

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Utak hatása a növényi sokféleségre

FEKETE RÉKA

Témavezető

DR. MOLNÁR V. ATTILA



DEBRECENI EGYETEM

Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola

Debrecen, 2021

Bevezetés

Az utak élővilágra gyakorolt hatásai közül legismertebbek a negatív hatások, mint az élőhelyek feldarabolódása, a szegélyhatás, az érintett életközösségek sérülékenyebbé válása és inváziós fajok általi könnyebb elérhetősége, az élőlények járművek általi elütése, vagy a szennyezőanyagok felhalmozódása a talajban, felszíni vizekben (Ndiokwere 1984, Forman & Alexander 1998). Mindezekkel szemben kevésbé ismert az utaknak, mint az őshonos növényzet számára menedékhelyeknek a szerepe. A féltermészetes, évszázadok óta hagyományosan kezelt (kaszált vagy legeltetett), értékes növényközösségeket fenntartó élőhelyek ugyanis világszerte fogyatkozóban és fragmentálódóban vannak (Tikka et al. 2000, Tilman et al. 2001, Nascimbene et al. 2016), a tájhasználat intenzívebbé válása következtében (Bignal & McCracken 1996, Krauss et al. 2010).

Az ezen változásokra érzékeny növényfajok megőrzésében ezért egyre inkább felértékelődik a szerepe az olyan, kis kiterjedésű, ember-alkotta vagy az ember által jelentősen befolyásolt élőhelyeknek, mint az útszegélyek (Perring 1969, Way 1970, Godefroid 1999, Cousins 2006) vagy akár a temetők (Barrett & Barrett 2001, Czarna & Nowińska 2010, Buchholz et al. 2016, Yilmaz et al. 2018). A temetők refúgium szerepének fő oka, hogy számos vallás szakrális helyként tekint rájuk, ahol mindenféle zavarás tilos (Hadi et al. 2014) és mivel gyakran kerítéssel vannak körbe kerítve ezért taposás, túllegeltetés sem fenyegeti őket.

Az útszegélyek megfelelő kezelése pedig éppen rendszeres kaszálásuk miatt, fajgazdag, jelentős természetvédelmi értéket képviselő gyepek közösségek fennmaradását teszi lehetővé (Hovd & Skogen 2005, Auestad et al. 2011). Bár az útszegélyek gyakran a féltermészetes élőhelyek elszigetelt maradványai, fajgazdagságuk nagymértékben függ a környező tájtól (Cousins 2006). Például Cousins & Lindborg (2008) tanulmányukban, kimutatták, hogy a legintenzívebben kezelt tájban az útszegélyek és mezsgyék fajgazdagsága csökken a féltermészetes gyepek távolságának növekedésével.

Mivel az orchideák életmenete szorosan kötődik megporzóikhoz és mikorrhiza partnereikhez (Waterman & Bidartondo 2008), ezért a biodiverzitás indikátor szervezeteinek tekinthetők (Swarts & Dixon 2009). Orchideák megtelepedése pedig egy jól ismert jelenség útszegélyeken (Good 1936, Brandes 1988) és temetőkben (Kreutz & Krüger 2014, Löki et al. 2015).

Az útszegélyeken leggyakrabban megtelepedő európai orchideák közé tartoznak a sallangvirág (*Himantoglossum*) nemzetség fajai 7 *Himantoglossum* fajnak ismertek útszegélyeken élő állományai (Federici & Serpieri, 1868, Ehmke, 2005, Fekete et al. 2017).

Az útszélek nemcsak menedéket nyújtanak az őshonos flórának, de bebizonyosodott, hogy ökológiai folyosóként szolgálnak számos fajnak (Gustafsson & Hansson 1997, Haddad et al. 2003). Az ökológiai folyosó szerep azonban az idegenhonos fajok esetében egy jóval gyakoribb és ismertebb jelenség, mint az őshonos fajok esetén (Lin 2007, von der Lippe & Kowarik 2007, Joly et al. 2011, Gulezian et al. 2012, Das & Duarah 2013, Bacaro et al. 2015). Ehhez a jelenséghez nagyban hozzájárulnak egyrészt az úthálózat fejlesztések, melyek következtében az úthálózatok kiterjedése az elmúlt évszázadban jelentősen megnőtt (Nicodeme et al. 2017). Másrészt a legújabb tanulmányok kiemelik a járművek szerepét az idegenhonos fajok terjesztésében (von der Lippe & Kowarik 2007, Nguyen 2011, Khan et al. 2018). A terjedést pedig elősegíthetik a könnyű magvú fajok esetében a járművek által keltett légáramlatok (Ross 1986), illetve a járművekre tapadt sár, ami jelentős mennyiségű magot tartalmazhat (Clifford 1959). Idegenhonos fajok út menti erjedését elősegíthetik továbbá az útszegélyek különböző kezelési folyamatai, mint a gyakori kaszálás, gyomirtózás vagy a sózás (Forman & Alexander 1998). Az utak téli csúszásmentesítő sózása általánossá vált az elmúlt néhány évtizedben. Habár a téli csúszásmentesítő eljárások országonként változhatnak, a legtöbb országban mégis a leggyakrabban használt anyag a só (elsősorban konyhasó (NaCl), kisebb mértékben CaCl₂ és ritkábban MgCl₂ Houska 2007). A talajban megnövekedett sótartalom ozmotikus stresszt okozhat, befolyásolja a talaj pH értékét, a tápanyagok elérhetőségét, egyensúlyát és ez által megváltoztatja a vegetáció faji összetételét, elősegíti különféle stressztűrő, halofil (sótűrő) növényfajok út menti terjedését (Davison 1971). Sótűrő növények utak menti terjedése egy világszerte ismert jelenség (Reznicek 1980, Scott & Davison 1982, Dogan et al. 2004). Számos tanulmány leírta tengerparti só-tűrő növényfajok utak mentén való terjedését Európa kontinentális területein és az Egyesült Királyságban (Scott & Davison 1982, Scott 1985, Hohla & Melzer 2003, Hohla & Raabe 2012). Hazánkban is jelentek már meg tengerpartokról utak mentén érkező só-tűrő növényfajok, mint a csókalábú útifű (*Plantago coronopus* L.) (Schmidt et al. 2014) vagy a dán kanálfű (*Cochlearia danica* L.) (Molnár V. & Löki 2016).

Célkitűzések

1. I. esettanulmány: *Útszegélyek, mint a veszélyeztetett sallangvirágok (Himantoglossum spp., Orchidaceae) élőhelyei: ökológiai csapdák vagy menedékek?*

Az esettanulmány célja volt (1) a sallangvirágok útmenti állományainak szisztematikus vizsgálata Európában; (2) a sallangvirágok számára élőhelyül szolgáló útszegélyek jellemzőinek dokumentálása; (3) annak vizsgálata, hogy az utak közelsége miként hat az egyedek vegetatív tulajdonságaira és reprodukív sikerére.

2. II. esettanulmány: *Útszegélyek és temetők: antropogén orchidea élőhelyek összehasonlító elemzése a Kelet-Mediterráneumban*

Az esettanulmány célja volt annak vizsgálata (1) hogy a temetőkben vagy az útszegélyeken van-e jelen több orchidea egyed és faj, így melyik antropogén élőhelytípus játszik nagyobb szerepet a megőrzésükben; (2) hogy mely környezeti tényezők felelősek az orchideák jelenlétéért a kétféle élőhelytípusban; (3) hogy van-e a települések közelségéből adódó antropogén hatás az útszegélyeken és temetőkben élő orchideák faj-és egyedszámára; (4) hogy az út közelsége negatívan hat-e az orchidea egyedek előfordulására.

3. III. esettanulmány: *A környező táj hatása az útszegélyek orchideák megőrzésében betöltött szerepére*

Az esettanulmány fő célkitűzései a következők voltak: (1) az útszegélyeket élőhelyül „választó” faj-és egyedszámok értékelése öt közép-európai ország területén (Ausztria, Magyarország, Románia, Szlovákia, Szlovénia); (2) annak vizsgálata, hogy a tájmátrix hogyan befolyásolja általában az orchideák faj-és egyedszámát, valamint a különböző funkcionális csoportokat (erdei, gyepi és széles ökológiai toleranciájú fajok) a vizsgált élőhelyeken.

4. IV. esettanulmány: *Egy tengerparti növényfaj: a Cochlearia danica (L.) közutak mentén való terjedése*

A IV. esettanulmány aktualitását a már korábban említett dán kanálfű (*Cochlearia danica*) hazai megtalálása adta, mely egyedülálló lehetőséget kínált egy potenciális növényi invázió első szakaszának nyomon követésére és részletesebb vizsgálatára. A lehetséges invázió következő szakaszaira összpontosítottunk: (1) Terjedés: szakirodalmi adatok alapján nyom on követtük a faj eddigi közutak menti terjedését a kontinentális Európán keresztül és részletesen megvizsgáltuk a közelmúltbeli magyarországi előfordulásait terepi felmérések során. (2)

Kolonizáció: megvizsgáltuk a talajparamétereket a *C. danica* magyarországi út menti élőhelyein és teszteltük a sótartalom csírázásra gyakorolt hatását in vitro csíráztatásos kísérletben. (3) Állománynövekedés: Megbecsültük a faj terjedési képességét és inváziós potenciálját állománydinamikájának és reprodukzív tulajdonságainak tanulmányozásával.

5. V. esettanulmány: Egy tengerparti faj terjedése a kontinentális Európában: *Plantago coronopus* L.

Az V. esettanulmány célja a csókalábú útifű (*Plantago coronopus*) utak mentén történő elterjedésére vonatkozó adatok és ismeretek összegzése volt: (1) a faj eddigi utak menti terjedésére vonatkozó irodalmi adatok összegyűjtése; (2) a faj őshonos és idegenhonos elterjedési területein való jelenlegi út menti terjedés feltérképezése terepi felmérések segítségével; (3) a magprodukció becslése és a só csírázására gyakorolt hatásának tesztelése; (4) annak vizsgálata, hogy mely tényezők befolyásolják az utak menti előfordulását, és mi a különbség az őshonos és idegenhonos területek útmenti előfordulásai között.

Anyag és módszer

1. I. esettanulmány: Útszegélyek, mint a veszélyeztetett sallangvirágok (*Himantoglossum* spp., *Orchidaceae*) élőhelyei: ökológiai csapdák vagy menedékek?

Három sallangvirág faj [*Himantoglossum adriaticum* H. Baumann, *H. calcaratum* (G. Beck) Schlechter subsp. *calcaratum*, *Himantoglossum robertianum* (Loisel.) P. Delforge] előfordulásait vizsgáltuk 8 ország (Bosznia-Hercegovinában, Horvátországban, Cipruson, Franciaországban, Magyarországon, Olaszországban, Montenegróban és Szerbiában) útszegélyein. Minden mintavételi ponton rögzítettük a geookordinátákat és a tengerszint feletti magasságot. Minden vizsgált példány esetében mérőszalaggal megmértük az út szegélyétől való abszolút távolságát (ebből származtattuk később a relatív távolságot), megbecsültük a fölöttük lévő fásszárú borítás mértékét, feljegyeztük a virágzó hajtás magasságát, a virágok és a termések számát. Felírtuk továbbá, hogy az egyed sík, vagy lejtős felszínen helyezkedett-e el az útszegélyen, utóbbi esetben pedig mértük a lejtő kitétségét. Így egy öt kategóriás változót hoztunk létre: sík pozíció, északias, délies, keleties és nyugatias kitétség. Minden adatelemzést az R stratégiai környezetben végeztük (3.4.1 verzió, R Core Team 2017).

2. II. esettanulmány: Útszegélyek és temetők: antropogén orchidea élőhelyek összehasonlító elemzése a Kelet-Mediterráneumban

A terepi mintavételeket, tehát a temetők és útszegélyek felmérést három mediterrán szigeten, Cipruson (a Ciprusi Köztársaság területén), Krétán (Görögország) és Leszboszon (Görögország) végeztük. Minden meglátogatott temetőnél rögzítettünk geokoordinátákat és a tengerszint feletti magasságot. Azonosítottuk a megtalált orchidea fajokat és rögzítettük az ezekhez tartozó egyedek számát. Ezenkívül a Google Earth Pro szoftver (Google Earth 2018) segítségével megmértük a temető teljes területét, valamint a sírok, beton (lebetonozott területek, utak), erdők és gyepek által borított területet. Az útszegélyek esetében kétféle mintavételi eljárást alkalmaztunk, az egyik egy tematikus mintavétel volt, ami azt jelentette, hogy aszfaltozott utakon haladva öt kilométerenként megálltunk Cipruson és Krétán. Rövidebb, azaz két kilométerenkénti megállókat határoztunk meg Leszbosz esetében a sziget kis területe miatt. A másik egy nem tematikus mintavétel volt, vagyis minden olyan helyen megálltunk, ahol orchideákat észleltünk az autóból. Az orchideás mintavételi helyeken az I. esettanulmány során leírt mintavételi protokollt követtük. Amennyiben a tematikus mintavételi ponton nem voltak jelen orchideák, ezeket a paramétereket 10 méterenként szintén 50 m-es útszakaszon rögzítettük. Továbbá mindhárom mintavételi pont (tematikus, nem tematikus és temető) esetében a pont és a legközelebbi település (a mintavételi ponthoz legközelebbi település legközelebbi épülete) közötti távolságokat egyenes vonalban és közúton mértük a Google Maps segítségével. Az adatelemzéseket szintén az R stratégiai környezetben végeztük (3.4.1 verzió, R Core Team 2017).

3. III. esettanulmány: A környező táj hatása az útszegélyek orchideák megőrzésében betöltött szerepére

A terepi mintavételt öt közép-európai országban (Ausztria, Magyarország, Románia, Szlovákia, Szlovénia) végeztük. A már korábban részletezett mintavételi eljárást alkalmaztuk. A tematikus mintavétel során 5 kilométerenként voltak a mintavételi pontjaink. Minden mintavételi ponthoz táji változókat rendeltünk a környező tájmátrix alapján 1 és 10 km sugarú körben. Ehhez a 2018-as Corine Land Cover (CLC) adatsort használtuk (elérhető: Copernicus Land Monitoring Service of the European Union). Az adatelemzéseket szintén az R stratégiai környezetben végeztük (3.4.1 verzió, R Core Team 2017).

4. IV. esettanulmány: Egy tengerparti növényfaj: a *Cochlearia danica* (L.) közutak mentén való terjedése

A faj kontinentális Európában való terjedési sebességének megbecsléséhez szakirodalmi adatokat kerestünk, majd összesen 22 releváns publikációt használtunk fel. Terepi felméréseink során felkerestük a nemrégiben megtalált hazai állományokat (Győr, Győrújbarát, Biharkeresztes, Ártánd), és más előfordulások után is kutattunk.

In vitro teszteltük a *C. danica* magok csírázási képességét különböző NaCl koncentrációjú, 1% agar-agar táptalajon Petri-csészékben. Ezenkívül a csírázást a kelet-magyarországi Zsádányból (46,93589°É, 21,52886°K) származó szikes talajjal töltött műanyag edényekben is teszteltük. Mindkét kísérlet (19 NaCl-koncentráción és a szikes talajon való csíráztatás) során 50-50 magot csíráztattunk háromszoros ismétléssel egy adott koncentráción és 60 napig figyeltük a csírázást.

Talajjellemzéseket végeztünk, ehhez a mintákat a két legnagyobb magyar állománytól (Biharkeresztes és Győr) gyűjtöttük, Biharkeresztesen és Győrben. Összesen tíz-tíz pontból, három különböző úttól való távolságból (1, 2, 3 m), gyökérmélységből (1,5–6,5 cm) vettük a mintákat. A csíráztatásos kísérlet során használt szikes talajok is elemzésre kerültek.

Rögzítettük a hazai állományok geokoordinátáit, majd mértük a biharkeresztesi és ártándi állományok térbeli kiterjedését és megbecsültük az egyedszámokat két egymást követő évben (2016 és 2017). Az egyes populációk egyedszámának becsléséhez minden állománynál 11 véletlenszerűen kijelölt négyzetben (10 × 10 cm) megszámoltuk az egyedeket.

Az egyedi magprodukciónak becsléséhez 30 egyedeket használtunk és megszámoltuk az egyedenkénti virágzó hajtásokat és a virágzatonkénti virágszámokat (egyedenként öt virágzatban) és a termésenkénti magok számát. Meghatároztuk a faj ezermagtömegét 2016-ban 3 × 100 mag mérése alapján (Török et al. 2013). Az adatelemzéseket szintén az R stratégiai környezetben végeztük (3.4.1 verzió, R Core Team 2017).

5. V. esettanulmány: Egy tengerparti faj terjedése a kontinentális Európában: *Plantago coronopus* L.

Az európai utak mentén való terjedés sebességének becsléséhez szintén szakirodalmi keresést végeztünk, a tanulmányok átnézése után a *P. coronopus* útszéli előfordulásaival foglalkozó cikkek száma 47 volt.

Út menti felméréseket végeztünk Európán belül négy régióban, ezek közül három a *P. coronopus* őshonos elterjedési területén (kontinentális Görögország, Lesbosz, Ciprus) egy

további régió (Magyarország) pedig az őshonos elterjedési területen kívüli volt. Minden mintavételi pontban felmértünk egy 50 méteres útszakaszt (csak az út jobb oldalán) a *P. coronopus* után kutatva és feljegyeztük a geokoordinátákat, a tengerszint feletti magasságot a faj jelenlétét vagy hiányát és előbbi esetén az egyedszámokat. Feljegyeztük más halofil növényfajok jelenlétét is. Továbbá a hazai mintavételi pontjainkra összegyűjtöttük az adott útszakasz 2018-as évre vonatkozó forgalmi adatait a Magyar Közút online elérhető adatbázisából (Magyar Közúti Nonprofit Zrt. 2019).

A potenciális egyedi magprodukció becsüléséhez megszámláltuk az egyedenkénti virágzó hajtások számát, a virágzatonkénti virágszámokat (30 egyeden és 30 virágzatban) és a termésenkénti magok számát. In vitro csíráztatásos kísérletet végeztünk különböző NaCl koncentrációkon, Petri-csészékben, 1% agar-agar táptalajon koncentrációnként 3x 50 maggal. A csírázást 14 napig figyeltük. Minden adatelemzést az R statisztikai környezetben (3.6.3 verzió, R Core Team 2018) végeztünk.

Új tudományos eredmények

- I. esettanulmány: Útszegélyek, mint a veszélyeztetett sallangvirágok (Himantoglossum spp., Orchidaceae) élőhelyei: ökológiai csapdák vagy menedékek?*
 - Kimutattuk, hogy a vizsgált dél-európai régióban az útszegélyek mindhárom *Himantoglossum* faj számára jelentős élőhelyek.
 - A *Himantoglossum* egyedek a véletlenszerűen vártnál szignifikánsan közelebb helyezkednek el az úthoz, mely a szegélyek rendszeres kaszálásának kulcsfontosságú szerepét mutatja ezen élőhelyek és fajok fenntartásában.
 - Az út közelsége szignifikánsan negatívan befolyásolja a *Himantoglossum* egyedek szaporodási sikerét, tehát az út közvetlen közele ökológiai csapda lehet számukra.
- II. esettanulmány: Útszegélyek és temetők: antropogén orchidea élőhelyek összehasonlító elemzése a Kelet-Mediterráneumban*
 - Megállapítottuk, hogy a vizsgált mediterrán szigeteken a temetők intenzív kezelése miatt az útszegélyek szignifikánsan több orchidea egyednek és fajnak adnak otthont.
 - Kimutattuk, hogy a temetők konzervációs szerepét növeli az erdővel és gyeppel borított terület aránya, még a betonnal borított területek aránya csökkenti.
 - Az útszegélyek esetében vizsgálatunk rávilágított a meredek lejtők orchideák faj-és egyedszámára gyakorolt negatív hatására.

- Habár az urbanizáció számos negatív hatást gyakorol a környező élővilágára, mi mégis azt állapítottuk meg, hogy a települések közelsége nincs hatással a temetők és útszegélyek orchideáinak faj-és egyedszámára.
3. *III. esettanulmány: A környező táj hatása az útszegélyek orchideák megőrzésében betöltött szerepére*
- Megállapítottuk, hogy a vizsgált közép-európai régióban is számos különböző környezeti igényű orchidea faj számára fontos élőhelyek az útszegélyek.
 - Kimutattuk, hogy kétszerannyi gyepi faj található az útszegélyeken, mint erdei, ami szintén a kaszálás szerepére hívja fel a figyelmet.
 - Az urbán és mezőgazdasági területek növekedése a környező tájban lecsökkenti az útszegélyek orchideák megőrzésében betöltött természetvédelmi szerepét.
 - Megállapítottuk, hogy az erdei fajok és egyedek számát az útszegélyeken szignifikánsan pozitívan befolyásolja a környező erdőborítás, még a gyepi fajokét a környező gyep borítás, amely arra enged következtetni, hogy az alkalmatlan élőhelyek a környező tájban az útszegélyek konzervációs szerepét is lerontják, így nem funkcionálnak ténylegesen ökológiai folyosóként e fajok számára.
4. *IV. esettanulmány: Egy tengerparti növényfaj: a Cochlearia danica (L.) közutak mentén való terjedése*
- 1986 és 2016 között nyolc európai országban 63 helyről dokumentálták a *C. danica* út menti előfordulását, és a faj terjedési sebessége az európai közutak mentén körülbelül 62–65 km / év.
 - A *C. danica*-t négy hazai út menti élőhelyről mutattuk ki (Ártánd, Biharkeresztes, Győr, Győrújbarát)
 - Csíráztatásos kísérletünk során igazoltuk, hogy a *C. danica* egy fakultatív halofiton, ugyanakkor a 2%-os NaCl koncentráción való csírázás nagyfokú sótárásra enged következtetni.
 - Vizsgálataink alapján egy egyed közel 400 mag létrehozására is képes.
5. *V. esettanulmány: Egy tengerparti faj terjedése a kontinentális Európában: Plantago coronopus L.*

- A *P. coronopus* utak menti előfordulásait 1980-tól napjainkig 11 országból származó 203 helyről dokumentálták és becsléseink szerint a faj terjedési sebessége az európai utak mentén 67 km / év.
- A forgalomintenzitás növekedése szignifikánsan pozitívan befolyásolja a *P. coronopus* út menti előfordulásait, továbbá az egyéb halofitonok száma is szignifikánsan pozitívan függ össze az előfordulásokkal.
- Megállapítottuk, hogy a *P. coronopus* szignifikánsan gyakoribb a mediterrán régió útjai mentén, mint hazánkban, ugyanakkor az egyes út menti állományok méretében nem volt jelentős különbség.
- Vizsgálataink alapján egy egyed több, mint 1200 mag létrehozására is képes.
- A NaCl e faj csírázására is szignifikáns hatással van, azonban sótűrése jóval alacsonyabb, mint a *C. danica*-é.

Diszkusszió

Vizsgálataink alapján elmondható, hogy az útszegélyek Európa mediterrán régiójától a kontinentális területekig fontos menedékhelyet nyújtanak számos különféle környezeti igényű orchideafaj számára, ugyanakkor az is elmondható, hogy a gyepekhez kötődő fajok jóval gyakrabban megtalálják létfeltételeiket ezen élőhelyeken. Ennek magyarázata az útszegélyek rendszeres kaszálásában keresendő, mely más élőhelytípusokban is kulcsszerepet játszik az orchideák megtelepedésében és a fennmaradásában (Curtis 1946, Janečková et al. 2006, Sletvold et al. 2010, Smith & Cross 2016). Ezt támasztja alá két vizsgálatunk eredménye is, melynek során azt láttuk, hogy az orchideák a véletlenszerűen vártnál szignifikánsan közelebb helyezkednek el az utak széléhez, ahol a növényzet a kaszálás miatt még kevésbé zárt. Az orchideák számára alkalmasságukat növeli az is, hogy ezek a gyeppragmentumok ökotonként működnek és kis versenyképességük miatt az orchideák gyakran fordulnak elő átmeneti, ökoton jellegű élőhelyeken (Djordjević et al. 2016).

Ugyanakkor alkalmasságukat befolyásolhatják olyan tulajdonságaik, mint például a meredek lejtők, melyek szignifikáns negatív hatást gyakoroltak az orchideák egyed- és fajszámára. Ez az eredmény az útszegélyek hidrológiai tulajdonságaival lehet összefüggésben (Bochet & García-Fayos 2004). Továbbá eredményeink alapján úgy tűnik, hogy az utak közvetlen közelsége akár ökológiai csapda is lehet az orchideák számára, mivel a *Himantoglossum* fajok esetén az úttól való távolság csökkenése lecsökkentette az egyedek reprodukív sikerét, valószínűleg az utak megporzó rovarokra gyakorolt negatív hatásai miatt

(Muñoz et al. 2014). Több tanulmány már beszámoltak róla, hogy a környező tájmátrix szignifikáns hatással van az útszegélyek fajösszetételére (Tikka et al. 2000, Cousins & Lindborg 2008). Ennek megfelelően eredményeink is rámutattak az útszegélyeket környező mezőgazdasági és urbán területek orchideák abundanciájára és sokféleségére gyakorolt negatív hatására. Ezek káros hatásai az orchideák számára alkalmatlan foltokat eredményezhetnek az útszegélyeken például a tápanyagfeldúsulás következtében (van Dorp et al. 1997, Thiele et al. 2018).

Habár a temetők más mediterrán régiókban ténylegesen menedékként funkcionálnak orchideák számára (Löki et al. 2015), az útszegélyeket és temetőket összehasonlító vizsgálatunkban az intenzív fenntartásuk, kezelésük miatt e szerepet nem tudtuk igazolni. Ez a nyugati kultúrák átvétele, és a társadalmi modernizáció (Plumwood 2007) mellett vallási okokra is visszavezethető, ugyanis egy korábbi tanulmány kimutatta az orchideák sokféleségében és a temetők biotikus és abiotikus tulajdonságaiban mutatkozó különbségeket a mediterrán keresztény és muszlim temetők között (Molnár V. et al. 2017). A temetkezési helyek modern kezelése gyakran magában foglalja a gyomirtók használatát, a drága nagy emlékművek építését és a sírok nagy márványkövekkel vagy betonnal való befedését, fák kivágását gyakorlatilag minden élő szervezet kizárásával. Ezt támasztják alá eredményeink is, melyek azt mutatták, hogy az erdő- és gyepterület növekedése, valamint a betonnal borított terület csökkenése a temetőkben az orchideák nagyobb faji változatosságával és egyedsűrűségével járt együtt.

A két sótűrő tengerparti fajra vonatkozó vizsgálataink azt mutatják, hogy ezek hazai előfordulása is nyilvánvalóan útkarbantartási gyakorlatoknak köszönhető, mégpedig a téli csúszásmentesítő szószásnak, amely megnövekedett sótartalmat eredményez a talajban, és szabad felszíneket hoz létre az útszéleken. Eddigi európai terjedésükkel kapcsolatosan az mondható el, hogy valószínűleg mindkét faj észak-nyugat felől kolonizálta hazánkat és hogy a *P. coronopus*-t eddig több, mint háromszor annyi helyről dokumentálták közutak mellől, mint a *C. danica*-t, habár az általunk becsült terjedési sebességeik meglehetősen hasonlóak (~65km/év). Ezek a becslések jóval meghaladják a *C. danica*-ra vonatkozó korábbi vizsgálatok során becsült terjedési sebességeket (10–20 km/év Leach 1994, és 40 km/év Welch 2001). Az úthálózat fejlődése, a forgalom növekvő intenzitása, az útmenti állományok és megprodukciójuk növekedése mind hozzájárulhatnak a terjedési sebesség növekedéséhez (Pyšek & Hulme 2005, Zeeman et al. 2018). Eredményeink is alátámasztják ezt, ugyanis a *P. coronopus* esetében igazoltuk, hogy a forgalomintenzitás szignifikánsan pozitívan hat az

útmenti előfordulásokra. Ezt jól mutatja az is, hogy mindkét faj esetében autópályákról származott a legtöbb szakirodalmi előfordulási adat. Úgy tűnik továbbá, hogy habár az őshonos régiójában gyakoribb a közutak mentén a *P. coronopus*, mégis hasonló méretű állományokat képes létrehozni az útszegélyeken a hasonló környezeti feltételek miatt.

A csíráztatásos kísérlet során megerősítettük mindkét faj fakultatív halofiton voltát. Stefanovits et al. (1999) szerint az 1% -nál magasabb oldható sótartalmú talajok már az erősen sós kategóriába tartoznak. A *P. coronopus* megközelítette ezt az értéket, a *C. danica* viszont ennél jóval magasabb sókoncentráción is csírázott. A csíráztatásos kísérletek során mindkét faj csírázott az út menti talajban tapasztaltnál magasabb sókoncentrációkon is, tehát úgy tűnik ezek sikeres terjedését sótürésük nem limitálja. Annál inkább magyarázat lehet útmenti gyakoriságaik közötti különbségre egyedi magtermelésük, mely a *P. coronopus* esetében csaknem háromszor annyi magot jelent, mint a *C. danica* esetén. Előbbi sikerességét növelheti továbbá, hogy magdimorfizmus jellemzi, mely igen eredményes reprodukív stratégia olyan változatos környezeti körülmények között, amelyekkel a hosszútávú terjedés során találkozik egy faj (Imbert 2002). Figyelembe véve e két faj délkelet irányú terjedését, feltételezéseink szerint a közeljövőben további előfordulásokra lehet számítani Kelet-Európa azon területein, ahol a fajok jelenléte még nem igazolt. Érintve a Kárpát-medence természetes szikeseit felmerülhet a lehetséges ezen közösségek kolonizálásának és ezzel állapotuk veszélyeztetésének.

Köszönetnyilvánítás

Köszönettel tartozom témavezetőmnek, Molnár V. Attilának a munkám során nyújtott tanácsaiért és segítségéért. Köszönettel tartozom továbbá a publikációk társszerzőinek, Bak Henriettának, Biró Évának, Bódis Juditnak, Fülöp Bencének, Haszonits Győzőnek, Lovas-Kiss Ádámnak, Löki Viktornak, Luís Silvanak, Malkócs Tamásnak, Mesterházy Attilának, Süveges Kristófnak, Schmidt Dávidnak, Takács Attilának, Takácsné Nagy Timeának, Tökölyi Jácitnak, Urgyán Renátának, Valkó Orsolyának és Vincze Orsolyának. Ezen kívül a laboratóriumi munkákban nyújtott segítséget köszönöm Abonyi Tündének, Freytag Csongornak és Garda Tamásnak. A terepi munkákban nyújtott segítségért pedig hálás vagyok Farkas Annának, Ficsor Csillának, Juhász Ildikónak, Kövesdi Kittinek, Simon Zsófiának, Sütő Annának és Szabó Dávidnak.



Nyilvántartási szám: DEENK/344/2021.PL
Tárgy: PhD Publikációs Lista

Jelölt: Fekete Réka
Doktori Iskola: Juhász-Nagy Pál Doktori Iskola
MTMT azonosító: 10072104

A PhD értekezés alapjául szolgáló közlemények

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (5)

1. **Fekete, R.**, Haszonits, G., Schmidt, D., Bak, H., Vincze, O., Süveges, K., Molnár, V. A.: Rapid continental spread of a salt-tolerant plant along the European road network.
Biol. Invasions. [Epub], 1-14, 2021. ISSN: 1387-3547.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-021-02531-6>
IF: 3.087 (2019)
2. **Fekete, R.**, Bódis, J., Fülöp, B., Süveges, K., Urgyán, R., Malkócs, T., Vincze, O., Silva, L., Molnár, V. A.: Roadsides provide refuge for orchids: characteristic of the surrounding landscape.
Ecol. Evol. 10, 13236-1324, 2020. ISSN: 2045-7758.
IF: 2.392 (2019)
3. **Fekete, R.**, Löki, V., Urgyán, R., Süveges, K., Lovas-Kiss, Á., Vincze, O., Molnár, V. A.: Roadside verges and cemeteries: comparative analysis of anthropogenic orchid habitats in the Eastern Mediterranean.
Ecol. Evol. 9 (11), 6655-6664, 2019. ISSN: 2045-7758.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.5245>
IF: 2.392
4. **Fekete, R.**, Mesterházy, A., Valkó, O., Molnár, V. A.: A hitchhiker from the beach: the spread of the maritime halophyte *Cochlearia danica* along salted continental roads.
Preslia. 90 (1), 23-37, 2018. ISSN: 0032-7786.
DOI: <http://dx.doi.org/10.23855/preslia.2018.023>
IF: 3.071
5. **Fekete, R.**, Nagy, T., Bódis, J., Biró, É., Löki, V., Süveges, K., Takács, A., Tökölly, J., Molnár, V. A.: Roadsides verges as habitats for endangered lizard-orchids (*Himantoglossum* spp.): Ecological traps or refuges?
Sci. Total Environ. 607-608, 1001-1008, 2017. ISSN: 0048-9697.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.037>
IF: 4.61





További közlemények

Magyar nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (2)

6. Takács, A., Nagy, T., Sramkó, G., Lovas-Kiss, Á., Süveges, K., Lukács, B. A., **Fekete, R.**, Löki, V., Malatinszky, Á., Vojtkó, A. E., Koscsó, J., Pfliegler, V. P., Nótári, K., Molnár, V. A.: Pótlások a Magyarország edényes növényfajainak elterjedési atlaszához I. = Contributions to the Atlas Florae Hungariae I.

Kitaibelia. 21 (1), 101-115, 2016. ISSN: 1219-9672.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17542/kit.21.101>

7. Takács, A., Nagy, T., **Fekete, R.**, Lovas-Kiss, Á., Ljubka, T., Löki, V., Lisztes-Szabó, Z., Molnár, V. A.: A Debreceni Egyetem Herbárium (DE) I.: a "Soó Rezső Herbárium".

Kitaibelia. 19 (1), 142-155, 2014. ISSN: 1219-9672.

Idegen nyelvű tudományos közlemények hazai folyóiratban (1)

8. Molnár, V. A., Shiffer, S., Molnár, H. A., **Fekete, R.**: Occurrence of the rare *Sternbergia colchiciflora* in urban environments.

Biologia Futura. 71, 93-98, 2020. ISSN: 2676-8615.

Idegen nyelvű tudományos közlemények külföldi folyóiratban (8)

9. Süveges, K., Molnár, V. A., Mesterházy, A., Budai, J., **Fekete, R.**: Emergence of a new salt-tolerant alien grass along roadsides? Occurrence of *Diplachne fusca* subsp. *fascicularis* (Poaceae) in Hungary.

Acta Bot. Croat. 80 (2), 1-10, 2021. ISSN: 0365-0588.

DOI: <https://doi.org/10.37427/botcro-2021-014>

IF: 1.051 (2019)

10. Lovas-Kiss, Á., Vincze, O., Kleyheeg, E., Sramkó, G., Laczkó, L., **Fekete, R.**, Molnár, V. A., Green, A. J.: Seed mass, hardness, and phylogeny explain the potential for endozoochory by granivorous waterbirds.

Ecol. Evol. 10, 1413-1424, 2020. ISSN: 2045-7758.

IF: 2.392 (2019)

11. Lukács, B. A., Molnár, V. A., Mészáros, A., Lovas-Kiss, Á., Vincze, O., Süveges, K., **Fekete, R.**, Mesterházy, A.: The decline and recovery of populations of *Potamogeton coloratus* in Hungary.

Preslia. 92, 73-86, 2020. ISSN: 0032-7786.

IF: 4.357 (2019)





12. Kelemen, A., Tölgyesi, C., Valkó, O., Deák, B., Miglécz, T., **Fekete, R.**, Balogh, N., Török, P., Tóthmérész, B.: Density-dependent plant-plant interactions triggered by grazing.
Front. Plant Sci. 10, 2019. EISSN: 1664-462X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00876>
IF: 4.402
13. Süveges, K., Löki, V., Lovas-Kiss, Á., Ljubka, T., **Fekete, R.**, Takács, A., Vincze, O., Lukács, B. A., Molnár, V. A.: From European priority species to characteristic apophyte: *Epipactis tallosii* (Orchidaceae).
Willdenowia. 49 (3), 401-409, 2019. ISSN: 0511-9618.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3372/wi.49.49310>
IF: 0.887
14. Löki, V., Molnár, V. A., Süveges, K., Heimeier, H., Takács, A., Nagy, T., **Fekete, R.**, Lovas-Kiss, Á., Kreutz, K. C. A. J., Sramkó, G., Tökölyi, J.: Predictors of conservation value of Turkish cemeteries: A case study using orchids.
Landsc. Urban Plan. 186, 36-44, 2019. ISSN: 0169-2046.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.016>
IF: 5.441
15. Costea, M., El, M. H., Laczkó, L., **Fekete, R.**, Molnár, V. A., Lovas-Kiss, Á., Green, A. J.: The effect of gut passage by waterbirds on the seed coat and pericarp of diaspores lacking "external flesh": evidence for widespread adaptation to endozoochory in angiosperms.
PLoS One. 14 (12), 1-22, 2019. ISSN: 1932-6203.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0226551>
IF: 2.74
16. Molnár, V. A., Sonkoly, J., Lovas-Kiss, Á., **Fekete, R.**, Takács, A., Somlyay, L., Török, P.: Seed of the threatened annual legume, *Astragalus contortuplicatus*, can survive over 130 years of dry storage.
Preslia. 87 (3), 319-328, 2015. ISSN: 0032-7786.
IF: 2.711

Egyéb folyóiratközlemények (1)

17. Löki, V., **Fekete, R.**, Molnár, V. A.: *Ophrys Helenae* Renz: In: Raab-Straube E. von, Raus Th. (ed.), Euro+Med-Checklist Notulae, 12 [Notulae ad floram euro-mediterraneam pertinentes No. 41].
Willdenowia. 50 (2), 320, 2020. ISSN: 0511-9618.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3372/wi.50.50214>

Ismeretterjesztő, népszerűsítő cikkek (5)

18. **Fekete, R.**, Bak, H., Molnár, V. A.: Növényi stopposok: Sótűrő növények terjedése a közutak mentén.
Termész. Világa. 152 (3), 98-102, 2021. ISSN: 0040-3717.





19. **Fekete, R.**, Molnár, V. A.: Az utak hatása az élővilágra.
Termész. Világa. 148 (6), 268-270, 2017. ISSN: 0040-3717.
20. **Fekete, R.**, Molnár, V. A.: Útszegélyek, mint az orchideák élőhelyei: ökológiai csapdák vagy menedékek?
Madártávlat. 24 (4), 28-33, 2017. ISSN: 1217-7156.
21. **Fekete, R.**, Nagy, T., Molnár, V. A.: Az utak és az élővilág.
Interpress Magazin. 36 (4), 26-31, 2016. ISSN: 0133-1639.
22. Lovas-Kiss, Á., **Fekete, R.**, Molnár, V. A.: A madarak növényi potyautasai.
Madártávlat. 21 (4), 24-25, 2014. ISSN: 1217-7156.

A közlő folyóiratok összesített impakt faktora: 39,533

**A közlő folyóiratok összesített impakt faktora (az értekezés alapjául szolgáló közleményekre):
15,552**

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, 2021.06.02.



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

Effect of roads on plant diversity

by Réka Fekete

Supervisor

Dr. Attila Molnár V.



UNIVERSITY OF DEBRECEN

Juhász-Nagy Pál Doctoral School

Debrecen, 2021

Introduction

The most well-known impacts of roads on wildlife are the negative ones, such as habitat fragmentation, edge effect, vulnerability of affected habitats and easier access by invasive species, collision of animals with cars or the accumulation of contaminants in soil (Forman & Alexander 1998). In contrast, the role of roads as refuge for the native vegetation is a less known phenomenon. Semi-natural, traditionally managed habitats (mowed or grazed) have been maintaining valuable plant communities for centuries, but nowadays are declining worldwide (Tikka et al. 2000, Tilman et al. 2001, Nascimbene et al. 2016) due to the intensification of land use (Bignal & McCracken 1996, Krauss et al. 2010). Thus, the role of small anthropogenic habitats such as roadside verges (Perring 1969, Way 1970, Godefroid 1999, Cousins 2006) or cemeteries (Barrett & Barrett 2001, Czarna & Nowińska 2010, Buchholz et al. 2016, Yılmaz et al. 2018) has been increasingly appreciated in the conservation of plant species sensitive to these alterations. The main why cemeteries are often considered as refuges for wildlife, is that many religions view them as sacred places where all kinds of disturbance are forbidden (Hadi et al. 2014) and since they are usually fenced, they are not threatened by trampling or overgrazing.

In the case of roadside verges, their proper management, such as regular mowing allows the survival of species-rich grassland communities of significant conservation value (Hovd & Skogen 2005, Auestad et al. 2011). Although roadside verges are often isolated remnants of semi-natural habitats, their species richness is highly dependent on the surrounding landscape (Cousins 2006). For example, in their study, Cousins & Lindborg (2008) showed that in the most intensively managed landscape, the species richness of roadside verges decreases with increasing distance from semi-natural grasslands.

Orchids are greatly reliant on their pollinators and mycorrhizal partners (Waterman & Bidartondo 2008), thus can be considered as indicators of biodiversity (Swarts & Dixon 2009). Colonization of orchids on roadside verges (Good 1936, Brandes 1988) and cemeteries (Kreutz & Krüger 2014, Löki et al. 2015). is a well-known. The most known orchids colonizing European roadside verges, are species of the genus *Himantoglossum* (Federici & Serpieri, 1868; Ehmke, 2005; Fekete et al. 2017).

Roadside verges not only provide shelter for native flora, but have been shown to serve as ecological corridors for many species (Gustafsson & Hansson 1997; Haddad et al. 2003). However, the role of roadsides as ecological corridors is much more common in the case of non-native, invasive species (Lin 2007, von der Lippe & Kowarik 2007, Joly et al. 2011,

Gulezian et al. 2012, Das & Duarah 2013, Bacaro et al. 2015). On the one hand, development of road network contributes greatly to this phenomenon (Nicodeme et al. 2017), on the other hand, recent studies highlight the role of vehicles in the spread of alien species (von der Lippe & Kowarik 2007, Nguyen 2011, Khan et al. 2018). Dispersal can be facilitated by air turbulence of cars (Ross 1986) and mud adhering to vehicles, which can contain significant amounts of seeds (Clifford 1959). Spread of non-native species at roadsides can also be facilitated by various roadside management practices, such as frequent mowing, use of herbicides or de-icing salt (Forman & Alexander 1998). Use of de-icing salt during winter has become common in the last few decades. Although winter de-icing procedures may vary from country to country, the most commonly used material is salt (primarily NaCl, rarely CaCl₂, and less frequently MgCl₂ Houska 2007). Increased salinity in the soil can cause osmotic stress, affect soil pH, nutrient availability, and thereby alters the species composition of vegetation, promoting the spread of various stress-tolerant, halophilic (salt-tolerant) plant species along roads (Davison 1971). Spread of salt-tolerant, maritime plants along roads is worldwide known (Reznicek 1980, Scott & Davison 1982, Dogan et al. 2004). Several studies have described the spread of coastal salt-tolerant plant species along roads in the continental Europe and the United Kingdom (Scott & Davison 1982, Scott 1985, Hohla & Melzer 2003, Hohla & Raabe 2012). In Hungary, salt-tolerant, coastal plant species, such as *Plantago coronopus* L. (Schmidt et al. 2014) or *Cochlearia danica* L. (Molnár V. & Löki 2016) have also appeared.

Objectives

1. *Study I.: Roadside verges as habitats for endangered lizard-orchids (Himantoglossum spp.): Ecological traps or refuges?*

The aim of this study was (1) to systematically investigate roadside populations of three *Himantoglossum* species in Europe; (2) documenting the characteristics of roadside verges as habitats for *Himantoglossum* species; (3) to investigate how the proximity of roads affects the vegetative traits and reproductive success of individuals.

2. *Study II.: Roadside verges and cemeteries: Comparative analysis of anthropogenic orchid habitats in the Eastern Mediterranean*

The aim of the study was to investigate (1) if cemeteries or graveyards maintain more orchid individuals and species at the surveyed Mediterranean Islands (Crete, Cyprus, Lesbos), thus

which anthropogenic habitat type plays a greater role in their conservation; (2) which environmental factors are responsible for the presence of orchids in the two habitat types; (3) whether there is an anthropogenic impact on the number and species and individuals at roadsides and in cemeteries due to the proximity of settlements; (4) whether the proximity of the road negatively affects the occurrence of orchid individuals.

3. *Study III.: Roadsides provide refuge for orchids: characteristic of the surrounding landscape*

The main objectives the case study were (1) to assess the number of species and individuals at roadside habitats in five Central European countries (Austria, Hungary, Romania, Slovakia, Slovenia); (2) to investigate how the landscape matrix affects the number of species and individuals in general, as well as the number of species and individuals of the different functional groups (forest, grassland and species with broad ecological tolerance) in the studied roadside verges.

4. *Study IV.: A hitchhiker from the beach: the spread of the maritime halophyte Cochlearia danica along salted continental roads*

The basis of the study was the discovery of the previously mentioned *Cochlearia danica*, which offered a unique opportunity to monitor and examine in more detail the first stage of a potential plant invasion. We focused on the following stages of a possible invasion: (1) Distribution: based on literature data, we followed the spread of the species along roads through continental Europe and examined in detail its recent occurrences in Hungary during field surveys. (2) Colonization: we examined the soil parameters in the roadside habitats of *C. danica* in Hungary and tested the effect of salinity on germination in an in vitro germination experiment. (3) Population growth: We estimated the spreading potential and invasion potential of the species by studying its population dynamics and reproductive traits.

5. *Study V.: Continental spread of the maritime halophyte, Plantago coronopus L. along roads*

The aim of study V. was to summarize data and knowledge on the distribution of *Plantago coronopus* along roads: (1) to collect literature data on the distribution of the species along roads; (2) to map the current roadside distribution in the native and non-native region of the species through field surveys; (3) estimating seed production and testing the effect of NaCl on

germination; (4) to investigate which factors influence the roadside occurrences and what is the difference between the native and non-native roadside occurrences.

Materials and methods

1. Study I.: Roadside verges as habitats for endangered lizard-orchids (Himantoglossum spp.): Ecological traps or refuges?

Three *Himantoglossum* species [*H. adriaticum* H. Baumann, *H. calcaratum* (G. Beck) Schlechter subsp. *calcaratum*, *H. robertianum* (Loisel.) P. Delforge] were studied on the roadsides of eight countries (Bosnia and Herzegovina, Croatia, Cyprus, France, Hungary, Italy, Montenegro and Serbia). Geocoordinates and altitude were recorded at each sampling point. In case of orchid individuals, we measured their absolute distance from the edge of the road (from which the relative distance was calculated later), estimated the tree and shrub cover above them and recorded the height of the flowering stem, the number of flowers and fruits. We also recorded whether the individual was located on a flat or sloping surface at the roadside, and in the latter case, the slope exposition was measured. Thus, we created a five-category variable: flat position, northern, southern, eastern, and western exposition. All data analysis was performed in R (version 3.4.1, R Core Team 2017).

2. Study II.: Roadside verges and cemeteries: Comparative analysis of anthropogenic orchid habitats in the Eastern Mediterranean

Surveys of cemeteries and roadsides were carried out on three Mediterranean islands, Cyprus (in the Republic of Cyprus), Crete (Greece) and Lesbos (Greece). Geocoordinates and altitude were recorded for each cemetery visited. We identified the orchid species found and recorded the number of individuals. In addition, we measured the total area of the cemetery and the area covered by graves, concrete (paved areas, roads), forests and grasslands using Google Earth Pro software (Google Earth 2018). In case of roadsides, we used two types of sampling procedures, one was a thematic sampling, which meant that we stopped in Cyprus and Crete every five kilometers on paved roads. Shorter stops (two kilometers), were defined for Lesbos due to the small area of the island. The other was a non-thematic sampling, which meant, that we stopped at every place where orchids were detected from the car. At the sampling sites with orchid presence, we followed the sampling protocol described in Study I. If no orchids were present at the thematic sampling point, these parameters were also recorded on a 50 m road section at five points (every 10 m). Furthermore, for all three types of sampling points

(thematic, non-thematic, and cemetery), the distances between the point and the nearest settlement were measured in a straight line and on road using Google Maps. Data analyses were also performed in R (version 3.4.1, R Core Team 2017).

3. *Study III.: Roadsides provide refuge for orchids: characteristic of the surrounding landscape*

Field sampling was performed in five Central European countries (Austria, Hungary, Romania, Slovakia, Slovenia). The previously detailed sampling procedure was used in roadsides. During the thematic sampling, we had sampling points at every five kilometers. Landscape variables were collected to each sampling point based on the surrounding landscape matrix in a radius of 1 and 10 km. For this, we used the 2018 Corine Land Cover (CLC) data set (available from the Copernicus Land Monitoring Service of the European Union). Data analyses were also performed in R (version 3.4.1, R Core Team 2017).

4. *Study IV.: A hitchhiker from the beach: the spread of the maritime halophyte *Cochlearia danica* along salted continental roads*

To estimate the dispersal speed of the species in continental Europe, we carried out a thematic literature search and then used a total of 22 relevant publications. During our field surveys, we visited the recently found Hungarian populations (Győr, Győrújbarát, Biharkeresztes, Ártánd) and searched for other occurrences as well. The germinability of *C. danica* seeds was tested in vitro on 19 different NaCl concentrations on 1% agar agar medium in Petri-dishes. In addition, germination was tested in plastic pots filled with saline soil derived from Zsadány (46.93589° N, 21.52886° E), eastern Hungary. In both experiments (germination at 19 NaCl concentration and saline soil), 50-50 seeds were germinated in three replicates at a given concentration and germination was observed for 60 days. Soil samples were collected from the two largest Hungarian populations (Biharkeresztes and Győr) for soil analyses. Samples were taken from ten points, from three different distances from the road edge (1, 2, 3 m), and from root depth (1.5–6.5 cm). The saline soils used in the germination experiment were also analysed. We recorded the geocoordinates of the Hungarian populations, then measured the spatial extent of the Biharkeresztes and Ártánd populations and estimated the numbers of individuals in two consecutive years (2016 and 2017). To estimate the number of individuals in each population, individuals were counted in 11 randomly selected quadrats (10 × 10 cm) for each population. To estimate individual seed production, 30 individuals were used, the number of flowering stems per individual, the number of flowers per inflorescence (in five

inflorescences per individual) and the number of seeds per fruit were counted. We determined the thousand seed weight of the species in 2016 based on the measurement of 3×100 seeds (Török et al. 2013). Data analyses were also performed in R (version 3.4.1, R Core Team 2017).

5. *Study V.: Continental spread of the maritime halophyte, Plantago coronopus L. along roads*

To estimate the dispersal speed along European roads, we also conducted a literature search, and after reviewing the studies, the number of articles dealing with roadside occurrences of *P. coronopus* was 47. Roadside surveys were carried out in four regions within Europe, three of which were covering the native areas of *P. coronopus* (mainland Greece, Lesbos, Cyprus) and another region (Hungary) was representing the non-native area. At each sampling point, a 50m road section was surveyed for *P. coronopus* and geocoordinates, altitude, presence or absence of the species, and number of individuals were recorded. The presence of other halophilic plant species was also recorded. Furthermore, for our domestic sampling points, we collected the traffic intensity data of the given road section for the year 2018 from the online database of Hungarian Public Road Nonprofit Pte Ltd Co. (Magyar Közúti Nonprofit Zrt. 2019). To estimate potential individual seed production, we counted the number of flowering stems per individual, the number of flowers per inflorescence (30 individuals and 30 inflorescences), and the number of seeds per fruit. An in vitro germination experiment was performed at different NaCl concentrations in Petri dishes on 1% agar-agar medium with 3x50 seeds per concentration. Germination was monitored for 14 days. All data analyses were performed in R (version 3.6.3, R Core Team 2018).

New scientific results

1. *Study I.: Roadside verges as habitats for endangered lizard-orchids (Himantoglossum spp.): Ecological traps or refuges?*

- We have shown that the roadside verges in the studied southern European region are important habitats for all three *Himantoglossum* species.
- *Himantoglossum* individuals were located significantly closer to the road edge than randomly expected, showing the key role of regular mowing of roadsides in the maintenance of these habitats and species.

- The proximity of the road significantly negatively affects the reproductive success of *Himantoglossum* individuals, thus the immediate vicinity of roads can be an ecological trap for them.

2. *Study II.: Roadside verges and cemeteries: Comparative analysis of anthropogenic orchid habitats in the Eastern Mediterranean*

- We found that due to the intensive management of cemeteries on the studied Mediterranean islands, roadside verges are refuge for significantly more orchid individuals and species, than cemeteries.

- We have shown that the conservation role of cemeteries is increased by areas covered with forest and grassland, and decreased by areas covered with concrete inside them.

- In the case of roadsides, our study highlighted the negative impact of steep slopes on the number of individuals and species of orchids.

- Although urbanization has a number of negative impacts on the surrounding ecosystems, we have found that the proximity of settlements had no effect on the number of species and individuals of orchids in cemeteries and roadsides.

3. *Study III.: Roadsides provide refuge for orchids: characteristic of the surrounding landscape*

- We found that roadsides are important habitats for orchid species with different environmental needs in the studied Central European region.

- We have shown, that twice as many grassland specialist species colonize roadsides as forest specialists, which emphasizes the role of mowing.

- The growth of urban and agricultural areas in the surrounding landscape reduces the role of roadsides as refuge for orchids.

- We found that the number of forest species and individuals at roadsides is significantly positively influenced by the surrounding forest cover, even the grassland species are influenced by the surrounding grassland cover, which suggests that unsuitable habitats in the surrounding landscape also decreases the conservation role of the roadsides, which in this way could not function as an ecological corridor for these species.

4. *Study IV.: A hitchhiker from the beach: the spread of the maritime halophyte Cochlearia danica along salted continental roads*

- Between 1986 and 2016, the occurrence of *C. danica* along roads was documented from 63 localities in eight European countries, and the dispersal speed of the species along European roads is approximately 62–65 km / year.
- *C. danica* was detected at four Hungarian roadside habitats (Ártánd, Biharkeresztes, Győr, Győrújbarát)
- In our germination experiment, we proved that *C. danica* is a facultative halophyte, however, germination at 2% NaCl concentration shows an extreme salt tolerance.
- Based on our studies, an individual is able to produce nearly 400 seeds.

5. *Study V.: Continental spread of the maritime halophyte, Plantago coronopus L. along roads*

- Roadside occurrences of *P. coronopus* have been documented from 203 localities in 11 countries from 1980 to the present and according to our estimations the dispersal speed of the species along European roads is 67 km / year.
- The increase of traffic intensity has a significant positive effect on the roadside occurrences of *P. coronopus*, furthermore the number of other halophytes is also significantly positively related to the occurrences.
- We found that *P. coronopus* was significantly more common along the roads in its native range than in Hungary, however, there was no significant difference in the size of the roadside populations.
- Based on our results, an individual can produce more than 1200 seeds.
- NaCl has a significant effect on the germination of the species, but its salt tolerance is much lower than that of *C. danica*.

Discussion

Our studies suggest that Central-European and Mediterranean roadsides provide important habitats for many orchid species with different environmental needs, however grassland specialist species are much more likely to colonize these habitats. This can be explained by the regular mowing of roadsides, which plays a key role in the colonization and survival of orchids in other habitat types (Curtis 1946, Janečková et al. 2006, Sletvold et al. 2010, Smith & Cross 2016). This is supported by our results, which showed, that individuals were located significantly closer to the edge of the roads (where the vegetation is even less closed due to

mowing), than randomly expected. However, their suitability as habitats may be negatively affected by some of their characteristics, such as steep slopes, which may be related to the hydrological properties of roadsides (Bochet & García-Fayos 2004). Furthermore, based on our results, it appears that the immediate proximity of roads may act as ecological traps for orchids, since the decreasing distance of road reduced the reproductive success of *Himantoglossum* individuals, probably due to the negative effects of roads on pollinating insects (Muñoz et al. 2014). Several studies have reported that the surrounding landscape matrix has a significant effect on the species composition of roadsides (Tikka et al. 2000, Cousins & Lindborg 2008). Accordingly, our results also highlighted the negative impact of the surrounding cover of agricultural and urban areas on the abundance and diversity of orchids in roadsides. Their harmful effects can result in unsuitable patches for orchids in roadsides (van Dorp et al. 1997, Thiele et al. 2018). Although cemeteries are actually function as refuge for orchids in other Mediterranean regions (Löki et al. 2015), in our surveys we could not prove this due to their intensive maintenance (use of herbicides, construction of large concrete graves, concrete sidewalks, cutting of trees). Beside the adoption of Western cultures and social modernization (Plumwood 2007), this can be contributed to religious reasons as well, since an earlier study showed differences in the diversity of orchids and the biotic and abiotic characteristics of cemeteries between Mediterranean Christian and Muslim cemeteries. Our results (the effects of forest and grassland as well as the area covered with concrete) also confirm the negative consequences of intensive management.

Our studies of the two salt-tolerant coastal species show that their Hungarian occurrence is also apparently due to the winter de-icing of roads, which results in increased salinity in the soil and creates free surfaces at the road edges. Regarding their previous European spread, it seems, that both species colonized Hungary from the north-west, but *P. coronopus* has been documented from more than three times as many roadside places as *C. danica*, although their estimated speed of dispersal are quite similar (~ 65km / year). These estimates far exceed the dispersal speeds estimated in previous studies for *C. danica*. This can be contributed to the development of road network and increasing traffic. Our results also support this, as in the case of *P. coronopus* we proved that the traffic intensity has a positive effect on roadside occurrences. It also appears that although *P. coronopus* is more common along roads in its native region, it is still able to produce similar population size at roadside due to similar environmental conditions.

In the germination experiments, we found that *C. danica* germinated at higher salt concentrations, than *P. coronopus*, but both species germinated at higher salt concentrations than it was recorded in the roadside soil. Thus, their successful spread does not seem to be limited by their salt tolerance. The difference between their frequency at roadsides can be explained by the differences in their potential seed production, which means, that *P. coronopus* is able to produce almost three times as many seeds as *C. danica*. The success of *P. coronopus* may also be explained by the fact that it is characterized by seed dimorphism, which is a very effective reproductive strategy under various environmental conditions during long-term dispersal. Taking into account the south-eastern spread of these two species, we hypothesize that further occurrences can be expected in the near future in areas of Eastern Europe where the presence of the species has not yet been confirmed. By affecting the natural saline basins of the Carpathian Basin, there may be the possibility of colonizing these communities and thus endangering their condition.

Acknowledgement

I am grateful to my supervisor, Attila Molnár V. for his help and suggestions during my research. I am further thankful to all the coauthors of the publications, to Henrietta Bak, Éva Biró, Judit Bódis, Bence Fülöp, Győző Haszonits, Ádám Lovas-Kiss, Viktor Löki, Luís Silva, Tamás Malkócs, Attila Mesterházy, Kristóf Süveges, Dávid Schmidt, Attila Takács, Timea Takácsné Nagy, Jácint Tökölyi, Renáta Urgyán, Orsolya Valkó, and Orsolya Vincze. I would like to thank the help in the laboratory works to Csongor Freytag, Tamás Garda and Tünde Abonyi. I am grateful for their assistance during fieldwork to Anna Farkas, Csilla Ficsor, Ildikó Juhász, Kitti Kövesdi, Zsófia Simon, Anna Sütő and Dávid Szabó.



Registry number: DEENK/344/2021.PL
Subject: PhD Publication List

Candidate: Réka Fekete
Doctoral School: Pál Juhász-Nagy Doctoral School of Biology and Environmental Sciences
MTMT ID: 10072104

List of publications related to the dissertation

Foreign language scientific articles in international journals (5)

1. **Fekete, R.**, Haszonits, G., Schmidt, D., Bak, H., Vincze, O., Süveges, K., Molnár, V. A.: Rapid continental spread of a salt-tolerant plant along the European road network.
Biol. Invasions. [Epub], 1-14, 2021. ISSN: 1387-3547.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1007/s10530-021-02531-6>
IF: 3.087 (2019)
2. **Fekete, R.**, Bódis, J., Fülöp, B., Süveges, K., Urgyán, R., Malkócs, T., Vincze, O., Silva, L., Molnár, V. A.: Roadsides provide refuge for orchids: characteristic of the surrounding landscape.
Ecol. Evol. 10, 13236-1324, 2020. ISSN: 2045-7758.
IF: 2.392 (2019)
3. **Fekete, R.**, Löki, V., Urgyán, R., Süveges, K., Lovas-Kiss, Á., Vincze, O., Molnár, V. A.: Roadside verges and cemeteries: comparative analysis of anthropogenic orchid habitats in the Eastern Mediterranean.
Ecol. Evol. 9 (11), 6655-6664, 2019. ISSN: 2045-7758.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1002/ece3.5245>
IF: 2.392
4. **Fekete, R.**, Mesterházy, A., Valkó, O., Molnár, V. A.: A hitchhiker from the beach: the spread of the maritime halophyte *Cochlearia danica* along salted continental roads.
Preslia. 90 (1), 23-37, 2018. ISSN: 0032-7786.
DOI: <http://dx.doi.org/10.23855/preslia.2018.023>
IF: 3.071
5. **Fekete, R.**, Nagy, T., Bódis, J., Biró, É., Löki, V., Süveges, K., Takács, A., Tökölly, J., Molnár, V. A.: Roadside verges as habitats for endangered lizard-orchids (*Himantoglossum* spp.): Ecological traps or refuges?
Sci. Total Environ. 607-608, 1001-1008, 2017. ISSN: 0048-9697.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.07.037>
IF: 4.61





List of other publications

Hungarian scientific articles in Hungarian journals (2)

6. Takács, A., Nagy, T., Sramkó, G., Lovas-Kiss, Á., Süveges, K., Lukács, B. A., **Fekete, R.**, Löki, V., Malatinszky, Á., Vojtkó, A. E., Koscsó, J., Pfliegler, V. P., Nótári, K., Molnár, V. A.: Pótlások a Magyarország edényes növényfajainak elterjedési atlaszához I. = Contributions to the Atlas Florae Hungariae I.

Kitaibelia. 21 (1), 101-115, 2016. ISSN: 1219-9672.

DOI: <http://dx.doi.org/10.17542/kit.21.101>

7. Takács, A., Nagy, T., **Fekete, R.**, Lovas-Kiss, Á., Ljubka, T., Löki, V., Lisztes-Szabó, Z., Molnár, V. A.: A Debreceni Egyetem Herbáriuma (DE) I.: a "Soó Rezső Herbárium".

Kitaibelia. 19 (1), 142-155, 2014. ISSN: 1219-9672.

Foreign language scientific articles in Hungarian journals (1)

8. Molnár, V. A., Shiffer, S., Molnár, H. A., **Fekete, R.**: Occurrence of the rare *Sternbergia colchiciflora* in urban environments.

Biologia Futura. 71, 93-98, 2020. ISSN: 2676-8615.

Foreign language scientific articles in international journals (8)

9. Süveges, K., Molnár, V. A., Mesterházy, A., Budai, J., **Fekete, R.**: Emergence of a new salt-tolerant alien grass along roadsides? Occurrence of *Diplachne fusca* subsp. *fascicularis* (Poaceae) in Hungary.

Acta Bot. Croat. 80 (2), 1-10, 2021. ISSN: 0365-0588.

DOI: <https://doi.org/10.37427/botcro-2021-014>

IF: 1.051 (2019)

10. Lovas-Kiss, Á., Vincze, O., Kleyheeg, E., Sramkó, G., Laczkó, L., **Fekete, R.**, Molnár, V. A., Green, A. J.: Seed mass, hardness, and phylogeny explain the potential for endozoochory by granivorous waterbirds.

Ecol. Evol. 10, 1413-1424, 2020. ISSN: 2045-7758.

IF: 2.392 (2019)

11. Lukács, B. A., Molnár, V. A., Mészáros, A., Lovas-Kiss, Á., Vincze, O., Süveges, K., **Fekete, R.**, Mesterházy, A.: The decline and recovery of populations of *Potamogeton coloratus* in Hungary.

Preslia. 92, 73-86, 2020. ISSN: 0032-7786.

IF: 4.357 (2019)





12. Kelemen, A., Tölgyesi, C., Valkó, O., Deák, B., Miglécz, T., **Fekete, R.**, Balogh, N., Török, P., Tóthmérész, B.: Density-dependent plant-plant interactions triggered by grazing.
Front. Plant Sci. 10, 2019. EISSN: 1664-462X.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00876>
IF: 4.402
13. Süveges, K., Löki, V., Lovas-Kiss, Á., Ljubka, T., **Fekete, R.**, Takács, A., Vincze, O., Lukács, B. A., Molnár, V. A.: From European priority species to characteristic apophyte: *Epipactis tallosii* (Orchidaceae).
Willdenowia. 49 (3), 401-409, 2019. ISSN: 0511-9618.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3372/wi.49.49310>
IF: 0.887
14. Löki, V., Molnár, V. A., Süveges, K., Heimeier, H., Takács, A., Nagy, T., **Fekete, R.**, Lovas-Kiss, Á., Kreutz, K. C. A. J., Sramkó, G., Tökölyi, J.: Predictors of conservation value of Turkish cemeteries: A case study using orchids.
Landsc. Urban Plan. 186, 36-44, 2019. ISSN: 0169-2046.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1016/j.landurbplan.2019.02.016>
IF: 5.441
15. Costea, M., El, M. H., Laczkó, L., **Fekete, R.**, Molnár, V. A., Lovas-Kiss, Á., Green, A. J.: The effect of gut passage by waterbirds on the seed coat and pericarp of diaspores lacking "external flesh": evidence for widespread adaptation to endozoochory in angiosperms.
PLoS One. 14 (12), 1-22, 2019. ISSN: 1932-6203.
DOI: <http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0226551>
IF: 2.74
16. Molnár, V. A., Sonkoly, J., Lovas-Kiss, Á., **Fekete, R.**, Takács, A., Somlyay, L., Török, P.: Seed of the threatened annual legume, *Astragalus contortuplicatus*, can survive over 130 years of dry storage.
Preslia. 87 (3), 319-328, 2015. ISSN: 0032-7786.
IF: 2.711

Other journal articles (1)

17. Löki, V., **Fekete, R.**, Molnár, V. A.: *Ophrys Helenae* Renz: In: Raab-Straube E. von, Raus Th. (ed.), Euro+Med-Checklist Notulae, 12 [Notulae ad floram euro-mediterraneam pertinentes No. 41].
Willdenowia. 50 (2), 320, 2020. ISSN: 0511-9618.
DOI: <http://dx.doi.org/10.3372/wi.50.50214>

Informational/educational articles (5)

18. **Fekete, R.**, Bak, H., Molnár, V. A.: Növényi stopposok: Sótűrő növények terjedése a közutak mentén.
Termész. Világa. 152 (3), 98-102, 2021. ISSN: 0040-3717.





19. **Fekete, R.**, Molnár, V. A.: Az utak hatása az élővilágra.
Termész. Világa. 148 (6), 268-270, 2017. ISSN: 0040-3717.
20. **Fekete, R.**, Molnár, V. A.: Útszegélyek, mint az orchideák élőhelyei: ökológiai csapdák vagy menedékek?
Madártávlat. 24 (4), 28-33, 2017. ISSN: 1217-7156.
21. **Fekete, R.**, Nagy, T., Molnár, V. A.: Az utak és az élővilág.
Interpress Magazin. 36 (4), 26-31, 2016. ISSN: 0133-1639.
22. Lovas-Kiss, Á., **Fekete, R.**, Molnár, V. A.: A madarak növényi potyautasai.
Madártávlat. 21 (4), 24-25, 2014. ISSN: 1217-7156.

Total IF of journals (all publications): 39,533

Total IF of journals (publications related to the dissertation): 15,552

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.

02 June, 2021



Irodalomjegyzék/References

- Auestad, I., Rydgren, K., Austad, I. (2011) Road verges: potential refuges for declining grassland species despite remnant vegetation dynamics. *Annales Botanici Fennici* 48, 289–303.
- Bacaro, G., Maccherini, S., Chiarucci, A., Jentsch, A., Rocchini, D., Torri, D., Gioria, M., Tordoni, E., Martellos, S., Altobelli, A., Otto, R., Escudero, C. G., Fernández-Lugo, S., Fernández-Palacios, J. M., Arévalo J. R. (2015) Distributional patterns of endemic, native and alien species along a roadside elevation gradient in Tenerife, Canary Islands. *Community Ecology* 16, 223–234.
- Barrett, G. W. & Barrett, T. L. (2001) Cemeteries as repositories of natural and cultural diversity. *Conservation Biology* 15, 1820–1824.
- Signal, E. M. & McCracken, D. I. (1996) Low-intensity farming systems in the conservation of the countryside. *Journal of Applied Ecology* 33, 413–424.
- Bochet, E. & García-Fayos, P. (2004) Factors controlling vegetation establishment and water erosion on motorway slopes in Valencia, Spain. *Restoration Ecology* 12, 166–174.
- Brandes, D. (1998) Vegetation der Straßenränder Korfus. *Vegetationsökologie von Habitatinseln und linearen Strukturen. Braunschweiger Geobotanische Arbeiten* 5, 247–262.
- Buchholz, S., Blick, T., Hannig, K., Kowarik, I., Lemke, A., Otte, V., Scharon, J., Schönhofer, A., Teige, T., von der Lippe, M., Seitz, B. (2016) Biological richness of a large urban cemetery in Berlin. Results of a multi-taxon approach. *Biodiversity Data Journal* 4, e7057.
- Clifford, H. T. (1959) Seed dispersal by motor vehicles. *Journal of Ecology* 47, 311–315.
- Cousins, S. A. (2006) Plant species richness in midfield islets and road verges—the effect of landscape fragmentation. *Biological Conservation* 127, 500–509.
- Cousins, S. A., Lindborg, R. (2008) Remnant grassland habitats as source communities for plant diversification in agricultural landscapes. *Biological Conservation* 141, 233–240.

- Curtis, J. T. (1946) Use of mowing in management of white ladyslipper. *The Journal of Wildlife Management* 10, 303–308.
- Czarna, A. & Nowinska, R. (2010). Vascular plants of certain old Jewish cemeteries in Western Carpathians. *Botanika-Steciana* 14, 45–52.
- Das, K. & Duarah, P. (2013) Invasive alien plant species in the roadside areas of Jorhat, Assam: Their harmful effects and beneficial uses. *International Journal of Engineering Research and Applications* 35, 353–358.
- Davison, A. W. (1971) The effects of de-icing salt on roadside verges. I. Soil and plant analysis. *Journal of Applied Ecology* 8, 555–561.
- Djordjević, V., Tsiftsis, S., Lakušić, D., Jovanović, S., Stevanović, V. (2016) Factors affecting the distribution and abundance of orchids in grasslands and herbaceous wetlands. *Systematics and Biodiversity* 14, 355–370.
- Dogan, Y., Baslar, S., Celik, A., Mert, H. H., Ozturk, M. (2004) A study of the roadside plants of west Anatolia, Turkey. *Natura Croatica* 13, 63–80.
- Ehmke, W. (2005) Die Orchideen im hessischen Westtaunus. *Geobotanische Kolloquien* 18, 9–16.
- Federici, A. & Serpieri, A. (1868) Saggio di una Flora dell'agro urbinato ed epoca della fioritura di molte piante. *Bullettino Meteorologico di Urbino* 2, 48–56.
- Fekete, R., Nagy, T., Bódis, J., Biró, É., Löki, V., Süveges, K., Takács A., Tökölyi J., Molnár, V.A., (2017) Roadside verges as habitats for endangered lizard-orchids (*Himantoglossum* spp.): Ecological traps or refuges? *Science of the Total Environment* 607, 1001–1008.
- Forman, R. T. & Alexander, L. E. (1998) Roads and their major ecological effects. *Annual Review of Ecology and Systematics* 29, 207–23.
- Godefroid, S. (1999) Study of the roadside vegetation in the Walloon region (South Belgium) and in particular in the Upper Ardennes: phytosociology, ecology, pedology. *Acta Botanica Gallica* 146, 291–292.

- Good, R. (1936) On the distribution of lizard orchid, *Himantoglossum hircinum* Koch. New Phytologist 35, 142–170.
- Google Earth., (2018) <https://www.google.com/earth/download/ge/>. (hozzáférés: 2018. november 7.).
- Gulezian, P. Z., Ison, J. L., Granberg, K. J. (2012) Establishment of an invasive plant species (*Conium maculatum*) in contaminated roadside soil in Cook County, Illinois. American Midland Naturalist 168, 375–395.
- Gustafsson, L. & Hansson, L. (1997) Corridors as a conservation tool. Ecological Bulletins 48, 182-190.
- Haddad, N. M., Bowne, D. R., Cunningham, A., Danielson, B. J., Levey, D. J., Sargent, S., Spira, T. (2003) Corridor use by diverse taxa. Ecology 843, 609–615.
- Hadi, F., Ibrar, M., & Zaidi, N. (2014) Role of Dag Behsud cemetery in conservation of indigenous medicinal flora of district Nowshera, Pakistan. Scholarly Journal of Agricultural Science 4, 87–89.
- Hohla, M. & Melzer, H. (2003) Floristisches von den Autobahnen der Bundesländer Salzburg, Oberösterreich, Niederösterreich und Burgenland. Linzer biol. Beiträge 25, 1307–1326.
- Hohla, M. & Raabe, U. (2012) Cochlearia danica–das Dänische Löffelkraut–kein überraschender Neuzugang der Flora von Oberösterreich. Stapfia 97, 206–209.
- Houska, C. (2007) Deicing Salt–Recognizing the Corrosion Threat. International Molybdenum Association, Pittsburgh, TMR Consulting 1–10.
- Hovd, H. & Skogen, A. (2005) Plant species in arable field margins and road verges of central Norway. Agriculture, Ecosystems and Environment 110, 257–265.
- Imbert, E. (2002) Ecological consequences and ontogeny of seed heteromorphism. Perspectives in Plant Ecology 5, 13–36.
- Janečková, P., Wotavová, K., Schödelbauerová, I., Jersáková, J., Kindlmann, P. (2006) Relative effects of management and environmental conditions on performance and survival

- of populations of a terrestrial orchid, *Dactylorhiza majalis*. *Biological Conservation* 129, 40–49.
- Joly, M., Bertrand, P., Gbangou, R. Y., White, M. C., Dubé, J., Lavoie, C. (2011) Paving the way for invasive species: road type and the spread of common ragweed (*Ambrosia artemisiifolia*). *Environmental Management* 48, 514–522.
- Khan, I., Navie, S., George, D., O'donnell, C., Adkins, S. W. (2018) Alien and native plant seed dispersal by vehicles. *Austral Ecology* 43, 76–88.
- Krauss, J., Bommarco, R., Guardiola, M., Heikkinen, R.K., Helm, A., Kuussaari, M., Lindborg, R., Öckinger, E., Pärtel, M., Pino, J., Pöyry, J., Raatikainen, K.M., Sang, A., Stefanescu, C., Teder, T., Zobel, M., Steffan-Dewenter, I. (2010) Habitat fragmentation causes immediate and time-delayed biodiversity loss at different trophic levels. *Ecology Letters* 13, 597–605.
- Kreutz, C. A. J. & Krüger, B. (2014) Über *Ophrys isaura* und *Ophrys kreutzii* in der Türkei. *Journal of European Orchids*, 46, 53–66.
- Leach, S. J. (1994) *Cochlearia danica* on inland roadsides – an update. – *Botanical Society of the British Isles News* 65, 12–13.
- Lin, S. (2007) The distribution and role of an invasive plant species, *Lantana camara*, in disturbed roadside habitats in Moorea, French Polynesia. [online] URL: <http://www.escholarship.org> (hozzáférés: 2020. április 19.)
- Löki, V., Tökölyi, J., Süveges, K., Lovas-Kiss, Á., Hürkan, K., Sramkó, G., Molnár, V. A. (2015) The orchid flora of Turkish graveyards: a comprehensive survey. *Willdenowia* 45, 231–243.
- Molnár, V. A. & Löki, V. (2016) *Cochlearia danica* (Lapierre) DC. pp. 427. In: Raab-Straube E. von & Raus Th. (ed.): Euro+Med-Checklist Notulae, 6. *Willdenowia* 46, 423–442.
- Molnár, V. A., Takács, A., Mizsei, E., Löki, V., Barina, Z., Sramkó, G., Tökölyi J. (2017a) Religious differences affect orchid diversity of Albanian graveyards. *Pakistan Journal of Botany* 49, 289–303.

- Muñoz, P. T., Torres, F. P., Megías, A. G. (2014) Effects of roads on insects: a review. *Biodiversity and Conservation* 24, 659–682.
- Nascimbene, J., Zottini, M., Ivan, D., Casagrande, V., Marini, L. (2016) Do vineyards in contrasting landscapes contribute to conserve plant species of dry calcareous grasslands? *Science of the Total Environment* 545, 244–249.
- Ndiokwere, C. L. (1984) A study of heavy metal pollution from motor vehicle emissions and its effect on roadside soil, vegetation and crops in Nigeria. *Environmental Pollution Series B, Chemical and Physical* 7, 35–42.
- Nguyen, T. L. T. (2011) The invasive potential of parthenium weed (*Parthenium hysterophorus* L.) in Australia. PhD Thesis, University of Queensland, Brisbane
- Nicodème, C., Diamandouros, K., Diez, J., Durso, C., Arampidou, K., Nuri, A. K. (2017) *Road Statistics Yearbook 2017*.
- Parr, T. W. & Way, J. M. (1988) Management of roadside vegetation: the long-term effects of cutting. *Journal of Applied Ecology* 25, 1073–1087.
- Plumwood, V. (2007) The cemetery wars: cemeteries, biodiversity and the sacred'. *Local-Global Journal* 3, 54–71.
- Pyšek P. & Hulme P. E. (2005) Spatio-temporal dynamics of plant invasions: Linking pattern to process. *Ecoscience* 12, 302–315.
- R Core Team (2017) The R Project for for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- R Core Team (2018) The R Project for for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing. <https://www.r-project.org/>
- Reznicek, A. A. (1980) Halophytes along a Michigan Roadside with comments on the occurrence of halophytes in Michigan. *Michigan Botanist (USA)*.
- Ross, S. M. (1986) Vegetation change on highway verges in south-east Scotland. *Journal of Biogeography* 13, 109–117.

- Schmidt, D., Király, G., Horváth, A., Szűcs, P. (2014) Autópályán érkező tengerparti jövevény: A *Plantago coronopus* L. Magyarországon [*Plantago coronopus* L. in Hungary: a new adventive species coming from the European seashore]. – X. 'Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében' Konferencia absztraktkötete, pp. 203–204.
- Scott, N. E. (1985) Road de-icing salt and the invasion of verges by halophytes (Doctoral dissertation, Newcastle University).
- Scott, N. E. & Davison, A. W. (1982) De-icing salt and the invasion of road verges by maritime plants. *Watsonia* 14, 41–52.
- Sletvold, N., Øien, D.I., Moen, A. (2010) Long-term influence of mowing on population dynamics in the rare orchid *Dactylorhiza lapponica*: the importance of recruitment and seed production. *Biological Conservation* 143, 747–755.
- Smith, P. H. & Cross, S. (2016) Effect of mowing regime on abundance of green-winged orchid *Anacamptis morio* on coastal grassland in Merseyside, England.
- Stefanovits, P., Filep, Gy., Füleky, Gy. (1999) *Talajtan* [Pedology]. – Mezőgazda Kiadó, Budapest. 422 pp.
- Swarts, N. D. & Dixon, K. W. (2009) Terrestrial orchid conservation in the age of extinction. *Annals of Botany* 104, 543–556.
- Thiele, J., Schirmel, J., Buchholz, S. (2018) Effectiveness of corridors varies among phytosociological plant groups and dispersal syndromes. *PLoS One* 13, e0199980.
- Tikka, P. M., Högmander, H., Koski, P. S. (2001) Road and railway verges serve as dispersal corridors for grassland plants. *Landscape Ecology* 16, 659–666.
- Tikka, P. M., Koski, P. S., Kivelä, R. A., Kuitunen, M. T. (2000) Can grassland plant communities be preserved on road and railway verges? *Applied Vegetation Science* 3, 25 – 32.

- Török, P., Migléc, T., Valkó, O., Tóth, K., Kelemen, A., Albert, Á., 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, 429–472.
- van Dorp, D., Schippers, P., van Groenendael, J. M. (1997) Migration rates of grassland plants along corridors in fragmented landscapes assessed with a cellular automation model. *Landscape Ecology* 12, 39–50.
- von der Lippe, M. & Kowarik, I. (2007) Long-distance dispersal of plants by vehicles as a driver of plant invasions. *Conservation Biology* 21, 986–996.
- Waterman, R. J. & Bidartondo, M. I. (2008) Deception above, deception below: linking pollination and mycorrhizal biology of orchids. *Journal of Experimental Botany* 59, 1085–1096.
- Way, J. M. (1970) Roads and the conservation of wildlife. *Journal of Institution and Highway Engineers* 17, 5–11.
- Welch, D. (2001): Colonisation by *Cochlearia danica* L. along trunk roads in central Scotland from 1996 to 2000. *Watsonia* 23, 446–449.
- Yılmaz, H., Kuşak, B., Akkemik, Ü. (2018) The role of Aşiyân Cemetery (İstanbul) as a green urban space from an ecological perspective and its importance in urban plant diversity. *Urban Forestry and Urban Greening* 33, 92–98.
- Zeeman, B. J., Minden, V., Morgan, J. W. (2018) Non-native plant cover and functional trait composition of urban temperate grasslands in relation to local-and landscape-scale road density. *Biological Invasions* 20, 3025–3036.