

Növény-pollinátor hálózatok különböző táji és agrárkezelési paraméterek függvényében

OTDK dolgozat

készítette:

Szirák Ádám

ELTE TTK Biológus MSc.

Ökológia, Evolúcióbiológia és Konzervációbiológia szakirány

témavezetők:

Dr. Báldi András, főigazgató

MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet

Dr. Kovács Anikó, tudományos munkatárs

MTA ÖK Ökológiai és Botanikai Intézet

EÖTVÖS LORÁND TUDOMÁNYEGYETEM

TERMÉSZETTUDOMÁNYI KAR

BIOLÓGIAI INTÉZET



Budapest, 2012

Tartalomjegyzék

Tartalomjegyzék.....	1
Összefoglaló.....	1
Bevezetés.....	2
Módszertan.....	6
Mintavételi területek.....	6
Mintavétel.....	7
<i>Pollinátor mintavétel</i>	7
<i>Botanikai mintavétel</i>	8
<i>Statisztikai elemzés</i>	8
<i>Viráglátogatási hálózatok</i>	9
Eredmények.....	11
<i>Az egyes pollinátor csoportok egyedszámának alakulása</i>	11
<i>Hálózatos eredmények</i>	14
Diskusszió.....	16
Köszönetnyilvánítás.....	19
Irodalom.....	19
Summary.....	23

Összefoglaló

Az ökoszisztéma kutatások egyik fontos területe a pollináció, mint szabályozó szolgáltatás. A globális biodiverzitás csökkenés miatt sérülő rendszerek komoly problémát jelentenek, mivel a zárwatermők több mint 80%-a, és a gazdaságilag fontos növénytermelés harmada állati beporzást igényel. A mezőgazdasági művelés miatt egyre nagyobb nyomásnak kitett pollinátor közösségek vizsgálata ezért kiemelten fontos; funkcionális kapcsolatuk a növényekkel, a hálózattudomány eszközeivel jól vizsgálható.

Az erdélyi Szászföldön végzett kutatásunkban a topográfiai komplexitás, táji heterogenitás és a fás borítottság hatását vizsgáltuk szántók és gyepek pollinátor közösségeire, három tavaszi-nyári mintavétel alkalmával. A táji változók mellett figyelembe vettük a virágzó növényfajok és virágok számának hatását. A transzekt menti mintavételek során az észlelt pollinátorok egyedszámát taxonómiai és funkcionális alapon vontuk össze. Az egyes csoportok

abundanciáját a táji és lokális léptékű változók függvényében, általános lineáris kevert modellekkel elemeztük. A megfigyelt pollinátor csoportok és az általuk látogatott növények kapcsolatrendszerét centralitás indexekkel vizsgáltuk.

A megfigyelt vadméhek és lepkék a gyepeken, míg a poszméhek és a zengőlegyek a szántókon voltak jelen nagyobb egyedszámban. Időbeli dinamikát tekintve a legkisebb májusban, a legnagyobb júliusban volt a vizsgált csoportok egyedszáma. A pollinátorok közül a foksám eloszlás alapján a vadméhek tekinthetők minden mintavételi periódusban a leginkább kulcsfontosságú csoportnak, míg a mindhárom hónapban központinak számító növények centralitás értéke az egyes periódusok alatt váltakozó tendenciát mutatott.

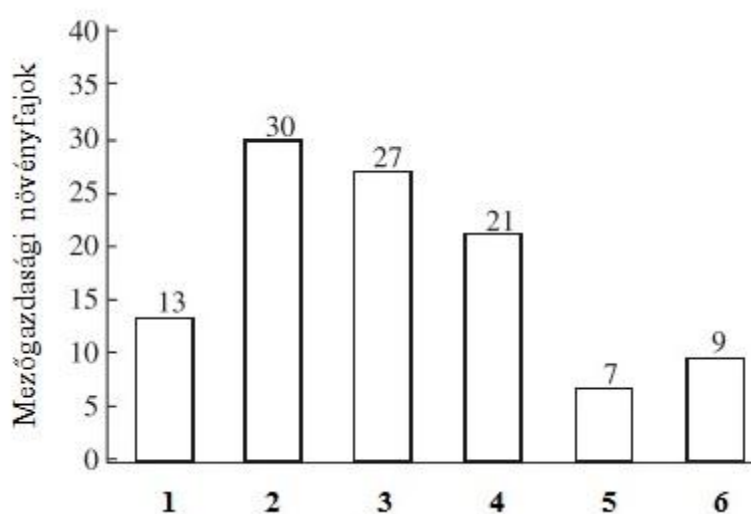
A vadméhek magas centralitás értéke egyértelműen jelzi a csoport jelentőségét, míg a növények esetében a kulcsfontosságú fajok váltakozása a közösség szerkezetének szezonális dinamikájával magyarázható. A pollinációs rendszerek stabil fennmaradásának érdekében kiemelkedő figyelmet kell fordítani a hálózat egésze szempontjából központi szerepet betöltő növény és állatfajokra egyaránt, melyet például gazdagabb virágos vegetációjú területek agrártájban való megtartásával segíthetünk.

Bevezetés

Az elmúlt években egyre nagyobb hangsúlyt kapott az ökológiai kutatásokban az a szemlélet, mely szerint az ember által felhasznált természeti javakat, szolgáltatásokat mérhetővé, pénzben kifejezhetővé tegyük, így illesztve be a természetvédelem ügyét elanyagiasodott világunkba (Balvanera et al. 2006; Gallai et al. 2009). A természet számos ponton járul hozzá az emberi jólét biztosításához, mely közvetve vagy közvetlenül felhasznált javakat összefoglalóan ökoszisztéma szolgáltatásoknak nevezzük (Millennium Ecosystem Assessment, 2005; Norberg, 1999). Az egyes szolgáltatásokhoz rendelt hozzávetőleges pénzbeli érték lehetővé teszi a döntéshozók számára, hogy felmérjék, mekkora veszteséggel járna, ha egy természeti funkciót mesterségesen kellene pótolni, ezzel is ösztönözve a biodiverzitás és természeti értékek védelmét. Az ökoszisztéma szolgáltatásokat alapvetően négy kategóriába sorolják: ellátó, szabályozó, támogató és kulturális szolgáltatások (Norberg

1999). Jelen dolgozat az emberiség számára is egyik legfontosabb szabályozó szolgáltatással, a növények állatok általi megporzásával, a pollinációval foglalkozik.

A zárwatermő növények több mint 87%-nak, köztük a legfontosabb mezőgazdasági kultúrnövényeink jó részének is a szaporodáshoz szüksége van valamilyen szinten állatok közreműködésére (Ollerton et al. 2011). Kevés olyan átfogó vizsgálat született eddig, ami globálisan vizsgálta a pollináció gazdaságilag fontos növényeinkre gyakorolt hatásait. Klein (2007) és munkatársainak tanulmánya szerint a globális mezőgazdasági élelmiszertermelés mintegy egyharmada függ állati beporzóktól. A FAO 2004-es adatai alapján (FAOSTAT



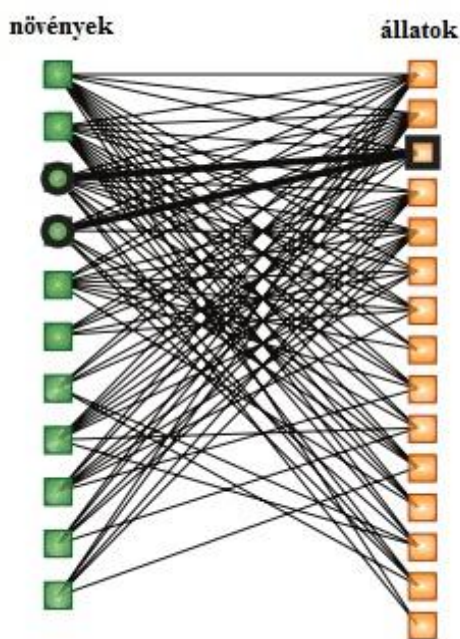
1. ábra Takarmánynövényeink függése a pollinátoroktól. A takarmánynövények a FAO által 2004-ben gyűjtött termelési adatok alapján szerepelnek (FAOSTAT 2005). A számok a pollinátoroktól való függését jelölik: 1: *nélkülözhetetlen, a szaporodáshoz elengedhetetlen a pollinátorok közreműködése*; 2: magas, a pollinátorok jelenléte kimagaslóan fontos; 3: közepes, a pollinátorok jelenléte jelentős előnyt biztosít a növénynek; 4: kevés adat támasztja alá egyértelműen a pollinátorok pozitív hatását; 5: semleges, a pollinátorok jelenlétéből semmilyen előnye nem származik a növénynek; 6: ismeretlen, pollinátorok hatása empirikus adatokkal nem igazolt. (Klein et al. 2007 nyomán)

2005), legfontosabb termesztett élelmiszernövényeink 12%-a számára elengedhetetlen, és további 28% számára kiemelkedően fontos a pollinátorok jelenléte (1. ábra). Ennek fényében tehát könnyű belátni, hogy a beporzó állatok eltűnése és ez által az általuk végzett beporzás sérülése komoly gazdasági károkat okozhat.

Napjaink egyik legnagyobb gazdasági kihívása és a földi ökoszisztémákat fenyegető egyik legnagyobb problémája a Föld növekvő népességének élelmiszer ellátása. Ezen növekvő igény kielégítésére a mezőgazdaság is fokozódó termelési intenzitással igyekszik reagálni, ami táji és helyi léptékben is jelentős hatással van a természetes élőhelyekre (Tilman et al. 2002). Az újabb és újabb területek művelésbe vonása, a monokulturális gazdálkodás, fokozott vegyszer és műtrágya felhasználás következtében rohamosan csökken a növény és ezzel együtt a pollinátor diverzitás, ami magával hozza a pollináció, mint ökoszisztéma szolgáltatás jelentős károsodását (Kremen et al. 2007).

A pollinátor közösségek méretét, azaz a beporzó fajok populációinak egyedszámát adott területen több tényező is befolyásolhatja. Tágabb térbeli léptékben a területek topográfiai komplexitása: domborzati viszonyai, kitettsége és táji léptékű változatossága, szűkebb léptékben az élőhelyek heterogenitása: mozaikossága, természetes és féltermészetes élőhelyek váltakozása valamint erdőkkel való borítottsága különböző méretű pollinátorközösségeket képes fenntartani. A táji tényezőkön kívül a növényzeti változók, mind egyed, pontosabban virágzati egység, mind faj szinten hatnak a pollinátor közösségekre. Nem szabad figyelmen kívül hagyni továbbá, hogy a felsorolt környezeti változók közötti esetlegesen fellépő interakciókat sem.

Ahhoz, hogy egy átfogó képet kaphassunk az intenzív mezőgazdaság pollinációs rendszerekre gyakorolt potenciális hatásáról, elengedhetetlen a növények és a pollinátorok között lévő kapcsolathálózat megismerése (Memmott 1999). A rendszernek számos tulajdonságát megismerhetjük, pusztán az egyes részek közötti interakciók felderítésével, A



2. ábra Egy növény-állat interakciós hálózat páros gráfként ábrázolva. A zöld négyzetek jelölik a növényeket, a narancssárga négyzetek az állatokat. A csúcsok közötti élek mutualista kapcsolatokat jelölnek. (Bascompte és Jordano 2007)

matematikai gráfelméletből kiindulva a pollinációs rendszereket egy hálózatként is interpretálhatjuk, ahol az egyes csúcsok jelölik a növény és pollinátor fajokat, míg az élek közöttük lévő kapcsolatokat szimbolizálják (Memmott 1999). Az ilyen módon megszerkesztett növény–pollinátor hálózatot legegyszerűbben páros gráf formájában jeleníthetjük meg. A páros gráfban a csúcsok két csoportba rendezhetők, ahol kizárólag a csoportok között feltételezünk interakciót: egyikbe a növények, míg a másikba a pollinátorok tartoznak; a közöttük lévő beporzási/viráglátogatói kapcsolatokat a csúcsok közé húzott élek jelölik (2. ábra). Leggyakrabban a csúcsok fajokat jelölnek mind a növények, mind a pollinátorok esetében, de vitatott kérdés, hogy minden esetben szükséges-e ilyen részletes felbontás

alkalmazása. A fajok funkciós csoportokba való összevonása bizonyos esetekben átfogóbb kérdések megválaszolására is alkalmat adhat (Olesen et al. 2007). Másrészt, a növény-állat kapcsolatokat is különböző szinteken definiálhatjuk. Durvább felbontású hálózatot kapunk, ha csak a viráglátogatói kapcsolatokat rögzítjük az adatfelvétel során, ami nem ad információt

arról, hogy az adott rovar mely más növényfajok virágát kereste fel a megfigyeltől kívül (Alarcon 2010). Ha azonban a megfogott állatok testéről pollenmintát veszünk, és a pollenszemeket mikroszkóp alatt meghatározzuk, sokkal pontosabb képet kaphatunk a látogatott növényfajok köréről és ezáltal a potenciális megporzási viszonyokról (Gibson et al. 2006; Alarcon 2010). A növény-pollinátor kapcsolatrendszer hálózatszemléletű vizsgálata több szempontból is előnyös. A kapcsolatok felderítése segít pontosabban megérteni a rendszer működését, lehetőséget adva a hálózat szerkezete és működése közötti összefüggések megismerésére. Az adott fajokhoz rendelhető kapcsolatok számából és pozíciójából különböző centralitás (központiság) értékek számításával a rendszer szerkezete és működése szempontjából kiemelkedő jelentőségű elemeket fontossági sorrendben azonosíthatjuk. A hálózattudományban eddig leírt számos centralitás index különböző szempontok szerint határozza meg a központi csúcsokat (lásd módszertani fejezet). Ökológiai hálózatokon végzett centralitás elemzések segítségével azonosíthatjuk azokat az ún. kulcsfajokat¹, amik központi szerepet játszanak a közösségen belül (Benedek et al. 2007), és amelyek eltűnésével a rendszer képtelen lenne fenntartani megfelelő működését. Ugyan sok növényfajt nem egy pollinátor faj poroz be, és a legtöbb pollinátor szintén több növényfaj virágán táplálkozik, ebből következik, hogy a rendszer egy bizonyos fokú flexibilitással bír. A kapcsolatok redundanciájával arányosan nő a hálózat stabilitása is, azonban ha fokozatosan csökkentjük a csúcsok, és a hozzájuk tartozó élek számát, – azaz szimuláljuk az egyes fajok eltűnését a közösségből – a perkolációs küszöb² elérését követően újabb csúcsok eltávolításával a rendszer különálló komponensekre esik szét, zavart okozva ezzel a megfelelő működésben (Alarcon et al. 2008). Éppen ezért azon fajok azonosítása, amelyek a rendszer szerkezeti stabilitása és működése szempontjából kulcsfajoknak tekinthetők segítséget nyújthat a természetvédelemnek tudományosan megalapozottabb és hatékonyabb védelmi és kezelési programok kidolgozásában.

Kutatásunkban különböző táji, illetve lokális szintű környezeti változók, valamint a növényzet faji összetételének a pollinátor közösségekre, valamint pollinációs rendszerek szerkezetére és működésére kifejtett hatásait vizsgáltuk. Pollinációs hálózatok generálásával

¹ A kulcsfajoknak definíció szerint a biomasszájukhoz képest funkcionálisan kiemelkedő jelentőségű fajokat nevezzük (Mills et al. 1993). Esetünkben a „kulcsfaj” szerkezetileg fontos fajt jelöl, a kifejezést a könnyebb érthetőség miatt használtuk.

² A perkoláció akkor jön létre egy hálózatban, ha annak minden eleme egymással összeköttetésben áll. Perkolációs küszöbérték azoknak az éleknek a száma, amelyek megléte esetén a hálózat teljes egészében körbejárható (Csermely, 2005)

azokat a fajokat illetve fajcsoportokat kerestük, melyek a vegetációs periódus egyes szakaszaiban, illetve összességében a rendszer szerkezete szempontjából kiemelkedő fontossággal bírnak.

Hipotéziseink szerint (i) a magasabb topográfiai komplexitású, extenzívebb mezőgazdasági művelésű élőhelyek magasabb növény- és pollinátor diverzitással, ezáltal komplexebb viráglátogatási hálózattal bírnak, mint az alacsonyabban fekvő, nyíltabb, ezáltal intenzívebben művelt régiók; továbbá a topográfiailag komplexebb régiókban kisebb a különbség szántók és gyepek pollinátor egyedszámában, mint az intenzívebb, táji szinten kevesebb forrást nyújtó alacsonyabb topográfiájú régiókban; (ii) a természetesebb gyepek, kaszálók több növény- és pollinátor fajt tudnak eltartani, mint a szántóföldi monokultúrák, valamint a homogén tájban a virágzó növényfajokban gazdagabb területek attraktívabbak a beporzó rovarok számára, így ott magasabb egyedszámok várhatók; (iii) heterogénebb és magasabb fás borítottságú területek pollinációs hálózatai komplexebbek, továbbá (iv) az egymást követő hónapokban a növényfajok és a pollinátorok számának változása várható.

Az adatok elemzése során a növényekről már rendelkezésünkre álltak a faji szintű adatok, míg a pollinátorok határozásának nagyobb időigénye miatt azok, ez eddig csak funkcionális csoportok szintjén lettek kategorizálva. A továbbiakban sor kerül a pollinátorok faji szintű meghatározására, majd a pollenmintavételt követően a pollenminták határozására, és a viráglátogatási/beporzási kapcsolatok széleskörű felderítésére.

Módszertan

Mintavételi területek

Vizsgálatunkat az erdélyi Szászföldön végeztük 2012-ben, Segesvár 60 kilométeres vonzáskörzetében lévő falvak körül. A mintaterületek kiválasztása a németországi lüneburgi egyetem (Leuphana University) Prof. Dr. Joern Fischer által vezetett kutatócsoportjával létesített kooperáció keretében történt. Nyolc alacsony és 11 magas topográfiai komplexitású falut választottunk. Az osztályozásnál a változatos domborzat, az erdő és a szántóterületek nagysága volt a fő szempont. A magas komplexitással rendelkező területek változatos domborzatúak, rajtuk kiterjedt erdőségek fordulnak elő és jellemzően kevés a művelés alá

vont terület. Ezzel szemben az alacsony topográfiai komplexitású falvak sík területen fekszenek és intenzív mezőgazdasági művelés bevezetésére a jövőben számítani lehet. Az egyes falvak körül 3-5 mintavételi területet jelöltünk ki, átlagosan két szántót és két gyepet falvanként. A 76 mintaterület 50-50%-ban volt szántó és gyep. A mintavételi területek művelési ágát két lépésben értelmeztük. Durvább felbontásban egy kétszintű faktoriális változónak vettük (szántó illetve gyep), majd finomabb léptékű hatásvizsgálat céljából egy többszintű faktoriális változóval összesen nyolc kategóriát különböztettünk meg: cserjés legelő, legelő (marha- és birkalegelők), kaszálórét, parlag (ide sorolva az előző évről maradt, beszántatlan kukoricatarlókat is), lucerna, gabona (árpa és búza), kukorica és a lekaszált/learatott területek (eredeti kultúrától függetlenül). Minden területet két, három értékű intervallum skálán értelmezett környezeti változóval jellemeztünk: az első a terület heterogenitását mutatta meg, amit a területet körül vevő 1 ha terület kvantilisben megadott 2,5m-es pankromatikus képének szórása alapján adtak meg. Egyes értéket kaptak az alsó (alacsony), kettest a közepeső, (köztes), hármast a felső egyharmadba tartozó területek (magas heterogenitás). Hasonlóképpen értelmezett a fás borítottság értéke is ugyanazon a területegységen nézve. Itt az intervallum határok: 0-5%, 5-15% és 15-50% közé estek.

Mintavétel

Pollinátor mintavétel

A mintavételre három, kéthetes periódusban került sor májusban, júniusban és júliusban lefedve ezzel a kétszikű növények virágzási időszakának jelentős részét. A viráglátogató rovarok vizsgálata transzsektmenti egyeléses mintavétellel történt. A területeinken két, 100 m hosszú transzsektet jelöltünk ki úgy, hogy azok a lehető legjobban reprezentálják a terület adottságait: párhuzamosan futva, legalább 50 méter távolságban egymástól és legalább 20 méterre a szegélytől. A mérőpáros, a megfogott pollinátorok hálóból való kivételét és egyéni mintatartó fiolába való helyezésének kezelési idejét nem számítva, nettó 20 percig végezte a mintavételt, melynek során az észlelt vad- és házi méhek, illetve zengőlegyek egyeléses mintavétellel kerültek megfogásra. Feljegyeztük a területen észlelt nappali lepkéket is, de azokat nem fogtuk meg. Minden méhet és zengőlegyet külön fiolába téve etil-acetáttal elbódítottunk, és egyedi azonosítószámmal láttunk el későbbi határozás és pollenmintavétel céljából. Az adatlapon rögzítettük a megfogott vagy észlelt egyed tág rendszertani besorolását

(házi méh, poszméh (*Bombus* spp.), egyéb vadméh, zengőleány, lepke), illetve azon növényfaj nevét, melyen a megfogás vagy észlelés pillanatában a rovar tartózkodott. A repülő, illetve a növények szárán, levelén pihenő egyedeket szintén megfogtuk, feljegyeztük. A mintavételt kizárólag a pollinátoraktivitás számára megfelelő időjárási körülmények között végeztük (napsütés, gyenge szél, minimum 20 °C). A mintavételt úgy időzítettük az egyes periódusokban, hogy lehetőség szerint mindegyik területről legyen délelőtti és délutáni időszakban is adatunk kontrolálva ezzel az egyes pollinátorok potenciális napszak preferenciájára.

Faji szintű adatok hiányában a pollinátorokat funkcionális és morfológiai alapon négy kategóriába soroltuk: poszméhek, egyéb vadméhek (innenről vadméhek), zengőleányok, lepkék és külön elemezve a házi méh (*Apis mellifera* L.). A poszméhek szociális életmódjuk által jelentősen különböznek a többi, rendszerint magányosan fészkelő (szoliter) vadméh fajtól, ezen kívül általában nagyobb testméretűek, hosszú nyelvűek, így más virágokat preferálnak és terjedési képességük is nagyobb (Greenleaf et al. 2007). A vadméhek közé soroltunk a poszméheken kívül minden más vadméhet. A zengőleányok és a lepkék taxonómiai és morfológiájukban jelentősen különböznek a méhektől, míg a házi méhek, mint domesztikált rovarok külön választását az ember jelenlététől való erőteljes függésük tette indokolttá.

Botanikai mintavétel

A pollinátor mintavétellel egyidejűleg minden egyes transzekten botanikai mintavételre is sor került. A transzekt mentén 10 méterenként egy 1m²-es kvadrátban faji szinten rögzítettük a virágzó növényeket és nyíló virágaik számát. A növényzet átlagmagasságát és az átlagos növényzeti borítást az egész területre vonatkoztatva becsültük.

Statistikai elemzés

Az egyes funkcionális csoportok egyedszámának a környezeti változók függvényében való változását általános lineáris kevert modellekkel vizsgáltuk. Függő változónak tekintettük az egyes transzekteken észlelt pollinátor csoportok egyedszámát az egyes mintavételi periódusokban. Magyarázó változóink közül a legnagyobb táji léptéket a topográfiai komplexitás, mint kétszintű faktoriális változó fejezte ki (alacsony és magas topográfiai régió). A kisebb táji léptékben mért, a mintavételi területek környezetét leíró táji heterogenitás

és fás borítottság, mint háromértékű folytonos magyarázó változók szerepeltek a modellekben. Továbbá modelleztük az egyes transzekteken megfigyelt virágzó növények fajszámának és a virágok átlagos számának hatását, és az egyes mintavételi periódusok közti különbséget a pollinátor csoportok egyedszámában (1. táblázat).

1. táblázat A modellépítésnél alkalmazott magyarázó változók és random faktorok.

	MAGYARÁZÓ VÁLTOZÓK	RANDOM FAKTOROK
1. <i>Modell</i>	topográfia, művelési ág, heterogenitás, fás borítottság	periódus, falu, terület
2. <i>Modell</i>	kultúra	periódus, falu, terület
3. <i>Modell</i>	periódus	falu, terület
4. <i>Modell</i>	növény fajszám	periódus, falu, terület
5. <i>Modell</i>	átlagos virágszám	periódus, falu, terület

Az egyes magyarázó változók közti szignifikáns korreláció miatt a felsorolt magyarázó változók hatását öt különböző modellben teszteltük (1. táblázat). Amennyiben a modellreziduálisok nem követték a normális eloszlást, a függő változót logaritmus transzformáltuk. Az adott mintavételi periódusban, adott faluhoz tartozó területeken kijelölt transzektpárok közti térbeli függetlenség hiányát random faktorok alkalmazásával ellensúlyoztuk: periódus/falu/terület (a mintavételi periódus hatásának tesztelésekor csak falu/terület - 1. táblázat).

Egyes magyarázó változók közötti interakciók teszteléséhez további három lineáris kevert modellt alkalmaztunk. Külön modellekben vizsgáltuk a 1. topográfia, heterogenitás és a művelési ág; 2. a topográfia heterogenitás és növény fajszám, valamint 3. a topográfia, heterogenitás és átlagos virágszám közötti interakciókat. A nem szignifikáns interakciókat backward szelekcióval eltávolítottuk a modellekből. Az elemzésekhez az R statisztikai szoftvert (R Core Team, 2012), az „nlme” (Pinheiro et al. 2012) és a „gplots” (Warnes, 2012) programcsomagokat használtuk.

Viráglátogatási hálózatok

Az egyes pollinátorcsoportok viráglátogatási adatait felhasználva olyan páros gráfokat generáltunk, ahol a csúcsok egyik csoportjába a növényfajok, a másikba az öt pollinátor csoport tartozott. A teljes három hónap adataiból, valamint az egyes periódusokra külön-külön hálózatokat építettünk. A pollinátor csoportok, valamint az egyes növényfajok hálózatban betöltött szerepének meghatározásához két centralitás indexet használtunk: a fokszám-

centralitást (degree centrality, DC) és a köztesség-centralitást (betweenness centrality BC) (Freeman, 1978).

A fokszám centralitás a hálózatok jellemzésére egyik leggyakrabban használt index. A fokszám megmutatja, hogy adott p_i csúcsból egy lépéssel hány másik közvetlen szomszédja érhető el. Egy n elemű hálózat fokszáma a következőképpen fejezhető ki:

$$DC(p_k) = \frac{\sum_{i=1}^n a(p_i, p_k)}{n - 1}$$

ahol, $a(p_i, p_j) = 1$, ha p_i és p_k szomszédok, egyébként 0. A köztesség centralitás azoknak a p_i és p_j csúcsok közötti utaknak a számát adja meg egy hálózatban, amelyek áthaladnak egy választott p_k csúcson. Két pont között lévő úton azon egymáshoz csatlakozó csúcsok és élek sorozatát értjük, amelyben minden csúcs és él csak egyszer szerepel. Ezek alapján egy n elemű hálózat köztesség centralitása:

$$BC(p_k) = \frac{2BC(p_k)}{n^2 - 3n + 2}$$

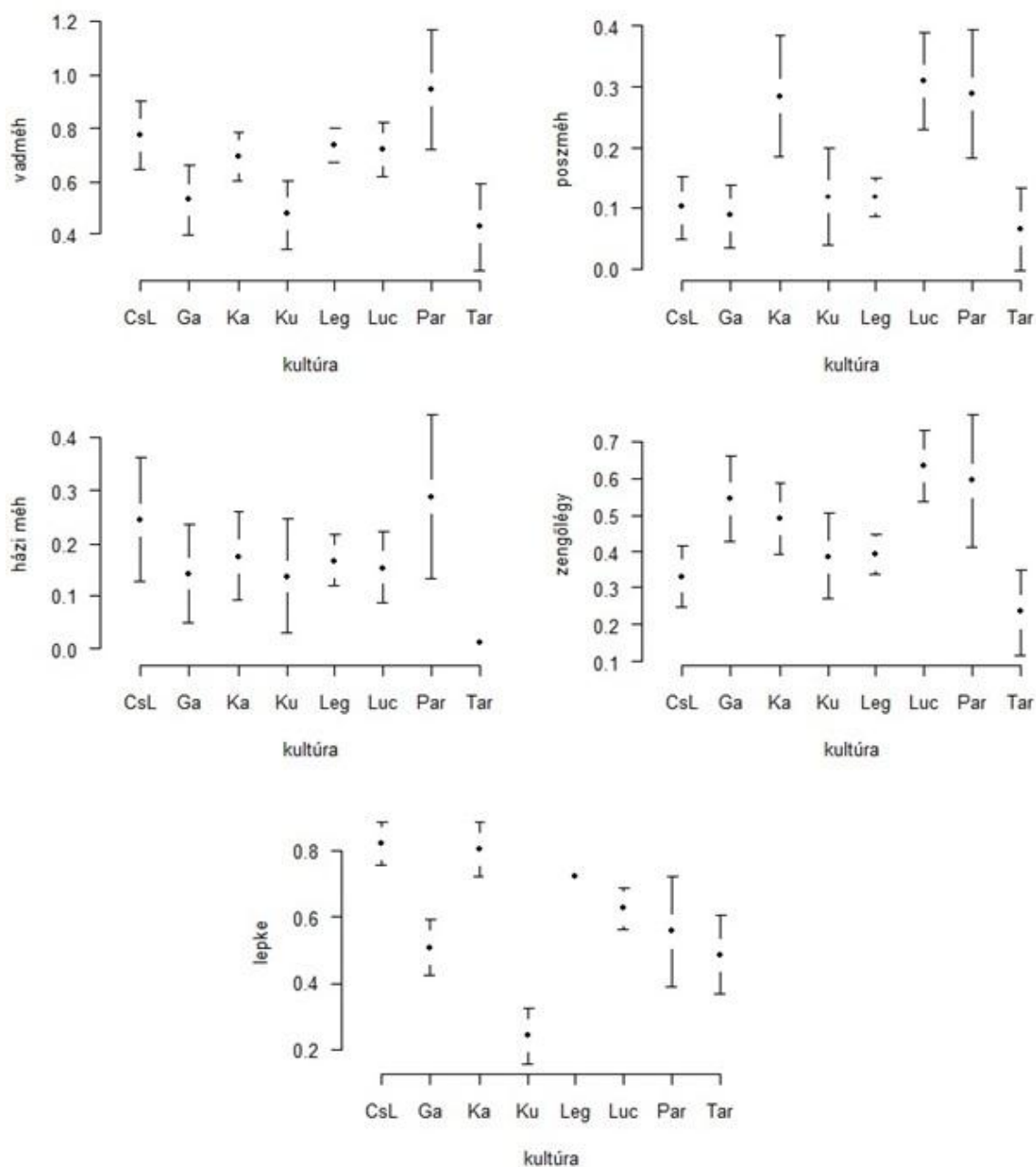
ahol, $BC(p_k) = \sum_{i < j} b_{ij}(p_k)$, mely egyenletben $b_{ij}(p_k)$ annak a valószínűsége, hogy p_k rajta van két véletlenszerűen választott p_i és p_j között lévő úton. A két index egyik alapvető különbsége a lokalitásukban mutatkozik meg. A fokszám-centralitás csak a közvetlen szomszédok száma alapján rangsorolja a csúcsokat, tehát lokális mérőszám, míg a köztesség-centralitás kiszámolásához a hálózat összes csúcsát ismerni kell, így az globális mérőszámnak tekinthető.

Az adatok részletesebb elemzése céljából művelési ág (szántó vs. gyep) és topográfiai komplexitás (magas vs. alacsony) szerint különválasztott hálózatokon szintén centralitáselemzést végeztünk a teljes mintavételi időszakra, és az egyes periódusokra. A hálózatok generálásához, valamint a fokszám- és köztesség-centralitás értékek kiszámításához az UCINET szoftvert használtuk (Borgatti et al. 2002).

Eredmények

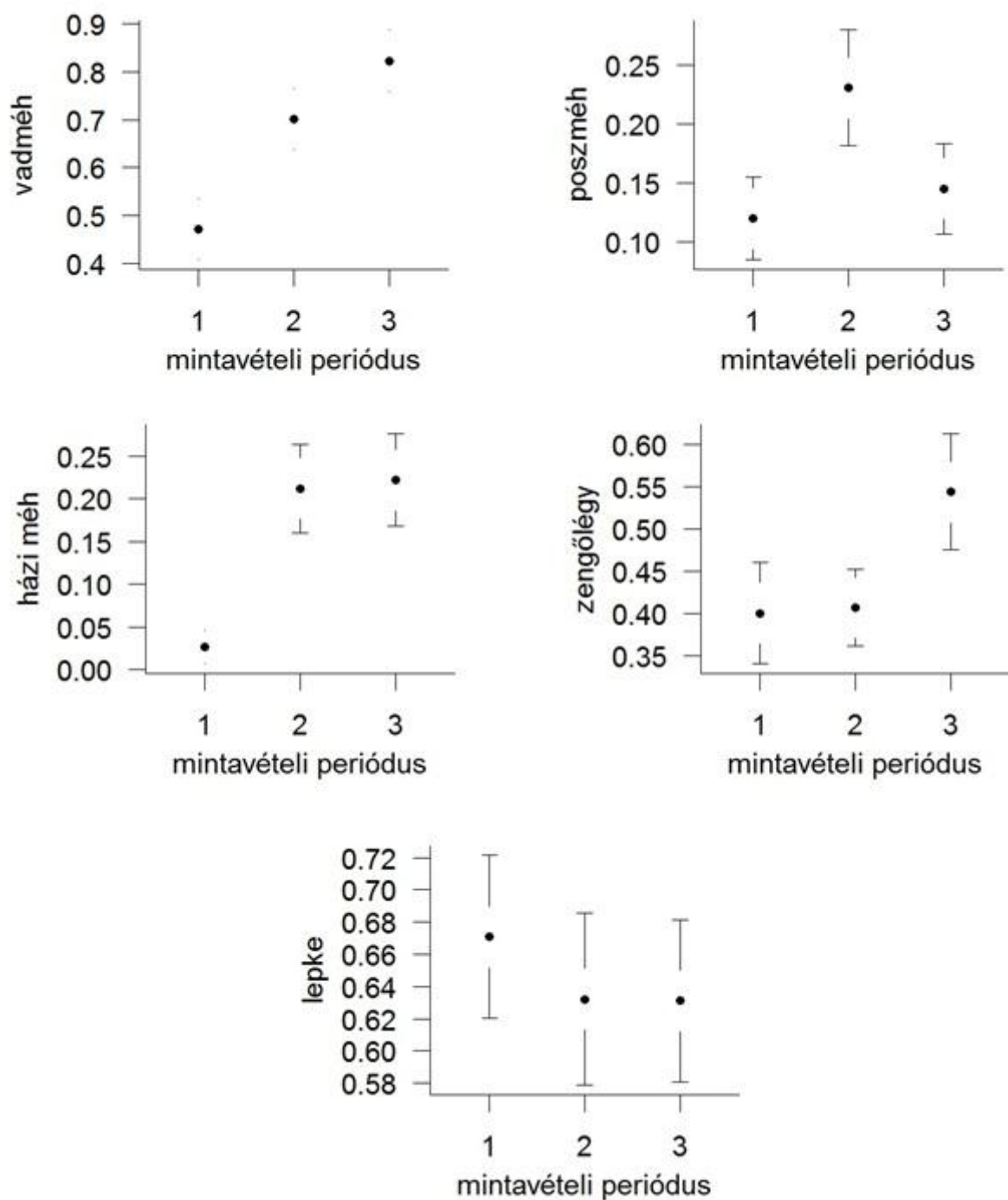
Az egyes pollinátor csoportok egyedszámának alakulása

Magyarázó változóink közül a topográfiai komplexitás és a fás borítottság csak a lepkék egyedszámára volt szignifikáns hatással: az alacsony topográfiájú területeken észlelt lepkék egyedszáma szignifikánsan nagyobb volt, mint a magas komplexitásúakon, míg a fás



3. ábra Az egyes kultúrák hatása a pollinátorcsoportokra. A pontok a középértéket és a hozzájuk tartozó szórás jelölik. Az y tengelyen a pollinátorok abundancia értékei logaritmikus skálán értelmezve, az x tengelyen a különböző kultúrák szerepelnek: CsL: cserjés legelő; Ga: gabona; Ka: kaszálórét; Ku: kukorica; Leg: legelő; Luc: lucerna; Par: parlag; Tar: tarló.

borítottság pozitívan befolyásolta az egyedszámot. A művelési ág a házi méheken kívül a többi négy csoportra szignifikáns pozitív hatással volt. A vadméhek és a lepkék esetében a gyepeken észleltünk nagyobb abundanciát, míg a poszméhek és a zengőlegyek száma a szántókon volt nagyobb.



4. ábra: A periódushatás ábrázolása az egyes pollinátor csoportok esetében.

A finomabb felbontású mezőgazdasági kultúra hatás minden pollinátor csoport esetében szignifikáns különbségeket fedett fel bizonyos mezőgazdasági kultúrák között (3. ábra). Általában megállapítható, hogy a tarlókon mindegyik pollinátor csoport, a lepkék kivételével kisebb abundanciával volt jelen. Ezzel szemben a parlagokon általában mindegyik pollinátor csoport magas egyedszámban fordult elő. Az agrárterületek közül a lucernákon a poszméhek, zengőlegyek és lepkék esetében is szignifikánsan több egyedet figyeltünk meg, mint a kukoricákon. A cserjés legelők, gabonák, kaszálórétek és a legelők változó tendenciát mutattak az egyes pollinátor csoportok esetében (3. ábra). Több pollinátor csoport esetében is megfigyelhetők olyan területek, amin a többenél magasabb egyedszámmal voltak képviseltetve: a poszméhek a kaszálóréteken, lucernákon és parlagokon mutattak kiugró értéket, a lepkék a cserjés legelőkön és a kaszálóréteken voltak abundánsabbak. A vadméhek általában a gyepterületeken (cserjés legelő, kaszálórét, legelő) és a lucernákon és parlagokon fordultak elő gyakrabban, ezzel szemben a házi méhek száma minden élőhelyen hasonló volt, kivéve a lekaszált, learatott területeket, ahol a többihez képest lényegesen kisebb számban fordultak elő. A zengőlegyek a cserjés legelőket és a lekaszált/learatott területeket kivéve mindenhol hasonló számban voltak jelen, ezen a területeken egyedszámuk alacsonyabb volt.

2. táblázat A modellek szabadsági fokai (df), az F- és P-értékek az egyes pollinátor csoportokra. A növényfajszám a területen virágzó növények fajszámát jelenti.

	VADMÉH			POSZMÉH			HÁZI MÉH			ZENGŐLÉGY			LEPKE		
1. Modell	df	F	p	df	F	p	df	F	p	df	F	p	df	F	p
topográfia	52	1,10	0,298	52	0,01	0,925	52	0,02	0,892	52	0,04	0,846	52	8,60	0,005
művelési ág	150	9,96	0,002	150	6,95	0,010	150	3,36	0,069	150	13,34	<0,001	150	55,58	<0,001
heterogenitás	150	0,39	0,535	150	0,25	0,616	150	0,00	0,971	150	0,08	0,379	150	0,52	0,470
fás borítottság	150	2,39	0,124	150	0,01	0,920	150	1,12	0,291	150	1,29	0,254	150	14,80	<0,001
2. Modell															
kultúra	146	9,03	<0,001	146	5,80	<0,001	146	3,22	0,003	146	6,45	<0,001	146	22,5	<0,001
3. Modell															
periódus	337	43,80	<0,001	337	8,51	<0,001	337	22,64	<0,001	337	9,92	<0,001	337	0,01	0,991
4. Modell															
növényfajszám	205	67,90	<0,001	205	19,57	<0,001	205	18,27	<0,001	205	2,96	0,090	205	66,48	<0,001
5. Modell															
átlagos virágszám	205	29,74	<0,001	205	6,24	0,013	205	29,43	<0,001	205	9,88	0,002	205	11,73	<0,001

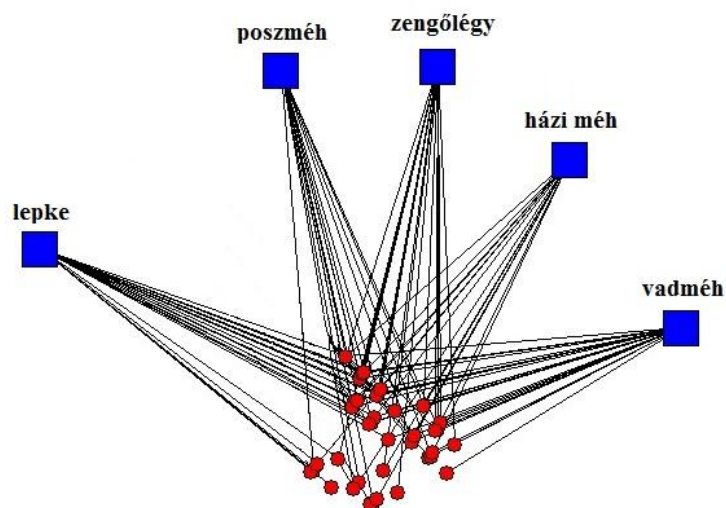
Az egyes periódusok között is szignifikáns különbségek mutatkoznak a legtöbb esetben (2. táblázat, 4. ábra.). Lepkék kivételével a legalacsonyabb egyedszámokat májusban találtuk mindegyik pollinátor csoportban. A vadméhek esetében egy folyamatos növekedés

volt tapasztalható május-június-júliusban, míg a poszméhek júniusban voltak a legnagyobb számban jelen. A legtöbb házi méhet júniusban és júliusban találtuk, míg a zengőlegyek egyedszáma júliusban mutatott szignifikáns pozitív eltérést az első két hónaphoz képest. A lepkék egyedszáma májusban szignifikánsan magasabb volt, mint júniusban és júliusban. A virágzó növények fajsza-
 ma és az átlagos virágszám szignifikáns pozitív hatást mutatott a házi méhek kivételével mind a négy pollinátor csoportban.

Az interakció tesztelések során mindössze egy esetben azonosítottunk kapcsolatot két magyarázó változó között. A poszméhek egyedszámának esetében a térbeli heterogenitás és a virágzó növényfajok száma között szignifikáns negatív interakció volt ($df = 203,00$; $F = 13,487$; p -érték = 0.0003)

Hálózatos eredmények

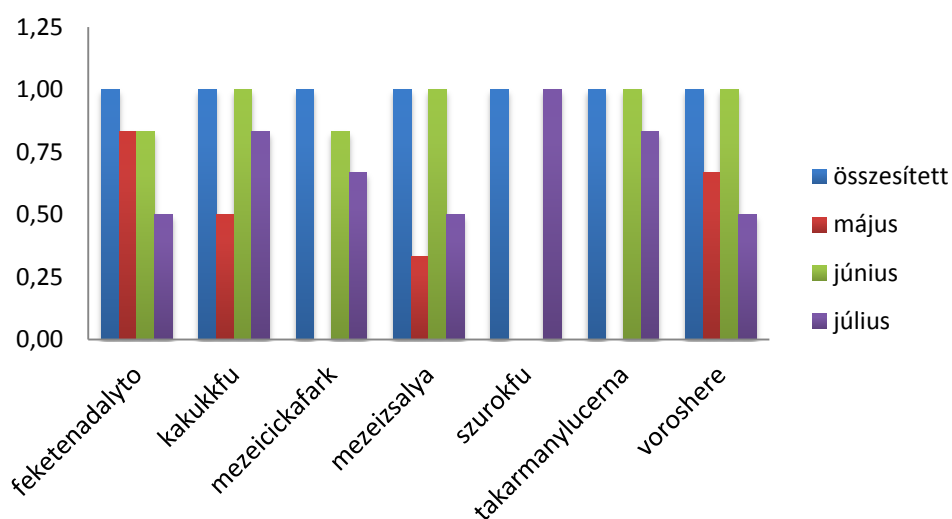
A fokszám- és a köztesség centralitás alapján ugyanazok a fajok rendelkeztek a legmagasabb centralitás értékkel (kulcsfajok). Mindkét index hasonló mintázatot követett a hónapok szerinti összevetés alapján is, ezért a továbbiakban a fokszám-centralitáson keresztül mutatom be az eredményeket.



5. ábra A növények és a pollinátorok kapcsolathálózata. A kék négyzetek jelölik az egyes pollinátorcsoportokat, a piros körök az egyes növényfajokat.

Az összesen 177 növényfajból és 5 pollinátor csoportból felépített hálózatban (5. ábra) a növények közül 7 faj centralitás értéke volt a legmagasabb (6. ábra). Ezek centralitását a mintavételi hónapok szerint külön-külön vizsgálva az egyes fajok központi szerepe eltérő időbeli mintázatot mutatott. A fekete nadálytő (*Symphytum officinale* L.) májusban és júniusban volt központi faj, míg júliusban csökkent a jelentősége az előző hónapokhoz képest. A mezei cickafark (*Achillea millefolium* L.) és a takarmány lucerna (*Medicago sativa* L.) júniusi és júliusi virágzásakor volt igazán centrális, míg a kakukkfű (*Thymus* sp.), a mezei zsálya (*Salvia pratensis* L.), és a vöröshere (*Trifolium pratense* L.) júniusban mutattak lényegesen magasabb értéket a többi hónaphoz képest. A szurokfű (*Origanum vulgare* L.) csak júliusban virágzott, de akkor kimagasló jelentőséggel bírt.

Külön elemezve a magas és alacsony topográfiájú régiók viráglatogatási hálózatait, a fekete nadálytő, a takarmány lucerna és a vörös here az alacsony, míg a mezei zsálya, kakukkfű és a szurokfű a magas topográfiájú területeken mutatott magas centralitás értéket.



6. ábra Az összes hónap alapján központinak számító növényfajok foksám centralitás értékei összesítve és az egyes hónapokra lebontva.

Meglepő eredmény, hogy a szarvaskerep (*Lotus corniculatus* L.) a magas és az alacsony topográfiájú területeken is magas centralitás értéket adott, de az összesített adatok elemzésekor mégsem szerepelt a legcentrálisabb fajok között.

Művelési ág szerinti bontásban a gyepeken lényegesen több faj bizonyult centrálisnak, mint a szántókon. Szántókon a fekete nadálytő, a takarmány lucerna és a vörös here mellett a szarvaskerep volt kulcsfaj, ami a gyepeken éppúgy centrális fajnak számított. A gyepeken

ezen kívül a bakfű (*Stachys officinalis* L.), a fehér here (*Trifolium repens* L.), a lándzsás útifű (*Plantago lanceolata* L.), a lózsálya (*Salvia verticillata* L.), a réti imola (*Centaurea jacea* L.) és a zöld dárdahere (*Dorycnium herbaceum* L.) centralitás értékei voltak magasak.

Az alacsony és magas topográfiájú területek foksám centralitása és a köztesség centralitás értékei is megegyeztek, míg gyepeken a köztesség centralitás értéke kisebb volt a szántókon talált kulcsfajok értékének.

A pollinátorok közül az összesített adatok alapján, valamint a topográfiai és művelési ág szerinti bontásban egyaránt a vadméhek bizonyultak a legfontosabb, központi szerepet betöltő csoportnak. A legkisebb centralitás értékkel minden esetben a poszméhek rendelkeztek.

Diszkusszió

Kutatásunkban különböző térbeli skálákon vizsgáltuk a táji heterogenitást, a mezőgazdasági művelési ág, valamint a területek vegetációjának hatását különböző pollinátor csoportokra, valamint a növények és pollinátorok közti viráglátogatási hálózatok rendszerére. Eredményeink alapján a topográfiai komplexitás, a mintavételi területek szűkebb környezetében mért táji heterogenitás, valamint fás borítottság a lepkék kivételével (magasabb egyedszám az alacsonyabb komplexitású régióban) nem volt hatással az egyes pollinátor csoportok egyedszámára. A táji heterogenitás és a területen megfigyelhető átlagos virágszám közötti interakció alapján, a poszméhek esetében a virágokban gazdag kultúrák kiemelkedő szerepére hívja fel a figyelmet az intenzívebb agrártájban. A topográfiaileg komplexebb, valamint a kisebb térléptékben heterogénebb táj több, különböző vegetációval, mikroklimatikus adottsággal rendelkező élőhely kialakulására nyújt lehetőséget, ami több faj, egyben több specialista, adott esetben kisebb egyedszámú faj megtelepedését teszi lehetővé (Fahrig et al. 2011; Tschamntke és Brandl 2004). Ezzel szemben a kisebb táji heterogenitás az élőhelyek sokféleségének csökkenését, generalista fajok elszaporodását eredményezheti. Feltételezzük tehát, hogy a hasonló faj- és egyedszám értékek mögött az egyes pollinátor csoportokban eltérő faji összetétel rejlik, amit fajszintű adatok hiányában jelenleg még nem tudunk értelmezni, a sok egyeddel jelen lévő fajok és a sok, kis egyedszámú faj nem különböztethetők meg. A faji adatok későbbi részletes ismerete lehetővé teszi majd számunkra a kérdés pontosabb megválaszolását.

A gyepeken észlelt egyedszámok poszméhek és zengőlegyek esetében alacsonyabbak, egyéb vadméhek és lepkék esetében magasabbak voltak, mint a szántóföldeken. Gyepek közül a kaszálórétek, szántók közül a legtöbb csoport esetében a parlagok és a lucernák voltak pollinátorokban leggazdagabbak. A virágos növények diverzitása és száma nagyban befolyásolja a terület pollinátor faunáját (Ebeling et al. 2008). Gyepeken és bizonyos szántóföldi kultúrákban a virágos növények nagy száma bővebb táplálékforrást kínál az ott élő beporzó rovarok számára (Ebeling et al. 2008), melyet a vizsgálatunkban talált, a növény fajsza és virágsza, valamint az egyes pollinátor csoportok közti erős pozitív összefüggés is igazol.

A vegetáció természetes szezonális szukcessziója során változik a növényzet, szezon elején domináns növényfajokat idővel más fajok váltják fel, ami magával hozza a hozzá kapcsolódó pollinátor fauna változását, a pollinátorok követik fő tápláléknövényeik virágzását (Basilio et al. 2006). Májusban, amikor az első mintavételt végeztük, a későbbiekhez képest még lényegesen kevesebb növényfajt és ehhez mérten kevesebb pollinátort is figyeltünk meg. Június és július hónapokban jelentősen megnő a virágzó növényfajok száma, amit a pollinátorok általunk is észlelt egyedszámbeli növekedése követett. A poszméhek esetében tavasszal először az áttelelő királynők jelennek meg és kezdenek el kolóniát alapítani, mely júniusra már lényegesen magasabb egyedszámhoz vezet (O'toole és Raw 1999). A vadméhek már a kora tavasztól megjelennek, ezért májusban a virágzási periódus elején is magasabb egyedszámban vannak jelen. Az egymást követő hónapokban különböző nemzetségek válthatják egymást, és a kikelt dolgozók újabb generációi is részt vettek a megporzásban (O'toole és Raw 1999). A zengőlegyek szaporodási periódusa a nyár közepére tehető amit összefüggésbe hozható az egymást követő hónapokban növekvő számukkal (Meyer et al. 2009). A házi méhek jelenléte erősen függ az embertől, így feltételezhető, hogy a virágos növények növekvő száma miatt az egymást követő hónapokban több kaptár került kihelyezésre a vizsgált területek közelében.

Viráglátogatási hálózatainkban a hálózatelemzések során két leggyakrabban használt centralitás index, a foksza- és a köztesség-centralitás segítségével kerestük meg a rendszer működése szempontjából kulcsszerepet játszó fajokat. A két index alapvető különbsége eltérő lokalitásukban rejlik. A foksza centralitás értéke kizárólag a vizsgált csúcs közvetlen szomszédjai alapján határozza meg a centralitás értéket, tehát egy lokális mérőszám (Freeman 1978). Ezzel szemben a köztesség centralitás globálisabb indexnek mondható, a hálózat sok csúcsát figyelembe veszi. Ezen alapvető különbség ellenére a két index nagyon hasonló

mintázatot mutatott a hálózatainkban, ami a pollinátor csoportok kis számával magyarázható. A kevés pollinátor csoport miatt a hálózat átmérője jelentősen lecsökken, és nagyon közel kerülnek egymáshoz az egyes növényfajok (Faisal et al. 2010), tehát a lokális és a globális tulajdonságok közötti különbség igen kicsi valamint az egyes pollinátor csoportok több faj összevonásából keletkeztek, ezért egy generalista egységként működnek.

A lokalitásbeli különbségnek egy további következménye nyilvánul meg a területek művelési ág szerinti bontásában. A foksám centralitás gyepeken és szántókon mért értékei nem különböznek szignifikánsan, míg a kulcsfajok köztesség centralitás értékei a szántókon közel kétszer nagyobbak a gyepek kulcsfajainak értékeinél. Ennek a különbségnek az oka a gyepeken és szántókon előforduló fajok eltérő számában, illetve a specialista és generalista fajok eltérő arányában kereshető. A gyepeken a szántókhoz képest jóval nagyobb a növényfajok diverzitása, így a viráglátogatási hálózatok sokkal nagyobbak (Ebeling et al. 2008). A köztesség centralitás, mint globális mérőszám ezért a két eltérő típusú területen eltérő számú csúcsot vesz figyelembe a centralitás érték kiszámításához.

A pollinátorok közül a vadméhek kimagasló jelentőségét diverzitásukkal lehet magyarázni. A különböző morfológiájú méhek eltérő hatékonysággal végzik a különböző növények beporzását, valamint különböző táplálkozási stratégiákat alakítottak ki (O'toole és Raw 1999), ezért sok növényfajjal állnak kapcsolatban a hálózatban. A poszméhek ezzel szemben sokkal kisebb faj- és egyedszámmal voltak jelen, emellett nagy testméretük, valamint hosszú nyelvük miatt csak a csöves virággal rendelkező növényeket tudják sikeresen táplálékforrásként felhasználni (Bascompte és Jordano 2007).

A vadméhek magas centralitás értéke jól jelzi kiemelkedő fontosságukat a szántók és gyepek növény-pollinátor hálózataiban. Minél több pollinátor van jelen egy területen, ez a rendszer annál ellenállóbb a külső károsító hatások ellen, az intenzív mezőgazdasági kezelés azonban negatívan befolyásolja a növények és a pollinátorok diverzitását. A probléma kezelésére leggyakrabban alkalmazott módszer a házi méhek kaptárainak kihelyezése, ami viszont nem minden esetben a legjobb megoldás. Egyrészt a házi méh sok növényfaj esetében nem a leghatékonyabb pollinátor, másrészt rosszabb időjárási körülmények között (sok vadméhfajjal ellentétben) aktivitásuk jelentősen csökken, valamint sok országban nagy gondot okoz a mesterségesen betelepített méhek biodiverzitásra gyakorolt hatása (Goulson 2003). Fontos tehát a művelt területekkel, szántókkal mozaikoló gyepek, féltermészetes habitatok, illetve extenzíven, akár organikus módon művelt, s ezáltal gazdagabb gyomnövény vegetációt megengedő farmok létrehozása, ahol fajgazdag pollinátor fauna mesterséges

beavatkozás nélkül is maradéktalanul el tudja látni a pollináció feladatát. A pollinációs rendszerek stabilitásának a biztosítása jelentősen hozzájárul a biológiai sokféleség megőrzéséhez és a termésátlag növekedésével jelentős gazdasági haszonnal is bír.

Köszönetnyilvánítás

Szeretnék köszönetet mondani a Lendület ökoszisztéma szolgáltatás kutatócsoportnak, Dr. Báldi Andrásnak, hogy lehetővé tette, hogy ebben a kutatásban részt vegyek és a terepi munkához megteremtette a feltételeket, továbbá Dr. Kovács Anikónak, Földesi Ritának, Schubert Zoltánnak és Mózes Edinának a terepi mintavételben nyújtott segítségért. Külön köszönet Dr. Kovács Anikónak az adatelemzésben és a dolgozat megírásában nyújtott segítségért, Dr. Jordán Ferencnek a hálózatos adatok elemzésében nyújtott segítségéért és tanácsaiért valamint Prof Dr. Joern Fishernek a mintavételi területek adataiért.

Irodalom

- Alarcon, R., 2010. Congruence between visitation and pollen-transport networks in a California plant–pollinator community. *Oikos*, 119(1), pp.35–44.
- Alarcon, R., Waser, N.M. és Ollerton, J., 2008. Year-to-year variation in the topology of a plant-pollinator interaction network. *Oikos*, (July), pp.1–12.
- Balvanera, P., Pfisterer, A.B., Buchmann, N., Jing-Sen, He., Nakashizuka, T., Raffaelli, D., Schmid, B., 2006. Quantifying the evidence for biodiversity effects on ecosystem functioning and services. *Ecology letters*, 9(10), pp.1146–56.
- Bascompte, J. és Jordano, P., 2007. Plant-Animal Mutualistic Networks: The Architecture of Biodiversity. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 38(1), pp.567–593.
- Basilio, A., Medan, D., Torretta, Juan P., Bartoloni, N.J., 2006. A year-long plant-pollinator network. *Austral Ecology*, 31(8), pp.975–983.
- Benedek, Z., Jordán, F. és Báldi, a., 2007. Topological keystone species complexes in ecological interaction networks. *Community Ecology*, 8(1), pp.1–7.
- Csermely P., 2005, A Rejtett hálózatok ereje, Vince Kiadó, Budapest
- Ebeling, A., Klein A.-M., Schumacher, J., Weisser, W.W., Tschardtke, T., 2008. How does plant richness affect pollinator richness and temporal stability of flower visits? *Oikos*, 117(12), pp.1808–1815.

- Fahrig, L., Baudry, L., Brotons, L., Burel, F.G., Crist, T.O., Fuller, R.J., Sirami, C., Siriwardena, G.M., Martin, J.-L., 2011. Functional landscape heterogeneity and animal biodiversity in agricultural landscapes. *Ecology letters*, 14(2), pp.101–12.
- Faisal, A., Dondelinger, D., Husmeier, D., Beale, C.M., 2010. Inferring species interaction networks from species abundance data: A comparative evaluation of various statistical and machine learning methods. *Ecological Informatics*, 5(6), pp.451–464.
- Freeman, L.C., 1978. Centrality in Social Networks Conceptual Clarification. *Social Networks*, 1(1968), pp.215–239.
- Gallai, N., Salles, J., Settele, J., Vaissiere, B., 2009. Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. *Ecological Economics*, 68(3), pp.810–821.
- Gibson, R.H., Nelson, I.L., Hopkins G.W., Hamlett, B.J., Memmott, J., 2006. Pollinator webs, plant communities and the conservation of rare plants: arable weeds as a case study. *Journal of Applied Ecology*, 43(2), pp.246–257.
- Goulson, D., 2003. Effects of Introduced Bees on Native Ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 34(1), pp.1–26.
- Greenleaf, S.S., Williams, N.M., Winfree, R., Kremen, C., 2007. Bee foraging ranges and their relationship to body size. *Oecologia*, 153(3), pp.589–96.
- Klein, A.-M., Vaissere, B.E., Cane, J.H., Steffan-Dewenter, I., Cunningham S., Kremen, C., Tscharntke, T., 2007. Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proceedings. Biological sciences / The Royal Society*, 274(1608), pp.303–13.
- Kremen, C., Williams, N.M., Aizen, M., Gemmill-Herren, B., LeBuhn, G., Minckley, R., Packer, L., Potts, S.G., Roulston, T., Steffan-Dewenter, I., Vazquez, D.P., Winfree, R., Adams, L., Crone, E.E., Greenleaf, S.S., Keitt, T.H., Klein, A.-M., Regetz, J., Ricketts, T.H., 2007. Pollination and other ecosystem services produced by mobile organisms: a conceptual framework for the effects of land-use change. *Ecology letters*, 10(4), pp.299–314.
- Memmott, J., 1999. The structure of a plant-pollinator food web. *Ecology Letters*, 2(5), pp.276–280.
- Meyer, B., Jauker, F. és Steffan-Dewenter, I., 2009. Contrasting resource-dependent responses of hoverfly richness and density to landscape structure. *Basic and Applied Ecology*, 10(2), pp.178–186.
- Millenium Ecosystem Assessment, 2005. *Ecosystem and Human Well-being: Biodiversity Synthesis*, World Resources Institute, Washington DC.
- Mills, L.S., Soule, M.E. és Doak, D.F., 1993. The keystone-species concept in ecology. *BioScience*, 43(4), pp.219–224.

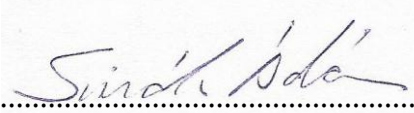
- Norberg, J., 1999. Linking Nature ' s services to ecosystems : some general ecological concepts. *Ecological Economics*, 29, pp.183–202.
- Olesen, J.M., Bascompte, J., Dupont, Y., Jordano, P., 2007. The modularity of pollination networks. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 104(50), pp.19891–6.
- Ollerton, J., Winfree, R. és Tarrant, S., 2011. How many flowering plants are pollinated by animals? *Oikos*, 120, pp.321–326.
- O'Toole, C., Raw, A., 1999., *Bees of the World.*, Blandford Pr., London
- Pinheiro, J, Bates, D., DebRoy, S., Sarkar D., R Development Core Team (2012). nlme: Linear and Nonlinear Mixed Effects Models. R package version 3.1-106.
- Tilman, D., Cassman, K., Matson, P.A., Naylor, R., Polasky, S., 2002. Agricultural sustainability and intensive production practices. *Nature*, 418(6898), pp.671–7.
- Tscharntke, T. és Brandl, R., 2004. Plant-insect interactions in fragmented landscapes. *Annual review of entomology*, 49, pp.405–30. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/14651470> [Accessed October 28, 2012].
- Warnes, G.R., Bolker, B., Lumley, T., 2012., gplots: Various R programming tools for plotting data. R package version 2.6.0

Nyilatkozat a pályázó egyéni hozzájárulásáról a pályaműben leírt eredményekhez

AlulírottSzirák Ádám a dolgozatban leírt munkafolyamatok közül a(z):

- adatfelvétel, digitalizálás
- abundancia modellek készítése
- centralitás mérőszámok kiszámolása fokszám és művelési mód szerinti bontásban
- ábrák és táblázatok elkészítése

végeztem el.



.....
aláírás

Budapest, 2013 december 09.

Summary

Recently, one of the most important areas of the ecosystem related researches is one of the regulatory ecosystem services, the pollination. The decline of world pollinators is a great threat as a result of global biodiversity loss, since the third of the agriculturally and economically important crops are pollinated by animals. Therefore the study of pollination systems, exposed to growing agricultural pressure, is outstanding. The functional relationship among plants and pollinators can be easily studied using network theory.

In our research, we studied the effects of topographical complexity, landscape heterogeneity and wood cover on pollinator communities in arable fields and grasslands in Szászföld, Transylvania by a three months long sampling period. We tested the effects of landscape variables and the influence of the number flowering plant species and flowering units on the abundance of different pollinator groups. We constructed pollinator groups from the pollinators sampled by transect walking method. We analysed the abundance of each group as a function of broad scale and local landscape variables using linear mixed effect models. Using network theoretical methods, we looked for the most central species in the plant-pollinator networks.

The observed wild bees and butterflies were more abundant in pastures, while bumblebees and hoverflies were more common in arable fields. Regarding temporal dynamics, the abundance of pollinators was the highest in July and the lowest in May. The most central, hence the most important pollinator group was the wild bees in every period, concerning degree distribution of the plant-pollinator networks, while the most important plant species differed in each period.

The high centrality values of wild bees clearly indicate the importance of this pollinator group and the alternation of central plant species can be explained by the seasonal dynamics of the plant communities. In order to maintain the stability of pollination systems, it is essential to pay much attention to the most central animal and plant species of these communities. Their persistence can be supported by preserving flower rich pastures among arable fields.