



Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Biológiatudományi Doktori Iskola

**Ökológiai intenzifikáció a hazai agrártájban:
kis bolygatottságú, diverz vadvirágos élőhelyek
hatása a megporzórovar-közösségre**

Doktori értekezés tézise (PhD)

Bihaly Áron Domonkos

Gödöllő
2024

A doktori iskola

megnevezése: **MATE Biológiai Tudományi Doktori Iskola**

tudományága: Biológia tudományok

vezetője: **Dr. Nagy Zoltán**
egyetemi tanár, DSc
MATE, Növénytermesztési-tudományok Intézet

Témavezető: **Dr. Sáropataki Miklós**
egyetemi docens, PhD
Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem
Vadgazdálkodási és Természetvédelmi Intézet
Állattani és Ökológiai Tanszék

Dr. Kovács-Hostyánszki Anikó
tudományos főmunkatárs
HUN-REN Ökológiai Kutatóközpont
Ökológiai és Botanikai Intézet
Lendület Ökoszisztéma-szolgáltatás Kutatócsoport

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

.....
A témavezetők jóváhagyása

ELŐZMÉNYEK ÉS CÉLOK

A rovarmegporzás gazdasági és természetvédelmi szempontból az egyik legjelentősebb ökoszisztéma-szolgáltatás. A rovarok általi viráglátogatás biztosítja számos vadon élő növények beporzását, valamint sok termesztett növénykultúra magasabb terméshozamát, jobb termésminőségét és magasabb termésbiztonságát. A mezőgazdasági tájakon a termesztett növények megfelelő beporzásának fenntartásához nagyszámú és változatos beporzóközösségre van szükség, amely a háziméhek (*Apis mellifera*) mellett különböző vadon élő beporzófajok – mint szoliter vadméhek, poszméhek, lepkék és zengőlegyek – jelenlétét is igényli. Azonban mind a háziásított, mind a vadon élő beporzók száma világszerte csökken, ami veszélyezteti az élelmiszerbiztonságot, az emberi jólétet/jóllétet és általában a szárazföldi ökoszisztémák zavartalan működését. A beporzók csökkenését a mezőgazdasági tájakon elsősorban a mezőgazdálkodási gyakorlat, mint például a monokultúrás növénytermesztés és a növényvédő szerek használata okozza. Emellett a megporzórovarok számára a táplálkozáshoz, illetve fészkeléshez megbízható forrásokat biztosító természetközeli élőhelyek csökkenése, fragmentálódása és leromlása is nagy veszélyt jelent. Ezzel szemben az egyre nagyobb területet elfoglaló, intenzíven művelt szántóföldek, ültetvények és gyepterületek nem képesek fenntartani a megfelelő számú és diverz beporzóközösséget, miközben jelentős mértékben függenek az általuk nyújtott megporzási szolgáltatástól.

A mezőgazdaság negatív hatásainak csökkentésére és a biológiai sokféleség, köztük a vadon élő beporzók megőrzésére agrár-környezetvédelmi programokat és ökológiai intenzifikációs gyakorlatokat dolgoztak ki. E gyakorlatok némelyike, például a biogazdálkodás, csökkentheti a terméshozamot, míg más gyakorlatok területeket vonnak ki a termelésből az ugaroltatás vagy vadvirágos táblaszegélyek létrehozása révén. Ezen ökológiai intenzifikációs gyakorlatok – úgy tűnhet – magukban hordozzák a mezőgazdasági termelés hatékonyságának csökkenését. Azonban ezen beavatkozások – a természetvédelemben és a biodiverzitás növelésében betöltött meghatározó szerepükön túl – növelhetik a beporzók gyakoriságát és sokféleségét. Ez pedig, elősegítve a növények beporzását, javíthatja a terméshozamot és végső soron a profitot. A fent említett előnyökön túl az Európai Unióban a gazdálkodók a Közös Agrárpolitika (Common Agricultural

Policy (CAP), az EU mezőgazdasági támogatási rendszere) keretében további mezőgazdasági támogatásban részesülhetnek az ilyen környezetbarát beavatkozások megvalósításának serkentése érdekében. Ezeknek a beavatkozásoknak a hatékonysága azonban ökológiai szempontból sokszor megkérdőjelezhető, és javításra szorul.

Vadvirágos parcellák létrehozása széles körben alkalmazott gyakorlat, amelyeket többnyire vadvirágos sávok formájában alakítanak ki a szántóföldek szegélyén. Az egynyári vadvirágos sávok célja csupán a virágforrások növelése, míg a több évig fenntartott területeken fészkelő-, telelőhelyet és menedéket nyújtó élőhelyet is biztosítanak különböző fajok, köztük a beporzórovarok számára. A vadvirágtelepítések elsősorban a megporzók szükségleteire fókuszálnak, így pozitív hatással lehetnek azok egyedszámára, fajgazdagságára, vagy fajösszetételére. Ugyanakkor hatékonyságukat különböző tényezők erősen befolyásolhatják, mint például a környező táj szerkezete, méretük és térbeli elrendezésük, koruk, az éven belüli szezonális változások, kezelésük, a vetett magkeverék összetétele és a talaj magbankjából származó növények virágkínálata. A tudományos kutatások a témában eddig elsősorban Nyugat-Európára és Észak-Amerikára korlátozódtak, míg jelentős tudáshiányt azonosítottunk a Kelet-Közép-Európa agrártájain létesített vadvirágos parcellák hatékonyságának és dinamikájának kutatottságában. Ezek a kelet-közép-európai agrártájak az intenzíven kutatott nyugat-európai országokhoz képest meglehetősen eltérő éghajlati, tájszerkezeti, történelmi és szociokulturális körülmények között, és gyakran diverzebb táji környezetben található. Ezért a limitált pénzügyi források hatékony felhasználásának érdekében a kelet-közép-európai régióban történő vizsgálatok elengedhetetlenek a nyugat-európai gyakorlatok megfelelő adaptációjához.

Annak érdekében, hogy vizsgálni tudjuk a vadvirágos parcellák megporzókra gyakorolt hatását, és a hazai agrár-környezetvédelmi támogatási rendszert Kelet-Közép-Európából származó, bizonyítékokon alapuló kutatási eredményekkel segítsük, egy nagyszabású szántóföldi kísérleti beállítást hoztunk létre. A kísérlet fő célja az volt, hogy megvizsgáljuk a vadvirágos parcellák lokális és táji léptékű hatását különböző heterogenitású táji környezetben. Emellett vizsgálni akartuk a létrehozott virágos parcellák térbeli elrendezésének hatását is. A fentieknek megfelelően homogén és heterogén táji környezetben, kétféle térbeli elrendezésben hoztunk létre őshonos növényeket tartalmazó, diverz magkeverékkel vetett megporzóbarát vadvirágos

parcellákat Közép-Magyarországon. Ezeken a parcellákon a megporozó rovarok, a növényzet és a virágkínálat változását követtük nyomon a telepítést követő években, különböző mintavételi módszerekkel.

A kutatás célkitűzései:

Célul tűztük ki, hogy transzekt menti egyeléses mintavétellel és virágkínálat-bebecsléssel megválaszoljuk az alábbi kérdéseket:

- i) Hogyan változott a vetett és nem vetett növényfajok virágkínálata a telepítést követően, és ez milyen változásokat indukált a vadon élő beporzórovar-csoportok abundanciájában és fajgazdagságában a vadvirágos parcellákban?
- ii) Hogyan befolyásolta a táji környezet, a vadvirágos parcellák térbeli elrendezése és kora, a szezonális és ezek kölcsönhatásai (interakciói) a virágkínálatot és a beporzórovarok egyedszámát és fajgazdagságát?
- iii) Milyen gyakorlati ajánlásokat lehet megfogalmazni a jövőbeni vadvirágos parcellák létesítésére az agrár-környezetvédelmi rendszerek fejlesztéseként Kelet-Közép-Európában?

A disszertáció fent említett, közvetlen célkitűzései mellett számos további lokális és táji mintavételi módszer segítségével a vadvirágos parcellák hosszútávú és táji szintű hatását is vizsgáljuk. Ezen mintavételek közül a fészekcsapdás mintavétel előzetes eredményeit mutatom be az értekezésben, mely során célul tűztük ki, hogy megvizsgáljuk a telepítést követő első két évben:

- i) milyen üregben fészkelő hártvásszárnyú fajok használták a fészkelőblokkokat;
- ii) milyen arányban oszlottak meg a fészkek az egyes hártvásszárnyú csoportok között;
- iii) milyen fészekparazita fajok jelentek meg, és milyen mértékben szabályozták a fészkelő fajokat?

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálati terület és a kísérleti beállítás

Vizsgálatainkat Magyarország középső részén, az Alföld nagytáján, a Solti-síkon végeztük, Dunavecse, Újsolt, Solt és Harta közigazgatási területén. Az Állampusztai Mezőgazdasági és Kereskedelmi Kft. kezelésében lévő területeket jelöltünk ki. Ezen a területen döntően a mezőgazdasági termelés dominál, azon belül is meghatározó a szántóterületek aránya.

2019. év végén a Lendület Ökoszisztéma-szolgáltatás Kutatócsoporttal 24 db, 500 m sugarú tájablakot jelölt ki. A táji komplexitást figyelembe véve a tájablakok fele homogén, másik fele pedig heterogén agrártájba esett. A homogén tájablakokban a természetközeli élőhelyek aránya 10% alatt volt, a heterogén tájablakokban meghaladta a 40%-ot.

A tájablakokat hármásával csoportosítottuk. Összesen 8 tájablak tripletet jelöltünk így ki, melynek egyik fele homogén, másik fele heterogén agrártájba esett. Minden triplet három különböző tájablakot tartalmazott: az egyik közepén egy fél hektáros (50*100 m) vadvirágos foltot hoztunk létre, a másik közepére 3 kisebb (24*70 m), de összesen fél hektárt kitevő vadvirágsávot vetettünk, egymástól kb. 100-150 méterre. A harmadik tájablak kontrollként működött, ahova nem vetettünk semmit, de a másik két "kezelt" tájablakhoz hasonló táji környezetet fedett le.

A vadvirágos parcellákat egy diverz, őshonos növényfajokból álló vetőmagkeverék elvetésével hoztuk létre 2020. elején. A vetőmagkeverék Máté András kertészetéből származott (vadviragvilag.hu), mely kimondottan a vizsgálatunk számára lett összeállítva 32 őshonos, virágos növényfaj magjából. A növényfajok kiválasztásának két fő szempontja az volt, hogy a lehető legjobban támogassa a megporzóvarok széles körét a szezon folyamán, és hogy egy extenzív kezelés mellett hosszútávon fenn tudjon maradni.

A területek kezelésére a kaszálást, és a kaszálék eltávolítását választottuk. Az első két évben őszi mind a 32 parcella (8 db folt és 24 db sáv) teljes területét lekaszáltuk, a harmadik évtől minden évben nyár elején, június közepén kaszáltuk a területeket úgy, hogy minden parcella egyik felét lekaszáltuk, majd a következő évben a másik felük került sorra. A gondos tervezésnek és a

kezelésnek köszönhetően a vadvirágos parcellákon változatos virágkínálat alakult ki az évek során.

Mintavételi módszerek

Vizsgálatunk fő célja az volt, hogy a vadvirágos parcellák létrehozását követően felmérjük a különböző megporzórovar-csoportok egyed- és fajszámának, valamint közösségösszetételének változását az évek előrehaladtával lokálisan és táji léptékben egyaránt. Több különböző mintavételi módszert használtunk a telepítés évétől (2020) kezdve minden évben, akár évente több alkalommal, hogy egy kellően átfogó képet kapjunk a megporzórovarok különböző csoportjainak változásáról. A vetett területeken évente két alkalommal végeztünk botanikai felmérést, Malaise csapdázást és transzekt menti mintavételt (a vadvirágos parcellákon és 2022-től a környezetben), valamint virágkínálat-becslést. Mindezeket túl táji léptékű mintavételhez fészekcsapdákat helyeztünk ki, és évente egy alkalommal tálcacsapdákkal vizsgáltuk a megporzórovar-közösségeket. A jelen értekezés a vadvirágos parcellákon végzett transzekt menti mintavétel és virágkínálat-becslés első két évének (2020-21) eredményeit mutatja be részletesen. Emellett leíró jelleggel ugyanezen időszak fészekcsapdás mintavételének eredményeit, és a négy év (2020-23) viráglátogatási tapasztalatait is ismerteti a dolgozat.

A területek kialakítása és a növényzet, virágkínálat és megporzórovarok monitorozása az ÖK-ÖBI Lendület Ökoszisztéma-szolgáltatás Kutatócsoport, a MATE-VTI Állattani és Ökológiai Tanszék és a Dorcadion Kft. együttműködésében valósult meg. A munkában részt vettek a Kutatócsoport és a Tanszék munkatársai, hallgatói és önkéntesei. A kialakítás megtervezésében, a mintavételi protokoll kialakításában, a terepi mintavételek megszervezésében, kivitelezésében, az adatok rendezésében, és a területek kezelésének irányításában egyaránt aktívan részt vettem. Doktori értekezésem az általam koordinált és kivitelezett két mintavétel eredményeit foglalja magába a telepítést követő első két évből.

Transzekt menti egyeléses mintavétel

A transzekt menti egyeléses mintavétel során valamennyi vadvirágos parcellán két párhuzamos transzekt mentén mértük föl a megporzórovarokat (szoliter és szociális vadméhek, zengőlegyek, lepkék, háziméhek és egyéb megporzók). A vadvirágos foltokon 75 méteren 15 perc alatt, a sávokon 25 méteren 5 perc

alatt végeztük a felmérést. A vadméheket és zengőlegyeket megfogtuk fajszerű határozásra, a többi megporzó csoportot magasabb taxonómiai szinten regisztráltuk. A felmérést kontroll tájablakokon nem végeztük el.

Virágkínálat-becslés

A transzekt menti egyeléses mintavétellel párhuzamosan minden alkalommal elvégeztük a virágkínálat felmérését (virágkínálat-becslés). A transzekttek mentén 1*1 méteres kvadrátokban regisztráltuk az aktuálisan virágzó, rovarmegporzású növényfajokat. Minden virágzó növényfaj esetében feljegyeztük az épp nyitva lévő virágok vagy virágzatok számát és az egy virágzatot alkotó virágszámot. A kvadrátok a transzekttek kezdőpontjában lettek kijelölve, illetve innen 12,5 méterenként. Valamennyi tájablakban azonos mértékű mintavételi ráfordítást tettünk: tájablakonként 12 db kvadrátot mértünk fel.

Fészekcsapdás mintavétel

A fészekcsapdás mintavétel során az üregben fészkelő hártvásszárnyú rovarokat egész évben (márciustól szeptemberig), táji szinten mintavételezhetjük, és az egyed- és fajszerű adatok mellett egyéb biológiai információkhoz (pl. parazitáltság, ivadékok túlélési aránya) is hozzájuthatunk. A fészekcsapdákat egy-egy köteg, feltekert nádszövet darabból készítettük, melyet egy-egy PVC hengerbe helyeztünk, párosával, dróttal rögzítettük egy 140 cm magas karóhoz és tetővel védtük az eső és az erős napsugárzás ellen. A fészekcsapdákat mind a 24 tájablakba kihelyeztük, azaz a kontroll tájablakokba is. A tájablak középpontjától távolodva egy lineáris tájelem mentén (út, fasor) 6 pontban, 80 méterenként helyeztük ki a karóra erősített fészekcsapda párokat, összesen 144 lokációban.

A begyűjtést követően a fészekcsapdákat eleinte szabad levegőn, majd az első fagyos esték beköszöntétől fogva hűtőkamrában, állandó alacsony páratartalommal, 4°C-on tároltuk. Január elején kezdtük meg az előző évi csapdák feldolgozását, fészekcsapda páronként egy-egy fészekcsapdát kiválasztva. A munkát egy általam írt protokoll és szakmai útmutató alapján végeztük, az adatokat, így a nádszálaiban talált fészkek minden tulajdonságát egy előre elkészített Excel táblában és mapparendszerben rögzítettük. A fészkelő fajokat és parazitáikat fajszerűn meghatároztuk.

Adatelemzés

A vadméhek (szoliter vadméhek és poszméhek), lepkék és zengőlegyek (továbbiakban: **vad megporzórovarok**) abundanciáját a transzekt-szintű adatok alapján általánosított lineáris kevert modellekkel (GLMM) elemeztük, negatív binomiális eloszlással és log link függvényvel. A modellekhez a virágkínálat abundanciáját és fajszámát kvadrátonként átlagoltuk. A log-virágabundanciát, a virágzó növényfajok számát (mint folytonos változók), az évet (azaz a vadvirágos parcellák korát), a szezont (kora nyár vagy nyár közepe), a térbeli elrendezést (egy nagy folt vagy három kisebb sáv) és a táji környezetet (homogén vagy heterogén), az utóbbi kettőt a szezonnal, illetve az évvel interakcióban, fix hatásként építettük a modellbe. A tájablakok, a vizsgálati egységek és a transztektek egyedi azonosítóit egymásba ágyazott random hatásokként vettük figyelembe.

A beporzók fajszámát leíró modellekben tájablak-szinten vontuk össze az adatokat. Ezekben a modellekben a tájablakonkénti kumulatív virágzó növényfajszámokat és virág abundanciákat fix hatásként vettük figyelembe. A zengőlegyek esetében a Poisson eloszlással (log-link) való modellezés, a vadméh modelleknél a negatív binomiális eloszlás biztosított jobb illeszkedést az AIC (Akaike Information Criterion) segítségével való vizsgálatok alapján. A fix hatások ugyanazok voltak, mint az abundancia modellekben, random hatásként itt a tájablak azonosítókat használtuk.

Hasonlóképpen modelleztük a virágok abundanciáját és fajszámát a tájablak szintű adatok alapján. Különbséget tettünk a vetett és nem vetett virágzó növényfajok között, és figyelembe vettük a szezonnal és az évvel való kölcsönhatásukat. A virágabundancia-modellekben nem tudtunk elfogadható modellillesztést elérni a GLMM-ek segítségével, ezért ezen eredményeket leíró jelleggel mutatjuk be.

A négy mintavételi alkalom során az összes tájablakban észlelt növény- és beporzóközösségek (vadméhek és zengőlegyek együttesen) közösségi összetételének vizsgálatához PERMANOVA módszert alkalmaztunk. A közösség összetételének szemléltetésére nem-metrikus többdimenziós skálázást (NMDS) végeztünk két dimenzióra korlátozva, a Bray-Curtis különbözőségi index segítségével.

Minden elemzést és vizualizációt az R 4.1.3-as verziójával készítettük. A GLMM-eket a glmmTMB 1.1.3 használatával készítettük el.

EREDMÉNYEK

Transzekt menti egyeléses mintavétel és virágkínálat-becslés

A virágkínálat változásai (2020-21)

A virágkínálat-becslés során a telepítést követő első két évben 92 virágzó növényfajt észleltünk a transzekt menti mintavételek idején, melyből 17 vetett (8 faj az első évben és 16 a másodikban), és 75 nem vetett növényfaj volt. Az első évben a nem vetett növényfajok jelentősen nagyobb és fajgazdagabb virágkínálatot biztosítottak, míg a vetett növények a telepítést követően közvetlenül alig járultak hozzá a virágkínálathoz. Az idő előrehaladtával azonban, minden mintavétel alkalmával (évről évre, szezonról szezonra) folyamatosan és jelentősen nőtt a vetett fajok virágabundanciája és fajszáma, a második év nyárközepi időszakára már átvéve a dominanciát a virágkínálatban a nem vetett fajoktól.

Megporzórovar egyedszámok és fajsámok (2020-21)

Az első két évben, a terepi vizsgálatok során összesen 4486 vad megporzót (2283 vadméh, 1252 zengőlégy, 951 lepke) regisztráltunk, amelyekből 1468 vadméhet és zengőleget fogtunk meg a fajsztű határozáshoz. Összesen 110 vadméh fajt (104 szoliter vadméh- és 6 poszméh faj) és 16 zengőlégy fajt regisztráltunk. A megfigyelt megporzók száma a telepítést követő két évben minden felmérési kör során nőtt. Az évek, a szezonok, a vadvirágos parcellák virágkínálata és térbeli elrendezése, valamint a táji környezet hatása azonban beporzócsoportonként eltérő volt.

A **vadméhek** egyedszáma szignifikánsan nőtt évről évre, szezonról szezonra, a virágabundanciával és virágfajszámmal, valamint magasabb volt a heterogén agrártájakon, és különösen jelentős volt a növekedése a homogén tájakon a nyár közepén. A fajsztű pedig szintén nőtt az évek és szezonok között, valamint a virágabundancia növekedésével.

A **lepkék** egyedszáma a heterogén agrártájokban magasabb volt, valamint az évek között nőtt, és ez a növekedés heterogén táji környezetben még jelentősebb volt.

A **zengőlegyeknél** egy általános faj- és egyedszám csökkenés volt megfigyelhető az évek és szezonok között, azonban a csökkenés mértéke a nagyobb kiterjedésű foltokon kisebb volt, és a virágabundancia növekedésével egyedszámuk nőtt.

Közösségösszetétel (2020-21)

Az év és a szezon volt a legnagyobb hatással a virágzó növényfajok közösségösszetételére a végleges PERMANOVA-modell szerint. A táji környezet a vadvirágos parcellák térbeli elrendezésével mutatott szignifikáns interakciót, de csak gyengébb hatást gyakorolt. A különböző évek jelentős elkülönülést mutattak az NMDS-ábrán.

A végleges modell szerint az évnek volt a legjelentősebb hatása a megporzóközösség összetételére is. Ezt a változót a virágzó növényfajok száma és a táji környezet követte, bár gyengébb hatásokkal. A különböző évek bizonyos fokú elkülönülést mutattak az NMDS-ábrán, míg a táji kontextusban nem láttunk egyértelmű mintázatokat.

Viráglátogatások (2020-23)

A transekt menti mintavétel során összesen 113 növényfajon figyeltünk meg viráglátogatást a telepítést követő négy évben az összes megporzócsoport által, melyek közül 22 általunk vetett növényfaj volt. A vad megporzók 101 növényfaj virágát látogatták, melyek közül 20 vetett faj volt. A vad megporzók általi viráglátogatások száma a kezdeti rendkívüli növekedést követően (első év: 843, második év: 1656 viráglátogatás) a harmadik évre mérséklődést (960), illetve negyedik évre csökkenést (497) mutatott.

Az első évben a viráglátogatások jelentős részét nem vetett növények virágain észleltük. A második, de különösen a harmadik évtől már egyértelműen a vetett fajok domináltak a viráglátogatás tekintetében.

A 4 év átlagában a 10 leglátogatottabb növényfajból 6 a vetett fajok közül került ki, a 15 leglátogatottabb közül pedig 8 volt vetett. Így a vad megporzók tekintetében a viráglátogatás szempontjából az alábbi sorrend állt fel (félkövérrel a vetett fajok): 1. *Cephalaria transsylvanica*, 2. *Salvia nemorosa*, 3. *Polygonum aviculare*, 4. *Anthemis austriaca*, 5. *Dianthus pontederæ* 6. *Carduus acanthoides*, 7. *Matricaria chamomilla*, 8. *Centaurea cyanus*, 9. *Seseli varium* és 10. *Onobrychis arenaria*. Őket követték a 11. *Echium*

vulgare, 12. *Reseda lutea*, 13. *Fallopia convolvulus*, 14. *Salvia austriaca* és 15. *Tripleurospermum inodorum*. Szezonális bontásban elkülöníthetőek voltak a kora nyáron, a nyárközepén és a mindkét időszakban virágkínálatot biztosító növényfajok.

Az egyes vad megporzócsoportok különböző mértékben választották táplálékul a különböző növényfajokat. A lepkék (79,8%), de különösen a poszméhek (82,2%) nagy arányban látogatták a vetett növényeket. A szoliter vadméhek (49,2 %) és zengőlegyek (35,0%) azonban a vetett növényfajok mellett más virágforrásokat is bőséggel használtak. A háziméhek általi viráglátogatások túlnyomó többségét vetett növényfajokon észleltük (84,9%) és az egyéb viráglátogató rovaroknak pedig 53,6%-át vetett növényfajokon figyeltük meg.

Fészekcsapdás mintavétel (2020-21)

A fészkek és ivadékbölcsők felét vadméhek (49,1% és 51,3%), másik felét darazsak (50,9% és 48,7%) készítették a fészekcsapdáinkban. A telepítést követő két évben összesen 6437 fészket és 22985 ivadékbölcsőt regisztráltunk. A vadméhek a két évben összesen 3158 fészket és 11793 ivadékbölcsőt, a darazsak pedig összesen 3279 fészket és 11192 ivadékbölcsőt készítettek. A második évben mind a vadméhek, mind a darazsak valamivel kevesebb fészket és ivadékbölcsőt építettek. Egyedül a művészméhek (Megachilidae) családjába tartozó faliméhek (*Osmia spp.*), és a szitásdarazsak (Crabronidae) családjába tartozó *Solierella* fajok esetében volt tapasztalható érdemi növekedés a két év között a fészkek és ivadékbölcsők számában.

Az azonosított fészkepítő **vadméhfajok** 2 család 5 genuszából kerültek ki. A művészméhek (Megachilidae) családjába tartozó faliméhek (*Osmia spp.*), szabóméhek (*Megachile spp.*), pelyhes méhek (*Anthidium spp.*), és hengeresméhek (*Heriades spp.*), valamint az ősméhek (Colletidae) családjába tartozó álarcos méhek (*Hylaeus spp.*) kolonizálták a nádszálakat.

Az azonosított fészkepítő **darázsfajok** 4 család 15 genuszából kerültek ki. Legnagyobb számban a szitásdarazsak (Crabronidae) családjába tartozó fazekasdarazsak (*Trypoxylon spp.*), *Solierella* fajok, *Passaloecus* fajok, *Nitela* fajok, *Psenulus* fajok, és az *Astata kashmirensis*; az útonálló darazsak (Pompilidae) családjába tartozó *Agenioideus* fajok, *Dipogon* fajok, és *Auplopus* fajok; a Vespidae család, magányos redősszárnyúdarazsak

(Eumeninae) alcsaládjába tartozó gömböc és kürtös darazsak, és a kaparódarazsak (Sphecidae) családjába tartozó mexikói fűdarazsak (*Isodontia mexicana*) készítettek fészket. Fészkekcsapdáinkban a legnagyobb számban (a darázsfészkek 61,0%-a) olyan fajok készítettek fészket, melyek lebénított pókokat halmoztak fel ivadékaik táplálására.

A **fészekparaziták** számos ízeltlábú taxonból kerülnek ki, de legnagyobb számban hártványásszárnyúakat (Hymenoptera) azonosítottunk, utánuk legyeket (Diptera) és bogarakat (Coleoptera). A **hártványásszárnyúak** közül jelen voltak az üregben fészkelő vadméhek kakukkméhei, a fémdarazsak (Chrysididae), a *Sapyga quinquepunctata* (Sapygidae), a *Melittobia acasta* (Eulophidae), továbbá előfordultak valódi fürkészdarázsok (Ichneumonidae), dárdahordozó fürkészek (Gasteruptionidae) és fémfürkészek (Chalcidoidea) is. Kizárólag művészméhek fészkeiben voltak jelen a *Cacoxenus indagator* **légy** lárvái, és kis számban azonosítottunk még fürkészlegyeket (Tachinidae) is. Sok fészkekben nagy károkat okozott a szalagos **méhészbogár** (*Trichodes apiarius*) lárvája. Döntő többségében méhek fészkeit károsította. Valamint jelen voltak a porvafélék (Dermestidae) családjába tartozó bogárfajok (pl. múzeumbogár, *Megatoma undata*), azonban a legtöbbször nekik csak másodlagos szerepüket fedeztük fel, a lehullott szervesanyag-törmeléken táplálkoztak.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Transzekt menti egyeléses mintavétel és virágkínálat-becslés

A transzekt menti egyeléses mintavétel és virágkínálat-becslés alapján kapott legfőbb eredményeink azt mutatták, hogy a vadvirágos parcellákon nem csupán növekedett a helyi beporzók abundanciája és fajgazdagsága a telepítést követő években, de a vetett vadvirágos parcellák a virágszegény (homogén) tájakon különösen vonzóak voltak a vadméhek számára az év virágszegény (nyárközepi) időszakában. Ez a hatás a környező táj és a vadvirágos parcellák közötti virágkínálatban megmutatkozó nagyobb kontraszttal magyarázható, amit erősített a vadméhek nyárközepi felszaporodása. Azt is megállapítottuk, hogy a virágabundancia mellett a virágfajszám is pozitív hatást mutatott a

beporzók abundanciájára. Emellett a talaj magbankjából származó, nem vetett virágos növényfajok jelentősen hozzájárultak a vadvirágos parcellák nagyobb számú és diverzebb virágkínálatához.

A virágkínálat változásai (2020-21)

Az első két évben a vetett vadvirágos parcellák létrehozása után a rendelkezésre álló virágkínálat folyamatos növekedést mutatott. A magkeverék 32 fajából 17 faj virágzását regisztráltuk, amelyek közül az első évben 8, a második évben 16 faj virágzott. A következő években a vetett fajok dominanciája nőtt.

Az első évben az egy- és kétéves fajok dominálták a virágkínálatot, azonban a második évben már az évelő fajok kerültek előtérbe. Azonban nem csak a vetett fajok, hanem más vadon élő növényfajok is hozzájárultak a virágkínálatához, feltételezhetően nagyrészt a talaj magbankjából. Ezek általában pionír stratégiával rendelkező szántóföldi gyomnövények, amelyek az ideiglenesen nem művelt szántóföldeken felhalmozott tápanyagokat hatékonyan tudják hasznosítani. Ezért fontos, hogy a jövőbeni vadvirágos parcellák tervezésénél ezekben a kevésbé régóta intenzíven művelt európai régiókban (Kelet-Közép-Európa, Délkelet-Európa és Kelet-Európa) figyelembe vegyünk a potenciálisan változatosabb talajmagbankot.

Az évelő vetett fajok kiváló kompetíciós képességgel rendelkeznek az egyéves gyom-konkurenssekkel szemben, valamint az egyéves vetett fajok közül is több kiváló önvetési potenciállal (pl. *C. transsylvanica*), és emiatt jó kompetíciós képességgel jellemezhető. Ez azt eredményezte, hogy a vetett növények virágabundanciája és fajgazdagsága ugrásszerűen megnőtt a második évre, a nem vetett fajok száma pedig folyamatos csökkenést mutatott. Ez az eredmény hangsúlyozza a vetőmagkeverékbe szánt fajok megfelelő kiválasztásának jelentőségét, különösen az évelő vadvirágos parcellák esetében

Megporzórovar egyedszámok és fajszámok (2020-21)

Több korábbi tanulmányhoz hasonlóan, a vizsgált kelet-közép-európai agrártájban is kimutattuk a vadvirágos parcellák pozitív hatását a megporzórokra. A beporzórovar közösségek gyarapodása a következőkkel magyarázható: i) a megnövekedett virágkínálat, ii) a megfelelő, őshonos és változatos vetőmagkeverék, valamint iii) a kevésbé zavart fészkelő és menedéket nyújtó élőhely. A különböző vizsgált vad megporzórovar-

csoportok (vadméhek, lepkék és zengőlegyek) azonban eltérően reagáltak a vizsgált paraméterekre. Ezek a különböző reakciók valószínűleg az egyes megporzórovar-csoportok eltérő táplálékkeresési és fészkelési stratégiájával magyarázhatók. Általában a vadméhek a "központi helyhez kötött táplálékszerzés" stratégiáját (*central-place foraging*) alkalmazzák, míg a lepkék és a zengőlegyek általában nem "központi helyhez kötött táplálékszerzők", és lárváik más táplálékforrásokra támaszkodnak (fitofág, afidofág, entomofág, szaprofág, stb.), mint a jó diszperziós képességgel rendelkező kifejlett egyedek (viráglátogatók).

A **vadméhek** abundanciája és fajszáma az évek és a szezonok között nőtt, ami megerősítette a vadvirágos parcellákkal kapcsolatos, fent említett általános pozitív várakozásokat. Korábbi vizsgálatok rámutattak arra, hogy az agrár-környezetvédelmi programok általában hatékonyabban támogatják a biodiverzitást az egyszerű (*simple*; 1-20% természetközeli élőhelyek), mint az összetett (*complex*; >20% természetközeli élőhelyek) és a letarolt agrártájakon (*cleared*; <1% természetközeli élőhelyek). Azonban eredményeink alapján úgy tűnik, a vadvirágos parcellák pozitív hatása a célcsoportra (megporzórovarok) ez esetben jóval függetlenebb volt a táji környezettől. A vadvirágos parcellák a heterogén mezőgazdasági tájakon (40-60% természetközeli élőhely) is képesek voltak hatékonyan támogatni a vadméhközösségeket, nem csak a homogéneken (1-10% természetközeli élőhely). Ez arra utal, hogy a tájban a telelésre, fészkelésre és táplálkozásra alkalmas élőhelyek jobb elérhetősége ellenére a vadvirágos parcellák is fontos kiegészítő erőforrás-kapacitást biztosíthatnak egy valószínűleg változatosabb vadméhközösség számára. Mindez arra ösztönözheti a gazdálkodókat és a döntéshozókat, hogy a vadvirágos parcellák létrehozását, mint agrár-környezetvédelmi gyakorlatot, táji kontextustól függetlenül alkalmazzák és támogassák. Továbbá, mind a virágabundancia, mind a virágfajszám pozitív hatást mutatott a vadméhek egyedszámára, és a virágfajok száma pozitív hatással volt a vadméhek fajszámára is, ami rávilágít a virágforrások diverzitásának jelentőségére.

Egyik legfontosabb eredményünk az volt, hogy a vadvirágos parcellák a homogén tájakon a nyár közepén kiemelkedően vonzóak voltak a vadméhek számára. Valószínűleg azért volt ez, mert ebben az időszakban a vadvirágos parcellák és a virágszegény táji környezet között nagyobb a kontraszt a virágkínálat tekintetében. Mindezek alapján valószínűsíthető, hogy a

heterogén agrártájakon sikeresebbek a vadvirágos parcellák, azonban a homogén agrártájakon – különösen a virágszegény és magas vadméhegyedszámú, nyárközepi időszakban – jóval nagyobb szükség van ezen virágkínálatot biztosító élőhelyek létrehozására.

Az évelő vetett vadvirágos parcellák tehát táplálkozóhelyként és menedékként szolgálhatnak, vonzva és aggregálva a környező területekről a vadméheket. Ha azonban a vadvirágos parcellákon kívül más virágforrásokat találnak, különösen a rovarbeporzást igénylő természetű növénykultúrákban, akkor kirepülhetnek a szomszédos élőhelyekre, és beporozhatják a természetű növényeket (spillover hatás) is. Ezzel gazdasági szempontból is hasznos ökoszisztéma-szolgáltatást nyújtanak.

A **lepkék** a vadméhekhez hasonlóan reagáltak: a telepítés után (évről-évre) és a virágfajsám növekedésével párhuzamosan nőtt az abundanciájuk. Korábbi kutatások már kimutatták, hogy a lepkepopulációk egyedszáma nőtt azokon a területeken, ahol az agrár-környezetvédelmi programok növelték a virágkínálatot és a kevésbé zavart élőhelyek arányát a tájban, és hasonló tapasztaltak vadvirágos parcellák esetében. Úgy tűnik, hogy a lepkeabundancia változásának legfontosabb prediktora a virágos növényfajok száma, és a telepítés után évről évre nőhet a populációjuk, ha a vadvirágtelepítések több éven keresztül virágforrásokkal látják el őket. Megállapítottuk, hogy a vadméhekhez hasonlóan a lepkék is jobban kötődtek a heterogén tájakhoz, valószínűleg azért, mert a környező természetközeli élőhelyek, főként gyepek bőségesebb és változatosabb lepke-forráspopulációknak adhatnak otthont. Ezen élőhelyek azért is fontosak, mert a lepkék lárvái más táplálék forrásokhoz (növényekhez) kötődnek, mint az imágók, ahogy ezt a vetőmagkeverékünk összeállításánál is figyelembe vettük.

A **zengőlegyek** a vadméhekkel ellentétes trendeket mutattak. Általánosságban pozitívan reagáltak a virágabundanciára, de az első évről a másodikra, valamint a nyár elejéről a nyár közepére az abundanciájuk és a fajsámuk is jelentősen csökkent. Ezek az eredmények meglehetősen váratlanok voltak, mivel i) a vadvirágos parcellák szukcessziója a zengőlegyek számára is a virágkínálat általános növekedésével járt, és ii) ellentétben álltak a korábbi vizsgálatokkal is, amelyek a vadvirágos parcellák zengőlegyekre gyakorolt pozitív hatásait találták. Arra következtetünk tehát, hogy a jelentős csökkenés a zengőlegyek abundanciájában és fajsámában nem a vadvirágos parcellák

megjelenésének köszönhető, hanem más tényezők változásai játszhattak közre, legnagyobb eséllyel az évhatás és a számukra kedvezőtlen időjárás.

Korábbi tanulmányok azt mutatták, hogy a vadvirágos parcellák mérete alig, vagy egyáltalán nem befolyásolja a zengőlegyeket, valószínűleg a kifejlett egyedek nagyfokú mobilitása miatt. Eredményeink azonban azt mutatják, hogy a zengőlegyek abundanciájának és fajszámának csökkenése a kora nyártól a nyár közepéig kevésbé volt kifejezett a nagyobb, egybefüggő vadvirágos foltokon, mint a több kisebb sávon. Ez azt sugallhatja, hogy a nagyobb parcellák hatékonyabban támogathatják a zengőlégy-közösségeket a számukra kedvezőtlen időszakban és körülmények között, mint az azonos összméretű, de kisebb sávok. Bár az "egy nagy vagy több kisebb" dilemma (*"Single large or several smaller"*) azt vetíti előre, hogy a több kisebb vadvirágos sáv jobban támogathatja a biológiai sokféleséget, mint egyetlen nagy folt, azonban a zengőlegyek esetében a szezonon interakcióban a nagyobb foltokat találtuk kedvezőbbnek.

Közösségösszetétel (2020-21)

A virágos növényközösségek a négy mintavételi alkalom mindegyikén szinte teljesen eltértek, és a beporzórovarok közösségének összetétele is követte ezt a változást, de némi késéssel és átfedéssel. A virágkínálat ilyen mértékű drasztikus átalakulása az élőlő növények megjelenésével, valamint a természetes élőhelyszukcessziós folyamattal magyarázható. A virágforrások jelentős változásának lassabb lekövetése a megporzók által valószínűleg i) a növény-beporzó rendszerek szezonálisával, ii) egyes beporzófajok generalista viselkedésével, valamint iii) az előző években rendelkezésre álló virág- és fészkelési források jelentős, éveken átgyűrűző, megporzórovar-populációkra gyakorolt hatásával magyarázható. Más szóval a virágforrások változó összetételének a beporzóközösségekre gyakorolt hatása késleltetve jelentkezik, tehát a növény-beporzó rendszerben van egy puffer hatás.

Viráglátogatások (2020-23)

Az első évben, mivel a virágkínálatban a nem vetett fajok domináltak, a viráglátogatások többségét is a nem vetett növényeken figyeltük meg, ami rávilágít arra, hogy a talajmagbankból kihajtó virágzó növények a beporzók számára fontos virágforrást jelentenek. A leggyakrabban látogatott virágos növényfajok őshonos vagy archeofiton fajok voltak, amelyek megfelelőknek

tűntek az őshonos vadon élő beporzók számára. A nem vetett virágos növényfajok jelentősége a telepítést követő azonnali virágkínálat biztosításában, és tömegességükben rejlett. A talaj magbankból kihajtó, gyakran látogatott virágos növényekre tehát érdemes úgy tekinteni, mint ami segíti a pollinátorok hatékony támogatását, vagy melyeknek jövőbeni vetőmagkeverékekbe való beillesztését érdemes lehet megfontolni.

A második évtől a vad megporzórovarok általi viráglátogatások több mint felét (55,8%) a vetett fajokon figyeltük meg. A harmadik és negyedik évre a vetett fajok látogatottságának aránya még tovább emelkedett. Néhány vetett faj kiemelkedő szerepet játszott a magkeverékünkben a viráglátogatottság szempontjából, melynek fő okai az alábbiak lehetnek: i) nagy mennyiségű virágkínálatot nyújtottak (pl. *C. transsylvanica*), ii) az év virágkínálatban szegény, döntő fontosságú nyárközépi időszakában biztosítottak virágforrást (pl. *S. varium*), iii) egyes beporzó csoportokat különösen vonzottak (pl. *Silene viscosa*, *Dianthus pontederæ*), vagy iv) a megporzók konkrét preferenciáját figyelhetjük meg irányukba (amit az mutat, hogy kisebb virágbőségük ellenére különösen gyakran látogatták őket, pl. *C. cyanus*). A vetett fajok látogatottsága nyár közepén felülreprezentált volt, ezzel rávilágítva arra, hogy a vetett növények (és a vetőmagkeverék használatának) jelentőségét – a nem vetettekkel szemben – az is adja, hogy kritikus virágszegény időszakban kínáltak virágforrást a megporzók számára. A mezei fejevirág (*C. transsylvanica*) különösen jelentős faj volt, mivel a második évben az összes viráglátogatás harmadát ezen faj virágain regisztráltuk, és a későbbi években is a leglátogatottabb növények között szerepelt. Jelentősége abban rejlik, hogy az évnek abban az időszakában képes tömeges virágzásra, amikor táji szinten kevés virágforrás áll a beporzók rendelkezésére.

A vetett növényfajok viráglátogatottságának magas – és az évek során növekvő – aránya alapján az őshonos növények alkalmasnak tűntek hatékony, beporzóközpontú vadvirágos parcellák létrehozására. A neofita fajokkal szemben az őshonos fajok további előnye, hogy alkalmazásuk esetén nem áll fenn a térségben már komoly problémát jelentő invázió veszélye, valamint az őshonos évelő virágos növényfajok jobban támogatják az őshonos, specialista beporzó fajokat. Fontos azonban megjegyezni, hogy az elővigyázatosság elvét követve az őshonos növényfajoknak a lehető legszűkebb régióból kell származniuk a telepítés helyétől nézve.

A vetett növényfajokat különböző mértékben látogatták a különböző megporzócsoporthoz. Ezek alapján úgy tűnik, hogy a vetőmagkeverék fajai elsősorban a poszméhek és lepkék virágforrás-preferenciájához igazodtak. A szoliter vadméhek minden második viráglátogatása történt vetett fajokon, ami azt jelenti, hogy ezt a csoportot is nagy mértékben támogatta a vetőmag keverék, de ezen fajok ugyanilyen intenzitással látogatták a nem vetett növények virágait is. A zengőlegyek által észlelt viráglátogatásoknak már csupán egyharmadát észleltük vetett fajokon, az ő számukra vonzóbbak voltak a talajmagbank virágzó növényei. A vetőmagkeverék továbbfejlesztésénél ezért fontos szempont lehet olyan növényekkel kiegészíteni a keveréket, melyek a szoliter vadméhek és zengőlegyek számára is vonzóak. A háziméhek is nagy arányban látogatták a vetett növények virágait. A háziméhek szempontjából kiemelkedő három faj (mezei fejtörő, ligeti zsálya és osztrák zsálya) tehát további gazdasági haszonnal is kecsegtetheti a méhészeket. Nem a nagytömegű méz miatt, hanem inkább a családok viselkedése miatt. Folyamatos hordás esetén ugyanis nem kell etetni, és nem merül fel a családok közötti élelem konkurencia, az úgynevezett “rablás” sem.

Fészekcsapdás mintavétel (2020-21)

A vizsgált agrártájban az üregben fészkelő hártváscsarnyúak széles köre nagy számban használta a kihelyezett fészekcsapdákat. A nádszálakban készített fészkek és a fészkeken belül az ivadékbölcsők száma fele-fele arányban oszlott meg vadméhek és darazsak között.

A **vadméhek** az ökológiai rendszerekben a megporzási szolgáltatás biztosításával egyértelműen fontos szerepet töltenek be. Jelentőségük a termesztett növények és a vadon élő növények megporzásában is megmutatkozik. A **darazsak** szerepének megítélése az agrár-ökológiai rendszerekben már nem olyan magától értetődő, mint a méhek esetében. A szakirodalom általában úgy tekint erre a csoportra, mint hatékony vagy potenciális “biokontroll” ágensekre. Ez természetesen igaz a mi fészekcsapdáinkban előforduló darázs-fajok egy jelentős részére is. Azonban a darazsak által készített fészkek és ivadékbölcsők több, mint felét (61,0%; 58,1%) olyan darázs-fajok készítették, melyek ivadékaikat pókokkal táplálják (*Trypoxylon spp.*, *Passaloecus spp.* és Pompilidae fajok). Ezek ökoszisztéma-szolgáltatási szempontból nehezebben megítélhetők, hiszen egy olyan ízeltlábú csoport egyedeit gyérítik, melyek maguk is hatékonyan

közreműködnek a kártevő rovarok számának szabályozásában. Viszont fontos bioindikátor szereppel bírnak.

A **fészekparazita** fajok közül kiemelkedő számban voltak jelen, és pusztították el a fészeképítő fajok ivadékait a fémdarazsak (*Chrysididae*), a *Sapyga quinquepunctata* és a *Melittobia acasta* darázsfajok, a *Cacoxenus indagator* légy és a szalagos méhészbogár (*Trichodes apiarus*). A fészkek parazitáltsága változó volt, de összességében a fészkek negyedében és az ivadékbölcsők 13%-ban fordultak elő fészekparaziták. Ez az arány valamivel kisebb, mint korábbi, diverzebb élőhelyeken végzett vizsgálatok esetében.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Meghatározó szerepet játszottam abban, hogy létrehoztunk egy olyan kísérleti elrendezést, melyen lehetőség nyílik a vadvirágos parcellák hatásának hosszútávú monitorozására helyi és táji szinten egy eddig alulkutatott, kelet-közép-európai régióban.
2. Kimutattam, hogy a (vizsgált magyarországi szántóföldi művelés által dominált agrártáj) **talaj magbankjából kihajtó virágos növények** változatos és jelentős virágkínálatot tudnak biztosítani a megporzórovarok számára, kiegészítve és színesítve ezáltal a vadvirágos vetőmag keverék fajait, különösen a telepítést követő első, kisebb mértékben a második évben.
3. Igazoltam, hogy az őshonos növényfajok dominálta, nagy kiterjedésű, élő vadvirágos parcellák (térbeli elrendezéstől függetlenül) a **vad megporzórovar fajok** széles körét nagy számban vonzzák (és biztosítanak számukra élőhelyet), mely pozitív hatásuk a **parcellák korával** egyre nő.
4. Bebizonyítottam, hogy az **agrártáj szerkezete** hatással van a vadvirágos parcellák megporzóközösségének egyedszámára. A **heterogén agrártájak** (>40% természetközeli élőhely) vadvirágos parcellái jelentősen több vadméhet és lepkét vonzottak, és a lepkék egyedszáma intenzívebben nőtt az **évek előrehaladtával a heterogén táji környezetben**.
5. Kimutattam azonban azt is, hogy nyár közepén a homogén területeken, azaz **virágszegény időszakban és táji környezetben**, a vetett parcellák különösen nagy egyedszámú vadméhközösséget vonzottak be és tartottak fent. Ezzel bizonyítottam a táj és a vadvirágos parcellák közötti virágkínálatbéli kontraszt jelentős hatását a vadméhekre, és rámutattam a homogén agrártájakban a nyárközépi virágkínálatot növelő beavatkozások jelentőségére.
6. Rámutattam arra is, hogy a vad megporzórovarok abundanciája nem csak a **virágkínálat** mennyiségének, hanem a virágzó **növényfajok számának** növekedésére is pozitívan reagál, pollinátor csoportonként eltérő intenzitással.
7. Vizsgálataim alapján kimondható, hogy lokálisan nincs hatással a megporzórovarokra a vadvirágos parcellák **térbeli elrendezése** (ugyanakkora összterület esetén), azonban a zengőlegyek esetében a

szezonnal interakcióban volt: a nagyobb kiterjedésű vadvirágos foltokon a zengőlegyek szezonok közötti egyedszámcsökkenése mérsékeltebb volt, mint a kisebb sávokon.

AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓS LISTA

Disszertációhoz közvetlenül kapcsolódó publikációk:

Bihaly, Á. D., Piross, I. S., Pellaton, R., Szigeti, V., Somay, L., Vajna, F., Soltész, Z., Báldi, A., Sárospataki, M. & Kovács-Hostyánszki, A. (2024) Landscape-Wide Floral Resource Deficit Enhances the Importance of Diverse Wildflower Plantings for Pollinators in Farmlands. *Agriculture Ecosystems and Environment*, 367(15), 108984. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2024.108984>

Báldi, A., Pellaton, R., **Bihaly, Á. D.**, Szigeti, V., Lellei-Kovács, E., Máté, A., Sárospataki, M., Soltész, Z., Somay, L. & Kovács-Hostyánszki, A. (2022) Improving ecosystem services in farmlands: beginning of a long-term ecological study with restored flower-rich grasslands. *Ecosystem Health and Sustainability*, 8(1), 2090449. <https://doi.org/10.1080/20964129.2022.2090449>

Vajna, F., Pellaton, P., Molnár, C., Soltész, Z., Gallé-Szpisjak, N., **Bihaly, Á. D.** & Báldi, A.: Response of plants and arthropod functional groups to grassland restoration – no one fits all. *Ecology and Evolution* (benyújtva: 2023.12.19.; bírálóat alatt: 2024.04.05.)

Disszertáció témájához kapcsolódó publikációk:

Lajos, K., Samu, F., **Bihaly, Á. D.**, Fülöp, D., & Sárospataki, M. (2021) Landscape structure affects the sunflower visiting frequency of insect pollinators. *Scientific Reports*, 11(1), 8147. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-87650-9>

Bihaly, Á. D., Kovács-Hostyánszki, A., Szalai, M., & Sárospataki, M. (2021) Nesting activity of cavity-nesting bees and wasps is lower in small-scale apple orchards compared to nearby semi-natural habitats. *Agricultural and Forest Entomology*, 23(1), 49-58. <https://doi.org/10.1111/afe.12403>

Bihaly, Á. D., Kovács-Hostyánszki, A., Szalai, M. & Sárospataki, M. (2020) Börzsöny környéki alma gyümölcsösök és természetközeli élőhelyek művészméh (Megachilidae) közösségeinek vizsgálata.

Növényvédelem, 81 [56]: 5. 203-2013.
<https://www.agrarlapok.hu/novenyvedelem-20205>

Bihaly, Á., Vaskor, D., Lajos, K., & Sárospataki, M. (2018) Agrártájba ékelődött természetközeli élőhelyfoltok hatása a napraforgót megporzó rovarregyüttesekre. *Tájökológiai Lapok*, 16(1), 45-52.
<https://doi.org/10.56617/tl.3576>

Woodcock, B.A., Bullock, J.M., Shore, R.F., Heard, M.S., Pereira, M.G., Redhead, J., Ridding, L., Dean, H., Sleep, D., Henrys, P., Peyton, J., Hulmes, S., Hulmes, L., Sárospataki, M., Saure, C., Raffa, B., Vaskor, D., **Bihaly, Á.** & Pywell, R.F. (2017) Population responses of wild bees to oilseed rape neonicotinoid seed treatments in Hungary, Germany and the UK. NERC Environmental Information Data Centre.
<https://doi.org/10.5285/b75b40f6-cdb1-4bfd-a599-bd2e171512e7>