



SZENT ISTVÁN EGYETEM
Környezettudományi Doktori Iskola

**A MADARAK SZEREPE A HERNYÓKÁRTEVŐK
ELLENI VÉDEKEZÉSBN, TÖLGYESEKBN**

DOKTORI (PHD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI

BERECZKI KRISZTINA

GÖDÖLLŐ
2017

A doktori iskola

megnevezése: Szent István Egyetem, Környezettudományi Doktori Iskola

tudományága: Környezettudomány

vezetője: Csákiné Dr. Michéli Erika, D.Sc
egyetemi tanár (professzor)
Szent István Egyetem,
Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezettudományi Intézet
Talajtani és Agrokémiai Tanszék

Témavezető: Dr. Báldi András, az MTA doktora
MTA Ökológiai és Botanikai Kutatóintézet
MTA ÖK Lendület Ökoszisztéma-szolgáltatás
Kutatócsoport

Társ-témavezető: Dr. Elek Zoltán
MTA-ELTE-MTM Ökológiai Kutatócsoport

.....
A témavezető jóváhagyása

.....
A társ-témavezető jóváhagyása

.....
Az iskolavezető jóváhagyása

1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, KITŰZÖTT CÉLOK

Az ENSZ 2010-ben közzétett globális erdőfelmérése alapján évente átlagosan 35 millió hektár összesített kárterülettel számolhatunk, vagyis ekkora erdőterületet érint valamely abiotikus vagy biotikus kárforma, mint például a rovarok kártétele. A hosszútávú adatsorok alapján ráadásul egyértelmű növekvő trenddel számolhatunk mind a kárterület méretére, mind a kártétel mértékére vonatkozóan. Ez a növekvő trend különösen szembetűnő a rovarkárok esetén. A rovarok ráadásul erdővédelmi szempontból kiemelkedő jelentőségű csoportnak számítanak, mivel a teljes erdészeti károk közel feléért ők felelnek. Különösen jelentős a lombfogyasztó fajok, közülük is leginkább a lombfogyasztó hernyók kártétele. Az általuk okozott defoliáció visszaveti a rágott fák növekedését, gátolja a természetes felújulását, valamint csökkenti a fák kondícióját. A fák csökkent növekedése, egészségi állapotának romlása súlyos gazdasági következményekkel járhat. A faanyagcsökkenés okozta gazdasági kiesés ráadásul exponenciálisan növekszik a defoliáció mértékével és elérheti akár a 310 \$-t egy ha-ra és egy évre vonatkoztatva. A rendszeres rovargradációk ráadásul növelik a fák másodlagos kártevőkkel szembeni fogékonyságát és ezáltal tömeges fapusztuláshoz vezető kárláncolatokat indíthatnak. A klímaváltozás rovarokra gyakorolt pozitív hatásait tekintve a jövőben ráadásul még gyakoribb és súlyosabb hernyógradációkkal számolhatunk. A jelenlegi és jövőbeli károk elkerülésének leghatékonyabb és leginkább fenntartható módja az erdő rovarkárokkal szembeni ellenálló-képességének növelése. Az erdei ökoszisztéma „immunrendszerének” legfontosabb összetevői a kártevők természetes ellenségei, a predátor és parazita szervezetek.

A lombfogyasztó hernyók legfontosabb természetes ellenségei a rovarvő énekesmadarak. Hernyófogyasztásuk révén csökkenthetik a hernyópopulációk méretét és ezáltal pozitívan befolyásolhatják a fák egészségi állapotát, így hozzájárulhatnak a gazdasági károk mérsékléséhez. A madarak

által nyújtott természetes kártevő-szabályozás tehát egyike azon ökoszisztéma szolgáltatásoknak, melyek szabályozó szerepükön túl közvetlen gazdasági jelentőséggel is bírnak. A madarak erdővédelmi szerepét kitűnően szemlélteti Gyurkó kutatása, mely szerint egy szécinege pár fészekaljának felneveléséhez 15–20 ezer hernyót is zsákmányolhat. Ez a hernyómennyiség a szécinege territóriumában közepes vagy erős lombvesztést okozhat. Az énekesmadarak leggyakoribb zsákmányai ráadásul épp a tömegszaporodásra hajlamos, jelentős károkat okozó araszoló- és bagolylepke fajok hernyói közül kerülnek ki. A rovarevő énekesmadarak jelenléte és magas táplálkozási aktivitása tehát kulcsfontosságú az erdei ökoszisztéma egészségének fenntartásában. A rovarevő énekesmadarak denzitás- és diverzitásviszonyai ugyanakkor erősen függenek az élőhely lokális jellemzőitől, valamint a tágabb környezet tulajdonságaitól. Következésképp az erdei ökoszisztéma szerkezeti jellemzői, valamint a táji hatások jelentősen befolyásolhatják a madarak által nyújtott kártevő-szabályozás hatékonyságát és ezzel együtt a hernyók általi kártétel mértékét. A lokális és táji hatások ráadásul nem csak a madarakra, hanem a lombfogyasztó rovarokra is hatást gyakorolhatnak, ezáltal is befolyásolva a madarak és a hernyók közötti táplálkozási kapcsolatok intenzitását. Az erdő táji és szerkezeti jellemzői, valamint a madarak és hernyók közösségei tehát egy összetett rendszert alkotnak, melyet a predáció és a herbivória folyamatai kapcsolnak össze. A környezeti (klímaváltozás) és társadalmi változások (erdőgazdálkodás) további jelentős hatást gyakorolnak e rendszer elemeire, mely végsős soron az egész rendszerre kihat, növelve annak sérülékenységét. A fenntartható erdőgazdálkodás megteremtéséhez tehát elengedhetetlen a kártevő-szabályozás mechanizmusának rendszerszintű megértése.

Bár az erdő szerkezeti tulajdonságainak, valamint a tágabb táji környezetnek a madarakra gyakorolt hatása régóta kutatott téma csakúgy, mint a madarak hernyófogyasztása, ezek együttes, rendszerszintű kutatása rendkívül ritka. Ennek egyik oka kétség kívül a predáció mérésének, számszerűsítésének a

nehézsége terepi körülmények között. A gyurmából készült álpréda (pl. műhernyó) alkalmazásával ugyan történtek a rendszer több elemére kiterjedő, átfogóbb kutatások, ezek nagy része azonban a trópusi, szubtrópusi élőhelyekre, valamint a tundra-tajga övre koncentrálódik. A mérsékelt övi lombhullató erdőkben zajló kártevő-szabályozás hatékonyságáról és működési mechanizmusáról ugyanakkor kevés ismerettel rendelkezünk. Jelen doktori disszertáció célja éppen ezért a madarak által nyújtott természetes kártevő-szabályozás mechanizmusának átfogó, rendszerszintű vizsgálata mérsékelt övi tölgyerdőkben. A kutatás kiterjed a madarak és hernyók faj- és egyedszámaira, a köztük lévő táplálkozási kapcsolat intenzitására, a hernyók általi lombvesztés mértékére, valamint a lokális és táji tényezők fenti elemekre gyakorolt hatásának vizsgálatára. Az értekezés két, egymással szoros kapcsolatban álló vizsgálatot tartalmaz. Az első vizsgálat célja az erdőheterogenitás és az egyes erdőszerkezeti változók hatásának feltárása a madarak-hernyók-növények közötti táplálkozási kapcsolatok intenzitására. Elemzésünk két lépésből állt. Elsőként homogén és heterogén erdőtípusok közötti különbségek kimutatására törekedtünk. Feltételeztük, hogy a heterogén vegetációs szerkezetű erdők a rovarevő énekesmadarak magasabb faj- és egyedszámát tartják fenn, mint a homogén területek, s ezáltal magasabb predációs rátával, alacsonyabb hernyó-egyedszámmal és alacsonyabb levélkárral jellemezhetők. A vizsgálat második részében a heterogén és homogén erdőtípusokat összevontan kezeltük és az egyes erdőszerkezeti változók kártevő-szabályozásra gyakorolt hatásának feltárására törekedtünk. Főbb hipotéziseink a következők:

- 1) A természetes/természetközeli erdőkre jellemző szerkezeti elemek (pl. gazdag cserjeszint, álló és fekvő holtfa jelenléte, elegyesség, idős fák megléte, stb.) pozitív hatást gyakorolnak a rovarevő énekesmadarak faj- és egyedszámaira, valamint negatív hatást a lombfogyasztó hernyók faj- és egyedszámaira.

- 2) A rovarrevő énekesmadarak faj- és egyedszámának növekedése a heterogén erdőszerkezetű élőhelyeken magasabb predációs rátát eredményez.
- 3) A magasabb predációs ráta következtében alacsonyabb a hernyók egyedszáma és ennek következtében csökken a hernyók általi rágáskár.
- 4) A heterogén és homogén erdőterületek fajkészlete eltér egymástól mind a madarak, mind a hernyók esetében. A fajösszetételt erősen befolyásolják az egyes szerkezeti változók.

Az értekezés második részében az erdőszegély, mint táji struktúra hatását vizsgáltuk a rovarrevő énekesmadarak faj- és egyedszámára, valamint a madarak általi predációs rátára. A madarak és hernyók közötti táplálkozási kapcsolat finom térléptékű mintázatának feltárása érdekében négy különböző távolságot vizsgáltunk az erdőszegélytől az erdőbelső felé haladva. Az alábbi hipotéziseket teszteltük:

- 1) A rovarrevő énekesmadarak egyedszáma magasabb az erdőszegélyben, mint az erdőbelsőben.
- 2) A predációs ráta pozitívan korrelál a madarak egyedszámával, így követi a madarak egyedszám-változásait az erdőszegélytől az erdőbelső irányába haladva.
- 3) Az erdőszegély jelentős hatást gyakorol a rovarrevő énekesmadarak egyedszámára.
- 4) A rovarrevő énekesmadarak egyedszám-változásai a szegélytől az erdőbelső felé haladva az erdőszerkezet változásaival állnak kapcsolatban.
- 5) Továbbá feltételezzük, hogy mind a predációs ráta, mind a madarak egyedszáma lineárisan változik az erdőszegélytől mért növekvő távolsággal.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

2.1. I. Vizsgálat

2.1.1. Vizsgálati területek, mintavételi elrendezés

Mintavételi területeink a Bükk Nemzeti Park Mátrai Tájvédelmi Körzetének részét képező Déli-Mátra területén helyezkedtek el. Mintavételünk adott kritériumok alapján kiválasztott mintavételi fákhoz kötődött. A mintavételi fák kijelöléséhez rétegzett mintavételt alkalmaztunk, melynek első lépéseként az Állami Erdészeti Szolgálat erdészeti adatbázisából leválogattuk a mintaterület 80 évnél idősebb cseres-tölgyes állományait kizárva az északi és a merdek (> 25°) lejtőket, valamint a víz által befolyásolt területeket. A kiválasztott erdőrészeket homogén és heterogén kategóriába soroltuk. A két állománytípus elkülönítése kvalitatív döntésen alapult, amely során a faállomány-szerkezetet és a cserjeszint jellemzőit vettük figyelembe. A szisztematikusan kijelölt homogén és heterogén állományokat párba állítottuk, oly módon, hogy a területileg egymás mellett elhelyezkedő, eltérő kategóriába besorolt állományok egy párt alkossanak. A párokon belül terepi bejárás alapján kiválasztottunk egy-egy mintavételi fát, melyek ily módon szintén párt alkottak: egyik tagjuk homogén, a másik heterogén állományban helyezkedett el. A párok képzésekor figyelmet fordítottunk arra, hogy a párok közötti eltérések csak az erdőszerkezet különbségeiből adódjanak. A párok két tagja közötti távolság minimum 100, maximum 500 m volt, míg a párok közötti távolság 500-2000 m között változott. Összesen 20 fapárt, vagyis 40 fát jelöltünk ki, melyek mindegyike kocsánytalan tölgy (*Quercus petraea*) volt.

2.1.2. Adatgyűjtés

Az adatgyűjtés 2011. vegetációs periódusában zajlott és magába foglalta az erdőszerkezet kvantitatív felmérését, a predációs ráta kísérletes mérését, a

rovarevő énekesmadarak abundanciájának felvételezését, a lombfogyasztó hernyók mintavételét, valamint a hernyók általi rágáskár becslését.

A kvantitatív erdőszerkezeti felmérés során a fafaj-összetételt, valamint a faállomány-szerkezet és a cserjeszint jellemzőit mértük fel. A terepen mért adatokból az alábbi erdőszerkezeti változókat számoltuk:

- *fafaj-összetétel*: fafajsám (db/ha)
- *faállomány-szerkezet*: törzsszám (db/ha), nagy fák (DBH > 40 cm) denzitása (db/ha), körlapösszeg (m²/ha), átlag DBH (cm), méret szerinti heterogenitás, holtfa mennyisége (m³/ha), odvas fák száma (db/ha), lombkorona záródás (%), egészségi állapot
- *cserje- és lágyszárúsint*: cserjedenzitás (db/ha), cserjék fajszáma (db/ha), cserjeborítás, lágyszárú szint borítása

A predációs ráta mérésére gyurmából készült álprédát alkalmaztunk, melyet a kis téliaraszoló (*Operophtera brumata*) 5. stádiumú hernyójának mintájára formáztunk. A kijelölt mintafák ágaira 15 álprédát rögzítettünk, melyeket hat nap elteltével begyűjtöttünk és laborba szállítottunk, ahol a predációs nyomokat mikroszkóp alatt azonosítottuk. A predációs rátát a csőrnyomot tartalmazó álprédák összes álprédához viszonyított arányaként adtuk meg minden mintafa esetén.

A madarak abundancia becslésére a mintafák körül 100 m sugarú körben pontszámlálást végeztünk. Minden ponton 10 percet töltve akusztikus és vizuális megfigyelés alapján jegyeztük fel a mintakörön belül tartózkodó madarakat. Az elemzésbe azon madárfajokat vontuk be, amelyek legalább az év bizonyos szakaszában (pl. költési időszak) hernyófogyasztók, illetve fiókáikat hernyóval táplálják, s így az álprédák potenciális predátorai lehetnek.

A hernyók mintavételezése céljából lombmintákat vettünk, melyhez minden mintafa körül random módon öt kocsánytalan tölgyet jelöltünk ki. A kijelölt fákról egy 30 cm-es ágat vágunk le teleszkópos ágvágó segítségével. A

lombmintákat zacskóba helyeztük és laborba szállítottuk, ahol a hernyókat kiválogattuk majd fajszinten határoztuk. A lombmintából gyűjtött hernyók abundanciáját a levélszámra standardizáltuk és 100 levélre jutó egyedszámként adtuk meg.

A hernyók által okozott rágáskár becslése a hernyók mintavételekor levágott lombmintákból történt. Minden minta esetén feljegyeztük a levelek teljes számát, valamint a rágott levelek mennyiségét. Rágottnak minősítettük a levelet, amennyiben a teljes levélfelület legalább 5 %-a hiányzott. A rágáskárt a rágott levelek százalékos arányaként adtuk meg.

2.1.3. Adatfeldolgozás

A statisztikai elemzést három lépésben végeztük. Elsőként a markánsan eltérő állományszerkezet élőlényekre (madarak és hernyók) és ökológiai folyamatokra (predáció) gyakorolt hatását vizsgáltuk. Az elemzés ezen szakaszában a fapárok homogén, illetve heterogén tagját külön csoportként kezeltük. A párok közötti kvalitatív döntés alátámasztására lineáris diszkriminancia analízist (LDA) végeztünk az összes vizsgált erdőszerkezeti változó bevonásával. Az LDA alapján képzett osztályozás segítségével ellenőriztük az apriori osztályozás helyességét. Ezt követően a fapárok homogén és heterogén tagja közötti különbségek kimutatására Student's t-tesztet alkalmaztunk. Az elemzés második szakaszában a vizsgált élőlénycsoportok és ökológiai folyamatok közötti interakciók vizsgálatára törekedtünk általános lineáris kevert modellek (GLMM) alkalmazásával. Az elemzés e szakaszában a fapárok homogén és heterogén tagjait összevontuk, és az egyes erdőszerkezeti változók élőlénycsoportokra gyakorolt hatását külön-külön vizsgáltuk. Az elemzés utolsó lépéseként az erdőheterogenitás és az egyes erdőszerkezeti változók fajösszetételre gyakorolt hatását elemeztük. A heterogén és homogén állományokban tapasztalható fajösszetétel különbségeinek kimutatására indikátorfaj-elemzést végeztünk, majd ezt követően redundancia-analízis (RDA) alkalmazásával vizsgáltuk az

egyedőszerkezeti változók és a fajösszetétel közötti összefüggéseket. Külön elemeztük az egyes erdőszerkezeti változók rovarevő énekesmadarakra és lombfogyasztó hernyók közösségeire gyakorolt hatását. Az elemzéseket R 2.13.0 statisztikai program „MASS”, „nlme”, „gplots” és „vegan” csomagjaival végeztük.

2.2. II. Vizsgálat

2.2.1. Vizsgálati területek, mintavételi elrendezés

Vizsgálati területeink a Duna-Dráva Nemzeti Park Zselicségi Tájvédelmi Körzetének területén helyezkedtek el. Erdészeti adatbázisok valamint előzetes terepi bejárás alapján négy erdőrészt választottunk, melyek markáns erdőszegéllyel rendelkeztek. A kiválasztott erdőrészekben négy, egyenként 100 m hosszú transzektet jelöltünk ki a szegélyben, valamint attól 10, 25, ill. 50 m-re. E transzekték mentén történt a rovarevő énekesmadarak abundancia becslése, a predációs ráta kísérletes vizsgálata, valamint az erdőszerkezeti változók felmérése.

2.2.2. Adatgyűjtés

Az adatgyűjtés 2013 vegetációs periódusában zajlott és magába foglalta az erdőszerkezet kvantitatív felmérését, a predációs ráta kísérletes mérését és a rovarevő énekesmadarak abundanciájának felvételezését.

A predációs ráta számszerűsítésére gyurmából készült álprédát használtunk, melyeket 10-es csoportokban rögzítettünk a mintafákon. A mintafáink a kijelölt transzekték mentén, egymástól 25 m távolságra helyezkedtek el. Ezt követően az első vizsgálatban leírtak szerint jártunk el. A predációs rátát a csőrnyomot tartalmazó álprédák összes álprédához viszonyított arányaként adtuk meg minden mintafa esetén.

A rovarevő énekesmadarak abundancia becslésére a szegéllyel párhuzamos 100 m hosszú transzektet használtuk. A transzekték mentén lassú

egyenletes sebességgel (kb. 1–1,5 km/h) haladva akusztikus és vizuális megfigyelés alapján jegyeztük fel a transzekt mindkét oldalától 5 m távolságon belül tartózkodó madarakat. Az elemzésbe azon madárfajokat vontuk be, amelyek legalább az év bizonyos szakaszában (pl. költési időszak) hernyófogyasztók, illetve fiókáikat hernyóval táplálják, s így az álprédák potenciális predátorai lehetnek.

Az erdőszerkezeti felmérést a transzekttek mentén random módon kijelölt mintanégyszetekben (10 x 25 m) végeztük. A terepen mért adatokból az alábbi erdőszerkezeti változókat adtuk meg:

- *fafaj-összetétel*: fafajsám (db/ha)
- *faállomány-szerkezet*: törzssám (db/ha), körlapösszeg (m^2/ha), átlag DBH (cm), méret szerinti heterogenitás (a törzssám-mérő variációs koefficiense)
- *cserje- és lágyszárúsint*: cserjedenzitás (db/ha), cserjesint borítása (%)

2.2.3. Adatfeldolgozás

A statisztikai elemzés során a szegélytől való távolság biológiai változókra (madárabundancia, predációs ráta, erdőszerkezeti változók) gyakorolt hatását és a biológiai változók közötti összefüggéseket egyaránt elemeztük. Az egyes biológiai változók közötti összefüggéseket lineáris kevert modellekkel (GLMM) vizsgáltuk, a szegélyhatás tesztelésére pedig egytényezős varianciaanalízist (ANOVA, Tukey *post hoc* teszt) alkalmaztunk. Az elemzéseket az R 2.13.0 statisztikai program „nlme” csomagjával végeztük.

3. EREDMÉNYEK

3.1. I. vizsgálat

3.1.1. A biológiai változók mért értékei

Az álprédákon 27,5%-os predációs rátát rögzítettünk. A predáció 81%-át a madarak adták. Ízeltlábúak mandibulájának nyomait az álprédák 43,2%-án találtuk, míg a nyomok 1,2%-a azonosítatlan maradt. Az álprédák 25,3%-a több, mint egy nyomot tartalmazott. A 40 mintavételi ponton összesen 31 madárfajta rögzítettünk, melyek közül 26 rovarevő, vagyis a hernyók potenciális predátora. A rovarevő énekesmadarak átlagos abundanciája 7,58 egyed/mintapont volt, átlagos fajszámuk pedig 5,28 faj/mintapont. A mintaterületeken összesen 20 fajba tartozó hernyót rögzítettünk, melyek közül 19 a Lepidoptera, 1 pedig a Hymenoptera rendbe tartozott. A hernyók átlagos egyedszáma 1,28 egyed/100 levél volt az átlagos fajszámuk pedig 0,71 faj/100 levél. A rágott levelek átlagos aránya a mintákban 0,49 volt.

3.1.2. A homogén és heterogén állományok különbségei

A kvalitatív módon kijelölt homogén és heterogén állományok szétválását az LDA kvantitatív módon megerősítette. Az apriori és az aposteriori osztályozás az objektumok 85 %-nál megegyezett.

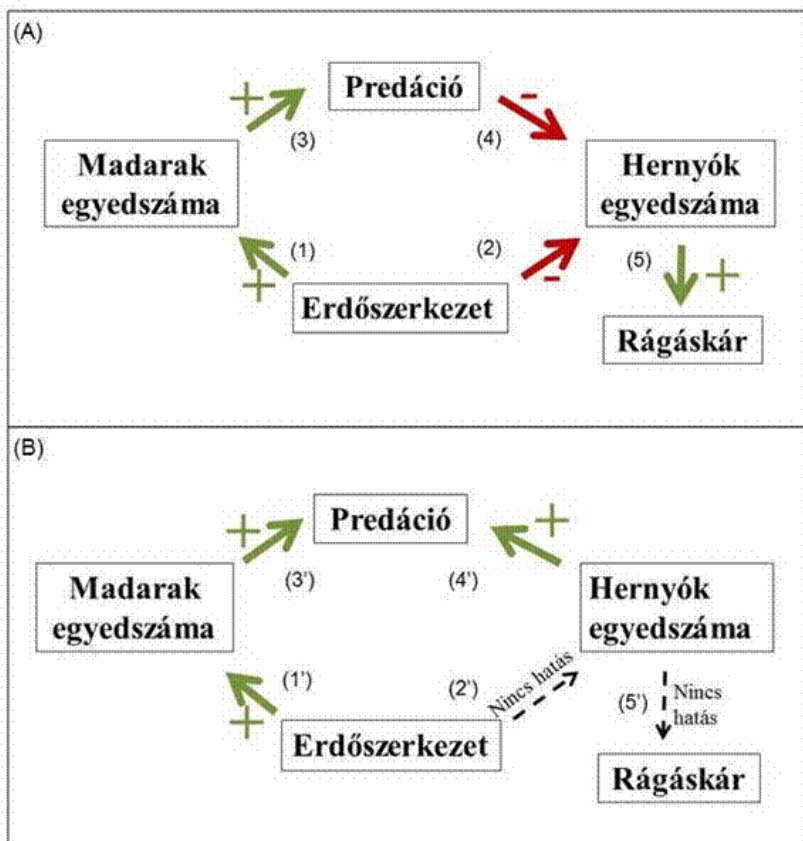
A heterogén és homogén állományok között jelentős szerkezeti különbségeket tártunk fel a Student's t-teszt alapján. A különbségek elsősorban a faállomány-szerkezetet és a cserjeszintet érintették. A faállomány szerkezeti jellemzői közül a 40 cm mellmagassági átmérőt meghaladó nagy fák denzitása, a fák méret szerinti heterogenitása, valamint az odúk száma szignifikánsan magasabb volt a heterogén állományokban, mint a homogén területeken. A cserjeszint jellemzői közül a cserjedenzitás, a cserjék fajszáma és borítása egyaránt szignifikánsan nagyobb értéket mutatott a heterogén területeken. Ezzel szemben a fafajszám, a törzsszám, a körlapösszeg, az átlag

DBH, a holtfa mennyisége, a lombkorona záródás és az állományok egészségi állapota nem tért el jelentősen a két állománytípus között.

A heterogén szerkezetű erdők továbbá a rovarrevő énekesmadarak szignifikánsan nagyobb faj- és egyedszámát tartották fenn, mint a homogén állományok. Ezzel párhuzamosan a heterogén szerkezetű erdők jelentősen alacsonyabb rágáskártól szenvedtek. A predációs ráta és a hernyók faj- ill. egyedszáma ugyanakkor nem különbözött a két állománytípus között.

3.1.3. A vizsgált élőlénycsoportok közötti interakciók

Az erdőszerkezet és a vizsgált élőlénycsoportok közötti feltételezett és tapasztalt összefüggéseket az 1. ábra foglalja össze. Hipotézisünknek megfelelően az erdőszerkezet jelentős hatást gyakorolt a rovarrevő énekesmadarak egyedszámára, ugyanakkor nem befolyásolta a hernyók abundanciáját (1,2). A vizsgált erdőszerkezeti változók közül a fák méret szerinti heterogenitása és az elegyesség bizonyult a legfontosabbnak a madarak szempontjából, vagyis e szerkezeti jellemzők növelték meg leginkább a madarak egyedszámát. A madarak abundanciájának növekedése maga után vont a predációs ráta növekedését is (3). A nagyobb predációs nyomás ugyanakkor nem vezetett a hernyóabundancia közvetlen csökkenéséhez (4). Hipotézisünkkel ellentétben a predációs ráta és a hernyóabundancia között egy ellentétes irányú hatást fedeztünk fel. Nevezetesen a predációs ráta pozitívan függött a hernyók egyedszámától (4'). Vagyis a madarak ott táplálkoztak, ahol magas volt a hernyók egyedszáma. A hernyók egyedszáma és a rágáskár között feltételezett összefüggést a lineáris modellek nem igazolták (5).



1. ábra. A vizsgált rendszer elemei közötti feltételezett hatások (A), valamint a vizsgálat eredményei alapján kirajzolódó kapcsolatok (B). A nyilak a feltételezett, illetve mért hatások irányát mutatják a rendszer elemei között. A + pozitív hatást, a – pedig negatív hatást jelent.

3.1.4. Az erdőszerkezet fajösszetételre gyakorolt hatása

Az indikátorfaj-elemzés csekély különbségeket tárt fel a heterogén és homogén állományok fajösszetételében. Mind a rovarevő énekesmadarak, mind a lombfogyasztó hernyók közösségét tekintve egy-egy faj kötődött egy adott állománytípushoz. A madarak esetén az örvös légykapó (*Ficedula albicollis*) szignifikánsan nagyobb gyakorisággal fordult elő a heterogén állományokban, mint a homogén szerkezetű erdőkben. Ezzel szemben a hernyófajok közül a

vadgesztenye-araszoló (*Alsophila aescularia*) a homogén állományokhoz kötődött.

Az RDA ordináció a madarak esetén a faj környezeti változók korrelációját 75,32%-ban magyarázta meg. Az első két tengelyhez kapcsolódó stresszértékek 0,06 és 0,05 voltak. Ezek a tengelyek 84,04%-át magyarázták a faj-adatbázishoz köthető kumulatív varianciának és 40,63%-át a fajok és az erdőszerkezeti változók közötti kapcsolatoknak. Kevés faj kötődött sajátos szerkezeti feltételekhez. A legerősebb kötődés a nagy fakopáncs (*Dendrocopus major*) esetén mutatkozott, amely gyakrabban fordult elő a nagyobb körlepősszeggel jellemezhető állományokban. A hernyók esetében az RDA ordináció a faj – környezeti változók korrelációját 65,70 %-ban magyarázta meg és az első két tengelyhez kapcsolódó stresszértékek 0,03 és 0,02 voltak. Ezek a tengelyek 99,92 %-át magyarázták a faj-adatbázishoz köthető kumulatív varianciának és 99,43 %-át a fajok és az erdőszerkezeti változók közötti kapcsolatoknak. A rovarévó énekesmadarakhoz hasonlóan a hernyók esetében is kevés faj kötődött sajátos szerkezeti feltételekhez. A madarakkal szemben azonban elmondható, hogy egyes hernyófajok gyakorisága a heterogenitást jelző erdőszerkezeti változók értékeinek növekedésével csökken. A *Mesoneura opaca* például az elegyetlen állományokhoz kötődött, a vadgesztenye-araszoló pedig azokban az állományokban fordult elő nagyobb gyakorisággal, ahol a fák méret szerinti heterogenitása alacsonyabb volt.

3.2. II. vizsgálat

3.2.1. Predációs ráta

Az álprédákon 19,06%-os átlagos predációt mértünk. A madarak a predáció 66%-át adták. Ragadozó ízeltlábúak mandibula nyomait az álprédák 27,86 %-án találtuk meg, kisemlősök fognyomait a prédák 0,32%-án regisztráltuk, míg a nyomok 3,28 %-a azonosítatlan maradt. A predációs ráta pozitívan függött a rovarévó énekesmadarak egyedszámától, továbbá a szegélytől mért távolság

szintén jelentősen befolyásolta a predáció mértékét, ez a hatás azonban nem lineáris. A szegélyben mért predációs ráta szignifikánsan magasabb volt, mint a szegélytől 10, illetve 25 m-re tapasztalt érték. Az erdőszegély és az erdőbelső között ugyanakkor nem mértünk szignifikáns különbséget. Az erdőbelsőben mért predációs ráta továbbá az átmeneti távolságokon mért értékektől sem tért el szignifikánsan.

3.2.2. Madárabundancia

A négy erdőállományban összesen 15 madárfaj 77 egyedét azonosítottuk. Az átlagos madárabundancia 3,38 egyed volt transzektenként, míg az átlagos fajszám 2,75 faj/transzekt volt. A rovarévó énekesmadarak abundanciája szignifikáns változást mutatott az erdőszegélytől mért távolság függvényében, ez a változás azonban – a predációs rátához hasonlóan – nem lineáris. Az egyes távolságok közötti többszörös összehasonlítás kimutatta, hogy a madárabundancia az erdőbelsőben volt a legmagasabb, míg a szegélytől 10, illetve 25 m-re a legalacsonyabb. A szegélyek a madarak nagyobb abundanciáját tartották fenn, mint az átmeneti távolságok, de alacsonyabbat, mint az erdőbelső. Az erdőszegélytől mért távolságon túl az erdőszerkezet szintén hatást gyakorolt a rovarévó énekesmadarak abundanciájára. A fafajszám és a körlapösszeg a madárabundanciát szignifikánsan negatívan befolyásolta. Mindkét erdőszerkezeti változó szignifikánsan függött a szegélytől mért távolságtól. Az erdőszegély a fafajszám és a körlapösszeg mellett a fák egyedszámára szignifikáns, az átlag DBH-ra pedig marginális szignifikáns hatást gyakorolt. Ez utóbbi két erdőszerkezeti változó és a madárabundancia között azonban nem mutattunk ki összefüggést.

3.3. Új tudományos eredmények

1. Magyarországon elsőként alkalmaztam gyurmából készült álprédát a hernyókra nehezedeő predációs nyomás kísérletes mérésére. A módszert előkísérletek révén pontosítottam és sikeresen alkalmaztam mérsékelt övi tölgyesekben, ahonnan ez idáig nem rendelkezünk álprédán mért predációs adatokkal.
2. A módszer alkalmazásával lehetőségem nyílt a madarak, a hernyók és a rágáskár közötti kapcsolatok kísérletes vizsgálatára, valamint az erdőszerkezet és az erdőszegély e kapcsolatrendszerre gyakorolt hatásának feltárására. E komplex megközelítés nemzetközi szinten is újszerűnek számít.
3. Megállapítottam, hogy a predációs ráta pozitívan függ a rovarévő énekesmadarak egyedszámától, valamint a hernyók egyedszámától is.
4. Kimutattam, hogy az erdőszerkezet jelentős hatást gyakorol a rovarévő énekesmadarak egyedszámára és a hernyók általi rágáskárra. Eredményeim szerint a heterogén szerkezetű erdők a rovarévő énekesmadarak szignifikánsan magasabb egyedszámát tartják fenn és ezzel együtt alacsonyabb rágáskártól szenvednek.
5. Kimutattam, hogy a vizsgált erdőszerkezeti változók közül a faállomány méret szerinti heterogenitása növeli meg leginkább a madarak egyedszámát és ezzel együtt a predációs rátát. Ez alapján az erdőkezelés jelentősen hozzájárulhat az egészségesebb erdők fenntartásához és a biotikus erdőkárok mérsékléséhez a térben heterogén fahasználat megvalósításával és az idős facsoportok megtartásával.
6. Az erdőszerkezet a madarak és hernyók egyedszám-viszonyain túl fajösszetételüket is befolyásolja. Eredményeim a harkályfajok (különösen a nagy fakopáncs) magas körlepősszeghez való erős kötődéséről tanúskodnak. További madárfajok esetében mutattam ki heterogenitást jelző szerkezeti elemekhez való kötődést (pl. sárgarigó – elegyesség, vörösbegy –

cserjeszint). Ezzel szemben egyes hernyófajok (pl. vadgesztenye-araszoló) gyakorisága a heterogenitást jelző erdőszerkezeti változók értékeinek növekedésével csökkent.

7. A lokális erdőszerkezeti változók mellett az erdőszegélyek madarakra és madarak általi predációs rátára gyakorolt hatását is vizsgáltam. A szegélyektől való távolság függvényében egy nem várt mintázatot tapasztaltam. Nevezetesen a szegély és az erdőbelső egyaránt magas madárabundanciát és predációs rátát tartott fenn, ám a szegélytől távolodva mindkét érték jelentősen lecsökkent. A madarak egyedszáma az erdőbelsőben volt a legmagasabb, míg a predációs ráta esetén a szegély és az erdőbelső nem különbözött szignifikánsan. Ebből arra következtethetünk, hogy a madarak a fragmentált táj erdőszegélyeiben is képesek jelentős predációs nyomást gyakorolni a hernyópopulációkra.

4. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS GYAKORLATI JAVASLATOK

A rovarévó énekesmadarak a lombfogyasztó hernyók hatékony predátorainak bizonyultak. Az értekezés predációs vizsgálataiban a hernyókat ért teljes predációs nyomás 60–80%-ért a madarak feleltek. A predációs ráta elsősorban a madarak egyedszámától függött, míg a fajszám és fajösszetétel nem gyakorolt rá jelentős hatást. Vagyis a madarak magas egyedszámának fenntartása egyben magas predációs rátát jelent. A predációs nyomás növekedése ugyanakkor jelen vizsgálatunkban nem vonta maga után a hernyóabundancia csökkenését, így a madarak közvetlen populációcsökkentő hatását nem igazoltuk. A hernyókra gyakorolt negatív hatás hiányának magyarázatául szolgálhat a Sothwood és Comins által kidolgozott szinoptikus populáció modellel. A modell szerint ugyanis a generalista predátorok, mint például a rovarévó énekesmadarak prédát korlátozó hatása magas prédadenzitásnál nem jelenik meg. A préda nagy

egyedsűrűsége esetén más tényezők, mint például az éhezés, vagy betegségek okozzák a populáció összeomlását. Valószínűsíthető tehát, hogy a madarak által nyújtott kártevő-szabályozás nem a nagy egyedsűrűség visszaszorítását jelenti, hanem sokkal inkább egy alacsony populációdensitás fenntartását és ezzel a gradációs periódusok közötti időtartam elnyújtását. Az alacsony hernyódensitásnál tapasztalható magas predációs ráta tehát nem okozza a hernyópuláció közvetlen csökkenését, ugyanakkor megakadályozhatja további növekedését. Ezt a feltételezést erősíti meg az az eredményünk, ami szerint a madarak általi predációs nyomás leginkább azokon a területeken magas, ahol magasabb a hernyóabundancia. Más szóval a madarak numerikus választ mutattak a hernyóabundancia változásaira. A madarak jelenléte és táplálkozási aktivitása ugyan nem jelentette a hernyóabundancia csökkenését, ugyanakkor a magas madárabundanciával jellemezhető területek alacsonyabb levélkártól szenvedtek. Ebből arra következtethetünk, hogy a madarak magas aktivitása csökkentette a hernyók rágását. A madarak tehát közvetve pozitív hatást gyakoroltak a fák egészségi állapotára, így erdővédelmi jelentőségük megerősítést nyert.

A fenti eredményekből megállapítható, hogy a hatékony kártevő-szabályozás kulcsa a madarak magas egyedszámának fenntartása. A madarak egyedszáma ugyanakkor erősen függ a lokális és táji hatásoktól. Dolgozatunkban az erdőheterogenitás valamint az erdőszegélyek madarakra gyakorolt hatását vizsgáltuk. Megállapíthatjuk, hogy a heterogén területek a rovarevő énekesmadarak szignifikánsan magasabb egyedszámát tartják fenn és ezzel párhuzamosan alacsonyabb rágáskártól szenvednek, mint a homogén szerkezetű erdőállományok. Az egyes szerkezeti paraméterek közül a fák méret szerinti heterogenitása és az elegyesség bizonyult a legfontosabbnak. Vagyis e szerkezeti jellemzők növekedése növeli meg leginkább a madarak egyedszámát és közvetve a predációs rátát. A térbeli heterogenitás és az elegyesség fenntartása tehát hatékonyabb kártevő-szabályozást vonhat maga után. Az

európai erdőkben uralkodó vágásos üzem ugyanakkor homogén erdőszerkezetet eredményez, amely eredményeink szerint alacsonyabb madárabundanciát tart fenn és magasabb rágáskártól szenved. A vágásos üzemben kezelt erdők esetén a heterogenitás növelésének lehetséges módja a térben heterogén fahasználat, a hagyásfacsoportok fenntartása, valamint a regenerációs periódus elnyújtása. Magyarországon például az elmúlt években jelentős előrelépés történt a folyamatos erdőborítás melletti gazdálkodás irányába. Ez az erdőkezelési mód magába foglalja a szálalásos gazdálkodást, amely egy vegyeskorú állomány létrejöttét eredményezi, ahol minden korcsoport képviselteti magát. Vizsgálatunkban a fák méret szerinti heterogenitása növelte leginkább a kártevő-szabályozás hatékonyságát, így bármely kezelési mód, amely a heterogenitást e fajtáját növeli, kedvező hatást gyakorol az erdő egészségi állapotára.

A doktori értekezésben a lokális szerkezeti jellemzők mellett az erdőszegélyek madarakra gyakorolt hatását is vizsgáltuk. Megállapíthatjuk, hogy az erdőszegélyektől az erdőbelső felé haladva a madarak egyedszáma és a predációs ráta egyaránt jelentősen változik, ez a változás ugyanakkor nem lineáris. A szegélyben és az erdőbelsőben egyaránt magas predációs rátát és madárabundanciát mértünk, míg a köztes távolságokon mindkét érték jelentősen alacsonyabbnak bizonyult. Ennek az érdekes eredménynek az általánossága további kutatásokat igényel. A szegély és az erdőbelső magas madárabundanciája arra enged következtetni, hogy mind a szegély, mind az erdőbelső kedvező élőhely a rovarvő énekesmadarak számára. A madarak tehát a magas predációs ráta fenntartásával a fragmentált táj erdőszegélyében is képesek hatékony kártevő-szabályozást nyújtani.

5. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

IF-os folyóiratcikk:

Berezki, K., Ódor, P., Csóka, Gy., Mag, Zs., Báldi, A. (2014): Effects of forest heterogeneity on the efficiency of caterpillar control service provided by birds in temperate oak forests. *Forest Ecology and Management* **327** (1): 96–105.

IF: 2,667

Berezki, K., Hajdu, K., Báldi, A. (2015): Effects of forest edge on pest control service provided by birds in fragmented temperate forests. *Acta Zoologica Academiae Scientiarum Hungarica* **61** (3): 289–304.

IF: 0,263

Nem IF-os folyóiratcikk (magyar nyelvű):

Berezki, K., Báldi, A. (2011): A biológiai védekezés hazai és nemzetközi trendjei. *Biokontroll* **2** (1): 13–18.

Konferencia kiadványban megjelent absztrakt (idegen nyelvű):

Berezki, K., Báldi, A. (2011): The main trends in biological control: an analysis of papers published in the journal *Biological Control*. – Central and South Eastern Europe Conference, 2011. April 28–29., Gödöllő, Hungary.

Berezki, K., Csóka, Gy., Ódor, P., Báldi, A. (2011): Estimating avian predation intensity on caterpillars using artificial prey in temperate oak forests. – 12th European Ecological Federation Congress (EEF), 2011. September 25–29., Ávila, Spain. Abstract Book p. 289.

Berezki, K., Csóka, Gy., Ódor, P., Báldi, A. (2012): Birds as control agents of caterpillars in oak forests. – Annual Conference of British Ornithologist's Union (BOU), 2012. április 3–5., Leicester, UK. BOU Proceedings – Ecosystem services: Do we need birds? <http://www.bou.org.uk/bouproc-net/ecosystem-services/berezki-et-al.pdf>

Berezki, K., Báldi, A. (2012): The role of ecosystem services in the biological control research. – 3rd European Congress of Conservation Biology (ECCB), 2012. August 28 – September 1., Glasgow, UK. Abstract Book p.15.

Berezki, K., Hajdu, K., Báldi, A. (2015): Effects of forest edge on pest control service provided by birds in fragmented temperate forests. – ICCB: 27th International Congress for conservation Biology, 4th European Congress for Conservation Biology, 2015. August 2–6., Montpellier, France. Abstract Book. p. 58. (P)

Konferencia kiadványban megjelent absztrakt (magyar nyelvű):

- Bereczki, K.,** Csóka, Gy., Ódor, P., Báldi, A. (2011): A madarak szerepe a hernyókártevők elleni védekezésben tölgyesekben. VII. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia (MTBK), 2011. november 3–6., Debrecen. Program és absztrakt-kötet p. 41.
- Bereczki, K.,** Báldi, A. (2011): A biológiai védekezés hazai és nemzetközi trendjei. – VII. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia (MTBK), 2011. november 3–6., Debrecen. Program és absztrakt-kötet p. 93.
- Hajdu, K., **Bereczki, K.,** Báldi, A. (2013): Énekesmadarak hernyófogyasztása tölgyesek szegélyeiben. – 5. Szünzoológiai Szimpózium (SZÜSZI), 2013. március 22., Vácrátót. Programfüzet; Előadások és poszterek összefoglalói p. 19.
- Molnár, D., **Bereczki, K.,** Báldi, A. (2013): Gyapjaspille (*Lymantria dispar* L.) petecsomók elhelyezkedésének vizsgálata Balatoncsicsón. – 5. Szünzoológiai Szimpózium (SZÜSZI), 2013. március 22., Vácrátót. Programfüzet; Előadások és poszterek összefoglalói p. 25.
- Bereczki, K.,** Molnár, D., Csóka, Gy., Báldi, A. (2014): A gyapjaspille (*Lymantria dispar* L.) petecsomóinak predációját befolyásoló tényezők három eltérő erdei élőhelyen. – IX. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia (MTBK), 2014. november 20–23., Szeged. Absztrakt-kötet. p. 38–39.