

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS

TÉZISFÜZET

**ÉLŐHELYI ÉS SZEZONÁLIS KÜLÖNBSÉGEK SZÉNCINEGE
(*PARUS MAJOR*) FIÓKÁK TÁPLÁLÉK-
ELLÁTOTTSÁGÁBAN**

Sinkovics Borsika Csenge
Kémiai és Környezettudományi Doktori Iskola

Témavezető:

Dr. Liker András

DSc, egyetemi tanár, Természettudományi Központ, Viselkedésökológiai
Kutatócsoport

Pannon Egyetem



Veszprém
2024

1. BEVEZETÉS

Jelenleg az emberiség több, mint fele városokban él (United Nations, Report 2022/11) és az urbanizáció mértéke a belátható jövőben is növekedni fog. A természetes élőhelyek városokká alakítása azonban a vadon élő állatok számára jelentős kihívást jelent a megváltozott környezeti feltételek miatt. A városi énekesmadarak (*Passeriformes*) például általában gyengébb költési sikert érnek el, mint természetes élőhelyeken élő fajtársaik, ami főképp a kisebb fészekaljméretben, a fiókák alacsonyabb tömegében és alacsonyabb túlélésében nyilvánul meg (Seress et al. 2018; Capilla-Lasheras et al. 2022). A táplálék-limitációs hipotézis szerint a városi élőhelyen a fiókák megfelelő fejlődéséhez szükséges jó minőségű rovar táplálék mennyisége nem elegendő, és ez vezet a szaporodási siker csökkenéséhez (Chamberlain et al. 2009; Seress and Liker 2015; Bailly et al. 2016). Számos rovarévó énekesmadár hernyóval táplálja fiókait (Perrins 1991; Krištín and Patočka 1997), ami több okból is előnyös. Egyrészt, a hernyó tápanyagdús táplálék, mivel magas a protein- és lipidtartalma (Ramsay and Houston 2003; Lease and Wolf 2011). Másrészt, a fiókák számára könnyen lenyelhető és emészthető táplálék, ami kulcsfontosságú, hiszen emésztési képességeik alacsonyabbak a felnőtt madarakhoz képest (Caviedes-Vidal and Karasov 2001). Harmadrészt, a hernyónak magas a karotinoidtartalma, amely vegyületek számos funkciót látnak el madarakban, például fontos antioxidánsok és a tollszínezet kialakításában is esszenciálisak (Blount et al. 2003). Negyedrészt pedig költési időszakban a hernyók könnyen elérhetőek és tömegesek (ezt az időszakot *hernyócsúcs*nak nevezzük). A hernyók költési időszakban való fontosságát az is mutatja, hogy sok vonuló madár a lokális hernyócsúcsához időzíti visszatérését a szaporodási helyre (Verboven et al. 2001) és az időzítés eltévesztése csökkent költési sikerhez vezet (Visser et al. 2004). Például egy korábbi tanulmány kimutatta, hogy azok a kormos légykapó (*Ficedula hypoleuca*) populációk, amelyek elmulasztották élőhelyükön a hernyócsúcsot, hosszútávon körülbelül 90%-kal csökkentek (Both et al. 2006). A táplálék-limitációs hipotézis további bizonyítéka, hogy egyes vizsgálatok bizonyos élőhelyeken (például örökzöld erdőkben, mezőgazdasági területeken) a csökkent hernyóbiomasszával párhuzamosan csökkent szaporodási sikert tapasztaltak (Bańbura et al. 1994).

Hernyómennyiség élőhelyi és szezonális változása

Az urbanizációval együtt járó folyamatok (pl. megváltozott, egzotikus növényzet, eltérő klimatikus viszonyok, szennyezések) gyökeresen megváltoztatják a városi ízeltlábú közösségeket. Habár a rovarok urbanizációra adott reakciója közel sem egységes, egy globális metaanalízis feltárta, hogy a szárazföldi rovarközösségek kevésbé változatosak és bőségesek az urbanizáció növekedésével, és hogy ezen belül a lepkék (*Lepidoptera*) az egyik legveszélyeztetett csoport (Fenoglio et al. 2020). A városi hernyók mennyiségének csökkenését a természetes élőhelyekhez képest több hosszútávú vizsgálat is alátámasztja, azonban a különbség mértéke gyakran éves változást mutat (Pollock et al. 2017; Nadolski et al. 2021). Például azokon az erdei és városi helyszíneken, ahol a doktori kutatásaimat végeztem, az évek során a hernyóbiomassza alábbi élőhelyi jellemzőit tapasztaltuk. Egyrészt, a hernyóbiomassza szignifikánsan alacsonyabb volt városi élőhelyen az erdei élőhelyhez képest (8,5-24-szeres különbség; Seress et al. 2018). Másrészt, az erdei élőhelyeket egy markáns hernyócsúcs jellemezte az első költések idején, majd utána a biomassza erősen csökkent a költési időszak végéig (Seress et al. 2018). Habár a városi élőhelyeken szintén megfigyeltük a hernyók mennyiségének szezonális csökkenését, azonban nem minden évben és/vagy helyen, illetve az erdei markáns hernyócsúccsal ellentétben a városi fák több kisebb hernyócsúcsot mutattak a költési időszak során (Seress et al. 2018). A fenti eredmények alapján és a táplálék-limitációs hipotézisnek megfelelően a hernyók városi környezetben megfigyelhető csökkent elérhetősége és eltérő szezonális dinamikája valószínűleg negatív hatással van a fiókák fejlődésére és sikerére.

Urbanizáció hatása a fiókatáplálékra

Ahogy a fentiekből is látszik, a környezetben található hernyók mennyisége és a rovarévő madarak költési sikere közötti kapcsolat intenzíven kutatott terület, azonban a fiókák étrendjét (a fiókák által ténylegesen elfogyasztott táplálékot) ezidáig kevésbé vizsgálták urbanizációs kontextusban. Továbbá, a korábbi vizsgálatok gyakran a fiókák táplálékának csak egyik aspektusára korlátozódtak (mennyiség vagy összetétel), annak ellenére, hogy az utódok fejlődése szempontjából mindkettő egyformán fontos. A fiókák számára nyilvánvalóan szükséges a megfelelő mennyiségű táplálék, mivel jelentős mennyiségű energiát és tápanyagot igényelnek testszövetek, tollaik, szerveik fejlődéséhez. Emellett a megfelelő minőségű táplálék éppolyan szükséges, mivel az alapvető tápanyagok hiánya alultápláltsághoz, megváltozott

tollazati tulajdonságokhoz vezethet, illetve oxidatív stresszt is indukálhat a fiókákban (Heiss et al. 2009; Eeva et al. 2010; Bernat-Ponce et al. 2023). Számos módszer létezik a fiókatáplálék vizsgálatára, például a távcsővel való direkt megfigyelés (Seress et al. 2012), a fiókák vérparamétereinek/ürülékének elemzése (Orłowski et al. 2015; Kaliński et al. 2019), és minden technológiának megvan a maga előnye / hátránya. Doktori kutatásom során a fiókatáplálék videóról történő azonosítását alkalmaztam, amely lehetővé teszi, hogy egyidejűleg vizsgáljam a szülők etetési aktivitását és a fiókáknak hordott táplálék mennyiségi és minőségi jellemzőit.

Amellett, hogy eddig viszonylag kevés tanulmány vizsgálta egyidejűleg a fiókák táplálékának összetételét és mennyiségét az urbanizációval összefüggésben, a korábbi vizsgálatok többnyire csak egy-két költési időszakot fedtek le, annak ellenére, hogy a hernyóbiomasszában éves különbségek lehetnek a városi és természetes élőhelyek között (Seress et al. 2018; Nadolski et al. 2021). Továbbá a korábbi vizsgálatok általában kizárólagosan az első költésekre fókuszáltak, csak hogy számos rovarévő madárfaj egy szezonon belül többször is költ mind városi, mind természetes élőhelyen. Mivel a hernyócsúcs viszonylag rövid ideig tart, elképzelhető, hogy a másodköltésben kelt fiókák táplálékhiányos környezetben fejlődnek, ami alultápláltsághoz vezethet.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Doktori tanulmányaim során általános célom az volt, hogy a szülők fiókaetetési viselkedésének vizsgálatával jobban megértsem a fiókatáplálék szerepét a széncinegék szaporodási sikerében.

Az alábbi kérdésekre kerestem a választ:

- 1.) Mennyire pontosak és ismételhetők a videofelvételekről gyűjtött táplálék méretadatok?
- 2.) Különbözik-e erdei és városi széncinege populációkban a fiókák táplálékának összetétele illetve mennyisége?
- 3.) Van-e szezonális (első- és másodköltések közötti) különbség erdei és városi széncinege populációkban a fiókák táplálékának összetételében illetve mennyiségében? Különbözik-e ezen populációkban az első- és másodköltések szaporodási sikere?

3. MÓDSZEREK

Általános vizsgálati rendszer

A vizsgálatok modellfaja a rovarrevő széncinege (*Parus major*) volt, amely gyakran költ városban és erdőben egyaránt, illetve előszeretettel elfoglalja a mesterséges odúkat. A terepi vizsgálatokat két városi (Veszprém, Balatonfüred) és két erdei (Vilma-puszta, Szentgál) helyszínen végeztük három egymást követő évben (2014, 2015, 2016). A fészekodúk 3-4 naponta történő ellenőrzése során meghatároztuk a fészkekben lévő tojások számát, a fiókák kelési idejét, illetve a fiókák 8-12 napos kora között 60 perces videófelvételeket rögzítettünk a szülők etetési viselkedéséről az odúra helyezett minikamera segítségével (GoPRO Hero 2 és 3). A kamerát egy fekete virágcserepbe helyeztük az odún kívül, a bejárat nyílástól körülbelül 15 cm-re. Ezek a műanyag cserepek álcaként szolgáltak és a mesterséges odúink állandó tartozékai, így a madarak nem félnek tőle (Seress et al. 2017). Korábbi tanulmányok azt mutatták, hogy a 60 perces időintervallum alkalmas a fiókatáplálék jellemzésére (Pagani-Núñez and Senar 2013) illetve a párok közötti különbségek is detektálhatók (Murphy et al. 2015). Minden videófelvétel előtt megszámloltuk a fészkekben lévő fiókák számát, ezenkívül feljegyeztük a felvétel idejét és az aktuális hőmérsékletet is. A kamera felhelyezése után elhagytuk a fészek környezetét, hogy ne zavarjuk a madarakat természetes viselkedésükben. A szülőket a felvétel utáni napokban az odúnál megfogtuk, számozott alumínium gyűrűvel és egyedi színesgyűrű-kombinációval megjelöltük, meghatároztuk az ivarukat és a korukat a tollazati bélyegek alapján (Svensson 1992), valamint lemértük a testparamétereiket (szárny-és csüd hossz, tömeg). A fiókákat szintén számozott alumínium gyűrűvel gyűrűztük körülbelül egy héttel a kirepülés előtt (azaz 14-17 nappal a kikelés után) és ugyanazzal a módszerrel mértük meg őket, mint a felnőtt madarakat. A szülők és fiókák gyűrűzése minden esetben az etetési videók után történtek, mivel korábbi vizsgálataink kimutatták, hogy ezek a folyamatok befolyásolhatják a szülők viselkedését (Seress et al. 2017). A fiókák gyűrűzése után az odúkat nem ellenőriztük, hogy elkerüljük a fiókák korai kirepülésének veszélyét. Nem sokkal a várható kirepülési nap után (kb. 22 nappal az első fióka kikelése után) kiürítettük az odúkat, és feljegyeztük a gyűrűzés és a kirepülés között elpusztult fiókák számát.

Mérési módszer validálása (1. kérdés)

Bár a videofelvételek elemzése széles körben elterjedt módszer a fiókatáplálék összetételének és mennyiségének meghatározásához, annak pontosságát és ismételhetőségét korábban még

nem vizsgálták. Ezen tulajdonságok kulcsfontosságúak a mérések összehasonlíthatóságának és megbízható elemzésének biztosításához különösen akkor, ha egynél több személy vesz részt az adatok feldolgozásában. A videófelvetelekről történő mérés során pillanatképet készítettünk a szülők által hozott prédáról abban a pillanatban, amikor a szülő az odú nyílása előtt állt, mivel azt használtuk méretreferenciának (minden odú esetében 32 mm a nyílás valós mérete). A méréseket az ImageJ nevű programmal végeztük, aminek során meghatároztuk a préda valós szélességét és valós hosszát (az odúnyílást használva méretreferenciaként), majd ebből kiszámoltuk a préda térfogatát (henger képlete alapján; Slagsvold and Wiebe 2007). A videóról történő mérési módszer validálását kétféle módon közelítettük meg. Egyrészt vizsgáltuk a mérés pontosságát, azaz, hogy a videóról történő mérés mennyire tükrözi a valóságot. Ehhez 40 db gyurmahernyót formáztunk majd hasonlítottuk össze a képernyőn mért méreteit a tolmérővel mért (valós) méreteivel. A másik megközelítés esetében a mérések ismételhetőségét vizsgáltuk, aminek során a résztvevők terepi videókról 40 db kiválasztott prédát mértek le a képernyőn. A személyen belüli ismételhetőség esetében egy személy mérte ugyanazt a prédát kétszer, míg a személyek közötti ismételhetőség esetében három személy mérte ugyanazt a prédát egyszer.

Fiókatáplálék élőhelyi különbsége (2. kérdés)

A korábban említett táplálék-limitációs hipotézis szerint a városi rovarévó énekesmadarak csökkent szaporodási sikerének fő mozgatórugója a jó minőségű fiókatáplálék (hernyó) hiánya. Ahhoz, hogy ezt vizsgálni tudjuk 60 perces videófelveleteket készítettünk a széncinege párok fiókaetetési viselkedéséről városi és erdei élőhelyeken (összesen 153 fészekalj, első költés). Három évből gyűjtöttünk adatokat (2014 2015, 2016), amely években a hernyó biomassza és a széncinegék szaporodási sikere kisebb-nagyobb élőhelyi különbséget mutatott (Seress et al. 2018). A videófelveletek elemzése során minden etetési eseménynél kategorizáltuk a szülők által hordott *táplálék típusát* (hernyó, más ízeltlábú, egyéb) illetve lemértük annak szélességét illetve hosszát a képernyőfotókról, mely adatokból térfogatot számoltunk (mm^3). A táplálék méretadatokból kiszámoltuk minden fészekhez *az egy etetésre jutó átlagos prédaterfogatot* (mm^3), illetve *az egy fiókára jutó prédaterfogatot* (egy óra alatt egy fióka mennyi táplálékot kap; (mm^3)). Emellett minden fészeknél feljegyeztük *az etetésszámot* (hányszor etetnek a szülők az egy óra leforgása alatt) és ebből kiszámoltuk *az etetési rátát* (egy fiókára eső etetésszám). Végül a szülők által hordott *hernyók térfogatát* (mm^3) külön is megvizsgáltuk,

mivel korábbi kutatások azt mutatták, hogy a nagy méretű hernyóknak különösen fontos szerepe lehet a fiókák fejlődése szempontjából (Schwagmeyer and Mock 2008).

Fiókatáplálás szezonális különbsége (3. kérdés)

Az évente többször költő énekesmadarakra jellemző, hogy a szezon során később kezdődő költések sikere alulmarad az első kötésekhez képest. Ennek egyik magyarázata szintén a táplálás-limitációs hipotézis, miszerint a csökkent szaporodási siker oka a hernyótáplálás szezonális csökkenése. Korábbi eredményeink szerint erdőben és városban különböző mértékben ugyan, de a költés előrehaladtával csökken a hernyómennyiség, bár városban ez kevésbé markánsan jelent meg (Seress et al. 2018). Ezek alapján ebben a vizsgálatban arra voltunk kíváncsiak, hogy a fiókatáplálás és a költési siker különbözik-e az első és a másodköltések között, amihez olyan széncinege párokat vizsgáltunk, akik az adott költési szezonban együtt maradtak (10 erdei, 22 városi pár). A fiókatáplálás vizsgálatához a korábbiakhoz hasonlóan a fiókák 8-12 napos korában 60 perces videófelveteleket készítettünk a szülők etetési viselkedéséről és meghatároztuk a hordott táplálás *típusát* (hernyó, más ízeltlábú, egyéb), illetve térfogatát (mm^3) a korábban említett módszer segítségével. A táplálás méretadataiból kiszámoltuk minden fészekhez az *az egy etetésre jutó átlagos prédátérfogatot* (mm^3), illetve minden fészekhez feljegyeztük az *etetési rátát* (egy fiókára eső etetésszám). A *hernyótérfogat* (mm^3) szezonális változása szintén egy külön vizsgálati kérdés volt a nagy méretű hernyók korábban említett jelentősége miatt (Schwagmeyer and Mock 2008). Az első és másodköltések szaporodási sikerét három tényezővel jellemeztük: a *fiókák számával* (a potenciálisan kikelt fiókák maximális száma), a fiókák gyűrűzéskori *tömegével* illetve a fiókák *túlélésével*, ami a fészekben kikelt és gyűrűzött fiókák arányát jelentette.

4. EREDMÉNYEK TÉZISPONTOKBAN

1. kérdés: Validáltam egy olyan, gyakran használt mérési módszert, amely a fiókák táplálékának mennyiségi meghatározására szolgál. Kísérletileg igazoltam, hogy a hernyók hosszának és szélességének képernyőn történő mérése pontos, torzítatlan és nagymértékben megismételhető adatokat szolgáltat a valós méretparamétereikről. Kimutattam továbbá, hogy az odú bejárati nyílásának átmérője megfelelően használható méretreferenciának, illetve meggyőződtem arról is, hogy a mérések több megfigyelő esetében is jól ismételhetőek, ha a megfigyelők rendelkezésére áll a mérési protokoll pontos leírása.

2. kérdés: Abban a két évben, amikor a városi élőhelyeken jelentősen kevesebb környezeti hernyóbiomasszát és gyengébb szaporodási sikert figyeltünk meg, azt tapasztaltam, hogy az egy fiókára eső táplálék mennyisége nem különbözött az élőhelyek közt. Ez annak köszönhető, hogy habár a városi szülők kisebb zsákmányt hordtak fiókáiknak az erdei fajtársaikhoz képest, egy fiókát relatíve gyakrabban etettek a szülők. Emellett ebben a két évben a városi fiókák étrendje nagyobb részben tartalmazott nem-ízeltlábú táplálékot a hernyók helyett. Ezzel szemben abban az évben, amikor a fákon élő hernyók biomasszájában és a szécinegék szaporodási sikerében nem volt jelentős élőhely különbség, a fiókatáplálékban is kisebb élőhelyi különbséget találtam. Ebben az évben a városi szécinegék képesek voltak kompenzálni a hernyók hiányát azzal, hogy más ízeltlábúakat hordtak fiókáiknak, illetve a zsákmányolt hernyók mérete több, mint kétszer nagyobb volt a többi évhez képest.

3. kérdés: Erdei élőhelyeken nem tapasztaltam szezonális különbséget a fiókák étrendjében (azaz a fiókák hasonló mennyiségű és összetételű táplálékot kaptak első és másodköltések során), valamint testtömegük és túlélésük sem különbözött a költések közt. Mivel az erdei szülők kevesebb fiókát neveltek a másodköltések során, ezek az eredmények arra utalnak, hogy a szülők a fészekaljméretet hozzá tudták igazítani a hernyók szezonális változásához, így képesek voltak felnevelni közel az összes fiókát. Ezzel szemben a városi élőhelyen azt tapasztaltam, hogy a szülők hajlamosak voltak kevesebb hernyót hordani fiókáiknak másodköltések során és a fiókáik túlélése is alulmaradt az első költésekhez képest. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy a városi szülők nem tudják megfelelően hozzáigazítani fészekaljméretüket a hernyók szezonálisan csökkenő mennyiségéhez.

Összegzés: Mindkét terepi vizsgálat alátámasztotta a táplálék-limitáció hipotézist, tehát valószínűleg a jó minőségű táplálék (hernyók) korlátozott elérhetősége az egyik fő mozgatórugója a vizsgált városi szécinegepopulációk alacsonyabb szaporodási sikerének.

Eredményeink azonban arra is utalnak, hogy olykor jobb évet is ki lehet fogni városban, azaz amikor a városi szülők nagy hernyóval és relatíve több ízeltlábúval etethetik fiókáikat, és így nagyobb szaporodási sikert érhetnek el. Az eredmények továbbá azt is hangsúlyozzák, hogy hosszú távú, robusztus mintaszámmal rendelkező vizsgálatokra van szükség ahhoz, hogy teljes mértékben megértsük a környezeti tényezők évenkénti változásának következményeit.

5. PUBLIKÁCIÓK

A disszertáció alapjául szolgáló közlemények:

1. **Sinkovics, C.**, Seress, G., Fábrián, V., Sándor, K. & Liker, A. (2018): Obtaining accurate measurements of the size and volume of insects fed to nestlings from video recordings. *Journal of Field Ornithology* 89(2): 165-172; IF: 1.33
2. **Sinkovics, C.**, Seress, G., Pipoly, I., Vincze, E. & Liker, A. (2021): Great tits feed their nestlings with more but smaller prey items and fewer caterpillars in cities than in forests. *Scientific Reports* 11: 24161; IF: 4.6
3. **Sinkovics, C.**, Seress, G., Pipoly, I., Vincze, E. & Liker, A. (2023): Comparison of nestling food between first and second broods of great tits in urban and forest habitats. *Animal Biodiversity and Conservation* 46.2: 199-212; IF: 1.069

A disszertációhoz közvetlenül nem kapcsolódó publikációk:

1. Pipoly, I., Preiszner, B., Sándor, K., **Sinkovics, C.**, Seress, G., Vincze, E., 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; IF: 4.496
2. Sándor, K., Seress, G., **Sinkovics, C.**, Péter, Á., Liker, A. 2022. Differences in feather structure between urban and forest great tits: constraint or adaptation? *Journal of Avian Biology*, DOI: 10.1111/jav.02922; IF: 2.248
3. Bukor, B., Seress, G., Pipoly, I., Sándor, K., **Sinkovics, C.**, Vincze, E., Liker, A. 2022. Double-brooding and annual breeding success of Great Tits (*Parus major*) in urban and forest habitats *Current Zoology*, 68(5), DOI: 10.1093/cz/zoab096; IF: 2.734
4. Vincze, E., Bókony, V., Garamszegi, L. Z., Seress, G., Pipoly, I., **Sinkovics, C.**, Sándor, K., Liker, A. 2021. Consistency and plasticity of risk-taking behaviour toward humans at the nest in urban and forest great tits *Parus major*. *Animal Behaviour*, 179(18):161-172; IF: 3.041
5. 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(4):1369-1378; IF: 2.351
6. Seress, G., Hammer, T., Bókony, V., Vincze, E., Preiszner, B., Pipoly, I., **Sinkovics, C.**, Evans, K. & Liker, A. 2018. Impact of urbanization on abundance and phenology of caterpillars and consequences for breeding in an insectivorous bird. *Ecological Applications*, 28(5):1143-1156. IF: 6.105

6. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Először is szeretném külön köszönetemet kifejezni témavezetőmnek, **Prof. Liker Andrásnak** mindazért a támogatásért, mentorálásért és tudományos ismeretekért, amelyeket doktori tanulmányaim során kaptam tőle. Rendkívül hálás vagyok pozitív hozzáállásáért, türelméért, valamint azért a lelkesedésért és bátorításért is, amelyet mindig tanúsított az ötleteim iránt. Dolgozatom nem jöhetett volna létre a **Viselkedésökológiai Kutatócsoport** munkatársainak segítségével nélkül. Továbbá nagyon hálás vagyok **Családomnak**, akik végig támogattak ezen az úton. Végül, de nem utolsósorban, köszönöm a **Természetnek és minden odúlakónak**. Mivel mindig is elkötelezett voltam a természet és az élővilág megőrzése mellett, remélem, hogy kutatási eredményeim hozzájárulnak egy élővilágbarát városi környezet kialakításához. Doktori tanulmányom utolsó évében pedig állami ösztöndíjban részesültem (ÚNKP-18-3-I-PE-34 Emberi Erőforrások Minisztériuma, Új Nemzeti Kiválóság Program).

7. IRODALOMJEGYZÉK

- BAILLY, J., R. SCHEIFLER, S. BERTHE, V.-A. CLÉMENT-DEMANGE, M. LEBLOND, B. PASTEUR and B. FAIVRE. 2016. From eggs to fledging: negative impact of urban habitat on reproduction in two tit species. *Journal of Ornithology* 157: 377–392. Springer Berlin Heidelberg.
- BAÑBURA, J., J. BLONDEL, H. DE WILDE-LAMBRECHTS, M.-J. GALAN and M. MAISTRE. 1994. Nestling diet variation in an insular Mediterranean population of blue tits *Parus caeruleus*: effects of years, territories and individuals. *Oecologia* 100: 413–420.
- BERNAT-PONCE, E., J.A. GIL-DELGADO, J. V. GUARDIOLA and G.M. LÓPEZ-IBORRA. 2023. Eating in the city: Experimental effect of anthropogenic food resources on the body condition, nutritional status, and oxidative stress of an urban bioindicator passerine. *Journal of Experimental Zoology A Ecological and Integrative Physiology*.
- BLOUNT, J.D., N.B. METCALFE, T.R. BIRKHEAD and P.F. SURAI. 2003. Carotenoid modulation of immune function and sexual attractiveness in zebra finches. *Science* 300: 125–127.
- BOTH, C., S. BOUWHUIS, C.M. LESSELLS and M.E. VISSER. 2006. Climate change and population declines in a long-distance migratory bird. *Nature* 441: 81–83.
- CAPILLA-LASHERAS, P., M.J. THOMPSON, A. SÁNCHEZ-TÓJAR, Y. HADDOU, C.J. BRANSTON, D. RÉALE, ET AL. 2022. A global meta-analysis reveals higher variation in breeding phenology in urban birds than in their non-urban neighbours. *Ecology Letters* 25: 2552–2570.
- CAVIEDES-VIDAL, E. and W.H. KARASOV. 2001. Developmental changes in digestive physiology of nestling house sparrows, *Passer domesticus*. *Physiological and*

Biochemical Zoology 74: 769–782.

- CHAMBERLAIN, D.E., A.R. CANNON, M.P. TOMS, D.I. LEECH, B.J. HATCHWELL and K.J. GASTON. 2009. Avian productivity in urban landscapes: A review and meta-analysis. *Ibis* 151: 1–18.
- EEVA, T., K. RAINIO and O. SUOMINEN [online]. 2010. Effects of pollution on land snail abundance, size and diversity as resources for pied flycatcher, *Ficedula hypoleuca*. *Science of the Total Environment* 408: 4165–4169. Elsevier B.V.
- HEISS, R.S., A.B. CLARK and K.J. MCGOWAN. 2009. Growth and nutritional state of American Crow nestlings vary between urban and rural habitats. *Ecological Applications* 19: 829–839.
- KALIŃSKI, A., M. BAŃBURA, M. GLĄDALSKI, M. MARKOWSKI, J. SKWARSKA, J. WAWRZYŃIAK, ET AL. 2019. Physiological condition of nestling great tits (*Parus major*) declines with the date of brood initiation: a long term study of first clutches. *Scientific Reports* 9. Nature Publishing Group.
- KRIŠTÍN, A. and J. PATOČKA. 1997. Birds as predators of Lepidoptera: Selected examples. *Biologia* 52: 319–326.
- LEASE, H.M. and B.O. WOLF. 2011. Lipid content of terrestrial arthropods in relation to body size, phylogeny, ontogeny and sex. *Physiological Entomology* 36: 29–38.
- MURPHY, M.T., C.M. CHUTTER and L.J. REDMOND. 2015. Quantification of avian parental behavior: What are the minimum necessary sample times? *Journal of Field Ornithology* 86: 41–50.
- NADOLSKI, J., B. MARCINIAK, B. LOGA, M. MICHALSKI and J. BAŃBURA. 2021. Long-term variation in the timing and height of annual peak abundance of caterpillars in tree canopies: Some effects on a breeding songbird. *Ecological Indicators* 121.
- NATIONS, U. [online]. 2022. The Sustainable Development Goals Report 2022.
- ORŁOWSKI, G., A. WUCZYŃSKI and J. KARG. 2015. Effect of Brood Age on Nestling Diet and Prey Composition in a Hedgerow Specialist Bird, the Barred Warbler *Sylvia nisoria*. *PLoS ONE* 10 (6): e0131100.
- PAGANI-NÚÑEZ, E. and J.C. SENAR [online]. 2013. One hour of sampling is enough: great tit *Parus major* parents feed their nestlings consistently across time. *Acta Ornithologica* 48: 194–200.
- PERRINS, C.M. 1991. Tits and their caterpillar food supply. *Ibis* 133: 49–54.
- POLLOCK, C.J., P. CAPILLA-LASHERAS, R.A.R. MCGILL, B. HELM and D.M. DOMINONI [online]. 2017. Integrated behavioural and stable isotope data reveal altered diet linked to low breeding success in urban-dwelling blue tits (*Cyanistes caeruleus*). *Scientific Reports* 7: 5014. Springer US.
- RAMSAY, S.L. and D.C. HOUSTON. 2003. Amino acid composition of some woodland arthropods and its implications for breeding tits and other passerines. *Ibis*: 227–232.
- SCHWAGMEYER, P.L. and D.W. MOCK. 2008. Parental provisioning and offspring fitness: size matters. *Animal Behaviour* 75: 291–298.
- SERESS, G., V. BÓKONYI, I. PIPOLY, T. SZÉP, K. NAGY and A. LIKER. 2012. Urbanization,

nestling growth and reproductive success in a moderately declining house sparrow population. *Journal of Avian Biology* 43: 403–414.

SERESS, G., T. HAMMER, V. BÓKONY, E. VINCZE, B. PREISZNER, I. PIPOLY, ET AL. 2018. Impact of urbanization on abundance and phenology of caterpillars and consequences for breeding in an insectivorous bird. *Ecological Applications* 28: 1143–1156.

SERESS, G. and A. LIKER. 2015. Habitat urbanization and its effects on birds. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungaricae* 61: 373–408.

SERESS, G., E. VINCZE, I. PIPOLY, T. HAMMER, S. PAPP, B. PREISZNER, ET AL. 2017. Effects of capture and video-recording on the behavior and breeding success of Great Tits in urban and forest habitats. *Journal of Field Ornithology* 88: 299–312.

SLAGSVOLD, T. and K.L. WIEBE. 2007. Hatching asynchrony and early nestling mortality: the feeding constraint hypothesis. *Animal Behaviour* 73: 691–700.

SVENSSON, L. 1992. *Parus major*. In *Identification Guide to European Passerines* p. 252, 4th edition. British Trust for Ornithology, Stockholm.

VERBOVEN, N., J.M. TINBERGEN and S. VERHULST. 2001. Food, reproductive success and multiple breeding in the great tit *Parus major*. *Ardea* 89: 387–406.

VISSER, M.E., C. BOTH and M.M. LAMBRECHTS. 2004. Global Climate Change Leads to Mismatched Avian Reproduction. *Advances in Ecological Research* 35: 89–110.