

Válasz Dr. Szép Tibor véleményére

Köszönöm szépen a Tisztelt Bíráló rendkívül alapos, konstruktív és támogató bírálatát. Valóban igyekeztem e nagy távlatokat és témákat egy egységes, átfogó doktori értekezésben bemutatni. A kritikát elfogadom, hogy az első alfejezet után következő alfejezetek bevezetőiben valóban kerülnöm kellett volna az ismétlést a papagájok státuszával kapcsolatban, és ezáltal csökkenteni a mű terjedelmét is.

A nyilvános vitára felvetett kérdéseire az alábbiakban részletesen válaszolok.

1. A veszélyeztetett papagáj fajok hosszútávon való hatékony védelmét mennyiben segíthetik az e fajokhoz és élőhelyükhöz kapcsolódó ökoturizmus adta lehetőségek?

Nagyon köszönöm ezt a rendkívül fontos és komplex kérdést. Az ökoturizmus a veszélyeztetett papagájfajok védelmében egy klasszikus kétélű fegyver. Megfelelő menedzsmenttel a természetvédelem nagyon hatékony eszköze lehet, szabályozatlan formában azonban további veszélyforrást jelenthet az amúgy is sérülékeny populációkra. A hosszútávú hatékonyság mélyebb értékeléséhez a kérdést több dimenzióban érdemes megvizsgálni.

A trópusi régiókban az illegális befogás és az élőhelyek pusztítása gyakran a helyi lakosság gazdasági kiszolgáltatottságából és a mélyszegénységből fakad. Egy jól strukturált ökoturisztikai modell közvetlen anyagi alternatívát nyújthat a helyi közösségek számára.

Az ökoturizmus kézzelfoghatóvá teszi azt a közgazdasági és természetvédelmi alapelvet, miszerint egy vadon élő papagáj, amelyet a turisták akár évtizedeken át megfigyelhetnek, hosszú távon nagyságrendekkel több bevételt generál, mint egy illegálisan eladott egyed.

Számos sikeres projekt – például a perui Tambopata régióban működő ökolodge-ok hálózata (Brightsmith et al., 2008) – bizonyítja, hogy a turizmusból származó bevételek és a látogatók adományai kritikus fontosságúak a hosszú távú terepi kutatások, a mesterséges odú-projektek és a populációdinamikai monitoring programok folyamatos finanszírozásában.

A nagytestű, látványos papagájok, különösen az arák és a kakaduk, kiváló zászlóshajó és esernyőfajok. Az ezekre a karizmatikus fajokra fókuszáló turizmus kiterjedt erdőterületek megőrzését teszi gazdaságilag indokoltá a döntéshozók szemében. Az ökoturizmus által védett területek mértéke azonban igen változó, függően attól, hogy például csak gyalogosan vagy járművek használatával történik. Az ökoturizmushoz kapcsolódó koncessziós területek a gyakorlatban gyakran hatékony pufferzónaként funkcionálnak az illegális fakitermeléssel, az agrárexpanzióval és az illegális aranymosással szemben. Ezt tapasztaltam például Tambopatán, ahol az ökoturizmus nagy, védett területek mellett zajlik, így megvédheti a rezervátum szélét a vadászok és favágók behatolásától. Így a turizmus tájszintű hatásai nagyobbak lehetnek, mint csak a turisztikai tevékenységek által használt közvetlen területek.

A papagájok (és a legtöbb madár) vonatkozásában fontos megjegyezni, hogy azok a fészkeknél a legsebezhetőbbek. Ennek eredményeként, ha az ökoturizmus képes megvédeni a fészkelőhelyeket, akkor hatékonyan fenntarthatja ezeket a fajokat a területen. Az ökoturizmus azzal is segít, hogy hogyan változtatja meg az emberek véleményét a papagájokról, miután azokat megismerhették a vadonban.

Az előnyök mellett azonban elengedhetetlen a potenciális negatív hatások (gyakran hiányos) tudományos értékelése is. Bár a globális elemzések szerint a turizmus relatíve kisebb veszélyt jelent a madarakra az élőhelyvesztéshez képest, a lokális hatások gyakran alulbecsültek

lehetnek (Steven & Castley, 2013). A túl nagy méretű turistalétesítmények, a zajszennyezés, vagy a madarakhoz túlzottan közel merészkedő csoportok megzavarhatják a papagájok természetes viselkedését, ezek viszont gyakran nem hatnak ki az egész populációra, mivel sok papagájfaj elég jól tud alkalmazkodni. Ezzel ellentétben viszont a vadászat, az orvvadászat, a fakitermelés, valamint egyéb antropogén táj-szintű átalakításokkal járó tevékenységek sokkal súlyosabb hatással vannak e populációkra.

Az ökoturizmust illető valósabb veszély (a közvetlen zavarás helyett) a megnövekedett emberi jelenléttel összefüggő problémák, mint például a nem megfelelően kezelt hulladék, az invazív fajok megjelenése, melyek növelik a patogének terjedésének kockázatát a vadon élő populációkban.

A COVID-19 pandémia élesen rávilágított a kizárólag ökoturizmusra épülő természetvédelem sérülékenységére is. A turizmus hirtelen leállásával a védelmi projektek finanszírozása elapadt, és az élőhelyeket addig védő idegenvezetők, parkőrök jelenléte is eltűnt, ami számos régióban az orvvadászat és az illegális erdőirtás azonnali fellángolásához vezetett. Tambopatán volt szerencsém néhány évet egy helyi tulajdonban lévő ökoturista cégnek (Rainforest Expeditions) dolgozni és így közvetlen bepillantást nyerni annak mindennapi munkájába, céljaiba, és a helyi közösséggel való együttműködésbe. Ezt a modellt később az „Amazónia Papagájai” című dokumentumfilmünkben is részletesen bemutattuk. Az ottani ökoturizmus egy kiemelkedően dicséretes hozzáállása a helyi közösség bevonása, betanítása, valamint a tulajdonjogok nagy részének átengedése volt. Ezzel egy jóval nagyobb értéket adtak a helyi erdőségeknek, mint amit egy egyszeri fakitermelés jelenthetett volna, továbbá az ökoturizmus egy hosszan fenntartható, rendszeres jövedelmet is biztosított. A pandémia alatt azonban azzal is szembesültem, hogy ez milyen hamar fordulhat át az illegális állapotok felé, például sokan tértek át az illegális aranymosásra azokban az években.

Az ökoturizmus sikerességét az adott régió más tulajdonságai is erősen befolyásolják. Tambopata szerencsés helyen fekszik, mivel az ottani turizmus ráépülhetett a közeli Machu Pichu már régóta meglévő turisztikai vonzerejére. Más területeken ennél jóval nehezebb lehetőségeket tapasztaltam, mikor helyi ökoturista csoportoknak segítettem. Mexikó délkeleti részén, Lacandona erdeiben egy Tambopatahoz hasonló értékekkel rendelkező kutatóközpont és környéke az úthálózat hiánya és a guatemalai zöldhatár hírhedt közelsége (és az ezzel összefüggő illegális kereskedelem) miatt küszködik. Indonézia Maluku régiójának pedig az elszigeteltsége és elmaradottsága állít akadályokat a helyi ökoturizmus fellendítéséhez.

2. A *Philornis* légyfajok okozta parazitizmus mennyiben befolyásolhatja a kirepülés után az egyedek túlélését és a későbbi szaporodási lehetőségeit? Milyen védekezési magatartások feltételezhetőek a faj esetében e parazitizmussal szemben?

A *Philornis* légyfajok szubkután vérszívó lárváinak parazitizmusa egy ökológiai kihívást jelentő tényező a neotrópusi madárpopulációk, így a perui Amazóniában vizsgált sárgaszárnyú arák esetében is. A kirepülés utáni hatásoknak a megértéséhez érdemes a rendszert evolúciós és fiziológiai kontextusban vizsgálni.

A sárgaszárnyú arák és a *Philornis* fajok hosszú koevolúciós múlttal rendelkeznek. Ez éles ellentétben áll a naiv gazdafajoknál tapasztaltakkal. Ilyenek például a galápagosi Darwin-pintyek, ahol a behurcolt *Philornis downsi* katasztrofális, sokszor 100%-os fészekalj-mortalitást okoz (Fessl et al., 2006). A mi őshonos rendszerünkben a közvetlen elhullás

leginkább csak akkor következik be, ha a lárvák érzékeny anatómiai régiókat (pl. légutakat, érzékszerveket, ízületeket) támadnak meg, illetve a lárvák tömeges jelenléte esetében (Arendt, 1985).

A kirepülés utáni, hosszú távú hatások azonban jelentősek lehetnek. Kimutattuk, hogy a gyors növekedési szakaszban (0–33 napos korban) elszenvedett magas parazita prevalencia szignifikánsan negatívan korrelál a testtömeggel és a csüd hosszával. Az extrém parazitaterheléssel járó energetikai stressz, valamint a lárvák távozása után visszamaradó sebek miatt megnövekedett másodlagos bakteriális fertőzés kockázata tartósan gyengítheti a kirepülő madár immunrendszerét. Egy szuboptimális testmérettel és kondícióval kirepülő papagáj az életben maradás szempontjából kritikus első hetekben jelentős hátránnyal indul.

A madarak több viselkedési és immunológiai mechanizmust fejlesztettek ki a parazitanyomás enyhítésére, amelyek az arák esetében is feltételezhetőek.

Szülői viselkedés: A papagájoknál a szociális tollázkodás (allopreening) nagyon fejlett. Kutatásunk során megfigyeltük a *Philornis* lárvák természetes eltűnését a várható kikelési idő előtt, ami arra utal, hogy a szülőmadarak a csőrükkel fizikailag eltávolíthatják a lárvákat a fiókák bőréről.

Fészekválasztás: Eredményeink kimutatták, hogy a természetes odúban szignifikánsan alacsonyabb volt a paraziták prevalenciája (11%), mint a fa költőládák (39%) vagy PVC odúban (39%). Lehetséges, hogy az odúválasztás során a madarak preferálják a hűvösebb, jobb mikroklímájú természetes üregeket, ahol alacsonyabb a lárvák vektorának is számító moszkítók jelenléte.

Fészekanyag-választás: Bizonyos madárfajok, mint például a seregély (Clark & Russell Mason, 1988), illóolajokat tartalmazó zöld levelekkel bélelik a fészkeket, talán épp a paraziták távoltartására, bár ez a hipotézis még nem nyert teljes mértékű támogatást (Scott-Baumann & Morgan, 2015). Aráknál azonban ezt még nem dokumentálták.

Immunológiai válasz: Azokon a területeken, ahol a parazitanyomás állandó, a fiókák erős specifikus immunválaszt fejleszthetnek ki a lárvák szekréciós antigénjeivel szemben, ami lassíthatja a parazita növekedését, és magyarázatot adhat arra, hogy miért éli túl a legtöbb arafióka a fertőzést a masszív lárvaszám ellenére is, éles ellentétben azokkal a naiv madárfajokkal, amelyek nem rendelkeznek közös evolúciós múlttal a parazitával.

3. A genetikai markerek alapján történő nem-invazív módon történő, több évre kiterjedő egyedi azonosítás potenciális lehetőséget teremhet a vizsgált állomány túlélési és diszperziós vizsgálatára is. Mennyire látja megvalósíthatónak az ilyen típusú vizsgálatokat a papagájoknál?

Elméletben és technológiailag is megvalósíthatónak látom, sőt, véleményem szerint ez jelentheti a trópusi papagájok – és más, nehezen befogható lombkoronalakó faj – populációökológiájának következő nagy áttörését. Ugyanakkor alaposan át kell gondolni az új genomikai módszerek alkalmazását és ezek költséghatékonyságát. A gyakorlati megvalósítás komoly mintavételi és logisztikai kihívásokkal is jár, amelyeket az alábbiakban részleteznék.

Túlélési vizsgálatok és a genetikai jelölés-visszafogás

A több évre kiterjedő túlélési ráták becslésének hagyományos módja a madarak befogása, jelölése és visszafogása (vagy a színes gyűrűk vizuális újra-megfigyelése). Az arapapagájok esetében a felnőtt egyedek befogása rendkívül nehéz, veszélyes a madárra nézve, és rendkívül kis mintaelemszámot eredményez, műanyag színes gyűrűk pedig ezeken a madarakon nem alkalmazhatók.

Ha éveken keresztül, szisztematikusan gyűjtjük a levedlett tollakat az agyagfalaknál, a fészkelő- vagy táplálkozóhelyeken, létrehozhatunk egy genetikai adatbázist. Egy adott genotípus ismételt felbukkanása a mintákban egyenértékű az egyed „visszafogásával”. A legfőbb probléma a detektálási valószínűség. Nem minden egyed látogatja ugyanolyan gyakorisággal az agyagfalakat. Ahhoz, hogy robusztus túlélési modelleket tudjunk futtatni, a mintavételi stratégiát térben és időben is nagyon szigorúan kellene standardizálni.

Diszperziós vizsgálatok és tájgenetika

Az egyedek mozgásának, diszperziójának hagyományos vizsgálata telemetriával történik, ami az egyed befogását szükségelteti. A genetikai markerek ezzel szemben újabb lehetőséget adnak a térbeli mozgások feltérképezésére. Ha egy hatalmas területen több különböző helyekről is folyamatos a genetikai mintavétel, pontosan azonosítani tudjuk, ha egy egyed (vagy annak közvetlen leszármazottja) élőhelyet váltott. Ezáltal nemcsak az egyedek fizikai mozgását, hanem a sikeres szaporodást követő tényleges génáramlást is mérni tudnánk, azonosítva a kulcsfontosságú zöld folyosókat és a természetes határokat (pl. folyók, hegygerincek akadályozó hatását, ahogy azt az értekezésemben is bemutattam).

Új genomikai eszközök

A több évre kiterjedő genetikai monitoring legfontosabb technikai feltétele az azonos módszer használata és a genotipizálási hiba minimalizálása. Bár az általunk optimalizált mikroszatellita markerek kiválóan teljesítettek, a technológia rohamléptékű fejlődése új távlatokat (és kihívásokat) nyit. Egy teljes genom megszekvenálásának költsége mára jelentősen lecsökkent. Kutatócsoportunkkal nemrég egy vadon élő papagájból frissen szerzett tollmintából a referencia genomokkal szinte megegyező minőségű teljes genomot szekvenáltunk (jelenleg publikálás alatt). Azonban a trópusi körülmények között gyűjtött vedlett tollminták DNS tartalma sokkal degradáltabb, és emiatt drágább módszereket igényelne a bennük megmaradt örökítőanyag teljes szekvenálásához.

A mikroszatellita markereinket viszont kifejezetten ilyen mintákra fejlesztettük ki. Ráadásul, azok megbízhatóságát jelzi, hogy kriminalisztikai adatbázisok továbbra is ilyen markereket használnak. Több száz minta elemzésénél azonban fontos mérlegelni a költséghatékonyságot. Ekkora mennyiségű mintánál az új genomikai módszerek kevésbé munkaigényesek, gyorsabbak és költséghatékonyabbak. Átmenetet jelenthet a célzott amplikon szekvenáláson alapuló SNP-panelek kidolgozása nem-invazív tollmintákra, ami több ezer lókuszos felbontást tenne lehetővé.

Mindemellett a gyakorlati megvalósíthatóság értékelésekor feltétlenül számolnunk kell a trópusi terepi projektek realitásaival is. A veszélyeztetett papagájok élőhelyein zajló kutatások sokszor rendkívül alacsony költségvetéssel gazdálkodnak, helyi laboratóriumi infrastruktúra nélkül. A biológiai minták külföldi elemzését ráadásul a CITES engedélyeztetési eljárások időigényes és bürokratikus útvesztői is hátráltatják. Erre a logisztikai kihívásra egy izgalmas

jövőbeli alternatívát a terepen is használható, hordozható szekvenálási technológiák jelenthetik. Ezek segítségével a DNS-kivonás és a szekvenálás közvetlenül a kutatóállomáson elvégezhető (pl. Pomerantz et al., 2018), így fizikai minták utaztatása és engedélyeztetése helyett már csak a digitális adatokat kell exportálni, ami elhozhatja a fejlődő országokban végzett, nagy mintaszámú populációs vizsgálatok igazi áttörését.

4. A különböző mértékben veszélyeztetett populációk egyedeinek élethossz (lifespan) kilátásainak vizsgálatában milyen lehetőséget lát a telomer vizsgálatok használatában?

Ez egy nagyon izgalmas kérdés, amely pontosan a modern konzervációbiológia egyik innovatív határterületét érinti. A telomerek hosszának és rövidülési ütemének vizsgálata forradalmasíthatja a veszélyeztetett populációk demográfiai értékelését, különösen a papagájokhoz hasonló hosszú életű fajok esetében. Ebben a technológiában a következő kiemelkedő lehetőségeket látom a gyakorlati fajvédelem számára:

A kronológiai kor helyett a biológiai kor meghatározása

A vadon élő papagájok esetében a felnőtt egyedek pontos korának meghatározása vizuális bélyegek alapján szinte lehetetlen, és a hagyományos gyűrűzési/visszafogási (CMR) vizsgálatok a hosszú élettartam miatt évtizedeket vehetnek igénybe. A telomerhossz azonban kiváló biomarkerként szolgál az egyed biológiai korára és a hátralévő várható élettartamára. Madarakon végzett klasszikus vizsgálatok (Bize et al., 2009; Heidinger et al., 2012) egyértelműen bizonyították, hogy a telomerek hossza és azok rövidülési dinamikája sokkal pontosabban jósolja meg a vadon élő madarak hátralévő élettartamát és túlélési esélyeit, mint a kronológiai életkoruk.

Fiókakori kondíció és a felnőttkori túlélés kapcsolata

A korábban tárgyalt *Philornis* parazitizmus vagy a mesterséges odúk szuboptimális mikroklímája korai stresszt jelenthet a fiókák számára. Már kísérletesen is igazolt (Nettle et al., 2015), hogy a korai fejlődési szakaszban elszenvedett kompetitív hátrány és élettani stressz drasztikusan felgyorsítja a telomerek rövidülését a madaraknál. Ennek mérése (például a kirepülés előtt levett vérmintákból) közvetlen bizonyítékot szolgáltatna arra, hogy a fészeken elszenvedett környezeti hatások hogyan rövidítik meg az arapapagájok élettartamát.

A krónikus stressz ökológiai lenyomata

A telomerek hossza integrálja az egyed élete során elszenvedett környezeti és antropogén stresszhatásokat (allostatic load). Egy átfogó metaanalízisben kimutatták a stresszorok és a telomer rövidülés közötti kapcsolatot (Chatelain et al., 2020). Ha összehasonlítunk egy marginális, erősen zavart élőhelyen élő populációt egy érintetlen területen élővel, a telomer-vizsgálat már azelőtt kimutathatja a populáció „egészségi állapotának” romlását (mint korai előrejelző biomarker), mielőtt a tényleges egyedszám-zuhanás bekövetkezne.

A kalibráció jelentősége

A Bíráló kérdése már csak azért is aktuális számomra, mert a perui Tambopata projekt keretében pontosan egy ilyen telomer-életkor kalibrációs vizsgálatot terveztünk. Az élettani

kutatások rávilágítanak, hogy a telomerhossz és az életkor közötti összefüggés nem univerzális, és nem egy egyenes arányosság. Minden faj vagy rokon fajcsoport esetében egyedi, fajspecifikus kalibrációra van szükség a robusztus következtetésekhez (Hausmann et al., 2003).

Kutatási helyszínünk ehhez egy egyedülálló lehetőséget nyújthat. Néhány, rendszeresen visszatérő arapapagáj esetében ismerjük a pontos kikelési időt, így abszolút ismert korú, vadon élő madarakat vonhatunk be a vizsgálatba. Ezeket az egyedeket szinte minden évben sikeresen visszafogtuk, így több éven átívelő vérminta-sorozattal rendelkezünk róluk. Ezen páratlan adatsor laboratóriumi feldolgozása egyedülálló lehetőséget teremthet az arák telomer-dinamikájának kalibrálására a vadonban, amelynek megvalósítása továbbra is a kiemelt terveim között szerepel. E minták talán alapot biztosíthatnak e módszer papagájokon történő jövőbeli adaptálásához.

Említett irodalmak:

- Arendt, W. J. (1985). *Philornis* ectoparasitism of pearly-eyed thrashers. II. Effects on adults and reproduction. *The Auk*, 102(2), 281–292. <https://doi.org/10.2307/4086770>
- Bize, P., Criscuolo, F., Metcalfe, N. B., Nasir, L., & Monaghan, P. (2009). Telomere dynamics rather than age predict life expectancy in the wild. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1662), 1679–1683. <https://doi.org/10.1098/rspb.2008.1817>
- Brightsmith, D. J., Stronza, A., & Holle, K. (2008). Ecotourism, conservation biology, and volunteer tourism: A mutually beneficial triumvirate. *Biological Conservation*, 141(11), 2832–2842. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2008.08.020>
- Chatelain, M., Drobniak, S. M., & Szulkin, M. (2020). The association between stressors and telomeres in non-human vertebrates: A meta-analysis. *Ecology Letters*, 23(2), 381–398. <https://doi.org/10.1111/ele.13426>
- Clark, L., & Russell Mason, J. (1988). Effect of biologically active plants used as nest material and the derived benefit to starling nestlings. *Oecologia*, 77(2), 174–180. <https://doi.org/10.1007/BF00379183>
- Fessl, B., Kleindorfer, S., & Tebbich, S. (2006). An experimental study on the effects of an introduced parasite in Darwin's finches. *Biological Conservation*, 127(1), 55–61. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2005.07.013>
- Hausmann, M. F., Vleck, C. M., & Nisbet, I. C. T. (2003). Calibrating the telomere clock in common terns, *Sterna hirundo*. *Experimental Gerontology*, 38(7), 787–789. [https://doi.org/10.1016/s0531-5565\(03\)00109-8](https://doi.org/10.1016/s0531-5565(03)00109-8)
- Heidinger, B. J., Blount, J. D., Boner, W., Griffiths, K., Metcalfe, N. B., & Monaghan, P. (2012). Telomere length in early life predicts lifespan. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 109(5), 1743–1748. <https://doi.org/10.1073/pnas.1113306109>
- Nettle, D., Monaghan, P., Gillespie, R., Brilot, B., Bedford, T., & Bateson, M. (2015). An experimental demonstration that early-life competitive disadvantage accelerates telomere loss. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 282(1798), 20141610. <https://doi.org/10.1098/rspb.2014.1610>

- Pomerantz, A., Peñafiel, N., Arteaga, A., Bustamante, L., Pichardo, F., Coloma, L. A., Barrio-Amorós, C. L., Salazar-Valenzuela, D., & Prost, S. (2018). Real-time DNA barcoding in a rainforest using Nanopore sequencing: Opportunities for rapid biodiversity assessments and local capacity building. *GigaScience*, 7(4), 1–14. <https://doi.org/10.1093/gigascience/giy033>
- Scott-Baumann, J. F., & Morgan, E. R. (2015). A review of the nest protection hypothesis: Does inclusion of fresh green plant material in birds' nests reduce parasite infestation? *Parasitology*, 142(8), 1016–1023. <https://doi.org/10.1017/S0031182015000189>
- Steven, R., & Castley, J. G. (2013). Tourism as a threat to critically endangered and endangered birds: Global patterns and trends in conservation hotspots. *Biodiversity and Conservation*, 22(4), 1063–1082. <https://doi.org/10.1007/s10531-013-0470-z>

Még egyszer hálásan köszönöm az alapos bírálatot.

Tisztelettel,

Oláh György

Budapest, 2026. június 18.