DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

TÉZISFÜZET

A VÁROSI KÖRNYEZET HATÁSAI A MADARAK SZAPORODÁSI SIKERÉRE ÉS TOLLAZATI JELLEMZŐIRE

Sándor Krisztina

Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskola

Témavezető:

Dr. Liker András

Professzor, Viselkedésökológia Kutatócsoport

Pannon Egyetem
Környezettudományi Intézet



Veszprém
2023

BEVEZETÉS

Az élőhely-urbanizáció napjaink egyik legjelentősebb környezetátalakító folyamata. A városi környezetben az állatok számos új kihívással néznek szembe, mint például a növényzet megváltozott összetétele, szerkezete és térbeli kiterjedése, a különböző szennyező anyagoknak való kitettség (pl. vegyi anyagok, zaj, hő; Isaksson 2010, Meillère *et al.* 2015), emberi zavarás, megváltozott mikroklíma, és néhány faj esetében a különböző táplálékforrások csökkent elérhetősége. Ezek a változások erőteljes hajtóerői lehetnek gyors evolúciós válaszoknak a városokban, ami az városi élőhelyeket ideális helyszínné teszi az fajok ökológiai változásokhoz való alkalmazkodóképességének tanulmányozásához.

Tápláléklimitáció a városi környezetben

Az erőteljes tájátalakítás, a megváltozott vegetáció-összetétel (pl. nagy arányban jelenlévő idegenhonos fajok), valamint a növényvédő- és gyomirtó szerek használata drámai módon megváltoztatja az ízeltlábú közösségeket (pl. Vergnes *et al.* 2012, New 2015) a városokban. Bár a rovarok urbanizációra adott válaszai nagyon változatosak és taxon-specifikusak, több

tanulmány is arra a következtetésre jutott, hogy a városi környezetben jelentősen kevesebb rovar található (Jones & Leather 2012, New 2015, Fenoglio *et al.* 2020), melyek általánosságban kisebb testméretet képesek elérni (Merckx *et al.* 2018). Ezek a rovarközösségekben megfigyelt változások jelentős táplálékhiányt eredményezhetnek az őket fogyasztó élőlények számára, mint ahogyan az egyes városi énekesmadár-populációk esetében alátámasztást nyert (Narango et al. 2018, Seress et al. 2018, 2020, Jarrett et al. 2020). A rovarok jelentette táplálékbázisban fennálló hiány jelentős negatív hatásokat eredményezhet a rovarevő madarak életének olyan energia- és tápanyagigényes időszakaiban, mint amilyen a szaporodás, a fiókanevelés vagy a tollnövekedés.

Hősziget-effektus

A városokat gyakran melegebb környezeti hőmérséklet és szárazabb mikroklíma jellemzi az őket körülvevő nem urbanizált területekhez képest. Ez a jelenség az ún. hősziget hatás (angolul 'urban heat island', UHI; Oke 1982, Arnfield 2003), ami elsősorban a nagy mennyiségű hőelnyelő és hőkisugárzó felszínnek, a csökkent növényborításnak, légszennyező anyagoknak és az antropogén eredetű hőkibocsátásnak köszönhető (Rizwan *et al.* 2008). Az folyamatosan magasabb környezeti

hőmérséklet mellett a hősziget-effektus képes felerősíteni a klímaváltozás olyan extrém hatásait is, mint amilyenek például a hőhullámok. E megváltozott mikroklimatikus körülmények között számos az élővilágra gyakorolt negatív hatást (pl. csökkent fiókatúlélés, kisebb testtömeg Pipoly *et al.* 2013, Conrey *et al.* 2016), és akár adaptív változásokat is feltételezhetünk. Madarak esetében egy ilyen feltételezett adaptív változás lehet a tollazat bizonyos tulajdonságainak (pl. a tollak makroszerkezetének, vagy a tollazat sűrűségének) megváltozása, mely végső soron az egyedek passzív hőleadását segítheti.

CÉLKITŰZÉSEK

Doktori tanulmányaim során két olyan fő témára összpontosítottam, melyek szerves részét képezik az urbanizációnak a vadon élő populációkra gyakorolt hatásait vizsgáló aktuális kutatásoknak. Egyrészt, egy kontrollált táplálékmanipulációs kísérletben a városi környezet egyik legalapvetőbb hatását vizsgáltam: a táplálóklimitáció hatásait a madarak szaporodási sikerére. Másrészt pedig a városi környezet tollazati jellemzőkre gyakorolt hatásait vizsgáltam, amelyben az táplálóklimitáció mellett a megváltozott városi mikroklímához való alkalmazkodás is döntő szerepet játszhat.

Célom az alábbi kérdések megválaszolása volt:

1. Milyen hatása van a városi környezetben tapasztalható tápláléklimitációnak a városi madarak szaporodási sikerére?
2. Van-e különbség a városi és az erdei madarak kontúrtollainak szerkezeti tulajdonságaiban?
3. Van-e különbség a városi és az erdei madarak repülőtollainak szerkezeti tulajdonságaiban?
4. Van-e különbség a városi és az erdei madarak tollszámában és tollsűrűségében a mellkasi tollsávon?

MÓDSZEREK

Modellfajként a széncinegét *(Parus major)* választottuk, mely egy olyan kistestű rovarevő énekesmadár, amely gyakori költőfaj a városi és a természetes élőhelyeken a teljes Nyugat-Palearktikumban (Gosler & Clement 2007). A vizsgálatokat két városi (Veszprém és Balatonfüred) és két erdei (Vilma-puszta és Szentgál) területen található, mesterséges madárodúkban költő populációkon végeztük Magyarországon.

Táplálékmanipulációs kísérlet

Ezt a vizsgálatot 2017-ben végeztük az egyik városi és az egyik erdei területen (Veszprém és Vilma-puszta). Annak érdekében, hogy teszteljük a táplálóklimitációs hipotézist, egy terepi kísérletben manipuláltuk a fiókák táplálékát. A vizsgálatban egyes széncinege fészkeket elláttunk kiegészítő táplálékkal (kezelt csoport), míg más fészkeket nem (kontroll csoport). A kezelt csoport tagjai 3-15 napos korban napi rendszerességgel kaptak kiegészítő táplálékot (lisztkukacokat helyeztünk ki az odúkra szerelt etető tálkákba). A felkínált lisztkukacok mennyiségét a fiókák és a fészekaljak méretét figyelembe véve, úgy határoztuk meg, hogy egy fióka napi táplálékigényének kb. a 40-50%-át tegye ki (Gibb and Bets 1964, Van Balen 1973, saját nem publikált adat). A kontroll fészkek nem kaptak kiegészítő táplálékot, de ezeket is napi rendszerességgel ellenőriztük, és ugyanannyi időt töltöttünk a fészkeknél (kb. 3-4 percet) azért, hogy a kezelt és a kontroll csoport fészkei hasonló mértékű emberi zavarásban részesüljenek. Amikor a fiókák eltérték a 15 napos kort, meggyűrűztük őket, és mértük a testtömegüket (± 0.1 g), a csüd- (± 0.1 mm) és szárnyhosszukat (± 0.1 mm). Továbbá, a 3-tól 15 napos korig túlélt fiókák arányából kiszámoltuk minden fészekre a fiókák túlélési arányát is.

A táplléklimitációs hipotézis tesztelésére a következő csoportok közötti különbségeket elemeztük: (1) erdei kontroll és városi kontroll (azért, hogy kimutassuk az élőhelyhatást a városi kontroll fészkeken); (2) erdei kontroll és erdei kezelt és (3) városi kontroll és városi kezelt (azért, hogy teszteljük a kezelés élőhelyen belüli hatását); és végül (4) az erdei kontroll és a városi kezelt csoportok között (azért, hogy teszteljük, hogy a táplálékkiegészítés elegendő volt-e ahhoz, hogy eltörölje, vagy jelentősen lecsökkentse az élőhelyek közötti különbségeket).

Élőhelyi különbségek a tollszerkezetben

Ezt a vizsgálatot 2016 és 2018 között végeztük két városi és két erdei helyszínen. Ehhez széncinegéket fogtunk be és minden egyedtől gyűjtöttünk 3-5 sárga tollat a mellkas felső részéről, egy darab szárnytollat (legbelső elsőrendű evező) és egy darab faroktollat (második legszélső kormánytoll). Minden befogott madarat meggyűrűztünk, és a tollazati bélyegeik alapján meghatároztuk a nemüket és az életkorukat (Svensson 1992). A madarakat két fő korcsoportba soroltuk (elsőéves és elsőévesnél idősebb madarak), mivel a különböző korú madaraknál a tollak különböző körülmények között fejlődnek, melyek végső soron a tollak minőségére is hatással lehet. Végül, a tollak szerkezeti

tulajdonságainak vizsgálatához manuális, valamint sztereomikroszkóppal készített fotókon digitális méréseket végeztünk. A statisztikai elemzések során összehasonlítottuk a városi és az erdei madarak tollszerkezeti jellemzőit mindkét korcsoporton belül.

Élőhelyi különbségek a fiókák tollszámában

Ezt a vizsgálatot 2018 áprilisa és májusa között végeztük két városi és két erdei élőhelyen. A tollak számolására egy olyan újszerű módszert találtunk ki, mely a korábbi vizsgálatokkal ellentétben (e.g. Wetmore 1936, Osváth *et al.* 2018) nem invazív (nem igényli a madarak tollainak kitépését) és lehetővé teszi a vizsgálatok elvégzését élő madarakon is.

A tojásrakástól kezdődően, minden fészket heti két alkalommal ellenőriztünk annak érdekében, hogy minél pontosabban meghatározhassuk a fiókák kelésének a pontos napját. Ezután, amikor a fészkek elérték a 6-9 napos kort, közeli, jó felbontású fotókat készítettünk a fiókák mellkasi tollsávjáról. Ebben a korban a fiókák tollazata olyan optimális fejlődési szakaszban van, amikor a tollak már kibújtak a bőr alól, de még a tollhüvely fedi őket, ezáltal nem fednek át egymással – lehetővé téve a könnyű számolást. A mérések során a fotókon meghatároztuk a mellkasi

tollsáv határvonalát, majd a kijelölt területen belül számoltuk a tollak számát, illetve mértük a tollsáv területét is. Ezután pedig a tollszám és a tollsáv területének arányából kiszámoltuk a tollak sűrűségét is. A városi környezet potenciális hatásainak teszteléséhez összehasonlítottuk a mért változókat a városi és az erdei madarak között.

TÉZISPONTOK

A táplálékelérhetőség limitálja a városi madarak szaporodását: kísérlet széncinegéken

1. Vizsgáltam, hogy a városokra jellemző, limitált mennyiségű rovartáplálék hogyan befolyásolja a városi madarak szaporodási sikerét. Kimutattam, hogy azokban a városi fészkekben, amelyben a szülők nem kaptak kiegészítő táplálékot a kísérlet során, a fiókák jelentősen kisebb testmérettel és rosszabb túléléssel jellemezhetők, mint a szintén nem etetett erdei fészekaljak fiókái. Azonban, amikor a városi fészekaljakat kiegészítő táplálékkal láttam el, ezek a különbségek erősen lecsökkentek, és egyes esetekben eltűntek: a fiókák morfológiája és túlélési aránya is elérte vagy nagyon megközelítette az erdei területek kontroll (nem etetett) fészekaljaiban mért értékeket. Az erdei fészkek fiókáira viszont nem volt szignifikáns hatással az

kiegészítő táplálék. Eredményeim alapján megállapítható, hogy a városi madarak kisebb testméretéért és alacsonyabb szaporodási sikeréért jelentős részben a táplálék-limitáció a felelős, míg az erdei madarakat szaporodási sikerét jóval kevésbé korlátozza a táplálék elérhetősége.

A városi és az erdei széncinegék tollszerkezeti különbségei: kényszer vagy adaptáció?

2. A városi és erdei széncinegék testtollainak részletes szerkezeti összehasonlítása során kimutattam, hogy a városi környezet csak az elsőéves madarak tollaira van hatással, míg a felnőtt madarak esetében nem találtam kimutatható különbséget. Kimutattam, hogy a városi elsőéves széncinegék testtollai kisebb sűrűségűek, ami végső soron egy lazább tollazatot eredményez. Habár a korábbi vizsgálatok eredményei és értelmezései ellentmondásosak, feltételezhető, hogy a lazább tollazat elősegíti a városi madarak jobb hőleadását, amelynek egyik valószínű mozgatórugója a városi melegebb klímához történő adaptáció.

3. A városi és az erdei széncinegék repülőtollainak (szárny- és faroktollak) összehasonlítása során a felnőtt madarak között semmilyen élőhelyi különbséget nem találtam, azonban az elsőéves madarak esetében a szárnytollak két tulajdonsága is eltérést mutatott

a két élőhely között. Korábbi vizsgálatok eredményei alapján feltételezhető, hogy ezek a tulajdonságok negatívan befolyásolják a városi elsőéves madarak repülési képességét, ami végül hatással lehet akár a túlélési esélyeikre is. Az elsőéves madarak szárnytollain megfigyelt különbségek több környezeti hatással is magyarázhatóak, például a városi környezetre jellemző limitált mennyiségű és minőségű táplálék okozta környezeti kényszerekkel.

Alacsonyabb tollszám a városi széncinege fiókáknál, mint az erdei fajtársaiknál

4. Egy általam kitalált, noninvazív módszer alkalmazásával, városi és erdei élőhelyeken nevelkedő, 6-9 napos széncinege-fiókák tollazati jellemzőit összehasonlítva kimutattam, hogy a városi fiókák kevesebb kontúrtollal rendelkeznek, valamint a tollpásztáik területe is kisebb, ami feltehetőleg nagyobb relatív csupasz testfelületet eredményez. A kevesebb toll jelezheti a városi táplálék-limitáció miatti kényszerek hatásait, ami miatt a madarak kevesebb erőforrást fektetnek a tollazatukba. Ugyanakkor, amennyiben a kevesebb kontúrtoll lazább tollazatot eredményez, a megfigyelt különbség utalhat a városokra jellemző magasabb hőmérséklethez történő adaptációra, melyben a szintén városi fiókáknál megfigyelt, nagyobb csupasz testfelületek is szerepet játszhatnak a hatékonyabb hőleadás révén.

PUBLIKÁCIÓK

A disszertáció alapjául szolgáló közlemények:

1. Seress, G., **Sándor, K.,** Evans, K.L. & Liker, A. 2020. Food availability limits avian reproduction in the city: An experimental study on great tits *Parus major*. *J. Anim. Ecol.* 89: 1570–1580. DOI: https://doi.org/10.1111/1365-2656.13211
2. **Sándor, K., Liker, A., Sinkovics, C., Péter, Á. & Seress, G.** 2021. Urban nestlings have reduced number of feathers in Great Tits (*Parus major*). *Ibis.* 163: 1369–1378. DOI: https://doi.org/10.1111/ibi.12948
3. **Sándor, K.,** Seress, G., Sinkovics, Cs., Péter, Á., Liker, A. (2022) Differences in feather structure between urban and forest great tits: constraint or adaptation? *Journal of Avian Biology.* 2022:1-11. DOI: https://doi.org/10.1111/jav.02922

A disszertációhoz közvetlenül nem kapcsolódó publikációk:

1. Seress, G., **Sándor, K.,** Bukor, B., Hubai, K., Bókony, V., Liker, A. (manuscript). Tracking great tits using radio telemetry techniques - investigating territory use and offspring care in urban green areas.
2. **Sándor, K.,** Faragó, K, Skaf, J., Lőrincz, A., Miklósi, Á. (manuscript) Automated bird behaviour analysis on Great tit (Parus major) videos.
3. Pipoly, I., Preiszner, B., **Sándor, K**., Sinkovics, Cs., Vincze, E., Seress, G., Bókony, V., Liker, A. (2022) Extreme hot weather has

stronger impacts on avian reproduction in forests than in cities. *Frontiers in Ecology and Evolution* 10, 825410. DOI: https://doi.org/10.3389/fevo.2022.825410

4. **Sándor, K.,** Könnyű, B. & Miklósi, Á. (2021) Uncertainty in experts' judgments exposes the vulnerability of research reporting anecdotes on animals' cognitive abilities. *Scientific Reports* 11, 16255. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-021-95384-x

5. Seress, G., **Sándor, K.,** Vincze, E., Pipoly, I., Bukor, B., Ágh, N. & Liker, A. (2021) Contrasting effects of the COVID-19 lockdown on urban birds' reproductive success in two cities. *Scientific Reports* 11, 17649. DOI: https://doi.org/10.1038/s41598-021-96858-8

6. Vincze, E. Bókony, V., Garamszegi, L. Z., Seress, G., Pipoly, I., Sinkovics, Cs., **Sándor, K.** & Liker, A. (2021) Consistency and plasticity of risk-taking behaviour towards humans at the nest in urban and forest great tits, *Parus major*. *Animal Behaviour* 179: 161-172. DOI: https://doi.org/10.1016/j.anbehav.2021.06.032

7. Bukor, B., Seress, G., Pipoly, I., **Sándor, K.,** Sinkovics, Cs., Vincze, E., Liker, A. (2021) Double-brooding and annual breeding success of great tits in urban and forest habitats. *Current Zoology*. 68: 517-525. DOI: https://doi.org/10.1093/cz/zoab096

8. **Sándor, K.**, Miklósi, Á. (2020) How to report anecdotal observations? A new approach based on a lesson from "Puffin tool use". *Frontiers in Psychology*. 11:1-5. DOI: https://doi.org/10.3389/fpsyg.2020.555487

9. *Péter, Á., *Seress, G., **Sándor, K**., Klucsik, P. K., Vincze, E., Liker, A. (2020) The effect of artificial light at night on the biomass of caterpillars feeding in urban tree canopies. *Urban Ecosystems*, 23: 1311–1319. DOI: 0.1007/s11252-020-00999-z (* joint first authors)

10. Sinkovics, Cs., Seress, G., Fábián, V., **Sándor, K.**, Liker, A. (2018) Obtaining accurate measurements of the size and volume of insects in nestling diet from video-recordings. *Journal of Field Ornithology* 89: 165-172. DOI: 10.1111/jofo.12248

11. Pap, P. L., Osváth, G., **Sándor, K.**, Vincze, O., Bărbos, L., Marton, A., Nudds, R. L. and Vágási, C. I. (2015) Interspecific variation in the structural properties of flight feathers in birds indicates adaptation to flight requirements and habitat. *Functional Ecology* 29: 746–757. DOI: 10.1111/1365-2435.12419

IRODALOMJEGYZÉK

Arnfield, A.J. 2003. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. Int. J. Climatol. a J. R. Meteorol. Soc. 23: 1–26.

Conrey, R.Y., Skagen, S.K., Yackel Adams, A.A. & Panjabi, A.O. 2016. Extremes of heat, drought and precipitation depress reproductive performance in shortgrass prairie passerines. Ibis (Lond. 1859). 158: 614–629.

Fenoglio, M.S., Rossetti, M.R. & Videla, M. 2020. Negative effects of urbanization on terrestrial arthropod communities: A meta-analysis. Glob. Ecol. Biogeogr. 29: 1412–1429.

Isaksson, C. 2010. Pollution and its impact on wild animals: A meta-analysis on oxidative stress. Ecohealth 7: 342–350.

Jarrett, C., Powell, L.L., McDevitt, H., Helm, B. & Welch, A.J. 2020. Bitter fruits of hard labour: diet metabarcoding and telemetry reveal that urban songbirds travel further for lower-quality food. Oecologia 193: 377–388.

Jones, E.L. & Leather, S.R. 2012. Invertebrates in urban areas: A review. Eur. J. Entomol. 109: 463–478.

Meillère, A., Brischoux, F., Ribout, C. & Angelier, F. 2015. Traffic noise exposure affects telomere length in nestling house sparrows. Biol. Lett. 11: 20150559.

Merckx, T., Souffreau, C., Kaiser, A., Baardsen, L.F., Backeljau, T., Bonte, D., Brans, K.I., Cours, M., Dahirel, M., Debortoli, N., De Wolf, K., Engelen, J.M.T., Fontaneto, D., Gianuca, A.T., Govaert, L., Hendrickx, F., Higuti, J., Lens, L., Martens, K., Matheve, H., Matthysen, E., Piano, E., Sablon, R., Schön, I., Van Doninck, K., De Meester, L. & Van Dyck, H. 2018. Body-size shifts in aquatic and terrestrial urban communities. Nature 558: 113–116.

Narango, D.L., Tallamy, D.W. & Marra, P.P. 2018. Nonnative plants reduce population growth of an insectivorous bird. Proc. Natl. Acad. Sci. 115: 11549–11554.

New, T.R. 2015. Insect conservation and urban environments. Springer Cham.

Oke, T.R. 1982. The energetic basis of the urban heat island. Q. J. R. Meteorol. Soc. 108: 1–24.

Pipoly, I., Bókony, V., Seress, G., Szabó, K. & Liker, A. 2013. Effects of Extreme Weather on Reproductive Success in a Temperate-Breeding Songbird. PLoS One 8: e80033.

Rizwan, A.M., Dennis, Y.C.L. & Liu, C. 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. J. Environ. Sci. 20: 120–128.

Seress, G., Hammer, T., Bókony, V., Vincze, E., Preiszner, B., Pipoly, I., Sinkovics, C., Evans, K.L. & Liker, A. 2018. Impact of urbanization on abundance and phenology of caterpillars and consequences for breeding in an insectivorous bird. Ecol. Appl. 28: 1143–1156.

Seress, G., Sándor, K., Evans, K.L. & Liker, A. 2020. Food availability limits avian reproduction in the city: An experimental study on great tits Parus major. J. Anim. Ecol. 89: 1570–1580.

Vergnes, A., Viol, I. Le & Clergeau, P. 2012. Green corridors in urban landscapes affect the arthropod communities of domestic gardens. Biol. Conserv. 145: 171–178.