



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Környezettudományi Doktori Iskola

**Inváziós fafajok téridőbeli mintázatainak kvantitatív leírása
és modellezése a Felső-Kiskunság erdőössztyepp-erdeiben**

Doktori (PhD) értekezés tézisei

Erdélyi Arnold

Gödöllő

2024

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudományok

vezetője: Csákiné Prof. Dr. Michéli Erika
egyetemi tanár, az MTA levelező tagja, intézetigazgató, tanszékvezető
MATE Környezettudományi Intézet

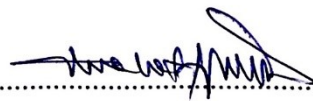
Témavezetők: Dr. Vadász Csaba
természetvédelmi örkerület-vezető, PhD
Kiskunsági Nemzeti Park Igazgatóság

Dr. habil. Malatinszky Ákos
egyetemi docens, PhD
MATE, Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet
Természetvédelmi és Tájgazdálkodási Tanszék

.....
Csákiné Prof. Dr. Michéli Erika
Az iskolavezető jóváhagyása



.....
Dr. Vadász Csaba
A témavezető jóváhagyása


.....
Dr. habil. Malatinszky Ákos
A témavezető jóváhagyása

1. A munka előzményei, célkitűzések

A biológiai inváziók ma már megkerülhetetlen problémát jelentenek világszerte. A természetvédelmi-ökológiai negatív hatások mellett kiemelten érintettek az agrárium és az egészségügy, de az infrastruktúra-építő és -fenntartó ágazatokban is jelentős többletköltségek realizálhatók (Schwoerer et al. 2019; Crystal-Ornelas et al. 2021; Fantle-Lepczyk et al. 2022). Az inváziós fajok károkozása az elmúlt öt évtizedben elérte az 1,3 billió USA dollárt, a költségek pedig továbbra is exponenciális ütemben emelkednek (Diagne et al. 2021). Eddig 37 000 idegenhonos faj spontán megtelepedését írták le, s ezek közül 3500 faj bizonyosan inváziósnak tekinthető (Roy et al. 2023). A növényeknél 4700 fajnál dokumentáltak új megtelepedéseket (Laginhas et al. 2023). Ez azonban alacsony számnak mondható, hiszen a világ ismert edényes flórájának több mint fele megtalálható az eredeti elterjedési területeken kívül eső botanikus, házi- és egyéb kertekben (van Kleunen et al. 2018).

A fásszárú növényfajok kivétel nélkül szándékos behurcolások révén jutottak el más kontinensekre. Európába a jelenleg problémás fajok mindegyike legkésőbb a 18. század végéig megérkezett (Nyssen et al. 2018), inváziójukra azonban sok esetben csak hosszú idő elteltével került sor (Kowarik 1995). Ezek közé tartoznak a dolgozatban vizsgált fajok is, a mirigyes bálványfa (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle), a nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis* L.), a kései meggy (*Prunus serotina* Ehrh.) és a zöld juhar (*Acer negundo* L.). A négy faj legkésőbb a 18-19. század fordulóján már jelen volt Magyarországon, később több ágazat felkarolta, s használatba vonta azokat. Az érdeklődés irányukban csak a 20. század második felében esett vissza. A másfél évszázados tudatos elterjesztésük, és a mindeközben kibontakozó spontán terjedésük révén mára országosan gyakorivá váltak (Bartha et al. 2015; Korda 2018). Inváziójukkal a sík- és dombvidéki tájaink nagyrésze érintett, a közeljövőben pedig már a középhegységi erdeinkben is várható a térhódításuk (Vig et al. 2023).

Az inváziós fajok visszaszorítására ma már számos tesztelt mechanikai és vegyszeres módszer áll rendelkezésre (Csiszár and Korda 2017; Weidlich et al. 2020). A beavatkozások jellemzően nagy ráfordítást igényelnek, ezért szinte kizárólag pályázati kereteken belül történnek. Egyre népszerűbb az önkéntes munka is (Dechoum et al. 2019), amely a fajok esetében elsősorban az utókezeléseket segítheti. A visszaszorítási munkálatok sikerét azonban nagyban meghatározza az, hogy mennyit tudunk ezekről a fajokról. Az egyes beavatkozások tervezésénél már tulajdonképpen eldőlhet a végeredmény, s amennyiben hiányosak az ismereteink a múlt- és jelenbeli viszonyokról, az könnyen a források szuboptimális felhasználásához, s a kivitelezések hatékonyságának csökkenéséhez vezethet. Ennél fogva szükséges előállítani olyan adatsorokat, amelyek a jelenlegi előfordulási és tömegességi viszonyokat térben realiztikus módon írják le. Az adatokra építve el lehet készíteni olyan kezelési terveket, amelyek segítségével a fajok inváziója jelentette veszély hosszabb távon, s alacsonyabb költségek árán mérsékelhető, vagy akár meg is szüntethető. A jelenlegi állapotok valósághű leírása mellett érdemes a múltbeli eseményeket is feltárni, hiszen egy biológiai invázió értelmezéséhez, s egy faj inváziós viselkedésének azonosításához az alapvető keretrendszert ez adja meg. Emellett részleteiben is fontos megismerni a terjedési dinamikák sajátosságait, ami kiterjed a tömegességben gyakran ugrásszerű változások ok-okozati összefüggéseinek megismerésére, s a terjedést gátló, vagy jelentős mértékben visszafogó tényezők azonosítására. A doktori értekezés az előzőekben körvonalazott feladatokkal foglalkozik, s ezzel egyrészt igyekszik hozzájárulni a természetvédelmi törekvésekhez, másrészt kvantitatíve alátámasztott érvekkel szeretne javaslatokat tenni a hagyományos alföldi erdőművelés egyes elemeinek újradolálására is.

A disszertáció fő célkitűzései a következők:

1. A vizsgált négy inváziós faj lokális elterjedés-történetének feltárása hat különböző megközelítés segítségével
2. Az inváziós fajok előfordulási és tömegességi viszonyainak finomléptékű (térben realiztikus) felmérése és leírása – különös tekintettel a mintavételi intenzitásból eredő problematikára
3. Az inváziós fajok terjedését magyarázó változók vizsgálata – különös tekintettel a propagulumnyomásra, a fogadó környezetre és a bolygatásokra
4. A visszaszorítási lehetőségek vizsgálata beállított kísérlet segítségével a mirigyes bálványfa és a nyugati ostorfa esetében.

2. Anyag és módszer

A vizsgált területek

A Felső-Kiskunságban a mai napig nagy természetvédelmi értéket képviselő erdőssztyepp-erdő fragmentumok találhatóak. Ezek közül vizsgálataimat a Peszéri-erdőben, kisebb részt a Kunadacsi-erdőben végeztem. Mindkét területen számos értékes élőhelytípus található, amelyek közül kiemelendők az Euroszibériai erdőssztyepp-tölgyesek (91I0) állományai. Ezek mellett diverz homoki gyepek és buckaközi láprétek mozaikolnak különböző összetételű cserjésekkel és erdőkkel. A területek élőfakészletének nagyobb részét a szürke nyár és a fehér akác adja, a vezércserje általában az egybibés galagonya. A Peszéri-erdő hosszabb „erdős” múltra tekint vissza, míg a Kunadacsi blokk nagyobb része a 19–20. századi telepítések erdménye. Mindkét helyen általános gondot okoz a négy inváziós faj, amelyek a legsűrűbb cserjések kivételével minden zárt erdei, illetve erdőssztyepp élőhelytípusban képesek terjedni, s meghatározóvá válni.

A négy inváziós faj elterjedés-történetének feltárása a Peszéri-erdőben

Az elterjedések történeti rekonstrukcióját hat módszer együttes alkalmazásával végeztem. Ezek a következők voltak:

1. szakirodalmi feltárómunka a már elkészült hazai összegző munka (Korda 2018) és a releváns folyóiratok segítségével
2. a terület archív és recens üzemtervi adatainak feldolgozása és térképes ábrázolása
3. a Peszéri-erdő teljes területi felméréséből (lásd következő alfejezet) származó adatok feldolgozása és kiegészítő terepi adatgyűjtések a sűrű állományok esetében
4. a kiugró méretű faegyedek azonosítása, évgyűrűszámolás
5. a teljes területi felmérés adatsoraival hotspot elemzések készítése
6. a helyi tudás gyűjtése.

Az inváziós fafajok előfordulási és tömegességi viszonyainak becslés-problematikája

A négy inváziós fafaj előfordulási és tömegességi viszonyait 2017–2019 között mértük fel a Peszéri- és Kunadacsi-erdőkben. Az adatgyűjtés egy 25×25 m-es rácshálóhoz igazodva történt, amely tehát teljes területi felmérést, nem pedig mintavételezést jelentett. A felméréssel 450 db erdőrészletet (60 db erdőtagban) fedtünk le, s 24 905 db, a rács által meghatározott 625 m^2 -es felmérési egység átjárása valósult meg. Az abundancia adatokat fafajonként két csoport szerint gyűjtöttük. A $\text{dbh} \geq 5$ cm csoportba tartozó egyedeket számoltuk, valamint rögzítettük a csoporthoz tartozó átlagátmérőt, a $\text{dbh} < 5$ cm (ellenben a magonc fázist már túlélte) vitális újulat számát pedig becsültük. A közel 100%-os felbontásban gyűjtött adatok lehetőséget adtak arra, hogy szimulációkat végezhessek alacsonyabb mintavételi intenzitásokon, s összehasonlíthassam a kapott becsléseket a teljes területi felmérés eredményeivel. A kérdéskört erdőrészlet, erdőtag és erdőtömb térléptékeken, a négy fafaj két átmérőosztálya szerint, újra-mintavételezéses eljárással (500 ismétlés, visszatevéses) és térben egyenletes pontkiosztással vizsgáltam. A szimulált mintavételi intenzitások a 2%, 5%, 10%, 25% és 50% voltak – utóbbinál a térben feszített szituáció miatt kis eltéréssel. Emellett meghatároztam a „nem talált” esetek gyakoriságát, s vizsgáltam az erdőrészlet és erdőtag térléptékeken tapasztalt hibavalószínűségek kapcsolatát a területmérettel, a frekvenciával és az abundanciával.

Az inváziós fafajok terjedésében szerepet játszó ok-okozati összefüggések vizsgálata

Az inváziós fafajok előfordulási és tömegességi mintázatait a propagulumnyomással, a vegetációszerkezettel és a mirigyes bálványfa esetében az erdőgazdálkodói tevékenységekkel összefüggésben vizsgáltam. A propagulumnyomással történő összevetéshez a teljes területi felmérés adatsorait használtam fel. A magyarázó változót a $\text{dbh} \geq 5$ cm csoportban rögzített egyedszám és átlagátmérő szorzattal közelítettem. A függő változót a $\text{dbh} < 5$ cm csoportban rögzített egyedszámok adták. Az adatokat három térlépték (felmérési egységek, környező 8 és 24 felmérési egység, illetve ezek kombinációja) és három csoportosítás (teljes adatsor, 20 évnél idősebb állományok, az 1990-es évek óta nem bolygatott állományok) szerint általánosított lineáris modellekkel elemeztem, összesen 60 különböző esetben.

A vegetációszerkezettel kapcsolatos ok-okozati összefüggések feltárását öt különböző korú és használatstörténetű, első körös kezelésekkal érintett Peszéri-erdei állományfoltban, összesen 563 db, 5×5 m-es kvadrátban végzett felmérés adataival végeztem. A függő változót a négy inváziós fafaj öt magasságosztályban számolt egyedszámok adták, a magyarázó változók nyolc csoportban, folytonos, vagy kategorikus becslésekkel kerültek rögzítésre. Az adatokat leíró statisztikákkal és általánosított lineáris modellekkel elemeztem 62 különböző esetben.

A mirigyes bálványfa terjedése és az erdőgazdálkodás közötti kapcsolatokat a vágások előtti és utáni állapotok összevetésén (BACI megközelítéssel), valamint a tuskópászták szerepén keresztül vizsgáltam. Előbbi esetben a felmérési módszer igazodott a teljes területi felméréshez, utóbbinál pedig egyedi elrendezés szerint, transzektos mintavételi eljárással történt az adatgyűjtés. Az adatokat egyszerűbb próbákkal (pl. Kruskal-Wallis, Dunn teszt) elemeztem.

A mirigyes bálványfa és nyugati ostorfa visszaszorítási lehetőségeinek vizsgálata

A mirigyes bálványfa és a nyugati ostorfa (vissza)terjedésének dinamikáját, s magbankjuk viselkedését *in situ* kísérletben vizsgáltam egy, az 1990-es évek óta nem bolygatott állományban a Peszéri-erdőben. A kísérlet beállítására 2019-ben került sor, 12 db 625 m²-es kvadrátban 3-mas ismétlésben a következők szerint: 1.) egyszer (2019) kezelt, 2.) folyamatosan kezelt (2019–2022), 3.) folyamatosan kezelt (2019–2022) pufferező kialakításával, 4.) kontroll (nem történt kezelés). A kezelések minden esetben teljes körű eltávolítást jelentettek. Az inváziós fafajok egyedeit öt magasságosztály szerint, centrális elrendezésben, kvadrátonként 9 parcellában számoltuk minden évben. A kísérlet beállítását leíró változók mellett 13 környezeti magyarázó változót is rögzítettem, valamint egyedi mintavételi elrendezésben kiegészítő vizsgálatot végeztem a mortalitásra és a lágyszárú szintre vonatkozóan. Az adatokat leíró statisztikákkal, általánosított lineáris, illetve általánosított kevert modellekkel (változó-interakciók használatával) elemeztem.

3. Eredmények és megvitatásuk

A négy inváziós fafaj elterjedés-történetének rekonstruálása

A Peszéri-erdőben a négy fafaj első előfordulási helyszíneit nagy pontossággal sikerült azonosítani, ezek közül kiemelhető az északi erdészház és vonzáskörzete (pl. kísérleti erdő, egykori csemetekert). Az első bekerülésre vonatkozóan csak a kései meggy esetében kerültek elő biztos adatok, azonban a másik három fafajnál is valószínűsíthető, hogy legkésőbb az 1930-as évek végén már ott voltak a területen. Az első előfordulások körülményei alapján a véletlen bekerülés magas valószínűséggel kizárható volt, először tehát az ember hurcolta be a fafajokat a területre. Az első előfordulási helyszínek és időpontok meghatározását a mirigyes bálványfánál és a kései meggyenél a szakirodalomból, a nyugati ostorfánál az idős fák évgyűrűinek számlálásából, a zöld juhar esetében pedig az üzemtervi adatokból származó információk tették lehetővé. A mirigyes bálványfát és a zöld juhart az 1950-es évektől már biztosan nem ültették, azonban a nyugati ostorfát és a kései meggyet eseti jelleggel még az 1990-es évekig használták. A terepi adatok mellett ezt a lokális tudás és a hotspot analízis is alátámasztotta. A hotspot analízisekkel meghatározott recens gócpontok közül a legerősebbek a mirigyes bálványfánál és zöld juharnál ugyanott voltak, mint az első előfordulások. A kései meggyenél és a nyugati ostorfánál azonban ezek részben az azonosított, illetve valószínűsíthető későbbi ültetések lokalitásaira estek. Fontos eredmény volt, hogy a négy fafaj közel egyszerre, az ezredfordulón robbant be a területen. Az évtizedek során a fafajok gyakorisága ugyan valamelyest nőtt, de az üzemtervi adatok, s a lokális tudás alapján kijelenthető, hogy az exponenciális ütemű terjedésük csak az első (ismert) előfordulásuk után 60–70 évvel indult meg. A lokális tudás alapján ennek hátterében a klímaváltozás, továbbá a vad- és erdőgazdálkodás gyors megváltoztatása állhat. Végül az eredmények (a második témával együtt) rávilágítottak arra is, hogy az inváziós fafajok többszörösen alulreprezentáltak a recens üzemtervi adatokban.

A mintavételi intenzitás és a becslési hiba összefüggései

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy erdőtagok és erdőrészek térléptékén az alacsony mintavételi intenzitások ($\leq 10\%$) alkalmazásával a valós előfordulási és abundancia viszonyok becslése elfogadhatatlanul magas hibával terhelt. A becslési hiba valószínűsége még a 25%-os mintavételi intenzitás esetén is általános magas volt, sőt esetenként még az 50%-al történt szimulációk is elfogadhatatlanul rossz eredményeket adtak. Ezeken a térléptékeken a „nem talált” esetek (egy adott szimulált felmérés során nem sikerült megtalálni a fafajt az adott erdőrészetben / erdőtagban) valószínűsége is kiugróan magas volt, pl. a 2%-os mintavételi intenzitásnál 60-80% között mozgott. A hibavalószínűségek lefutási mintázatai a fafajok között nem mutattak különbséget, azaz a becslési problematika nem fafaj függő. Az erdőtömb térléptéken viszont a becslési hiba már alacsony mintavételi intenzitások esetén is elfogadhatónak adódott, így kijelenthető, hogy több száz hektáros léptéken a néhány %-os mintavételi intenzitással is jó közelítést adó adatokat lehet gyűjteni. Ez azonban csak az abundanciára, nem pedig a térbeli mintázatokra vonatkozik, mert az inváziós fafajok nagymértékű aggregált térbeli eloszlását – a helyes abundancia értékek ellenére – alacsony mintavételi intenzitásokkal szintén nem lehet lekövetni. Erdőtag és erdőrészet térléptékeken a becslési hiba összevetése a területmérettel, abundanciával és gyakoriságokkal az esetek többségében szignifikánsan negatív eredményeket adott. Az összefüggés azonban jóval erősebbnek mutatkozott az utóbbi kettővel.

Az inváziós fafajok terjedésének ok-okozati összefüggései

A propagulumnyomás és az újulat tömegessége közötti összefüggés vizsgálata minden alkalmazott kombinációban szignifikánsan pozitív eredményt adott. Kijelenthető, hogy a propagulumnyomás a környezettől függetlenül a terjedés null modelljeként értelmezhető. Ugyanakkor a propagulumnyomás egyedi hatását leíró mutatók nagyon alacsonyak voltak, ami arra világít rá, hogy más tényezők fontosabb szerepet játszhatnak az előfordulási és tömegességi mintázatok kialakításában. Az egyes térléptékek közötti különbségek arra engedtek következtetni, hogy a tömegességet elsősorban a legszűkebb környezet (közvetlen beszóródás) határozza meg. Az egyes csoportok közötti eltérések pedig a mirigyes bálványfa – zöld juhar, valamint a nyugati ostorfa – kései meggy fajpárosok közötti különbségeket jelezték.

A vegetációkörnyezeti vizsgálatokban a terjedést mérséklő szerkezeti elemek közül a legnagyobb magyarázó erővel az alacsony cserjeszint (< 2 m) bírt. Ez különösen igaznak bizonyult mind a négy fafaj alacsony újulatánál (0–25 cm és 25–50 cm). A lomboszint és a felső cserjeszint (< 6 m) záródása szintén fontos regulátorok voltak, de általában kisebb jelentőséggel szerepeltek a legjobb modellekben. Érdekes eredménynek adódott viszont, hogy a záródásviszonyok növekedésével nőtt a kései meggy magas újulatának ($> (50-100)$ cm) tömegessége. A közeli lécek jelenléte elsősorban a mirigyes bálványfa és a nyugati ostorfa tömegességi viszonyaival állt szignifikánsan pozitív összefüggésben. A sűrűbb graminoidokból álló lágyszárú szint negatív hatással bírt a mirigyes bálványfára, ellenben pozitív hatással bírt a zöld juharra. Az erős gyomosodás a nyugati ostorfa és a kései meggy tömegességével mutatott negatív összefüggést. További érdekes eredmény volt a fagyalos erdőalj és a nyugati ostorfa alacsony újulata közötti pozitív kapcsolat. Végül az első körös kezelések során esetlegesen kihagyott magtermő egyedek a kései meggy és a mirigyes bálványfa újulatának tömegességével mutattak pozitív összefüggést.

A doktori munka talán legegységértelműbb eredményeit a mirigyes bálványfa és az erdőgazdálkodás ok-okozati összefüggésinek vizsgálata adta. Kijelenthető, hogy a vágások (gyérítések és tarvágás) determinisztikus módon gyorsítják meg a fafaj terjedését. Ehhez képest a spontán terjedés során mérhető növekmények nagyságrendekkel elmaradnak. A tuskópászták kialakítása a korábban bálványfát tartalmazó állományok tarra vágása és mesterséges felújítása során szintén garantálja a fafaj gyors revitalizációját. A tuskópásztákon a magtermés megindulásához mindössze néhány évre van szükség, ezáltal a lineárisok a fafaj (vissza)terjedésének központi forrásaiként azonosíthatók.

A mirigyes bálványfa és a nyugati ostorfa terjedési dinamikája a különböző kezelések függvényében

Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a két fafaj terjedési dinamikája élesen különbözik, s a terjedésükben szerepet játszó regulátorok tekintetében is adódnak eltérések. A 2019-es kezelések egy évvel később a mirigyes bálványfa magbankjának berobbanásához vezettek, ugyanakkor az évek során a fafaj természetes mortalitása meghaladta a 90–95%-ot. A nyugati ostorfa időben kiegyensúlyozottabb magbank expressziót mutatott, a mortalitása viszonylag alacsony volt, s a kísérlet végére – ledolgozva a kezdeti hátrányát – tömegességében utolérte a mirigyes bálványfát. Az egyszer kezelt kvadrátokban a kísérlet végére a fafajok (átlagosan) tömegesebbé váltak, mint a kiindulási állapotkor. A növekedés mértéke meghaladta a kontroll kvadrátokban tapasztaltakat is, ugyanakkor utóbbiakban ez csak a magoncokra volt visszavezethető, míg a magasabb osztályokban nem volt érdemi változás. A kísérlet évei alatt egyik kezelt kvadrátból sem sikerült teljesen kiirtani a fafajokat, azonban a 25 m-es védelmi zóna alkalmazásának hatása kimutatható volt. A két fafaj tömegességére minden esetben a kísérleti beállítás bírt a legnagyobb magyarázó erővel. Mindkét fafajnál egyaránt fontos regulátornak bizonyultak a záródásviszonyok. A lomb szintben található bálványfa relatív dominanciája (kontroll) a fafaj újulatára pozitív, a nyugati ostorfa újulatára viszont negatív hatással bírt. A propagulumnyomás a két fafaj közül csak a bálványfánál bizonyult fontosnak, ahogy a lágyszárú szint is annak alacsony újulata esetében. Az avar vastagságával csökkent a mirigyes bálványfa tömegessége, ellenben a nyugati ostorfánál enyhén pozitív hatás mutatkozott. A nyugati ostorfa tömegességére ellenben a kocsányos tölgy (és hegyi juhar) állományszintű jelenléte volt erős negatív hatással.

4. Következtetések és javaslatok

A biológiai inváziók leírásában az egyik első feladatot az jelenti, hogy elkészüljön egy megfelelően alátámasztott elterjedés-történet. Ebben a kontextusban tárgyalhatók ugyanis maguk az inváziós fajok, s ezzel tudjuk a legérthetőbben közreadni a nagyközönség számára azt, hogy miért jelentenek ekkora problémát ezek az ember által hajtott folyamatok. Az inváziós fajok elterjedés-történetének feltárásánál nagy térléptékeken leggyakrabban egy, esetleg két módszertani megközelítést használnak. Lokális léptékben ez viszont aligha lenne célravezető az alacsony adatsűrűség miatt. Ennek feloldására tehát érdemes több megközelítést együttesen használni, s ezek komplementer módon történő alkalmazásával már könnyebben lehet azonosítani az első bekerüléseket, illetve jellemezni az elterjedés folyamatát. Az eredmények rávilágítottak arra, hogy az alkalmazott hat megközelítéssel ugyan egyedi alapokon is sok új információ került elő, de a négy fafaj elterjedés-

történetének feltárását valójában ezek kombinációja tette lehetővé. Az első bekerülések idejének és helyének meghatározása a legtöbb inváziós faj esetében nem lehetséges a hiányzó dokumentáció miatt. A Peszéri-erdő esetében is csak a kései meggynél került elő egyértelmű információ erre vonatkozóan. A másik három fafajnál viszont a szakirodalom mellett az idős fák vizsgálata és az archív üzemtervi adatok, részben pedig a hotspot elemzések engedtek megfogalmazni erős lábakon álló következtetéseket. A feltárt körülmények alapján kijelenthető, hogy a fafajok a korabeli erdészek – bizonyosan jó szándékkal meghozott – döntései révén kerültek először ültetésre a területen. Országos tekintetben ez viszonylag „megkésve” történt, az 1930-as évekre volt tehető. Az egyik legérdekesebb eredmény a fafajok ezredfordulón történő berobbanása volt, ami 60–70 évnyi késedelmi időszakot (*'lag time'*) jelentett. Hasonló jelenséget már számos növényfajnál dokumentáltak világszerte. A helyi tudás alapján három, az 1990-es évek végén közel egyidőben történő változást sikerült azonosítani. Az ezredfordulóra bekövetkező drasztikus változások az erdő- és vadgazdálkodásban, továbbá a klímaváltozás ekkortól már kifejezhetően érezhető hatásai mind hozzájárulhattak ahhoz, hogy a négy fafaj exponenciális terjedése egyszerre induljon meg. Az ok tehát a környezetben történő változás volt (*'environmental lag'*), amelyet szintén sok faj inváziójánál kimutattak. A recens terepi felmérések és hotspot elemzések a jelenlegi előfordulási és tömegességi mintázatok leírása mellett retrospektív eszközként is használhatók voltak. Alkalmazásukkal ugyanis a jelenlegi mintázatokból sikeresen lehetett következtetni az első betelepítések helyszíneire a mirigyes bálványfa és a zöld juhar esetében, valamint azonosítani a nyugati ostorfa és kései meggny későbbi ültetéseit.

Az inváziós fafajok hatékony visszaszorításához a legtöbbször szükségesek a valóságot jól közelítő adatsorok. Ezek használatával készülhetnek el ugyanis a cselekvési tervek, amelyek – többek között – a munkálatok ütemezését és a forrás-allokációt is tartalmazzák. Ameddig a távérzékeléses és egyéb technológiákkal pontos abundancia adatok a zártabb vegetációkörülmények és az újulat esetében nem nyerhetők, addig a tervezéshez szükség lesz terepi felmérések során gyűjtött adatokra. Ezek megbízhatóságát viszont módszertől függetlenül meghatározza az alkalmazott mintavételi intenzitás. Míg bizonyos erdei mutatók (főfafajok tőssűrűsége, kihozatal stb.) esetében már nagyon alacsony mintavételi intenzitásokkal is jó közelítésű becsléseket lehet tenni, addig egy olyan élőlénycsoportnál, amelyet az ember lényegében nem tud kontrollálni ez aligha képzelhető el. Ezt a szimulációk eredményei több oldalról alátámasztották. Az inváziós fafajok terjedése szigorúan véve nem véletlenszerű, hanem rendszerszintű folyamatok által meghatározott. Ugyanakkor egy adott pillanatkép rögzítésekor, vagyis az előfordulási és tömegességi mintázatok leírásakor a térben jelentős aggregáltság, és a prediktálhatatlanság miatt módszertani perspektívából bizonyosan a véletlenszerűhöz áll közelebb. Ezt pedig csak magas mintavételi intenzitások alkalmazásával, lehetőség szerint teljes területi átjárással lehet megfogni. Az eredmények szerint ez az állítás nem függ a fajtól, mert mind a négy fafajnál ugyanolyan lefutások mutatkoztak. Valamelyest függ azonban az adott fafaj adott térléptéken vett gyakoriságától és abundanciájától. Szintén fontos kihangsúlyozni, hogy az alacsony mintavételi intenzitásokkal nagyon magas a valószínűsége annak, hogy a kisebb gócpontokat nem sikerül megtalálni. Pontosan ezek azok, amelyekből elindul az invázió, s ezek felkutatása és kezelése jelentené azt, amit prevenciónak nevezünk. Az alacsony mintavételi intenzitások szimulációjánál kapott általánosan magas becslési hibák lefelé legfeljebb 100%-ban térhettek el („nem talált” esetek), felfelé viszont akár öt nagyságrendnyi túlbecslések is mutatkoztak. Pályázati keretek között ennek igen súlyos következményei lehetnek az inváziós fafajok kezelésének költségtervére, de általánosságban a megvalósíthatóságra nézve is.

Az ok-okozati összefüggések vizsgálata és beállított kísérlet eredményei alapján kijelenthető, hogy a négy fafaj invázióját a propagulumnyomás, a vegetációs környezet és a bolygatások együttesen szabályozzák. Ezek az invázióbiológia központi tételei közé tartoznak, s a Felső-Kiskunsági erdőssztyepp-erdőkben is több oldalról igazolást nyertek. Ha a visszaszorítási törekvések során ezeket a változócsoportokat is figyelembe vesszük (az egyes elemeket kezeljük, átalakítjuk, célzottan védjük, vagy egyes tevékenységeket elhagyunk), akkor szignifikáns mértékben csökkenthetjük a négy fafaj terjedési ütemét. Magtermő egyedek nélkül természetesen az inváziókra nem kerülne sor, így ezek mielőbbi előlése elsőrendű feladat. Ugyanakkor a kezelések során esetlegesen elhagyott egyedek célzott felkutatása legalább ennyire fontos, mert a továbbiakban a tömegességi viszonyok első helyen ezektől függenek majd (a legszűkebb környezet a legmeghatározóbb). Amennyiben egy kezelést elkezdünk, akkor vállalnunk kell a több évig tartó munkát, máskülönben a bolygatás miatt sokkal rosszabb helyzetet is előállhat, mintha nem csináltunk volna semmit. Másfelől a kezelések közé érdemes lenne beiktatni egy türelmi időszakot, ami akár 5–10 évet is jelenthet. A legfontosabb cél minden esetben az, hogy a talajfelszínen, vagy feltalajban lévő életképes magok elveszítsék a csírákéességüket. Ehhez idő kell, de a négy fafaj esetében már néhány év is sokat segíthet. Másfelől a már kicsírázott és növekedésnek indult egyedek esetében a természetes mortalitást sem szabad figyelmen kívül hagyni, ugyanis ha a kísérletben a mirigyes bálványfánál tapasztalt 95% feletti pusztulást vesszük alapul, akkor ez a kezelői költségek szignifikáns csökkenését is jelenti egyben. Az eredmények felhívják a figyelmet arra, hogy alföldi erdőgazdálkodásban gyakran temetett tölgyes állományok valójában sokkal erősebbek a fafajok inváziójával szemben, mint a látszólag jobb állapotú, de egyszerűbb nyárasok, akácok, s egyéb erdők. Az alföldi zárt kocsányos tölgyesek védelme nem csupán a természetvédelmi értékük miatt indokolt, hanem azért, mert hosszabb távon bizonyosan ellenállóbbak a fafajok inváziójával szemben. A Peszéri-erdőben az 1990-es évek óta nem bolygatott tölgyesekből pl. a mirigyes bálványfa és a zöld juhar tulajdonképpen kiszorult. A természetközeli állapotok megőrzésével és kialakulásuk facilitálásával bizonyosan ellenállóbbá tehetők ezek az erdők a fafajok inváziójával szemben. Ehhez hozzátartozik, hogy a kezelések után a bolygatásokat meg kell szüntetni. Különösen fontos általában véve nagyobb figyelmet fordítani a cserjeszintre, s érdemes a mesterséges felújítások esetében is elgondolkozni a cserjék telepítésén a főfafajok mellett. Az eredmények alapján ugyanis az (alacsony) cserjeszint képviseli az elsődleges védvonalat a négy fafaj inváziójával szemben. Védelme a vágások során is indokolt lenne, hiszen pl. a mirigyes bálványfa inváziója a hazai erdőssztyepp-erdőkben első helyen magukra az erdőgazdálkodási tevékenységekre vezethető vissza. Ezekben az erdőkben tehát érdemes lenne teljesen elhagyni legalább a tisztításokat, de a további gyérítéseket is célszerű lenne kisebb eréllyel és gyakorisággal végrehajtani.

5. Új tudományos eredmények

A dolgozat új tudományos eredményei az alábbi pontokban foglalhatók össze:

1. Az inváziós fafajok lokális elterjedés-történetének feltárásához új, kombinált módszertan kidolgozása és tesztelése

2. Az inváziós fafajok előfordulási és tömegességi viszonyai alacsony mintavételi intenzitások alkalmazása esetén csak elfogadhatatlanul magas hiba mellett becsülhetők erdőrésztlet és erdőtag térléptékeken. A valós állapotok csak teljes területi felméréssel közelíthetők
3. Az erdőrésztlet térléptékeken becsült propagulumnyomás mind a négy fafajnál pozitív összefüggést mutat az újulat tömegességi viszonyaival. Az erdőállomány korától és a használati háttértől függően meghatározóbb az anemochor fajoknál (a mirigyes bálványfánál és zöld juharnál), mint a zoochor fajoknál (a kései meggyénél és nyugati ostorfánál)
4. A vegetáció szerkezete mind a négy fafaj terjedésében fontos regulátor szereppel bír. A Peszéri-erdőben a négy fafaj magoncainak és alacsony (0–25 cm) újulatának tömegességében a legmeghatározóbb vegetációszerkezeti elem az alacsony cserjeszint (< 2 m), kisebb mértékben a lomb szint. Javasolt a nevelővágások gyakoriságának és erélyének csökkentése, mindenekelőtt pedig a tisztítások elhagyása a cserjeszint védő hatásának fenntartása érdekében
5. A nevelővágások, a véghasználatok és a tuskópászták kialakítása a mirigyes bálványfa invázióját nagyságrendekkel gyorsítják meg a spontán terjedéséhez képest. A fafaj ugrásszerű terjedése már néhány magtermő egyed jelenlétekor is determinisztikus módon bekövetkezik
6. Az egyszeri alkalommal kivitelezett kezelésekkel már rövid távon is sokkal kedvezőtlenebb körülmények érhetők el, mint ha nem történt volna beavatkozás. Ezért a kezeléseket csak akkor szabad elkezdni, ha a következő években az utókezelések is biztosítottak. A záródáshiány növekedésével járó kezelések pozitív hatással vannak a mirigyes bálványfa magbankjára, de a nyugati ostorfára nem. Az előző mortalitási rátája ugyanakkor sokszorosa az utóbbiának, s egy-két év alatt a két fafaj tömegessége kiegyenlítődik a visszaterjedésük, s állományaik revitalizációja során
7. A mirigyes bálványfa magról történő visszaterjedésében (a környezetből és a magbankból együttesen) sokkal meghatározóbb a propagulumnyomás és a lágyszárú szint, mint a nyugati ostorfánál. Mindkét fafajnál jelentős regulátor a fásszárú vegetáció együttes záródása, az avar vastagsága, az állományalkotó fafajok, különösen a kocsányos tölgy.

Újszerű tudományos eredmények:

1. A mirigyes bálványfa, nyugati ostorfa, kései meggy és zöld juhar elterjedés-történetének feltárása a Peszéri-erdőben: a.) a fafajok első bekerülési helyének és vélt idejének azonosítása; b.) a fafajok lokálisan 60–70 évig tartó lassú terjedésének ('lag time'), majd a populációk egy időben, az ezredfordulón bekövetkezett „berobbanásának” azonosítása; c.) a mirigyes bálványfa és a zöld juhar páros, valamint a nyugati ostorfa és kései meggy páros terjedése közötti különbségek azonosítása és a nem dokumentált ültetések visszakövetési lehetőségének bemutatása hotspot analízisekkel; d.) a lokális tudás használhatósága az elterjedés-történeti rekonstrukciókban
2. A becslési hiba az inváziós fafajok abundanciájának és előfordulási gyakoriságának növekedésével, továbbá a mintaterület méretének növekedésével csökken
3. A cserje- és lomb szintek záródásának növekedésével a mirigyes bálványfa, a nyugati ostorfa és a zöld juhar újulatának tömegessége csökken, a kései meggy magasabb újulatára (> 50–100 cm) azonban a zártabb vegetáció pozitív hatást gyakorol
4. A lécek jelenléte pozitív hatással bír a mirigyes bálványfa, a nyugati ostorfa és a zöld juhar újulatának tömegességi viszonyaira, de nincs hatásuk a kései meggyre

5. A négy fafaj tömegességi viszonyait a lágyszárú szint összetétele, így a graminoidok és gyomok térfoglalása jelentős mértékben meghatározza
6. A fagyal fontos szereppel bír a nyugati ostorfa magoncainak és fiatal újulatának megmaradásában
7. Az inváziós fafajok első körös kezelésekből esetlegesen kimaradt magtermő egyedei továbbra is jelentős mértékben hozzájárulnak az újulat tömegességéhez, így ezek felkutatása és eltávolítása nélkülözhetetlen
8. A térben és időben egymást szorosan követő vágások a mirigyes bálványfa „exponenciális rotációs dinamikájához” vezetnek (a fogalom takarta hipotézis ellenben további vizsgálatokat igényel)
9. A pufferzóna kezelésével mindkét fafaj visszaterjedési üteme jelentős mértékben csökkenthető, de 25 m-es távolság tartása és 3 évnyi kezelés még biztosan nem elégséges az eradikációhoz

6. Fontosabb publikációk

Angol nyelven, WoS/Scopus besorolású folyóiratban

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á., Vadász Cs. (2023): Historical reconstruction of the invasions of four non-native tree species at local scale: a detective work on *Ailanthus altissima*, *Celtis occidentalis*, *Prunus serotina* and *Acer negundo*. *One Ecosystem* 8: e108683. <https://doi.org/10.3897/oneeco.8.e108683> (Q1)

Vig T., Erdélyi A., Malatinszky Á. (2023): The distribution of the Tree of Heaven (*Ailanthus altissima* [Mill]. Swingle) in the settlements and forests of Southern Börzsöny, Hungary. *Botanikai Közlemények* 110(2): 167-190. <https://doi.org/10.17716/BotKozlem.2023.110.2.167> (Q2)

Magyar nyelven, nem impakt faktoros folyóiratban

Vig T., Erdélyi A., Malatinszky Á. (2023): A mirigyes bálványfa (*Ailanthus altissima* [Mill.] Swingle) elterjedésének jellemzése a Dél-Börzsöny területén. *Erdészeti Lapok* 158(4): 164-169

Molnár, Á. P., Erdélyi, A., Hartdégén J., Biró M., Pánya I., Vadász, Cs. (2022): Természetvédelmi célú történeti elemzés – a Peszéri-erdő elmúlt három évszázada. *Tájökológiai Lapok* 20(1): 73–105. <https://doi.org/10.56617/tl.3381>

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á., Lestyán Cs. J., Vadász Cs. (2021): Egyes erdőgazdálkodási tevékenységek hatása a mirigyes bálványfa (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) terjedésére meszes homoki termőhelyeken. *Erdészettudományi Közlemények* 11(1): 1-13. DOI: 10.17164/EK.2021.002

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á., Lestyán Cs. J., Vadász Cs. (2021): Egyes erdészeti beavatkozások hatása a mirigyes bálványfa terjedésére meszes homoki termőhelyeken. *Erdészeti Lapok* 156(4): 142-147

Erdélyi A., Hartdégén J., Molnár Á. P., Hajagos G., Vadász Cs. (2019): A mirigyes bálványfa (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) finomléptékű elterjedésének vizsgálata archív és recens adatok alapján a Peszéri-erdőben. *Tájökológiai Lapok* 17(1): 75-84. <https://doi.org/10.56617/tl.3466>

Angol nyelven, konferenciakiadványban

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á., Vadász Cs. (2021): Silvicultural Practices as Main Drivers of the Spread of Tree of Heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle). *Biology and Life Sciences Forum* 2(1):17. <https://doi.org/10.3390/BDEE2021-09467>

Magyar nyelven, konferenciakiadványban

Andrési D., Bárány G., Erdélyi A., Heilig D., Madácsi S., Vadász Cs. (2023): Megújult a Peszéri-erdő, az OAKEYLIFE projekt eredményei. In: Csiha I. (ed.): Alföldi Erdőkért Egyesület Kutatói Nap: Tudományos eredmények a gyakorlatban. Alföldi Erdőkért Egyesület, Kecskemét. pp 183-188. ISSN 2063-8256

Angol nyelven előadás, poszter absztrakt

Erdélyi A., Hugyecz M., Pálfi M., Lerch T., Hartdégén J., Malatinszky Á., Vadász Cs. (2023): Common hackberry (*Celtis occidentalis* L.): a warning from Hungary. In: Pérez Diz M., González N. N., González L., Rodríguez B. (eds.). Book of Abstracts - III International young researchers Conference on Invasive Species. ISBN 978-84-09-51676-6

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á. & Vadász Cs. (2022): The necessity of full coverage field surveys in fine-scale planning of conservation actions in a highly mosaic habitat complex. In: Zasadil P., Ludvíková V. & Báldi A. (eds.): Book of Abstracts – 6th European Congress of Conservation Biology, Society for Conservation Biology – European Section and Czech University of Life Sciences, Prague. p 118. ISBN 978-80-213-3255-3

Magyar (és részben angol) nyelven előadás, poszter absztrakt

Erdélyi A., Knakker B., Hartdégén J., Malatinszky Á., Vadász Cs. (2024): Inváziós fafajok abundancia-bebecslésének hibája különböző mintavételi intenzitásoknál. In: Csecserits A., Somodi I. (eds.): XIV. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpátmedencében nemzetközi konferencia: Összefoglalók. HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont, Budapest. p 24. ISBN 978-615-6375-12-4

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á. & Vadász Cs. (2022): Élőhelyterképezés a Peszéri-erdőben: Á-NÉR alapok és további lehetőségek a finomléptékű élőhelyvédelem szolgálatában. Magyar Biológiai Társaság, Botanikai Szakosztály, 1504. szakülés, *Botanikai Közlemények* 109(2): 267-268.

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á. & Vadász Cs. (2022): A propagulumnyomás és a környező vegetáció egyes attribútumainak szerepe a mirigyes bálványfa és a nyugati ostorfa terjedésében:

esettanulmány a Peszéri-erdőből. Magyar Biológiai Társaság, Botanikai Szakosztály, 1503. szakülés, *Botanikai Közlemények* 109(2): 265-266

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á., Andrési D., Vadász Cs. (2021): Egyes fahasználati és erdőművelési technológiai elemek hatása a mirigyes bálványfa (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) tömegességi viszonyaira a Peszéri-erdőben. Magyar Biológiai Társaság, Botanikai Szakosztály, 1501. szakülés, *Botanikai Közlemények* 109(1): 68-69

Erdélyi A., Hartdégén J., Molnár Á. P., Malatinszky Á., Vadász Cs. (2021): A nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis* L.) elterjedésének története a Peszéri-erdőben. In: Tinya Flóra (ed.): 12. Magyar Ökológus Kongresszus: Előadások és poszterek összefoglalói. MTA Ökológiai Kutatóközpont Ökológiai és Botanikai Intézet, Vácrátót. p 152

Erdélyi A., Knakker B., Hartdégén J., Malatinszky Á., Vadász Cs. (2021): Inváziós fafajok első megjelenési helyszíneinek (primer fertőzési góccainak) finom léptékű meghatározása a Peszéri-erdőben. In: Tinya Flóra (ed.): 12. Magyar Ökológus Kongresszus: Előadások és poszterek összefoglalói. MTA Ökológiai Kutatóközpont Ökológiai és Botanikai Intézet, Vácrátót. p 153.

Vadász Cs., Molnár Á., Erdélyi A., Malatinszky Á., Koszta M. (2021): A felső-kiskunsági meszes homoki erdőssztyepp recens vegetációdinamikai folyamatai, különös tekintettel a kocsányos tölgy megmaradó újulatára. In: Takács A., Sonkoly J. (eds.): XIII. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében nemzetközi konferencia: Program és összefoglalók. Ökológiai Kutatóközpont és Debreceni Egyetem, Debrecen. p 55. ISBN 978-963-490-342-0

Erdélyi A., Hartdégén J., Malatinszky Á., Vadász Cs. (2021): A propagulumnyomás és a vegetációs környezet hatása a mirigyes bálványfa (*Ailanthus altissima*) és a nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis*) magbankjára. In: Takács A., Sonkoly J. (eds.): XIII. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében nemzetközi konferencia: Program és összefoglalók. Ökológiai Kutatóközpont és Debreceni Egyetem, Debrecen. p 87. ISBN 978-963-490-342-0

Erdélyi, A., Hartdégén J., Halpern B., Bárány G., Vadász Cs. (2018): Aggregált térbeli eloszlású inváziós fafajok reprezentatív felmérésének nehézségei. In: Molnár V. A., Sonkoly J. & Takács A. (eds.): Program és összefoglalók. XII. Aktuális Flóra- és Vegetációkutatás a Kárpát-medencében nemzetközi konferencia. Debreceni Egyetem TTK Növénytani Tanszék, Debrecen. p 64. ISBN 978-963-473-926-5

7. Irodalomjegyzék

- Bartha, D., Király, G., Schmidt, D., Tiborcz, V., Barina, Z., Csiky, J., Jakab, G., Lesku, B., Schmotzer, A., Vidéki, R., Vojtkó, A., and Zólyomi, S. (2015). Magyarország edényes növényfajainak elterjedési atlasza. Nyugat-Magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron, 329 pp.
- Crystal-Ornelas, R., Hudgins, E.J., Cuthbert, R.N., Haubrock, P.J., Fantle-Lepczyk, J., Angulo, E., Kramer, A.M., Ballesteros-Mejía, L., Leroy, B., Leung, B., López-López, E., Diagne, C., and Courchamp, F. (2021). Economic costs of biological invasions within North America. *NB* 67:485–510. doi:10.3897/neobiota.67.58038.
- Csiszár, Á. and Korda, M. (Eds.) (2017). Özönnövények visszaszorításának gyakorlati tapasztalatai. 2. bővített kiadás, *Rosalia kézikönyvek*. Duna–Ipoly Nemzeti Park Igazgatóság, Budapest, 244 pp.

- Dechoum, M. de S., Giehl, E.L.H., Sühs, R.B., Silveira, T.C.L., and Ziller, S.R. (2019). Citizen engagement in the management of non-native invasive pines: Does it make a difference? *Biol Invasions* 21 (1):175–188. doi:10.1007/s10530-018-1814-0.
- Diagne, C., Leroy, B., Vaissière, A.-C., Gozlan, R.E., Roiz, D., Jarić, I., Salles, J.-M., Bradshaw, C.J.A., and Courchamp, F. (2021). High and rising economic costs of biological invasions worldwide. *Nature* 592 (7855):571–576. doi:10.1038/s41586-021-03405-6.
- Fantle-Lepczyk, J.E., Haubrock, P.J., Kramer, A.M., Cuthbert, R.N., Turbelin, A.J., Crystal-Ornelas, R., Diagne, C., and Courchamp, F. (2022). Economic costs of biological invasions in the United States. *Science of The Total Environment* 806:151318. doi:10.1016/j.scitotenv.2021.151318.
- Korda, M. (2018). A Magyarországon inváziós növényfajok elterjedésének és elterjesztésének története I. *Acer negundo*, *Ailanthus altissima*, *Celtis occidentalis*, *Elaeagnus angustifolia*, *Fraxinus pennsylvanica*, *Padus serotina*, *Tilia*. Soproni Egyetem EMK Növénytani Tanszék, Sopron, Hungary, ISSN 1219 – 3003, 462 pp.
- Kowarik, I. (1995). Time lags in biological invasions with regard to the success and failure of alien species. *Plant Invasions Gen. Asp. Spec. Probl.* 1:15–38.
- Laginhas, B.B., Fertakos, M.E., and Bradley, B.A. (2023). We don't know what we're missing: Evidence of a vastly undersampled invasive plant pool. *Ecological Applications* 33 (2):e2776. doi:10.1002/eap.2776.
- Nyssen, B., Schmidt, U., Muys, B., Lei, P., and Pyttel, P. (2018). The history of introduced tree species in Europe in a nutshell., in *Krumm F, Vítková L (Eds) Introduced Tree Species in European Forests: Opportunities and Challenges*, European Forest Institute, pp. 44–55.
- Roy, H.E., Pauchard, A., Stoett, P., Renard Truong, T., Bacher, S., Galil, B.S., Hulme, P.E., Ikeda, T., Sankaran, K., McGeoch, M.A., Meyerson, L.A., Nuñez, M.A., Ordonez, A., Rahlao, S.J., Schwindt, E., Seebens, H., Sheppard, A.W., and Vandvik, V. (2023). IPBES Invasive Alien Species Assessment: Summary for Policymakers. Zenodo, Bonn, Germany, 56 pp. DOI: 10.5281/ZENODO.7430692.
- Schwoerer, T., Little, J.M., and Adkison, M.D. (2019). Aquatic Invasive Species Change Ecosystem Services from the World's Largest Wild Sockeye Salmon Fisheries in Alaska. *Journal of Ocean and Coastal Economics* 6 (1). doi:10.15351/2373-8456.1094.
- van Kleunen, M., Essl, F., Pergl, J., Brundu, G., Carboni, M., Dullinger, S., Early, R., González-Moreno, P., Groom, Q.J., Hulme, P.E., Kueffer, C., Kühn, I., Máguas, C., Maurel, N., Novoa, A., Parepa, M., Pyšek, P., Seebens, H., Tanner, R., Touza, J., Verbrugge, L., Weber, E., Dawson, W., Kreft, H., Weigelt, P., Winter, M., Klonner, G., Talluto, M.V., and Dehnen-Schmutz, K. (2018). The changing role of ornamental horticulture in alien plant invasions: Horticulture and plant invasions. *Biol Rev* 93 (3):1421–1437. doi:10.1111/brv.12402.
- Vig, T., Erdélyi, A., and Malatinszky, Á. (2023). The distribution of the tree of heaven (*Ailanthus altissima* (Mill.) Swingle) in the settlements and forests of Southern Börzsöny, Hungary. *Botanikai Közlemények* 110 (2):167–190. doi:10.17716/BotKozlem.2023.110.2.167.
- Weidlich, E.W.A., Flórido, F.G., Sorrini, T.B., and Brancalion, P.H.S. (2020). Controlling invasive plant species in ecological restoration: A global review. *Journal of Applied Ecology* 57 (9):1806–1817. doi:10.1111/1365-2664.13656.