöbb csigolya vízisiklóhoz tartozott, ráadásul mindegyik fészekben volt belőle. Rákosivipera-csigolyát kis arányban, de mindhárom kígyászölyvfészek és az egyik egerészölyvfészek is tartalmazott. Rézsiklócsigolya csupán 2 db volt, mindkettő kígyászölyvfészekben, egy a ballószögiben és egy a kunadacsiban.



11. ábra. Kígyászölyv (balra) és egerészölyv (jobbra) fészekanyag-mintákban talált kígyócsigolyák darabszáma fajonként, geometriai morfometriai határozás alapján.

Következtetések

A fészektartalom-minták elemzéséből egyértelműen bizonyosságot nyert a kígyászölyv hüllőspecialista léte [51], melyet igazol az óriási mennyiségű pikkely, valamint a kígyó- és gyíkcsigolyák aránya. A maradványokat tartalmazó egerészölyv-fészkek ugyancsak tartalmaztak néhány hüllőcsigolyát és említésre méltó pikkelymennyiséget, viszont a kígyászölyv-fészkekénél arányaiban több nem-hüllő és nem-csigolya maradvány volt bennük, pl. számos mezei pocok (*Microtus arvalis*) koponyája. Ez alátámasztja az egerészölyv generalista mivoltát, de nem veti el a lehetőséget, hogy egyes példányok a szokványosnál nagyobb mértékben vadásznak kígyókra rákosivipera-élőhelyeken, ha kevésbé elérhetőek más táplálékforrások, pl. nem-pocokgradációs években [52].

A főkomponens-analízis eredménye alapján kijelenthető, hogy a három kígyófaj közti morfológiai különbségek geometriai morfometriai módszerrel is egyértelműen kimutathatóak, mind a preszakrális, mind a kaudális csigolyatípus esetében. Sok azonban a hasonlóság is, mivel az egyes pontfelhők nem különülnek el nagy mértékben. Ez főleg a kaudális típusra igaz, ahol az ábrán is látható az, amit a tapasztalatok is alátámasztanak, hogy a gerincoszlop mentén, a kaudális régióon belül sokkal nagyobb a morfológiai variabilitás, mint a preszakrális régióban. Ez meglátszik a módszer megbízhatóságát kifejező ábrákon is, mivel a kaudális csigolyák esetében alacsonyabb lehet a pontossága a határozásnak, mint a preszakrális csigolyáknál.

A rézsikló azonosítására mindkét csigolyatípus esetében igaz, hogy nagyon nagy a specifikusság értéke, tehát az LDA modell nagyon kevés szimulációban határozott vízisikló- vagy rákosivipera-csigolyát rézsiklónak. Ennek ellenére a rézsikló-határozás érzékenysége és pontossága jóval gyengébb, amiből következik, hogy a szimulációban nagy számban lett rézsikló-csigolya másik fajként azonosítva. Ennek minden valószínűséggel köze van ahhoz, hogy rézsikló-csigolyából csak egy példány csigolyái álltak rendelkezésünkre a referencia adatbázis elkészítésekor, így lehetséges, hogy nem sikerült lefedni a rézsikló csigolyáinak morfológiai variabilitását. A PCA és az érzékenységi vizsgálatok eredménye alapján kijelenthető, hogy mindhárom fajnál előfordulnak olyan csigolyák, melyeket nem lehet egyértelműen helyesen meghatározni, főleg, ha nem maximális a landmark meglét.

A magas, legalább 90%-os pontossággal helyesen meghatározott, ismeretlen fajú csigolyák döntő része vízisiklónak bizonyult. A PCA és az érzékenységi vizsgálatok alapján ez várható

volt, mivel előfordulhat még magas landmark megléttel is, hogy egyes rákosivipera-, de főleg rézsiklócsigolyák vízisiklónak lettek határozva. Mindemellett, ökológiai szempontból még valószínűbb volt, hogy vízisikló-csigolyából találjunk a legtöbbet. A vízisikló egy gyakori, nagyméretű kígyófaj, mely ráadásul a kígyászölyv egyik fő prédája [51], valamint egy kiskunsági pusztagyepen kevésbé illik bele színezetével a környezetbe, mint a rákosi vipera vagy a rézsikló. Továbbá a rézsikló lényegesen kisebb, a rákosi vipera pedig azon felül, hogy mérge miatt veszélyesebb, nagyobb felületű, jelentősebb aposzematizmussal rendelkezik [11, 12, 47], így lehetséges, hogy kevésbé kívánatos préda. Mégis, kis mértékben, de több fészek is tartalmazott rákosivipera-csigolyát, melyre számítani lehetett, lévén, hogy az egerészölyv ismert fogyasztója és nagy számban költ rákosivipera-élőhelyeken, a kígyászölyv pedig hullóspecialista révén, még vízisikló-preferencia esetén is minden bizonnyal zsákmányol alkalmanként.

A rákosi viperára magas predációs nyomás helyezedik, melynek nagy része minden bizonnyal madaraknak köszönhető. Aktív természetvédelmi beavatkozás nélküli fennmaradására csekély esély van, emiatt fontos, hogy minél nagyobb hatékonysággal legyünk képesek minden fenyegető tényező kezelésére. A kutatásom egy erős alapját képezi a rákosivipera-élőhelyeken táplálkozó madarak táplálékvizsgálatának, mely esszenciális információkkal bírhat a faj védelmének tekintetében. További vizsgálatokra volna szükség, elsősorban rendszeres – az ezt toleráló madárfajoknál akár költési időszak alatt többszöri – és több fajra kiterjedő mintavételezéssel, amelynek feldolgozásával jobb betekintést nyerhetnénk a kiskunsági madár-kígyó predátor-préda kapcsolatokba. Emiatt kutatásomat mindenképp érdemes folytatni, valamint a módszert tökéletesíteni több referencia rézsikló-csigolya bevonásával, és akár több landmark kijelölésével.

Összefoglalás

A Magyarországon honos, fokozottan védett rákosi vipera (*Vipera ursinii rakosiensis*) fennmaradására az egyik legnagyobb veszélyt jelentő tényező a predációs nyomás, melyhez bizonyítottan hozzájárulnak az élőhelyén táplálkozó madarak is. Az általuk kifejtett predációs nyomás felmérésének egyik legjobb módja a táplálékbázisuk vizsgálata. Kutatásomban ennek kivitelezéséhez geometriai morfometriai módszerrel megállapítom a rákosivipera élőhelyeken előforduló kígyófajok (rákosi vipera, vízisikló (*Natrix natrix*) és rézsikló (*Coronella austriaca*)) csigolyáinak morfológiai különbségeit. Ezt egy ismert fajú csigolyákból álló referencia adatbázissal megalapozott lineáris diszkriminancia-analízis modellel teszem meg. Szimulációkkal előállított sérültségi szinteken tesztelem a módszer megbízhatóságát preszakrális (nyak- és törzs-), valamint kaudális (farok-) csigolyák esetében, majd kipróbálom feltételezhetően rákosivipera-élőhelyeken táplálkozó kígyászölyvek (*Circaëtus gallicus*) és egerészölyvek (*Buteo buteo*) fészekmintájából kinyert, ismeretlen fajú kígyócsigolyákon.

Abstract

A geometric morphometric approach to identify snake prey vertebrae from raptor bird nests

The hungarian meadow viper (*Vipera ursinii rakosiensis*) is a critically endangered species based in Hungary, which faces high predation pressure, partially due to bird species that feed in its habitat. One of the best ways to measure the degree of pressure caused by them is examining their diet. For the sake of achieving this, the goal of my research is to establish differences in vertebrae morphology of the snake species that are found in hungarian meadow viper habitats (hungarian meadow viper, grass snake (*Natrix natrix*) and smooth snake (*Coronella austriaca*)) using geometric morphometric method. We use a model created with linear discriminant analysis based on a reference database with vertebrae of known species of snakes. We test the efficiency of the model on presacral and caudal vertebrae with simulated levels of damage, then try it on vertebrae of unknown species of snakes obtained from nests of short-toed eagles (*Circaëtus gallicus*) and common buzzards (*Buteo buteo*).

Irodalomjegyzék

- [1] Fath BD, Killian MC (2007) The relevance of ecological pyramids in community assemblages. *Ecol. Modell.* 208(2) <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2007.06.001>
- [2] Ripple WJ, Beschta RL (2012) Large predators limit herbivore densities in northern forest ecosystems. *Eur. J. Wildl. Res.* 58(4) <https://doi.org/10.1007/s10344-012-0623-5>
- [3] Ripple WJ, Wirsing AJ, Wilmers C C, Letnic M (2013) Widespread mesopredator effects after wolf extirpation. *Biological Conservation* 160 <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2012.12.033>
- [4] Reznick D, Ender J (1982) Erratum: The Impact of Predation on Life History Evolution in Trinidadian Guppies (*Poecilia reticulata*). *Evolution (N. Y.)*. 36(3) <https://doi.org/10.2307/2408115>
- [5] Stibor H, Luning J (1994) Predator-Induced Phenotypic Variation in the Pattern of Growth and Reproduction in *Daphnia hyalina* (Crustacea: Cladocera). *Funct. Ecol.* 8(1) <https://doi.org/10.2307/2390117>
- [6] Palkovacs EP, Post DM (2008) Eco-evolutionary interactions between predators and prey: Can predator-induced changes to prey communities feed back to shape predator foraging traits?. *Evol. Ecol. Res.* 10(5) 699-720
- [7] Sánchez-Hernández J, Finstad AG, Arnekleiv JV, Kjærstad G, Amundsen PA (2021) Beyond ecological opportunity: Prey diversity rather than abundance shapes predator niche variation. *Freshw. Biol.* 66(1) <https://doi.org/10.1111/fwb.13606>.
- [8] Webb JK, Whiting MJ (2005) Why don't small snakes bask? Juvenile broad-headed snakes trade thermal benefits for safety. *Oikos* 110(3) <https://doi.org/10.1111/j.0030-1299.2005.13722.x>
- [9] Anderson L, Burgin S (2008) Patterns of bird predation on reptiles in small woodland remnant edges in peri-urban north-western Sydney, Australia. *Landsc. Ecol.* 23(9) <https://doi.org/10.1007/s10980-008-9252-5>
- [10] Hansen NA, Sato CF, Michael DR, Lindenmayer D B, Driscoll D A (2019) Predation risk for reptiles is highest at remnant edges in agricultural landscapes. *J. Appl. Ecol.* 56(1) <https://doi.org/10.1111/1365-2664.13269>
- [11] Wüster W, Allum CSE, Bjargardóttir IB, Bailey KL, Dawson KJ, Gueniouni J, McGurk J, Moore AG, Niskanen M, Pollard CP (2004) Do aposematism and Batesian mimicry require bright colours? A test, using European viper markings. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 271 1556 <https://doi.org/10.1098/rspb.2004.2894>
- [12] Niskanen M, Mappes J (2005) Significance of the dorsal zigzag pattern of *Vipera latastei gaditana* against avian predators. *J. Anim. Ecol.* 74(6) <https://doi.org/10.1111/j.1365-2656.2005.01008.x>
- [13] Martin J (1990). Amphibians and reptiles as prey of birds in southwestern Europe. Museo Nacional de Ciencias Naturales de Madrid, Madrid
- [14] Tanaka K, Mori A (2000) Literature Survey on Predators of Snakes in Japan. *Curr. Herpetol.* 19 (2) <https://doi.org/10.5358/hsj.19.97>
- [15] Neal T, Steen DA (2015) *Agkistrodon piscivorus* (cottonmouth). Predation. (2002) Herpetological Review. 33 136-137
- [16] Boarman WI (2003) Managing a subsidized predator population: Reducing common raven predation on desert tortoises. *Environ. Manage.* 32(2) <https://doi.org/10.1007/s00267-003-2982-x>
- [17] Reardon JT (2012) Predator control allows critically endangered lizards to recover on mainland New Zealand. *N. Z. J. Ecol.* 36(2)
- [18] Maeda T, Nakashita R, Shionosaki K, Yamada F, Watari Y (2019) Predation on endangered species by human-subsidized domestic cats on Tokunoshima Island. *Sci. Rep.*, 9(1) <https://doi.org/10.1038/s41598-019-52472-3>
- [19] Rogers CM , Caro MJ (1998) Song sparrows, top carnivores and nest predation: A test of the

- mesopredator release hypothesis. *Oecologia* 116 (1–2) <https://doi.org/10.1007/s004420050583>
- [20] Read J E, Scoleri V (2015) Ecological implications of reptile mesopredator release in arid South Australia. *J. Herpetol.* 49(1) <https://doi.org/10.1670/13-208>
- [21] Sinclair ARE, Pech RP, Dickman CR, Hik D, Mahon P, Newsome AE (1998) Predicting effects of predation on conservation of endangered prey. *Conserv. Biol.*, 12(3) <https://doi.org/10.1111/j.1523-1739.1998.97030.x>
- [22] Huntingford FA (1982) Do inter- and intraspecific aggression vary in relation to predation pressure in sticklebacks? *Anim. Behav.* 30(3) [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(82\)80165-6](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(82)80165-6)
- [23] Zanette L, Smith JNM, Van Oort H, Clinchy M (2003) Synergistic effects of food and predators on annual reproductive success in song sparrows. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* 270(1517) <https://doi.org/10.1098/rspb.2002.2311>
- [24] Kotrschal A, Deacon AE, Magurran AE, Kolm N (2017) Predation pressure shapes brain anatomy in the wild. *E Ecol.* 31(5) <https://doi.org/10.1007/s10682-017-9901-8>
- [25] Howe AG, Nachman G, Lövei GL (2015) Predation pressure in Ugandan cotton fields measured by a sentinel prey method. *Entomol. Exp. Appl.* 154(2) <https://doi.org/10.1111/eea.12267>
- [26] Rößler DC, Pröhl H, Lötters S (2018) The future of clay model studies. *BMC Zoology* 3(1) <https://doi.org/10.1186/s40850-018-0033-6>
- [27] Giles N, Huntingford FA (1984) Predation risk and inter-population variation in antipredator behaviour in the three-spined stickleback, *Gasterosteus aculeatus* L. *Anim. Behav.* 32(1) [https://doi.org/10.1016/S0003-3472\(84\)80346-2](https://doi.org/10.1016/S0003-3472(84)80346-2)
- [28] Therrien JF, Gauthier G, Korpimäki E, Bêty J (2014) Predation pressure by avian predators suggests summer limitation of small-mammal populations in the Canadian Arctic. *Ecology* 95(1) <https://doi.org/10.1890/13-0458.1>
- [29] Balčiauskienė L, Skuja S, Zub K (2005) Avian predator pellet analysis in biodiversity and distribution investigations. *Acta Biologica Universitatis Daugavpiliensis* 5 67-73
- [30] Landler L, Stefke K (2021) Long-term monitoring of common spadefoot toad activity in a European steppe using barn owl pellets. *J Biol Res (Thessalon)* 28(1) 4 doi: 10.1186/s40709-021-00133-w.
- [31] Gil JM, Pleguezuelos JM (2001) Prey and prey-size selection by the short-toed eagle (*Circus gallicus*) during the breeding season in Granada (south-eastern Spain). *J. Zool.* 255(1) <https://doi.org/10.1017/S0952836901001182>
- [32] Lloveras L, Cosso A, Solé J, Claramunt-López B, Nadal J (2018) Taphonomic signature of golden eagles (*Aquila chrysaetos*) on bone prey remains. *Hist. Biol.* 30(6) <https://doi.org/10.1080/08912963.2017.1319830>
- [33] Lebreton L, Bailon S, Guillaud E, Testu A, Perrenoud C (2020) Multi-taxa referential of a modern Eurasian Eagle-Owl (*Bubo bubo*) aerie. *J. Archaeol. Sci. Reports* 32 <https://doi.org/10.1016/j.jasrep.2020.102417>
- [34] Mutanen M, Pretorius E (2007) Subjective visual evaluation vs. traditional and geometric morphometrics in species delimitation: A comparison of moth genitalia. *Syst. Entomol.* 32(2) <https://doi.org/10.1111/j.1365-3113.2006.00372.x>
- [35] Bookstein FL (1989) Principal Warps: Thin-Plate Splines and the Decomposition of Deformations. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.* 11(6) <https://doi.org/10.1109/34.24792>
- [36] Rohlf FJ, Marcus LF (1993) A revolution morphometrics. *Trends in Ecology and Evolution* 8(4) [https://doi.org/10.1016/0169-5347\(93\)90024-J](https://doi.org/10.1016/0169-5347(93)90024-J)
- [37] Bookstein FL (1997) *Morphometric Tools for Landmark Data*. Cambridge University Press, Cambridge, UK
- [38] Adams DC, Rohlf FJ, Slice DE (2004) Geometric morphometrics: Ten years of progress following the 'revolution'. *Ital. J. Zool.* 71(1) <https://doi.org/10.1080/11250000409356545>

- [39] Kaliontzopoulou A (2011) Geometric morphometrics in herpetology: modern tools for enhancing the study of morphological variation in amphibians and reptiles *Basic Appl. Herpetol.* <https://doi.org/10.11160/bah.11016>
- [40] Venczel M (2000) Quaternary snakes from Bihar. Publishing House of the Țării Crișurilor Museum Oradea, Oradea
- [41] Korsós Z (1992) Európa legveszélyeztetettebb mérgeskígyója a parlagi vipera (*Vipera ursinii rakosiensis*). *Természetvédelmi Közlemények* 1 83-88
- [42] Mizsei E, Zinenko O, Sillero N, Ferri V, Roussos SA, Szabolcs M (2018) 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 Appl. Herpetol.* 32 <https://doi.org/10.11160/bah.94>
- [43] Ujvari B, Korsos Z, Pechy T (2000) Life history, population characteristics and conservation of the Hungarian meadow viper (*Vipera ursinii rakosiensis*). *Amphib. Reptil.* 21(3) <https://doi.org/10.1163/156853800507417>
- [44] Péchy T, Halpern B, Sós E, Walzer C (2015) Conservation of the Hungarian meadow viper *Vipera ursinii rakosiensis*. *Int. Zoo Yearb.* 49(1) <https://doi.org/10.1111/izy.12088>
- [45] Móré A, Mizsei E, Vadász Cs, Tóthmérész B, Heltai M (2022) Analysis of mammal mesopredator scat samples indicates significant predation on the endangered Hungarian meadow viper (*Vipera ursinii rakosiensis*). *Wildlife Biology* e01033 <https://doi.org/10.1002/wlb3.01033>
- [46] Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület 2022 Magyarország kételtűi és hüllői: Vízisikló. <https://www.mme.hu/keteltuek-eshullok/vizisiklo> Apr 2022
- [47] Madsen T (1987) Are Juvenile Grass Snakes, *Natrix natrix*, Aposematically Coloured? *Oikos* 48(3) <https://doi.org/10.2307/3565512>
- [48] Gregory PT, Isaac LA (2004) Food habits of the grass snake in southeastern England: Is *Natrix natrix* a generalist predator? *J. Herpetol.* 38(1) <https://doi.org/10.1670/87-03A>
- [49] Hojati V, Faghiri A, Shiravi A (2012) Diet of the grass snake, *natrix natrix* (linnaeus, 1758) (serpentes: colubridae), in northern iran. *Zool. Middle East* 55(1) <https://doi.org/10.1080/09397140.2012.10648929>
- [50] Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület 2022 Magyarország kételtűi és hüllői: Rézsikló. <https://www.mme.hu/keteltuek-eshullok/rezsiklo> Apr 2022
- [51] Papp G, Béres I, Turny Z, Árvay M, Bagyura J, Marik P (2022) Kígyászölyv *Circaetus gallicus* J: F. Gmelin, 1788. In: Haraszthy L & Bagyura J (eds) Magyarország ragadozó madarai és baglyai. 1. kötet. Vágómadár-alakúak. Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület, Budapest pp 175-205
- [52] Haraszthy L (2022) Egerészölyv *Buteo buteo* Linnaeus 1758. In: Haraszthy L & Bagyura J (eds) Magyarország ragadozó madarai és baglyai. 1. kötet. Vágómadár-alakúak. Magyar Madártani és Természetvédelmi Egyesület, Budapest pp 777-813
- [53] David P (2012) A basic geometric morphometric analysis. Department of Geological Sciences | Indiana University <https://g562.siteshost.iu.edu/PBDB2013/Day%202B%20-%20Geometric%20Morphometrics%20in%20R.pdf>
- [54] R Core Team (2021) R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing. Vienna, Austria, URL <https://www.R-project.org/>.
- [55] Adams D, Collyer M, Kaliontzopoulou A, Baken E (2021). “Geomorph: Software for geometric morphometric analyses. R package version 4.0.3. <https://cran.r-project.org/package=geomorph>.
- [56] Venables WN, Ripley BD (2002) Modern Applied Statistics with S, Fourth edition. Springer, New York. ISBN 0-387-95457-0 <https://www.stats.ox.ac.uk/pub/MASS4/>.
- [57] Max K (2016) caret: Classification and Regression Training. R package version 6.0-71. <https://CRAN.R-project.org/package=caret>

Köszönetnyilvánítás

Elsőként köszönöm a témavezetőimnek, dr. Korsós Zoltánnak és dr. Mizsei Edvárdnak a rengeteg sok segítséget és irányadást. Köszönöm Móré Attilának, a kígyászölyvfészekminták szortírozását és egyéb hozzájárulásait. Köszönöm dr. Vörös Juditnak, hogy rendelkezésünkre bocsátotta a referencia csigolyákat és dr. Szentesi Zoltánnak, hogy biztosította az eszközöket és tanácsokat adott azoknak a feldolgozásához. Köszönöm Turny Zoltánnak és kollégáinak a kígyászölyvfészkekből származó, értékes mintákat. Köszönöm Bereczky Attilának, hogy felmászott azokhoz az egerészölyvfészkekhez a mintákért, amikhez én már nem tudtam. Köszönöm a kutatócsoport minden tagjának a tavaszi ragadozófelmérésen való részvételt és a mindenkori jó társaságot.

Nem utolsó sorban köszönöm a hozzám legközelebb álló embereknek, barátaimnak, családomnak, köztük kimondottan az Édesanyámnak, aki a bűz ellenére is önszántából segített a minták zacskózásában, hogy egész idő alatt velem voltak és mindannyian a maguk módján támogattak.

HuVetA
ELHELYEZÉSI MEGÁLLAPODÁS ÉS SZERZŐI JOGI NYILATKOZAT*

Név: Tisza Ádám Bálint

Elérhetőség (e-mail cím): tiszapontadam@gmail.com

A feltöltendő mű címe: Rákosi vipera (*Vipera ursinii rakosiensis*) élőhelyeken táplálkozó madarak fészkeiből kinyert kígyócsigolyák geometriai morfológiai azonosítása

A mű megjelenési adatai: Az átadott fájlok száma: 1

Jelen megállapodás elfogadásával a szerző, illetve a szerzői jogok tulajdonosa nem kizárólagos jogot biztosít a HuVetA számára, hogy archiválja (a tartalom megváltoztatása nélkül, a megőrzés és a hozzáférhetőség biztosításának érdekében) és másolásvédett PDF formára konvertálja és szolgáltatassa a fenti dokumentumot (beleértve annak kivonatát is).

Beleegyezik, hogy a HuVetA egynél több (csak a HuVetA adminisztrátorai számára hozzáférhető) másolatot tároljon az Ön által átadott dokumentumból kizárólag biztonsági, visszaállítási és megőrzési célból.

Kijelenti, hogy az átadott dokumentum az Ön műve, és/vagy jogosult biztosítani a megállapodásban foglalt rendelkezéseket arra vonatkozóan. Kijelenti továbbá, hogy a mű eredeti és legjobb tudomása szerint nem sérti vele senki más szerzői jogát. Amennyiben a mű tartalmaz olyan anyagot, melyre nézve nem Ön birtokolja a szerzői jogokat, fel kell tüntetnie, hogy korlátlan engedélyt kapott a szerzői jog tulajdonosától arra, hogy engedélyezhesse a jelen megállapodásban szereplő jogokat, és a harmadik személy által birtokolt anyagrész mellett egyértelműen fel van tüntetve az eredeti szerző neve a művön belül.

A szerzői jogok tulajdonosa a hozzáférés körét az alábbiakban határozza meg **(egyetlen, a megfelelő négyzetben elhelyezett x jellel)**:

- engedélyezi, hogy a HuVetA-ban -ban tárolt művek korlátlanul hozzáférhetővé váljanak a világhálón,
- az Állatorvostudományi Egyetem belső hálózatára (IP címeire) korlátozza a feltöltött dokumentum(ok) elérését,
- a Könyvtárban található, dedikált elérést biztosító számítógépre korlátozza a feltöltött dokumentum(ok) elérését,
- csak a dokumentum bibliográfiai adatainak és tartalmi kivonatának feltöltéséhez járul hozzá (korlátlan hozzáféréssel),

Kérjük, **nyilatkozzon a négyzetben elhelyezett jellel a helyben használatról is:**




Engedélyezem a dokumentum(ok) nyomtatott változatának helyben olvasását a könyvtárban.

Amennyiben a feltöltés alapját olyan mű képezi, melyet valamely cég vagy szervezet támogatott illetve szponzorált, kijelenti, hogy jogosult egyetérteni jelen megállapodással a műre vonatkozóan.

A HuVetA üzemeltetői a szerző, illetve a jogokat gyakorló személyek és szervezetek irányában nem vállalnak semmilyen felelősséget annak jogi orvoslására, ha valamely felhasználó a HuVetA-ban engedéllyel elhelyezett anyaggal törvénytörtő módon visszaélne.

Budapest, 2022. év 04. hó 29. nap



aláírás
szerző/a szerzői jog tulajdonosa

A HuVetAMagyar Állatorvos-tudományi Archivum – Hungarian Veterinary Archive az Állatorvostudományi Egyetem Hutjra Ferenc Könyvtár, Levéltár és Múzeum által működtetett egyetemi és szakterületi online adattár, melynek célja, hogy a magyar állatorvos-tudomány és -történet dokumentumait, tudásvagyonát elektronikus formában összegyűjtse, rendszerezze, megőrizze, kereshetővé és hozzáférhetővé tegye, szolgáltatassa, a hatályos jogi szabályozások figyelembe vételével.

A HuVetA a korszerű informatikai lehetőségek felhasználásával biztosítja a könnyű, (internetes keresőgépekkel is működő) kereshetőséget és lehetőség szerint a teljes szöveg azonnali elérését. Célja ezek révén

- *a magyar állatorvos-tudomány hazai és nemzetközi ismertségének növelése;*
- *a magyar állatorvosok publikációira történő hivatkozások számának, és ezen keresztül a hazai állatorvosi folyóiratok impakt faktorának növelése;*
- *az Állatorvostudományi Egyetem és az együttműködő partnerek tudásvagyonának koncentrált megjelenítése révén az intézmények és a hazai állatorvos-tudomány tekintélyének és versenyképességének növelése;*
- *a szakmai kapcsolatok és együttműködés elősegítése,*
- *a nyílt hozzáférés támogatása.*

Témavezetői nyilatkozat

Alulírott ...dr. Korsós Zoltán... igazolom, hogy ...Tisza Ádám „Rákosi vipera (*Vipera ursinii* rakosiensis) élőhelyeken táplálkozó madarak fészkeiből kinyert kígyócsigolyák geometriai morfológiai azonosítása” ... című diplomamunkáját ismerem, azt beadásra és védésre alkalmasnak tartom.

Budapest, 2022. április 28.



.....
dr. Korsós Zoltán

Állatorvostudományi Egyetem

Ökológiai Tanszék