

Doktori (PhD) értekezés tézisei

**AZ EMBER ÁLTALI MAGTERJESZTÉS ÖKOLÓGIAI
JELENTŐSÉGE ÉS A RUHÁZAT SZEREPE A NÖVÉNYI MAGVAK
TERJESZTÉSÉBEN**

Lukács Katalin

Témavezető
Prof. Dr. Valkó Orsolya
tudományos tanácsadó



DEBRECENI EGYETEM
Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
Debrecen, 2024

Bevezetés

Az intenzív tájhasználatnak és az egyre inkább globális léptéket öltő kereskedelemnek, közlekedésnek és turizmusnak köszönhetően manapság az ember a növényi diasporák távolsági terjesztésének egyik leghatékonyabb vektora (Bullock és mtsai. 2018). Hatékonyságának kulcsa abban rejlik, hogy egyedül az ember képes rövid idő alatt hatalmas távolságokra eljutni. Ezen képességének köszönhetően olyan területeket köt össze, amelyek közt másképp nem lenne kapcsolat (Bullock & Pufal 2020; Valkó és mtsai. 2020).

Az emberi közvetítéssel végbemenő magterjedés folyamatának két alapvető típusa ismert: a szándékos terjesztés (pl. mezőgazdaság, kertészet és természetvédelmi célú áttelepítések), valamint a véletlen (pl. járművek és ruházat általi) terjesztés (Bullock és mtsai. 2018). Mivel számos inváziós faj terjedéséhez az ember akaratlanul is hozzájárul, egyre nagyobb figyelem irányul a véletlen terjesztési formákra is (Lukács & Valkó 2018, 2021; Montagnani és mtsai. 2022). A folyamat különösen veszélyes az inváziós fajok terjedése szempontjából, mert nagy geográfiai ugrásokat tehet lehetővé, és olyan unikális élővilággal rendelkező élőhelyeket is veszélyeztethet, melyek népszerű turisztikai célpontok. Számos ilyen területet a kereskedelem és az infrastrukturális fejlődés még kevésbé érint, viszont az utazók közvetítésével fokozott inváziós veszélynek lehetnek kitéve (Pauchard és mtsai. 2009; Valkó és mtsai. 2020).

A ruházat által történő magterjesztésre a XX. század közepétől figyeltek fel a kutatók és eddig közel 500 növényfaj diasporájáról bizonyították, hogy képes epianthropochor módon is a terjedésre. Ezen fajok többnyire gyom- és inváziós fajok, amelyek súlyos természetvédelmi károkat okoznak különösen az olyan elszigetelt régiókban, mint az Antarktisz és Ausztrália (Ansong & Pickering 2014a). A jövőbeli kutatások valószínűleg további fajok esetében is bizonyítékot szolgáltatnak arra vonatkozóan, hogy képesek epianthropochor módon is a térhódításra. Különösen azokból a régiókból várható a lista bővítése, ahol elenyésző információ áll rendelkezésre, mint például: Afrika, Ázsia, Dél-Amerika és Európa számos területe (Mount & Pickering 2009; Lukács és mtsai. 2024). A ruházattal történő diasporaterjedés kockázatait tekintve, elengedhetetlen az epianthropochoria átfogó vizsgálata a hatékony stratégiák kidolgozása érdekében.

Célok

Doktori értekezésemben az ember magterjesztésben betöltött szerepét és a folyamat ökológiai jelentőségét értékelttem három, egymásra épülő vizsgálatban.

1. Az epianthropochoriát befolyásoló környezeti tényezők, vektor jellemzők és növényi jellegek

Egy nagy ismétlésszámú, önkéntesek bevonásával végzett terepi kísérletben azt vizsgáltuk, hogy (1), mely további növényfajok diasporái képesek a ruházattal és lábbelivel a terjedésre, (2) valamint megvizsgáltuk a terjedést befolyásoló táji- és vektor jellemzőket és növényi jellegeket.

2. A mosógépi mosás hatása a növényi magvak csírázására

A komplex vizsgálatsorozat célja volt (1) a mosógépi mosás hatásának vizsgálata az epianthropochoriával terjedő diasporák csírázására, valamint a diasporák tapadási sikerének tesztelése három különböző szövettípuson (polár, farmer és pamut) a mosás előtt (2) és után (3).

3. Magterjedés az emberi ruházaton: megelőzési és védekezési lehetőségek

Célunk a diasporák ruházaton való terjedésének megelőzésére és a jelenség elleni védekezésre irányuló lehetőségek áttekintése és összegzése volt. Az összegzés mellett célunk volt olyan ajánlások megfogalmazása, amelyek útmutatásul szolgálhatnak a jövőbeli irányelvekhez és kutatásokhoz.

1. vizsgálat: Az epianthropochoriát befolyásoló környezeti tényezők, vektor jellemzők és növényi jelek

Bevezetés és célkitűzések

Európában az utóbbi húsz évben mindössze három tanulmány vizsgálta a ruházattal történő magterjesztést. A vizsgálatok eredményei arra utalnak, hogy az epianthropochoria egy komplex folyamat, mely lehetővé teszi a gyom- és inváziós fajok mellett az akár ritka fajok terjedését is (Wichmann és mtsai. 2009; Ware és mtsai. 2012; Auffret & Cousins 2013). Mivel az epianthropochoriában sokféle ember vesz részt, fontos lenne megismerni az emberi tényezők (például emberi viselkedés, ruházat, szabadtéri tevékenység típusa) szerepét a jelenséggel kapcsolatban. Ezen információk hozzájárulhatnak a ruházat általi magterjesztés kiváltó okainak és ökológiai következményeinek pontosabb megismeréséhez.

Módszerek

A vizsgálatot 2019 júniusa és 2020 októbere között végeztük Magyarország, Románia és Csehország területén. Összesen 88 önkéntessel dolgoztunk együtt, akik részben terepbiológusok voltak, részben pedig civilek. A mintagyűjtés során az önkéntesekkel közösen szabadtéri programon vettünk részt (terepi felmérések, kirándulás, összesen 39 mintavételi alkalom). Minden résztvevő az általunk biztosított kevert szálak zoknit viselte, amit a vizsgálat végén papírzacskóba helyeztek. A vizsgálat ideje alatt összesen 251 mintát gyűjtöttünk, amely 2008 részmintából állt (egy minta nyolc részből tevődött össze: jobb és bal zokniról könnyen lepotyogó (feltehetően rövid távon terjedők), jobb és bal zoknihoz erőteljesen tapadók (feltehetőleg hosszú távon terjedők), jobb cipő külső és belső, valamint bal cipő külső és belső).

A mintagyűjtés végén minden résztvevővel egy kérdőívet töltettünk ki, amelyben az epianthropochoriával kapcsolatos korábbi tapasztalataikról kérdeztük, valamint további információkat gyűjtöttünk a vizsgálatához. A mintavétel során feljegyeztük a meglátogatott élőhelyek típusát, a megtett távolságot, az önkéntesek ruházatának és cipőjének típusát, valamint a bejárt területen előforduló, adott időpontban természetben levő növényfajok listáját.

A mintavétel után eltávolítottuk a zoknikról a diasporákat, majd meghatároztuk és megszámláltuk őket. A határozásban a meghatározót

(Schermann 1967), a gyűjtés során írt fajlistát és a Debreceni Egyetem magreferenciagyűjteményét (Török és mtsai. 2013, 2016) használtuk. Azokat a diasporákat, amelyeket nem tudunk morfológiai bélyegek alapján meghatározni üvegházi körülmények között csíráztattuk 2021 márciusától novemberéig.

Eredmények és megvitatásuk

A vizsgálat során a 251 mintából összesen 229 növényfaj 35 935 diasporáját azonosítottuk, melyből 137 faj esetében először jeleztük a ruházattal történő terjedését. Az eddig ismert fajokhoz képest az általunk újonnan regisztrált fajsza kb. 28%-os kiegészítést jelent (Ansong & Pickering 2014a; Huiskes és mtsai. 2014). Ez a viszonylag magas fajsza összefügg azzal a ténnyel, hogy Közép-Európában korábban nem végeztek hasonló vizsgálatokat.

A fajok szociális magatartás típusát (SzMT, Borhidi 1995) tekintve, összesen 6 tájidegen agresszív kompetítor fajt (AC), 10 honos ruderalis kompetítort (RC), 3 behurcolt gyomot (A), 2 kivadult haszonnövényt (I), 46 honos gyomfajt (W), 64 zavarástűrő fajt (DT), 14 természetes pionírt (NP), 53 generalista stressz-tűrőt (G), 23 természetes kompetítort (C) és 8 specialista stressz-tűrő (S) fajt azonosítottunk. A diasporák többsége gyom és zavarástű fajok voltak (110 faj), mely részben azzal magyarázható, hogy ezek az r-stratégista fajok gyakoribb előfordulásúak és nagyobb a diasporahozamuk, míg a specialista fajok szűkebb elterjedésűek és általában kisebb maghozam jellemzi őket.

Megállapítottuk, hogy a gyepi élőhelyek jelenléte erőteljesen befolyásolja a zoknira és cipőre tapadt diasporák mennyiségét és fajszaát. Továbbá kimutattuk, hogy a tevékenység típusa is fontos szerepet tölt be a folyamatban. A terepbiológusok szignifikánsan több diasporát terjesztenek, mint azok, akik csupán szabadidős tevékenységet folytatnak. Ezek az eredmények összhangban vannak az Antarktison végzett vizsgálat eredményeivel, ahol kimutatták, hogy a kutatók szignifikánsan több diasporát terjesztenek a ruházatukon és felszerelésükön, mint a turisták (Huiskes és mtsai. 2014).

A vizsgálatban alapján úgy tűnik, hogy a férfiak hatékonyabbak az epianthropochóriában, mint a nők. Mivel a férfiak kockázatvállalóbbak és felfedező beállítottságúak a nőkkal szemben (Byrnes és mtsai. 1999),

potenciálisan nagyobb esélyük van arra, hogy diaspóra kerüljön a ruházatukra.

A korábbi vizsgálatokhoz hasonlóan mi is azt találtuk, hogy a ruházatnak fontos szerepe van az epianthropochoriában. Eredményeinkből kiderült, hogy lényegesen több diaspóra tapadt az emberek ruházatához, amikor rövidnadrágot és alacsony szárú cipőt viseltek, mint amikor hosszúnadrágot és magasszárú cipőben voltak. Mivel a rövidnadrág esetében szabadon elérhetővé válik a cipő, zokni és cipőfűző, melyek kiváló tapadási felületet biztosítanak a diaspórák számára, addig hosszúnadrág során erre jóval kevesebb az esély (Mount & Pickering 2009).

Mivel az epianthropochoriára úgy tekintenek, mint az epizoochoria egyik formája, arra számítottunk, hogy a terjedéssel kapcsolatos növényi tulajdonságok döntő szerepet fognak játszani a folyamatban. Eredményeink viszont azt mutatják, hogy a ruházat kiváló lehetőséget nyújt azoknak a diaspóráknak is a terjedésre, amelyek egyáltalán nem rendelkeznek tapadást elősegítő képletekkel (pl. anemochor- vagy endozoochor terjedésű fajok). Az eredmények azt sugallják, hogy az epianthropochoria egy sokkal általánosabb jelenség, mint azt korábban vélték és számos fajnak biztosít kiváló terjedési lehetőséget.

Kérdőíves felmérésünk kimutatta, hogy az egyéni döntéseknek kulcsfontosságú szerepe lehet a ruházattal történő magterjesztésben. Számos egyéni döntés létezik, amellyel az emberek csökkenthetik az epianthropochoria negatív környezeti következményeit. A nem szándékos diaspóratertesztés kockázatának csökkentése érdekében a legjobb megoldás az lenne, ha az emberek előnyben részesítenék az alacsony tapadási potenciállal rendelkező ruhadarabokat és anyagokat, valamint lehetőség nyílna a ruházat zárt térben történő tisztítására, különösen a védett területek látogatása során.

2. vizsgálat: A mosógépi mosás hatása a növényi magvak csírázására

Bevezetés és célkitűzések

Az epianthropochoriával kapcsolatos vizsgálatokat tekintve, eddig mindössze egyetlen tanulmány (Lefcort & Lefcort 2014) vizsgálta a mosógépi mosás hatását a diaspórák csírázására. A vizsgálatból kiderült, hogy a mosógépi mosásnak nincs hatása a vizsgált növényfaj (*Bromus tectorum*) diaspóráinak a csírázására és a csíranövények növekedésére. Ahhoz, hogy átfogó képet kapjunk a mosógépi mosás hatásairól az epianthropochor módon terjedő fajokra vonatkozóan, kiterjedt vizsgálatokra van szükség.

Módszerek

A vizsgálatot olyan Közép-Európában elterjedt növényfajok diaspóráival végeztük, amelyek képesek az ember ruházatán való terjedésre. Összesen 18 növényfaj diaspórájával dolgoztunk, melyek közül kilenc egyszikű (*Bromus tectorum*, *B. sterilis*, *Cenchrus spinifex*, *Hordeum hystrix*, *H. murinum*, *Melica transsilvanica*, *Secale sylvestre*, *Setaria verticillata*, *Tragus racemosus*) és kilenc kétszikű faj (*Agrimonia eupatoria*, *Arctium lappa*, *Chaerophyllum temulum*, *Cruciata pedemontana*, *Cynoglossum officinale*, *Daucus carota*, *Geum urbanum*, *Physocaulis nodosus*, *Torilis arvensis*) volt.

A mosógépi mosás során hat kezelést alkalmaztunk, emellett hetedik kezelésként kontroll (száraz) diaspórákat is csíráztattunk. Fajonként és kezelésként 25 db diaspórával dolgoztunk öt ismétlésben. A kezelésekek előtt a diaspórákat kézzel varrt vászon batyukba tettük (528 db). Összesen hatféle mosási intenzitás és mosószer kombinációt vizsgáltunk, melyek a következők voltak: mosás csak vízzel 30 °C-on, mosás mosódióval 30 °C-on, mosás folyékony mosószerrel 30 °C-on, mosás csak vízzel 60 °C-on, mosás mosódióval 60 °C-on és mosás folyékony mosószerrel 60 °C-on. A mosás után a diaspórákat kivettük a vászonbatyukból és cserepekben üvegházi körülmények között csíráztattuk őket 2017 szeptemberétől novemberéig, valamint 2018 márciusától májusáig. Minden héten, heti két alkalommal megszámláltuk a csírázó egyedeket. A megfigyelést akkor állítottuk le, amikor minden faj esetében a diaspórák több mint 95%-a kicsírázott (legalább egy kezelésként), vagy amikor már nem észleltünk újabb csíranövényeket. A csíráztatás lezárása után minden csíranövényt eltávolítottunk és lemértük a teljes föld feletti biomasszájukat.

A diasporák tapadási sikerét 17 faj esetében teszteltük. Az apró keresztfüvet (*Cruciata pedemontana*) azért nem vontuk be ebbe a vizsgálatba, mivel ennél a fajnál a tapadást segítő képletek nem a diasporán, hanem a hajtáson találhatóak. A vizsgálatban öt személy vett részt, mely során minden faj 25 db diasporáját helyezték a polár pulóverükre, a farmer nadrágukra és pamut zoknikra. A vizsgálatban részt vevő személyek a szokásos napi tevékenységüket folytatták a Debreceni Egyetemen, emellett óránként ellenőrizték a ruhadarabokon fennmaradt diasporákat. A megfigyelés kilenc órán keresztül tartott, mely idő alatt óránként megszámloltuk a három ruhadarabon fennmaradt diasporákat.

A diasporák tapadási sikerének tesztelését a két mosási intenzitást (30 és 60 °C) követően polár, farmer és pamut szövetdarabokon teszteltük. A mosást megelőzően minden szövetdarabra 25 db diasporát helyeztünk ugyancsak 17 faj esetében. A mosást követően megszámloltuk a diasporákat, majd a számlálás után a szöveteket beltéri szárítóra helyeztük, ahol nyolc órán keresztül száradtak. A száradás végén újból megszámloltuk a szövetdarabokon maradt diasporákat.

Eredmények és megvitatásuk

A mosógépi mosást követően a vizsgált diasporák csírázását kizárólag a két mosási intenzitás (30 és 60 °C) befolyásolta, míg a tisztítószereknek nem volt hatásuk. Alacsony hőfokon való mosás után (30 °C) egyetlen faj esetében csökkent, míg három faj esetében nőtt a csíranövények száma a kontrollhoz képest. Magas hőfokon (60 °C) történő mosást követően kilenc fajnál csökkent a csírákéesség és kilenc fajnál pedig nem volt szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest. Mivel napjainkban egyre inkább az alacsony hőfokon való mosásra térnek át az emberek (Morgan és mtsai. 2018), ami azt is jelenti, hogy a ruhán terjedő diasporák egyre nagyobb hányada lesz képes túlélni a mosást.

A mosás a csírázás dinamikájára is jelentős hatással volt, intenzív mosás után deszinkronizált csírázást figyeltünk meg nyolc fajnál. Ez a jelenség akár megtelepedési előnyt jelenthet a növényfajok számára egy új, változékony környezetben (Sales és mtsai. 2013).

A diasporák tapadási sikerének tesztelése a mosás előtt azt az eredményt adta, hogy a legalacsonyabb magmegtartó képességgel a farmernadrág

rendelkezik (32,4%), míg a polár pulóveren (42,6%) és a pamut zoknin a diasporáknak majdnem a fele marad fent (47,5%). Ezzel szemben a mosás utáni tapadási sikerességnek a vizsgálata során azt találtuk, hogy a diasporáknak mindössze az egyharmada marad a szöveteken.

Eredményeink arra utalnak, hogy a mosógépi mosást követően a diasporák számára két terjedési útvonal valósulhat meg. Azok a diasporák, amelyek a száradás során leesnek a ruhákról nagy valószínűséggel ember által lakott területekre kerülnek, ahol akár újabb inváziós gócpontok kialakítását segítik elő. Azok a diasporák pedig, amelyek a száradást követően is a ruhán maradnak, jelentős távolságokra (akár egyik kontinensről a másikra) is eljuthatnak.

Tanulmányunk rávilágít az emberek személyes felelősségvállalásának fontosságára: természetes élőhelyek látogatása során ajánlott olyan ruhadarabok viselése, melyekre kevésbé tapadnak a diasporák (pl. farmer, lenvászon). Emellett a terepen gyakran használt ruhadarabokat érdemes lehet magas hőfokon mosni, így csökkenthető a mosás után is életképes diasporák mennyisége.

3. vizsgálat: Magterjedés az emberi ruházaton: megelőzési és védekezési lehetőségek

Bevezetés és célkitűzések

A ruházattal számos növényfaj diasporája képes terjedni, amelyek emberi segítséggel óriási távolságokra is eljuthatnak (Ansong & Pickering 2014a, 2014b). Azokban a régiókban, amelyeket súlyosan érint az epianthropochoria negatív hatása (pl. Antarktisz és Óceánia), számos biológiai intézkedést vezettek be (Tollington és mtsai. 2017). Ezen intézkedések áttekintése iránymutatásul szolgálhat azokon a területeken, ahol korlátozott információ áll rendelkezésre erről a jelenségről (pl. Európa, Dél-Amerika, Ázsia és Afrika), viszont éppúgy fenyegetve vannak az inváziós fajok által (Mount & Pickering 2009).

Módszerek

2020 márciusában a Google Scholar adatbázis segítségével összegyűjtöttem azokat az angol nyelvű publikációkat, amelyek a ruházattal terjedő diasporák megfékezésének biztonsági intézkedéseivel foglalkoznak. A keresés során a „biosecurity seed dispersal” és „biosecurity seed” kulcsszavakat használtam. A találatokból cím és absztrakt alapján válogattam ki a releváns publikációkat, majd a listát tovább bővítettem ezek irodalomjegyzékéből. A keresést akkor zártam le, amikor már nem találtam a témával kapcsolatos további tanulmányokat.

Eredmények és megvitatásuk

Összesen 24 releváns közleményt találtam, amely a ruházat által történő magterjesztéssel foglalkozott. Meyerson & Reaser (2002), valamint Simberloff és mtsai. (2013) tanulmányai alapján csoportosítottam a jelenleg is alkalmazásban lévő biztonsági intézkedéseket, melyek a következők:

- Tájékoztatás: Az emberek tájékoztatására az epianthropochoria jelenségről: prospektusok, útikönyvek, plakátok, weboldalak, vagy akár workshopok által.
- Önkéntes megelőzés: Olyan önkéntes viselkedési formák, amelyekkel csökkenteni lehet a ruházatra tapadt diasporák mennyiségét és terjesztését (pl. alacsony tapadáspotenciállal rendelkező ruhadarabok

választása, a diasporák ruházatáról való eltávolítása és megfelelő tárolása).

- Jogi szabályozás: Szigorú rendeletek, amelyeket a látogatóknak kötelezően be kell tartaniuk a terület látogatása során (pl. kötelező ruha és cipőtisztítás, nyilatkozat a korábbi útvonalakról).
- Karantén intézkedések: A védett területek lezárása a látogatók előtt.
- Monitorozás: Információgyűjtés a látogatók korábbi és jövőbeli útvonalairól.
- Kezelés: A látogatók és a területen dolgozók számára létesített tisztítóállomások, melyek hozzájárulnak a ruházat, lábbelik és felszerelések hatékonyabb tisztításához (pl. kefe, slag, fertőtlenítőszeres biztosítás által).
- A turizmus szabályozása: Az emberek szemléletformálása turistakódexek segítségével.

Az áttekintett tanulmányok alapján elmondható, hogy a ruházattal kapcsolatos biztonsági intézkedéseket főképp az Antarktison, Ausztráliában és Óceánia szigetein alkalmazzák. Ezen védekezési módszerek megismerése remek kiindulópontként szolgálhat azokban a régiókban (akár Magyarországon is), ahol egyelőre kevés információ áll rendelkezésre az epianthropochoria jelenségéről és kockázatairól.

Az összegyűjtött intézkedések alapján ajánlásokat fogalmaztunk meg, amelyek kiegészítésül szolgálhatnak a jövőbeli kutatásokhoz és irányelvekhez:

- a tájékoztatás kiterjesztése a lehetséges védekezési lehetőségekkel
- nagyobb hangsúlyt fektetni a személyes döntések fontosságára
- kötelező tisztítóállomások létesítése a védett területek belépési pontjain
- az előírt ruhatisztítás kiterjesztése a poggyászra, mivel a diasporák a mosógépi mosást követően is képesek a ruhán maradni és csírázókéességüket megőrizni (Padayachee és mtsai. 2017; Valkó és mtsai. 2020)
- további karantén intézkedések bevezetése a kiemelt florisztikai értékeket őrző területeken
- a diasporák nyomon követése a turisták számára önkéntes alapon elérhető kérdőívek segítségével

- a turistakódexek kibővítése az epianthropochoria elleni védekezéssel kapcsolatos iránymutatással

Annak ellenére, hogy számos régióban felfigyeltek már az epianthropochoria hatásaira, még mindig kevésbé ismert ez a jelenség. Magyarországon egyelőre nincsenek célzott biológiai intézkedések az epianthropochoria megfékezésére (Lukács & Valkó 2022), azonban egyre több hazai megfigyelésről van már információ (Csiky és mtsai. 2020; Csecserits és mtsai. 2021). Ahhoz, hogy a jövőben hatékonyan tudjunk védekezni a ruházattal terjedő diasporák ellen, az alkalmazott módszerek együttes alkalmazása lenne a legcélravezetőbb.

Új tudományos eredmények

- Eredményeink rámutatnak arra, hogy a ruházattal történő diaspora terjesztés számos faj terjedését teszi lehetővé, akár merőben eltérő terjedési stratégiával rendelkezőkét is (pl. anemochor, endozoochor fajok).
- Vizsgálatunkban 137 faj esetében elsőként jeleztük, hogy képesek a ruházattal is a terjedésre.
- Kimutattuk, hogy epianthropochoria során többnyire gyom- és zavarástűrő fajok terjednek, míg a ritka, specialista fajok diasporái jóval alacsonyabb számban terjednek a vizsgált közép-európai élőhelyeken.
- Eredményeink rávilágítottak arra, hogy a táji- és élőhelyi faktorok lényegesen befolyásolják a ruházaton terjedő diasporák mennyiségét és fajszerkezetét. A legtöbb diaspora nyár közepén (a mérsékelt égövben magérségi szezonban) és gyepi élőhelyek látogatása során tapad a ruházatra.
- A szabadtéri tevékenység típusa lényegesen befolyásolja a ruházatra tapadt diasporák mennyiségét és fajszerkezetét. Ebben a folyamatban a terepi szakembereknek nagyobb a felelősségük.
- Vizsgálatunk rámutatott, hogy a mosógépi mosás az epianthropochoriával terjedő diasporák életképességét és csírázási

dinamikáját, így végső soron a terjedés végkimenetelét jelentősen befolyásoló folyamat.

- A mosógépi mosást követő csíráképeességet leginkább a mosási intenzitás határozza meg. Kimutattuk, hogy a kímélő mosás (30 °C) után nem csökkent a vizsgált diaspórák csírázási képessége, intenzív mosást (60 °C) követően azonban a fajok felénél tapasztaltunk csökkenést.
- Az intenzív mosás (60 °C) következtében csaknem a fajok felénél figyeltünk meg deszinkronizált csírázást, ami különösen előnyös lehet egy új élőhelyen, mivel megnő annak az esélye, hogy néhány diaspóra pont a megfelelő időben csírázik a sikeres megtelepedéshez.
- A vizsgált ruhadarabok közül a legalacsonyabb magmegtartó képességgel a farmernadrág rendelkezik, ezzel szemben a polár pulóver és a pamut zokni jóval több diaspóra számára biztosít tapadási felületet.
- Kimutattuk, hogy a diaspórák egy része a mosógépi mosást követően is a ruhán marad, melynek következtében jelentős távolságokra juthatnak el, vagy akár a városi környezetben is megtelepedhetnek.
- Az emberek személyes felelősségvállalása kulcsfontosságú ebben a folyamatban. A ruhadarabok és a mosási hőmérséklet megfelelő kiválasztásának nagy a jelentősége, mivel ezáltal csökkenteni lehet a diaspórák tapadási esélyeit, meggátolva az inváziós fajok terjedését.
- Megállapítottuk, hogy a legtöbb biztonsági intézkedést az emberi ruházatra vonatkozóan az Antarktiszon, Ausztráliában és Óceánia szigetein alkalmazzák.
- Az irodalmi áttekintés alapján számos javaslatot fogalmaztunk meg, amelyek kiegészítésül szolgálhatnak a jövőbeli kutatásokhoz és irányelvekhez.
- Magyarországon egyelőre nincsenek célzott biológiai intézkedések az epianthropochoria megfékezésére, azonban már vannak hazai megfigyelések a jelenségről. A hatékony védekezéshez az intézkedések együttes alkalmazása lenne a legcélravezetőbb.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek Prof. Dr. Valkó Orsolyának a munkám során nyújtott folyamatos támogatásáért és bátorításáért, valamint a hasznos tanácsaiért a terepi és laboratóriumi munkákban és a publikálásban egyaránt. Továbbá köszönöm közvetlen kollégáimnak a kitartó segítségét: Deák Balázs, Godó Laura, Kelemen András, Kiss Réka és Tóth Ágnes, valamint a publikációk társszerzőinek: Bátori Zoltán, Hábenczyus Alida Anna, Miglécz Tamás, Radócz Szilvia, Rádai Zoltán, Sonkoly Judit, Szél-Tóth Katalin, Tóthmérész Béla és Tölgyesi Csaba. Jelenleg folyó, az ember általi magterjedéssel kapcsolatos vizsgálataimban köszönöm továbbá Borza Sándor, Engel Rita, Fekete Réka és Korom Eszter segítségét.

Ezen kívül köszönet illeti az önkénteseket, akik az epianthropochoriát vizsgáló terepi kísérletbe bekapcsolódtak és lelkesen részt vettek benne.

Munkámat az ÚNKP-18-3-II-DE-34, az NKFI FK 124404 és az NKFI MEC_141156 pályázatait, a Tempus Közalapítvány, a Debreceni Egyetem Universitas Alapítványának pályázata, az Ökológiai Kutatóközpont Fiatal Kutatói pályázata, a Lendület Vegetáció és Magbank Dinamikai Kutatócsoport, illetve az Egészségbiztonsági Nemzeti Laboratórium támogatta.



Nyilvántartási szám: DEENK/539/2023.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Lukács Katalin
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10074912

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

1. **Lukács, K.**, Valkó, O.: Magterjedés az emberi ruházaton: megelőzési és védekezési lehetőségek.
Termvédel. közl. 28, 74-85, 2022. ISSN: 1216-4585.
DOI: <http://dx.doi.org/10.20332/tvk-jnatconserv.2022.28.74>
2. **Lukács, K.**, Valkó, O.: A ruházat szerepe az ember általi magterjesztésben.
Kitaibelia. 23 (1), 77-86, 2018. ISSN: 1219-9672.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17542/kit.23.77>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (3)

3. **Lukács, K.**, Tóth, Á., Kiss, R., Deák, B., Rádai, Z., Tóth, K., Kelemen, A., Bátorfi, Z., Hábcenyus, A. A., Tölgyesi, C., Migléc, T., Godó, L., Valkó, O.: The ecological footprint of outdoor activities: Factors affecting human-vectored seed dispersal on clothing.
Sci. Total Environ. 906, 1-8, 2024. ISSN: 0048-9697.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167675>
IF: 9.8 (2022)
4. **Lukács, K.**, Valkó, O.: Human-vectored seed dispersal as a threat to protected areas: Prevention, mitigation and policy.
Glob. Ecol. Conserv. 31, 1-7, 2021. ISSN: 2351-9894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01851>
IF: 3.969
5. Valkó, O., **Lukács, K.**, Deák, B., Kiss, R., Migléc, T., Tóth, K., Tóth, Á., Godó, L., Radócz, S.,
Sonkoly, J., Kelemen, A., Tóthmérész, B.: Laundry washing increases dispersal efficiency of
cloth-dispersed propagules.
NeoBiota. 61, 1-16, 2020. ISSN: 1619-0033.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3897/neobiota.61.53730>
IF: 3.684





További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (3)

6. Deák, B., Török, P., Tóthmérész, B., Radócz, S., **Lukács, K.**, Valkó, O.: A közép-tiszavidéki halmok flórakutatásának új eredményei.
Kitaibelia. 24 (1), 94-105, 2019. ISSN: 1219-9672.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17542/kit.24.94>
7. Deák, B., **Lukács, K.**, Báthori, F., Valkó, O.: Közönséges kígyónyelv (Ophioglossum vulgatum) meglepő új előfordulása a Tiszafüred-Kunhegyesi síkon.
Kitaibelia. 24 (2), 257-266, 2019. ISSN: 1219-9672.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17542/kit.24.257>
8. Kiss, R., László, S., Tóth, K., Balogh, N., Godó, L., Körmöczy, Z., Radócz, S., **Lukács, K.**: Eltérő kezelési típusok alkalmazása kékperjés láprétek fenntartására.
Gyepgazdálk. Közl. 16 (1), 19-24, 2018. ISSN: 1785-2498.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

9. Kiss, R., Sonkoly, J., Török, P., Tóthmérész, B., Deák, B., Tóth, K., **Lukács, K.**, Godó, L., Kelemen, A., Miglécz, T., Radócz, S., Tóth, E., Balogh, N., Valkó, O.: Germination capacity of 75 herbaceous species of the Pannonian flora and implications for restoration.
Acta Bot. Hung. 60 (3-4), 357-368, 2018. ISSN: 0236-6495.
DOI: <https://doi.org/10.1556/034.60.2018.3-4.7>

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (10)

10. Kiss, R., Deák, B., Tóth, K., **Lukács, K.**, Rádai, Z., Kelemen, A., Miglécz, T., Tóth, Á., Godó, L., Valkó, O.: Co-seeding grasses and forbs supports restoration of species-rich grasslands and improves weed control in ex-arable land.
Sci. Rep. 12 (1), 1-13, 2022. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-25837-4>
IF: 4.6
11. Tóth, Á., Deák, B., Tóth, K., Kiss, R., **Lukács, K.**, Rádai, Z., Godó, L., Borza, S., Kelemen, A., Miglécz, T., Bátorfi, Z., Novák, T., Valkó, O.: Vertical distribution of soil seed bank and the ecological importance of deeply buried seeds in alkaline grasslands.
PeerJ. 10, 1-19, 2022. EISSN: 2167-8359.
DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.13226>
IF: 2.7





12. Deák, B., Rádai, Z., Bátori, Z., Kelemen, A., **Lukács, K.**, Kiss, R., Maák, I. E., Valkó, O.: Ancient Burial Mounds Provide Safe Havens for Grassland Specialist Plants in Transformed Landscapes- A Trait-Based Analysis.
Front. Ecol. Evol. 9, 1-13, 2021. ISSN: 2296-701X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fevo.2021.619812>
IF: 4.493
13. Tammaru, K., Košnar, J., Abbas, A. F., Barta, K. A., De, B. F., Harrison, S., Degli, E. I., Kiss, R., **Lukács, K.**, Neumann, S. M., Wagia, H., Puy, J., Lepš, J.: Ecological differentiation of *Carex* species coexisting in a wet meadow: Comparison of pot and field experiments.
Acta Oecol.-Int. J. Ecol. 110, 1-10, 2021. ISSN: 1146-609X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2020.103692>
IF: 1.93
14. Kiss, R., Deák, B., Tóthmérész, B., Miglécz, T., Tóth, K., Török, P., **Lukács, K.**, Godó, L., Körmöcz, Z., Radócz, S., Kelemen, A., Sonkoly, J., Kirmer, A., Tischew, S., Švamberková, E., Valkó, O.: Establishment gaps in species-poor grasslands: artificial biodiversity hotspots to support the colonization of target species.
Restor. Ecol. 29 (S1), 1-8, 2021. ISSN: 1061-2971.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/rec.13135>
IF: 4.181
15. Deák, B., Kovács, B., Rádai, Z., Apostolova, I., Kelemen, A., Kiss, R., **Lukács, K.**, Palpurina, S., Sopotlieva, D., Báthori, F., Valkó, O.: Linking environmental heterogeneity and plant diversity: The ecological role of small natural features in homogeneous landscapes.
Sci. Total Environ. 763, 1-13, 2021. ISSN: 0048-9697.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144199>
IF: 10.753
16. Kiss, R., Deák, B., Tóthmérész, B., Miglécz, T., Tóth, K., Török, P., **Lukács, K.**, Godó, L., Körmöcz, Z., Radócz, S., Borza, S., Kelemen, A., Sonkoly, J., Kirmer, A., Tischew, S., Valkó, O.: Zoochory on and off: A field experiment for trait-based analysis of establishment success of grassland species.
J. Veg. Sci. 32 (4), 1-12, 2021. ISSN: 1100-9233.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jvs.13051>
IF: 3.389
17. Deák, B., Rádai, Z., **Lukács, K.**, Kelemen, A., Kiss, R., Bátori, Z., Kiss, P. J., Valkó, O.: Fragmented dry grasslands preserve unique components of plant species and phylogenetic diversity in agricultural landscapes.
Biodivers. Conserv. 29 (14), 4091-4110, 2020. ISSN: 0960-3115.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-020-02066-7>
IF: 3.549





18. Vojtkó, A. E., Balogh, N., Deák, B., Kelemen, A., Kis, S., Kiss, R., Lovas-Kiss, Á., Lőki, V.,
Lukács, K., Molnár, V. A., Nagy, T., Sonkoly, J., Süveges, K., Takács, A., Tóth, E., Tóth, K.,
Tóthmérész, B., Török, P., Valkó, O., Vojtkó, A., Lukács, B. A.: Leaf trait records of vascular
plant species in the Pannonian flora with special focus on endemics and rarities.
Folia Geobot. 55 (2), 73-79, 2020. ISSN: 1211-9520.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12224-020-09363-7>
IF: 1.544
19. Ruprecht, E., **Lukács, K.**, Domokos, P., Kuhn, T., Fenesi, A.: Hydration status influences seed
fire tolerance in temperate European herbaceous species.
Plant Biol. 18 (2), 295-300, 2015. ISSN: 1435-8603.
DOI: <https://doi.org/10.1111/plb.12394>
IF: 2.216

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 56,808

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
17,453**

A DEENK a Jelölt által az iDEa Tudóstérbe feltöltött adatok bibliográfiai és tudományometriai
ellenőrzését a tudományos adatbázisok és a Journal Citation Reports Impact Factor lista alapján
elvégezte.

Debrecen, 2023.12.15.



Short thesis for the degree of doctor of philosophy (PhD)

**THE MECHANISM AND ECOLOGICAL IMPORTANCE OF
HUMAN-VECTORED SEED DISPERSAL**

by Katalin Lukács

Supervisor
Prof. Dr. Orsolya Valkó
scientific advisor



UNIVERSITY OF DEBRECEN
Juhász-Nagy Pál Doctoral School
Debrecen, 2024

Introduction

Due to the intensive use of the landscape and increasingly globalised transportation and tourism networks, humans are among the most abundant and effective long-distance seed dispersal vectors globally (Bullock et al. 2018). Since humans can travel larger distances in a shorter time than any other organism, therefore, we can connect areas that would otherwise have no biological connections (Bullock & Pufal 2020; Valkó et al. 2020).

There are two forms of human-vectored dispersal (HVD): intentional HVD (e.g., intentional introduction of plants for agricultural or horticultural purposes, and translocation for conservation purposes) and accidental HVD (e.g., unintended dispersal of seeds attached to clothes, vehicles, pets, and livestock, or as contamination in transported materials such as seed stocks or potting soil) (Bullock et al. 2018). Humans unintentionally contribute to spread of many invasive species, therefore, more and more attention tend to accidental HVD (Lukács & Valkó 2018, 2021; Montagnani et al. 2022). Accidental HVD could be particularly dangerous, since it can enable large geographical jumps and endanger habitats with unique wildlife that are popular tourist destinations. Many of these areas are less affected by transportation and infrastructural development, but they are exposed to an increasing tourism (Pauchard et al. 2009; Valkó et al. 2020).

From the middle of the 20th century, researchers already noticed the HVD on clothing. So far, nearly 500 species have been documented to spread on clothing. These species are mostly weeds and invasive species, that cause serious conservation problems, especially in isolated regions, such as Antarctica and Australia (Ansong & Pickering 2014a). Future studies will probably prove that several species are capable to spread by HVD on clothing, especially from those regions where little information is available, for example: Africa, Asia, South America and many parts of Europe (Mount & Pickering 2009; Lukács et al. 2024). Considering the risks of HVD on clothing, a comprehensive study of epianthropochory is essential in order to develop effective strategies.

Aims of the dissertation

In my dissertation, I studied the role of people in the dispersal of plant diaspores and evaluated the ecological importance in the epianthropochory in three studies.

1. The ecological footprint of outdoor activities: Factors affecting human-vector seed dispersal on clothing

In a multi-site field experiment, involving volunteers, we investigated (1) which diaspores can spread with clothing and footwear in Central-Europe, (2) and examined the environmental factors, vector characteristics, and plant traits, which might have an effect on epianthropochory.

2. Laundry washing increases dispersal efficiency of cloth-dispersed diaspores.

The aim of the study was (1) to investigate the effect of laundry washing at two different temperatures and three types of detergents on the germination of diaspores dispersed on clothing. Furthermore, we tested the adhesion potential of diaspores on three different fabric types (fleece, denim, and cotton) before (2) and after washing (3).

3. Human-vector seed dispersal as a threat to protected areas: Prevention, mitigation and policy

In this study, our aim was to review and summarize those biosecurity measures, which are currently applied against the HVD on clothing. We also made recommendations that could be useful for developing future biosecurity measures and research.

Study 1: The ecological footprint of outdoor activities: Factors affecting human-vectored seed dispersal on clothing

Introduction and aims

So far, only three studies have investigated the phenomenon of human-vectored seed dispersal on clothing in Europe. The results of these studies indicate that HVD on clothing (epianthropochory) is a complex process, that enables the spread of weeds and invasive, but occasionally specialist species as well (Wichmann et al. 2009; Ware et al. 2012; Auffret & Cousins 2013). Since, people play a key role in the epianthropochory, it would be important to know about the role of the human factors (e.g., people's previous experiences and reactions, type of clothing, activity type) in this phenomenon.

Methods

We collected HVD samples from the socks and shoes of volunteer participants during various outdoor activities (field surveys or leisure activities) at 39 different sites of Hungary, Romania, and the Czech Republic, in the years 2019 and 2020. We provided all volunteers with a new pair of cotton socks that they wore during their outdoor activity with their own shoes. At the end of the outdoor activity, we collected 251 samples, which included 2008 subsamples in total. A sample collected from one person was divided to eight subsamples: left sock detached (short potential dispersal distance), left sock attached (long potential dispersal distance), left shoe inside, left shoe outside, right sock detached, right sock attached, right shoe inside and right shoe outside).

At the end of the sample collection, all volunteers filled out a questionnaire, in which we asked them about their previous experiences about epianthropochory. During the sampling, we recorded the type of habitats, the type of clothing and shoes of volunteers and the list of plant species in the visited area.

After the collection, we removed the diaspores attached to the socks. The next step was to identify and count the diaspores. In this process we used the seed atlas of Schermann (1967), species lists, and reference seed specimens collected from the sampling sites, and the reference seed collection at the University of Debrecen (Török et al. 2013, 2016). The diaspores that could

not be identified on the basis of morphology were germinated in a greenhouse from March to November 2021.

Results and discussion

A total of 35,935 diaspores of 229 plant taxa were identified from the samples. We recorded 137 species, which were previously not registered to be able to spread by clothing (this is approximately 28% addition to the list of the species known to be dispersed by HVD (Ansong & Pickering 2014a; Huiskes et al. 2014). This relatively high number of species is related to the fact that there were no similar studies in Central-Europe before. In the future, this list will probably be expanded.

We identified 6 alien competitors (AC), 10 ruderal competitors (RC), 3 adventive species (A), 2 introduced alien species (I), 46 weeds (W), 64 disturbance-tolerant (DT), 14 natural pioneers (NP), 53 generalists (G), 23 natural competitors (C) and 8 specialists (S). The majority of diaspores were weeds and disturbance-tolerant species (110 species), which can be partly explained by the fact that these r-strategist species are more common and have a larger seed set. In contrast, the specialist species are characterized by a narrower distribution and a smaller seed set.

We found that the number of diaspores and species attached to socks and shoes was highest when grassland habitats were visited during sampling. We found that activity type had a significant effect on the number and species richness of dispersed diaspores. Our results highlight that people doing field surveys disperse more diaspores than those who perform leisure activities. A potential reason is that field biologists leave the roads and trails more often and are in more direct contact with the vegetation. A study in Antarctica (Huiskes et al. 2014) also found that staff at the research station (field scientists, station scientists, field support personnel and station support personnel) dispersed a significantly higher number of diaspores than tourists.

We found that men dispersed significantly more plant species and tended to disperse more diaspores than women. This might be related to that men are more risk-taking and explorative than women (Byrnes et al. 1999), and therefore they might have a closer contact to dense vegetation.

Similar to previous studies, we also found that clothing type plays an important role in epianthropochory. We found that significantly more

diaspores were attached to people's clothing when they wear short pants and low-top shoes than if they wear long pants and high-top shoes. Short trousers, which leave the socks, laces, and shoes uncovered, support HVD, as these items provide a good adhesion surface and collect a large number of diaspores (Mount & Pickering 2009).

Since epianthropochory is considered a form of epizoochory, we expected that plant traits would play a crucial role in HVD on clothing. However, our results show that clothing provides an excellent opportunity for the dispersal of diaspores that have no adaptation to epizoochory as well. The results suggest that epianthropochory is a more general phenomenon than previously thought.

Our questionnaire survey showed that there are several individual decisions where people can reduce the negative environmental consequences of HVD. To reduce the risk of unintended dispersal, the best option would be to clean clothing indoors and enter nature reserves with diaspore-free clothes and footwear and prefer clothing with low adhesion potential.

Study 2: Laundry washing increases dispersal efficiency of cloth-dispersed propagules.

Introduction and aims

Only one study (Lefcort & Lefcort 2014) has investigated so far the effects of laundry washing on germination, using cheatgrass (*Bromus tectorum*) as a model species. The result of the experiment has shown that laundry washing has no effect on the germination of diaspores (*Bromus tectorum*) and the growth of seedlings. Further studies are needed to get a comprehensive knowledge of the effects of laundry washing on species frequently dispersed by epianthropochory.

Methods

We selected 18 species for the experiments: nine monocot (*Bromus tectorum*, *B. sterilis*, *Cenchrus spinifex*, *Hordeum hystrix*, *H. murinum*, *Melica transsilvanica*, *Secale sylvestre*, *Setaria verticillata*, *Tragus racemosus*) and nine dicot species (*Agrimonia eupatoria*, *Arctium lappa*, *Chaerophyllum temulum*, *Cruciata pedemontana*, *Cynoglossum officinale*, *Daucus carota*, *Geum urbanum*, *Physocaulis nodosus*, *Torilis arvensis*). All species having the ability for epizoochory and clothing-dispersal and are widespread in Central-Europe.

We tested germination of five replicates of 25 diaspores per treatment and we put them in small fabric sacks (N= 528). During the experiments, we applied combinations of washing intensity (30 °C or 60 °C) and washing medium (water, soap nuts or detergent) treatments as follows: unwashed control and washing with water at 30 °C, soap nuts at 30 °C, detergent at 30 °C, water at 60 °C, soap nuts at 60 °C and detergent at 60 °C.

After washing, diaspores were removed from fabric sacks and germinated in an unheated greenhouse under natural light conditions from September to November 2017 and from March to May 2018. Every week, we counted the seedlings twice, and we terminated the germination for each species when more than 95% of the diaspores germinated in at least one treatment or when we did not detect new seedlings for more than five monitoring days. When terminating the germination, we removed all individuals and measured the total dry aboveground biomass and recorded the total number of germinated individuals per pot.

We tested adhesion success of 17 studied species (except for *Cruciata pedemontana*, which has no adhesive structures on the diaspore, only on the shoot). Five persons put 25 diaspores per species on polar fleece sweater, jeans, and cotton socks. All persons continued their normal daily activities at the University of Debrecen including mainly indoor, but also several outdoor activities (short walks between buildings). We counted the number of diaspores on the three fabric types in every hour until 17:00 h.

We tested the fate of the diaspores after washing at 30 °C and 60 °C. We used five replicates of 25 diaspores per species (also in the case of 17 species) and fabric types (fleece, denim, and cotton). Directly after washing, diaspores were counted on each fabric piece and then fabrics were hung on an indoor washing line for eight hours. Finally, we counted the diaspores that remained attached on the fabrics after drying.

Results and discussions

After the laundry washing, the germination potential of the diaspores was only affected by two washing temperatures (30 and 60 °C), while the detergents had no effect. Gentle washing at 30 °C did not affect the germination potential of species, moreover, was beneficial for three species. Intense washing at 60 °C decreased the seedling number of the half of the species, while the other half remained unchanged. Our results suggest that, in general, the new trend for using lower washing temperatures to reduce energy consumption (Morgan et al. 2018) probably increases the ratio of viable diaspores that leave the laundry cycle.

Laundry washing also had a significant effect on the germination dynamics, washing at 60 °C desynchronized the germination. These effects of laundry washing on germination dynamics have important consequences for establishment: elongated and desynchronised germination is especially advantageous in unstable environments characterised by frequent and unpredictable disturbances (Sales et al. 2013).

After attaching dry diaspores on clothes, we found that the lowest proportion of diaspores remained attached on jeans (32.4%), while almost the half of the diaspores remained on fleece sweater (42.6%) and cotton socks (47.5%). In contrast, we found that approximately one third of the diaspores remained attached on clothes after washing. Our results suggest that there are two main

directions of post-washing dispersal. Diaspores that are detached during drying of the clothes probably get into rural or urban environments. As urban habitats often provide suitable conditions for the establishment of alien species, it is possible that some of the seeds will germinate and establish in urban habitats, and it is also possible that some might become urban invaders. Those diaspores that remain attached on clothes after drying have the potential for post-laundry long-distance dispersal (e.g., from one continent to another).

Our study highlights the importance of personal responsibility for introducing exotic species to areas with high conservation value. Wearing clothes made of fabrics with low seed retention potential (e.g., linen or denim) in nature reserves can effectively decrease retention rates and can be a good mitigation measure. In addition, we recommended to wash field clothes at high temperatures for reducing the amount of viable diaspores.

Study 3: Human-vectored seed dispersal as a threat to protected areas: Prevention, mitigation and policy

Introduction and aims

Human-vectored seed dispersal (HVD) on clothing and footwear can be an effective way of the long dispersal of several diaspores (Ansong & Pickering 2014a). In many regions (e.g., the Antarctica and Oceania) strongly affected by the negative impact of epianthropochory, large numbers of biological measures have been introduced (Tollington et al. 2017). Overview of biological measures can provide guidance for areas where there is limited information on this phenomenon (e.g., Europe, South America, Asia and Africa) but are equally threatened by invasive species (Mount & Pickering 2009).

Methods

In 2020, I collected research on biosecurity measures related to human clothing in Google Scholar to obtain scientific publications. I used ‘biosecurity seed dispersal’ and ‘biosecurity seed’ combinations of search terms and reviewed potentially relevant references. Initially, I screened the titles and abstracts and then I further expanded the list from their bibliography. I finished the search when I could not find any studies on the topic.

Results and discussion

I found 24 relevant studies regarding human-vectored seed dispersal on clothing. I have grouped the biological measures based on Meyerson & Reaser (2002) and Simberloff et al. (2013) as follows:

- Information: Providing adequate information to people about seed dispersal on clothing (e.g., provided by brochures, maps, signs, interpretation manuals and tour guides).
- Self-regulation: Self-regulation is completely voluntary and based on individual decision (e.g., selection of clothing with low adhesion potential, removal of diaspores from clothing and proper storage).
- Legislation: Visitors must follow the strict regulation, when visiting the area (e.g., cleaning clothes and shoes, declaration of previous routes).

- Quarantine measures: Minimisation the contact possibilities between humans and diaspores.
- Monitoring: Collection of information about past and future routes of visitors.
- Interception/containment: Establishment of cleaning stations for employees and visitors (e.g., by providing a brush, hose and disinfectants).
- Visitor management: Visitor management includes tourism codes, which aim to influence attitudes and modify the behaviour of tourists.

According to the studies most biological measures are mainly used in the Antarctica, Australian and Oceania. These biological protection methods can serve as a great starting point in other regions (including Hungary) where there is currently less information about epianthropochory. Based on our review, we identified the following recommendations for future research and policy:

- extension of information with possible defence options
- emphasising the importance of personal decisions
- establishment of mandatory cleaning stations at the entry points of protected areas
- extending the required cleaning of clothes to luggage, since diaspores can remain germinable attached on clothing after laundry washing (Valkó et al. 2020)
- introduction of additional quarantine measures in highly protected areas
- preparation of questionnaires available for tourists on a voluntary basis, about the habitat types and geographical regions previously visited would give important hints about the directions of HVD
- expanding the tourist codes with guidelines related to the protection against epianthropochory.

The effects of epianthropochory have already been noticed in many regions, however, our knowledge on this globally relevant process is still incomplete. Currently, there are no biological measures to control the epianthropochory in Hungary, however there are some observations about this phenomenon (Csiky et al. 2020; Csecserits et al. 2021).

New scientific results

- Our results show that many diaspores can disperse on clothing, even those have completely different dispersal strategies (e.g., anemochorus, endozoochorus species).
- In the case of 137 plant species, we were the first to indicate their capability of spreading by epianthropochory.
- We showed that weeds and disturbance-tolerant species are the ones most frequently dispersed by epianthropochory. In contrast, specialist species can spread in much lower numbers.
- Our study highlighted that environmental factors significantly influence the number of species of diaspores on clothing. Most diaspores attach to clothing during midsummer (seed ripening season in temperate zone) and after visiting grassland habitats.
- The type of activity significantly influences the diaspores (species- and diaspore numbers) attached to clothing. In this process field biologists have a greater role and responsibility.
- Our study showed that laundry washing significantly affects the viability- and germination dynamics of diaspores.
- The germination potential after the laundry washing is mostly determined by the washing intensity. We showed that the germination potential of the tested diaspores did not decrease after gentle washing (30 °C), but after intensive washing (60 °C) germination potential decreased in half of the species.
- Among the examined types of clothes, jeans have the lowest seed retention potential. In contrast, fleece sweater and cotton socks provide a good adhesion surface for many diaspores.
- We have shown that some of the diaspores remain on clothes even after the laundry washing. For this reason, they can travel huge distances or even settle in the urban environment.
- People's responsibility is crucial in this process. The selection of clothing and fabric types, and washing temperature is very important, since all these can influence diaspore adhesion.

- We found that most biosecurity measures for HVD on clothing are applied in Antarctica, Australia, and islands of Oceania.
- Based on the literature, we recommended a number of suggestions that can provide additions to future research and guidelines.
- In Hungary, there are currently no biological measures to decrease the adverse effects of epianthropochory, however there are already observations of the phenomenon. Against for epianthropochory, it would be the most effective solution to apply a combination of the available measures.

Acknowledgements

I am really grateful to my supervisor Prof. Dr. Orsolya Valkó for her help and useful advice both in field- and laboratory work, publishing and for the continuous support and encouragement in my work. I would like to express my gratitude to my colleagues: Balázs Deák, Laura Godó, András Kelemen, Réka Kiss and Ágnes Tóth, furthermore, to the co-authors: Zoltán Bátori, Alida Anna Hábczyus, Tamás Miglécz, Szilvia Radócz, Zoltán Rádai, Judit Sonkoly, Katalin Szél-Tóth, Béla Tóthmérész and Csaba Tölgyesi. I would also like to thank Sándor Borza, Rita Engel, Réka Fekete and Eszter Korom for their help in my current research on human-vectored seed dispersal. Finally, I would like to thank the volunteers who enthusiastically participated in the field experiment investigating epianthropochory.

I thank the support for the Tempus scholarship, Universitas Foundation of the University of Debrecen, for the Young Researcher Scholarship of the Centre for Ecological Research, and as well as for the ‘Lendület’ Seed Ecology Research Group. The help of grants ÚNKP-18-3-II-DE-34, NKFI FK 124404, NKFI MEC_141156 in providing research facilities are gratefully acknowledged.



Registry number: DEENK/539/2023.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Katalin Lukács
Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences
MTMT ID: 10074912

List of publications related to the dissertation

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (2)

1. **Lukács, K.**, Valkó, O.: Magterjedés az emberi ruházaton: megelőzési és védekezési lehetőségek.
Termvéd. közl. 28, 74-85, 2022. ISSN: 1216-4585.
DOI: <http://dx.doi.org/10.20332/tvk-jnatconserv.2022.28.74>
2. **Lukács, K.**, Valkó, O.: A ruházat szerepe az ember általi magterjesztésben.
Kitaibelia. 23 (1), 77-86, 2018. ISSN: 1219-9672.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17542/kit.23.77>

Foreign language scientific articles in international journals (3)

3. **Lukács, K.**, Tóth, Á., Kiss, R., Deák, B., Rádai, Z., Tóth, K., Kelemen, A., Bátor, Z., Hábcenczyus, A. A., Tölgyesi, C., Migléc, T., Godó, L., Valkó, O.: The ecological footprint of outdoor activities: Factors affecting human-vectored seed dispersal on clothing.
Sci. Total Environ. 906, 1-8, 2024. ISSN: 0048-9697.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.167675>
IF: 9.8 (2022)
4. **Lukács, K.**, Valkó, O.: Human-vectored seed dispersal as a threat to protected areas: Prevention, mitigation and policy.
Glob. Ecol. Conserv. 31, 1-7, 2021. ISSN: 2351-9894.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.gecco.2021.e01851>
IF: 3.969
5. Valkó, O., **Lukács, K.**, Deák, B., Kiss, R., Migléc, T., Tóth, K., Tóth, Á., Godó, L., Radócz, S., Sonkoly, J., Kelemen, A., Tóthmérész, B.: Laundry washing increases dispersal efficiency of cloth-dispersed propagules.
NeoBiota. 61, 1-16, 2020. ISSN: 1619-0033.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3897/neobiota.61.53730>
IF: 3.684





List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (3)

6. Deák, B., Török, P., Tóthmérész, B., Radócz, S., **Lukács, K.**, Valkó, O.: A közép-tiszavidéki halmok flórakutatásának új eredményei.
Kitaibelia. 24 (1), 94-105, 2019. ISSN: 1219-9672.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17542/kit.24.94>
7. Deák, B., **Lukács, K.**, Báthori, F., Valkó, O.: Közönséges kígyónyelv (Ophioglossum vulgatum) meglepő új előfordulása a Tiszafüred-Kunhegyesi síkon.
Kitaibelia. 24 (2), 257-266, 2019. ISSN: 1219-9672.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17542/kit.24.257>
8. Kiss, R., László, S., Tóth, K., Balogh, N., Godó, L., Körmöczi, Z., Radócz, S., **Lukács, K.**: Eltérő kezelési típusok alkalmazása kékperjés láprétek fenntartására.
Gyepgazdálk. Közl. 16 (1), 19-24, 2018. ISSN: 1785-2498.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

9. Kiss, R., Sonkoly, J., Török, P., Tóthmérész, B., Deák, B., Tóth, K., **Lukács, K.**, Godó, L., Kelemen, A., Miglécz, T., Radócz, S., Tóth, E., Balogh, N., Valkó, O.: Germination capacity of 75 herbaceous species of the Pannonian flora and implications for restoration.
Acta Bot. Hung. 60 (3-4), 357-368, 2018. ISSN: 0236-6495.
DOI: <https://doi.org/10.1556/034.60.2018.3-4.7>

Foreign language scientific articles in international journals (10)

10. Kiss, R., Deák, B., Tóth, K., **Lukács, K.**, Rádai, Z., Kelemen, A., Miglécz, T., Tóth, Á., Godó, L., Valkó, O.: Co-seeding grasses and forbs supports restoration of species-rich grasslands and improves weed control in ex-arable land.
Sci. Rep. 12 (1), 1-13, 2022. EISSN: 2045-2322.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-022-25837-4>
IF: 4.6
11. Tóth, Á., Deák, B., Tóth, K., Kiss, R., **Lukács, K.**, Rádai, Z., Godó, L., Borza, S., Kelemen, A., Miglécz, T., Bátor, Z., Novák, T., Valkó, O.: Vertical distribution of soil seed bank and the ecological importance of deeply buried seeds in alkaline grasslands.
PeerJ. 10, 1-19, 2022. EISSN: 2167-8359.
DOI: <https://doi.org/10.7717/peerj.13226>
IF: 2.7





12. Deák, B., Rádai, Z., Bátori, Z., Kelemen, A., **Lukács, K.**, Kiss, R., Maák, I. E., Valkó, O.: Ancient Burial Mounds Provide Safe Havens for Grassland Specialist Plants in Transformed Landscapes- A Trait-Based Analysis.
Front. Ecol. Evol. 9, 1-13, 2021. ISSN: 2296-701X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fevo.2021.619812>
IF: 4.493
13. Tammaru, K., Košnar, J., Abbas, A. F., Barta, K. A., De, B. F., Harrison, S., Degli, E. I., Kiss, R., **Lukács, K.**, Neumann, S. M., Wagia, H., Puy, J., Lepš, J.: Ecological differentiation of *Carex* species coexisting in a wet meadow: Comparison of pot and field experiments.
Acta Oecol.-Int. J. Ecol. 110, 1-10, 2021. ISSN: 1146-609X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actao.2020.103692>
IF: 1.93
14. Kiss, R., Deák, B., Tóthmérész, B., Miglécz, T., Tóth, K., Török, P., **Lukács, K.**, Godó, L., Körmöcz, Z., Radócz, S., Kelemen, A., Sonkoly, J., Kirmer, A., Tischew, S., Švamberková, E., Valkó, O.: Establishment gaps in species-poor grasslands: artificial biodiversity hotspots to support the colonization of target species.
Restor. Ecol. 29 (S1), 1-8, 2021. ISSN: 1061-2971.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/rec.13135>
IF: 4.181
15. Deák, B., Kovács, B., Rádai, Z., Apostolova, I., Kelemen, A., Kiss, R., **Lukács, K.**, Palpurina, S., Sopotlieva, D., Báthori, F., Valkó, O.: Linking environmental heterogeneity and plant diversity: The ecological role of small natural features in homogeneous landscapes.
Sci. Total Environ. 763, 1-13, 2021. ISSN: 0048-9697.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.144199>
IF: 10.753
16. Kiss, R., Deák, B., Tóthmérész, B., Miglécz, T., Tóth, K., Török, P., **Lukács, K.**, Godó, L., Körmöcz, Z., Radócz, S., Borza, S., Kelemen, A., Sonkoly, J., Kirmer, A., Tischew, S., Valkó, O.: Zoochory on and off: A field experiment for trait-based analysis of establishment success of grassland species.
J. Veg. Sci. 32 (4), 1-12, 2021. ISSN: 1100-9233.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1111/jvs.13051>
IF: 3.389
17. Deák, B., Rádai, Z., **Lukács, K.**, Kelemen, A., Kiss, R., Bátori, Z., Kiss, P. J., Valkó, O.: Fragmented dry grasslands preserve unique components of plant species and phylogenetic diversity in agricultural landscapes.
Biodivers. Conserv. 29 (14), 4091-4110, 2020. ISSN: 0960-3115.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10531-020-02066-7>
IF: 3.549





18. Vojtkó, A. E., Balogh, N., Deák, B., Kelemen, A., Kis, S., Kiss, R., Lovas-Kiss, Á., Lőki, V.,
Lukács, K., Molnár, V. A., Nagy, T., Sonkoly, J., Süveges, K., Takács, A., Tóth, E., Tóth, K.,
Tóthmérész, B., Török, P., Valkó, O., Vojtkó, A., Lukács, B. A.: Leaf trait records of vascular
plant species in the Pannonian flora with special focus on endemics and rarities.
Folia Geobot. 55 (2), 73-79, 2020. ISSN: 1211-9520.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s12224-020-09363-7>
IF: 1.544
19. Ruprecht, E., **Lukács, K.**, Domokos, P., Kuhn, T., Fenesi, A.: Hydration status influences seed
fire tolerance in temperate European herbaceous species.
Plant Biol. 18 (2), 295-300, 2015. ISSN: 1435-8603.
DOI: <https://doi.org/10.1111/plb.12394>
IF: 2.216

Total IF of journals (all publications): 56,808

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 17,453

The Candidate's publication data submitted to the iDEa Tudóstér have been validated by DEENK on
the basis of the Journal Citation Report (Impact Factor) database.

15 December, 2023



Irodalomjegyzék - References

- Ansong, M., & Pickering, C. (2014a). Weed seeds on clothing: A global review. *Journal of Environmental Management*, *144*, 203–211.
- Ansong, M., & Pickering, C. (2014b). Weed hygiene: what do we do with seeds we find on our clothing? *19th Australasian Weeds Conference – Science, Community and Food Security: the weed Challenge*, Hobart, Tasmania.
- Auffret, A. G., & Cousins, S. A. (2013). Humans as long-distance dispersers of rural plant communities. *PLoS One*, *8*(5).
- Borhidi, A. (1995). Social behaviour types, the naturalness and relative indicator values of the higher plants in the Hungarian fora. *Acta Botanica Hungarica*, *39*, 97–181.
- Bullock, J. M., Bonte, D., Pufal, G., da Silva Carvalho, C., Chapman, D. S., García, C., Matthysen, E., & Delgado, M. M. (2018). Human-mediated dispersal and the rewiring of spatial networks. *Trends in Ecology & Evolution*, *33*(12), 958–970.
- Bullock, J. M., & Pufal, G. (2020). Human-mediated dispersal as a driver of vegetation dynamics: a conceptual synthesis. *Journal of Vegetation Science*, *31*(6), 943–953.
- Byrnes, J. P., Miller, D. C., & Schafer, W. D. (1999). Gender differences in risk taking: A meta-analysis. *Psychological bulletin*, *125*(3), 367.
- Csecserits, A., Jakab, G., & Rédei, T. (2021). Új adventív faj Magyarország flórájában: az útifülevelű kigyószisz (*Echium plantagineum*). *Kitaibelia*, *26*(2), 199.
- Csiky, J., Baráth, K., Barna, P., Csikyné Radnai, É., Deme, J., Szigetvári, Cs., Wirth, T., & Kovács, D. (2020). Pótlások Magyarország edényes növényfajainak elterjedési atlaszához X. *Kitaibelia*, *25*(1), 101–106.
- Huiskes, A. H., Gremmen, N. J., Bergstrom, D. M., Frenot, Y., Hughes, K. A., Imura, S., Kiefer, K., Lebouvier, M., Lee, J. E., Tsujimoto, M., Ware, C., Van den Vijver, B., & Chown, S. L. (2014). Aliens in Antarctica: assessing transfer of plant propagules by human visitors to reduce invasion risk. *Biological Conservation*, *171*, 278–284.
- Lefcort, H., & Lefcort, C. (2014). Cheatgrass (*Bromus tectorum*) seeds are still viable after laundry cycle. *Natural Areas Journal*, *34*(4), 505–508.
- Lukács, K., & Valkó, O. (2018). A ruházat szerepe az ember általi magterjesztésben. *Kitaibelia*, *23*(1), 77–86.
- Lukács, K., & Valkó, O. (2021). Human-vectored seed dispersal as a threat to protected areas: Prevention, mitigation and policy. *Global Ecology and Conservation*, *31*, e01851.

- Lukács, K., & Valkó, O. (2022). Magterjedés az emberi ruházaton: megelőzési és védekezési lehetőségek. *Természetvédelmi Közlemények*, 28, 74–85.
- Lukács, K., Tóth, Á., Kiss, R., Deák, B., Rádai, Z., Tóth, K., Kelemen, A., Bátor, Z., Hábcnyus, A.A., Tölgyesi, C., Miglécz, T., Godó, L., Valkó, O. (2024). The ecological footprint of outdoor activities: Factors affecting human-vectored seed dispersal on clothing. *Science of the Total Environment*, 906, 167675.
- Meyerson, L. A., & Reaser, J. K. (2002). Biosecurity: moving toward a comprehensive approach. *BioScience*, 52(7), 593–600.
- Montagnani, C., Gentili, R., Brundu, G., Caronni, S., & Citterio, S. (2022). Accidental Introduction and Spread of Top Invasive Alien Plants in the European Union through Human-Mediated Agricultural Pathways: What Should We Expect? *Agronomy*, 12(2), 423.
- Morgan, E., Foxon, T. J., & Tallontire, A. (2018). ‘I prefer 30°?’ Business strategies for influencing consumer laundry practices to reduce carbon emissions. *Journal of Cleaner Production*, 190, 234–250.
- Mount, A., & Pickering, C. M. (2009). Testing the capacity of clothing to act as a vector for non-native seed in protected areas. *Journal of Environmental Management*, 91(1), 168–179.
- Padayachee, A. L., Irlich, U. M., Faulkner, K. T., Gaertner, M., Procheş, Ş., Wilson, J. R., & Rouget, M. (2017). How do invasive species travel to and through urban environments?. *Biological invasions*, 19, 3557–3570.
- Pauchard, A., Kueffer, C., Dietz, H., Daehler, C. C., Alexander, J., Edwards, P. J., Arèvalo, J. R., Cavieres, L. A., Guisan, A., Haider, S., Jakobs, G., McDougall, K., Millar, C. I., Naylor, B. J., Parks, C. G., Rew, L. J., & Seipel, T. (2009). Ain't no mountain high enough: plant invasions reaching new elevations. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7(9), 479–486.
- Sales, N. M., Pérez-García, F., & Silveira, F. A. O. (2013). Consistent variation in seed germination across an environmental gradient in a Neotropical savanna. *South African Journal of Botany*, 87, 129–133.
- Schermann Sz. (1967). Magismeret I-II. *Akadémiai Kiadó*, Budapest.
- Simberloff, D., Martin, J. L., Genovesi, P., Maris, V., Wardle, D. A., Aronson, J. & Pyšek, P. (2013). Impacts of biological invasions: what's what and the way forward. *Trends in Ecology and Evolution*, 28(1), 58–66.
- Tollington, S., Turbé, A., Rabitsch, W., Groombridge, J. J., Scalera, R., Essl, F., & Shwartz, A. (2017). Making the EU legislation on invasive species a conservation success. *Conservation Letters*, 10(1), 112–120.

- Török, P., Migléc, T., Valkó, O., Tóth, K., Kelemen, A., Albert, Á.-J., Matus, G., Molnár, V. A., Ruprecht, E., Papp, L., Deák, B., Horváth, O., Takács, A., Hüse, B., & Tóthmérész, B. (2013). New thousand-seed weight records of the Pannonian flora and their application in analysing social behaviour types. *Acta Botanica Hungarica*, 55(3–4), 429–472.
- Török, P., Tóth, E., Tóth, K., Valkó, O., Deák, B., Kelbert, B., Bálint, P., Radócz, Sz., Kelemen, A., Sonkoly, J., Migléc, T., Matus, G., Takács, A., Molnár, V. A., Süveges, K., Papp, L., Papp, L. Jr., Tóth, Z., Baktay, B., Málnási Csizmadia, G., Oláh, I., Peti, E., Schellenberger, J., Szalkovszki, O., Kiss, R., & Tóthmérész, B. (2016). New measurements of thousand-seed weights of species in the Pannonian flora. *Acta Botanica Hungarica*, 58(1–2), 187–198.
- Valkó, O., Lukács, K., Deák, B., Kiss, R., Migléc, T., Tóth, K., Tóth, Á., Godó, L., Radócz, S., Sonkoly, J., Kelemen, A., & Tóthmérész, B. (2020). Laundry washing increases dispersal efficiency of cloth-dispersed propagules. *NeoBiota*, 61, 1–16.
- Ware, C., Bergstrom, D. M., Müller, E., & Alsos, I. G. (2012). Humans introduce viable seeds to the Arctic on footwear. *Biological Invasions*, 14(3), 567–577.
- Wichmann, M. C., Alexander, M. J., Soons, M. B., Galsworthy, S., Dunne, L., Gould, R., Fairfax, C., Niggemann, M., Hails, R. S., & Bullock, J. M. (2009). Human-mediated dispersal of seeds over long distances. *Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences*, 276(1656), 523–532.