

**Az urbanizáció hatása a talajfelszíni
ízeltlábúakra, különös tekintettel a
futóbogarakra (Coleoptera: Carabidae)**

MTA Doktori értekezés tézisei

Magura Tibor

2011

dc_140_10

1. Bevezetés, célkitűzés

Az urbanizáció folyamata a városok térbeli és népességbeli növekedését, valamint a városi életforma terjedését jelenti. Az urbanizáció hatására az eredeti, természetes környezettől eltérő táj formálódik, amelyben új, mesterségesen létrehozott élőhelyek keletkeznek (Antrop 2000). Az urbanizáció és a vele járó környezet-átalakító tevékenység csak néhány száz éve vált érzékelhetővé. Az emberiség létszáma folyamatosan növekszik, de a 19. századi ipari forradalom és a 20. századi technológiai áttörések gyorsították fel a városok növekedését és fejlődését. Napjainkban már majdnem 7 milliárd ember él a Földön és az egyre fokozódó emberi hatások és lehetséges következményei miatt az urbanizáció mind a kutatók, mind a tervezők és döntéshozók figyelmének középpontjába került (Wilson 2002). Az emberek fele, több mint 3,4 milliárd ember városokban él, az iparosodott államokban ez az arány már a 80 százalékot is eléri. A városiasodott területek aránya világszerte robbanásszerűen emelkedik, megalapozva azt a feltételezést, hogy 2025-re az emberiség több mint 60 %-a városlakó lesz (Antrop 2000).

Az emberi tevékenységek sokfélesége az élőhelyek változatosságát alakítja ki és tartja fenn a városokban, a szinte természetes élőhelyektől az erőteljesen átalakított élőhelyekig megtalálható mindenféle típus (Niemelä 1999). Az emberi hatások intenzitása alapján a városokban tapasztalható változatos tájhasználati típusok öt főtypusát különböztethetjük meg az eredeti természetes környezettől az emberek által erőteljesen átalakított városközpontig húzódó kontinuum mentén. A gradiens városon kívüli végén, a rurál területen, a természetes táj mátrixát a nem telepített és nem kezelt őshonos élőhelyek alkotják. A következő típus a kezelt tájforma, telepített és/vagy kezelt őshonos vagy nem őshonos fajok alkotta élőhelyekkel. A kontinuum közepén a művelt táj helyezkedik el, melyet mezőgazdasági területek alkotnak, melyek lehetnek szántóföldek vagy legelők. A szuburbán tájat a házak, udvarok és utak alacsony-mérsékelt sűrűsége jellemzi. A gradiens városi, urbán vége jellemezhető a legintenzívebb emberi hatással és ezt a tájformát a sűrűn elhelyezkedő lakó- és üzleti épületek, utak és egyéb aszfaltozott felszínek uralják (Forman és Godron 1986). Ez a rurál - urbán gradiens, amely a világ minden városában hasonló formában megjelenik, kitűnő lehetőséget biztosít a humán hatások intenzitásának élővilágra gyakorolt hatásainak vizsgálatához (McDonnell és mtsai. 1997).

A fokozódó urbanizáció hatására a környezeti feltételek is megváltoznak, amely az abiotikus faktorok szintjén is megnyilvánul. A rurál területek felől a városok központja felé haladva nő az emberek létszáma és sűrűsége, az utak sűrűsége, a levegő és talajszennyezés, a

mesterségesen létrehozott felszínek (járda, sétány, út, épületek) aránya. Az urbán területek fontos forrásai az üvegházgázoknak (CO_2 , CH_4 , N_2O , CFC11 és CFC12), egyéb légszennyező anyagoknak (O_3 , NO_x , NO_3^- , NH_4^+) és a hőnek, amelyek hozzájárulnak a regionális és globális környezeti változásokhoz (McKinney 2002).

A környezeti feltételekben bekövetkező változások a természetes élőhelyek csökkenését, megszűnését is okozzák, és ennek a változásnak a mértéke drasztikusan emelkedik a városon kívülről a város központja felé haladva. Ahogyan az élőhelyek kiterjedése csökken, a megmaradt élőhelyek egyre több, kisebb, elszigetelt foltta darabolódnak (Collins és mtsai. 2000). Nem csak az épített környezet (épületek, utak, járdák, sétányok, ösvények), hanem a kezelt területek (lakossági, közösségi és egyéb rendszeresen kezelt zöld felületek), a ruderalis felszínek (beépítetlen parcellák, felhagyott mezőgazdasági területek és egyéb kiirtott, de nem kezelt zöld felületek) és a nem őshonos invázív növényfajokkal elárasztott természetes élőhelyek maradványfoltjai is alkalmatlan élőhelyek az őshonos fajok túlélése szempontjából (Whitney 1985). Ebből adódóan az élőhelyfoltok és azok együtteseinek közötti kapcsolat gyakran minimális a városokban. A foltok ugyanis izoláltak, az őshonos fajok számára lehetetlen, sőt a rossz diszperziós képességűek számára veszélyes a diszperzió (Gilbert 1989).

Jari Niemelä és munkatársai kezdeményezésére 1998 áprilisában indult el a GLOBENET projekt, egy globális hálózat a táj szerkezetében bekövetkező változások biodiverzitásra gyakorolt hatásainak értékelésére és nyomon követésére (Global Network for monitoring landscape change, Niemelä és mtsai. 2000). A projekt a világ számos pontján a hasonló tájmozaikokban folytatott urbanizációs vizsgálatainak során egyszerű, közös mintavételi módszert alkalmaz (talajcsapdázás) és azonos célcsoportot vizsgál (futóbogarak, *Coleoptera: Carabidae*) erdővel borított élőhelyeken. A futóbogarakat azért választották célcsoportként, mert fajgazdagok, morfológiailag, taxonómiaiilag, ökológiailag és viselkedésükben eléggé változatosak, tömegesek, a világ valamennyi részén jelentős szerepet töltenek be a talajfelszín faunájában, fajaik pontosan meghatározható élőhelyigénnyel rendelkeznek, könnyen gyűjthetőek és határozhatóak, megbízhatóan monitorozható szervezetek, érzékenyek a humán eredetű zavarásokra és a világ számos pontján széleskörűen tanulmányozzák őket a tájhasználattal összefüggésben (Lövei és Sunderland 1996). A projekt előrehaladtával egyéb taxonok is bekerültek a tanulmányozandó csoportok körébe (fonálférgek - *Nematoda*; százlábúak - *Chilopoda*; ikerszelvényesek - *Diplopoda*; szárazföldi csigák - *Gastropoda: Pulmonata*; pókok - *Araneae*; levéltetvek - *Aphidina*; hangyák - *Formicidae*; kétszárnyúak - *Diptera*; madarak - *Aves*, lásd Penev és mtsai. 2004). A projekt egyaránt javasolja a

populációsztű és közösségstű jellemzők vizsgálatát a rurál - urbán gradiens mentén. A mai napig a projekt keretében kilenc országból közöltek eredményeket: Belgium, Bulgária, Dánia, Finnország, Japán, Kanada, Magyarország, Nagy-Britannia és Románia (Niemelä és Kotze 2009, Magura és mtsai. 2010b).

Az urbanizáció a természetes közösségek szempontjából zavarásként jelentkezik (Rebele 1994). A zavarás közösségekre gyakorolt hatásáról több hipotézis ismert. Ezek a zavarás és diverzitás (rendszerint fajszám) viszonyának különböző aspektusait ragadják meg, így részben átfednek, részben pedig kiegészítik egymást (Tóthmérész és Magura 2009).

A mérsékelt vagy köztes zavarási hipotézis (Connell 1978) a leghíresebb és a leggyakrabban idézett, amely szerint a diverzitás növekszik az enyhén vagy mérsékelt zavarát élőhelyeken. A vizsgálati szituációban így a hipotézis az, hogy a vizsgált élőlénycsoportok fajszáma a mérsékelt zavarát szuburbán területen lesz a legmagasabb.

A növekvő zavarási hipotézis szerint a fajgazdagság folyamatosan csökken a zavarát növekedésével (Gray 1989), azaz a hipotézis szerint a vizsgált taxonok fajszáma a legkevésbé zavarát városon kívüli, rurál élőhelytől fokozatosan csökken az erősen zavarát városi élőhely felé.

A mérsékelt zavarási hipotézis és a növekvő zavarási hipotézis a közösség teljes fajszámára vonatkozik. Az ökológiai szempontból specifikusabb hipotézisek a fajkészlet alábbi felosztásán alapulnak: Teljes fajkészlet = Erdei fajok + Generalista fajok + Mátrix (nyílt élőhelyek) fajok. A zavarát elsősorban az adott élőhelyhez adaptálódott specialista élőlényeket érinti hátrányosan. A habitat specialista hipotézis szerint az eredeti, zavarátalan élőhelyekhez kötődő, ahhoz adaptálódott fajok száma vagy közösségen belüli részesedése (vizsgálati szituációkban az erdei specialista fajok) csökken az erősen zavarát, átalakított élőhelyek felé haladva (Magura és mtsai. 2004), azaz a hipotézis szerint az erdei specialista fajok száma és/vagy aránya csökken a rurál - urbán gradiens mentén.

A habitat specialista hipotézis komplementere az opportunistafaj hipotézis (Gray 1989), mely szerint erőteljes zavarát esetén az opportunistafajok válnak dominánssá a zavarát élőhelyen, azaz az opportunistafajok száma, illetve közösségbeli részesedése az erősen zavarát és jelentősen átalakított urbán élőhelyen lesz a legmagasabb.

A mátrixfaj hipotézis (Tóthmérész és mtsai. 2011) szerint a városi területeken az erdők park jellegűvé alakításával (nyílt foltok megjelenésével) a környező nyílt élőhelyek (mezőgazdasági területek és gyepek) alkotta mátrixból fajok hatolhatnak be az erdőfoltba, így ezeken az élőhelyeken a mátrixra jellemző fajok száma növekszik. A konkrét szituációkban

ez azt jelenti, hogy a nyílt élőhelyekre jellemző fajok száma vagy aránya az erősen átalakított városi élőhelyen lesz a legmagasabb.

A habitat-módosítási hipotézis magába foglalja a habitat specialista hipotézist, az opportunist fajok hipotézist és a mátrixfajok hipotézist is, de figyelembe veszi a különböző földrajzi adottságokból adódó fajkészletbeli különbségeket is (Magura és mtsai. 2008b). A hipotézis szerint az urbanizáció növekvő intenzitása az eredeti, természetközeli élőhely struktúráját megváltoztatja és átalakítja, előidézve ezáltal az erdei specialista fajok dominanciájának és jelenlétének csökkenését. Azonban, ahogyan az eredeti erdei élőhely egyre kisebb lesz, feldarabolódik, a generalista fajok és a környező mátrixból származó fajok számára lehetőség nyílik a megmaradt élőhelysziget előzönlésére (Lövei és mtsai. 2006). Azonban a regionális fajkészlet függvényében az eredeti élőhely átalakítása növelheti is és csökkentheti is a teljes fajszámot, diverzitást. Olyan földrajzi régiókban (pl. Finnországban), ahol az erdei élőhelyek alkotják a mátrixot és így kevés a generalista és nyílt élőhelyhez kötődő fajok száma, a diverzitásban jelentkező változást az erdei specialista fajok élőhely átalakításra adott válasza határozza meg. Az élőhely átalakítás hatására a teljes fajszám (diverzitás) növekedhet olyan régiókban, ahol az erdei élőhelyek a nyílt élőhelyek alkotta mátrixba vannak beágyazva (pl. Magyarország) és így sok generalista és nyílt élőhelyre jellemző faj van jelen.

A csökkenő testméret hipotézis (Szyszko 1983, Gray 1989) szerint a megváltozott környezeti feltételekkel jellemezhető, erősen zavart területeken az átalakított élőhelyeket gyorsan kolonizáló kisebb méretű egyedek dominálnak, míg a gyengén zavart, stabil, kiegyensúlyozott környezeti feltételekkel jellemezhető természetközeli élőhelyeken a nagyobb méretű egyedek lesznek többségben. Azaz a vizsgálati szituációban az erősen zavart urbán élőhelyen a vizsgált élőlények testmérete kisebb lesz, mint a kevésbé zavart rurál élőhelyen.

A homogenizációs hipotézis a városi környezetben érvényesülő környezeti feltételek konvergenciájára vonatkozik. A városok világszerte egyre hasonlóbbá válnak és a környezeti feltételek is hasonló módon változnak meg, így hasonló fajok kerülhetnek előnybe a városokban, azaz a városok fajkészlete egyre hasonlóbb lesz, azaz homogenizálódik (taxonómiai homogenizáció; McKinney 2006). A hipotézis szerint a tanulmányozott kilenc ország esetén azonos földrajzi régióban (ÉNy-Európa, DK-Európa, tengerentúl) az urbán élőhelyek faunája hasonlóbb lesz egymáshoz, mint rurál párjához.

2. Az értekezés felépítése, felhasznált adatsorok

Az értekezésben tizenhárom közlemény eredményeit mutatom be, nyolc fejezetben, amelyek az urbanizáció talajfelszíni ízeltlábúakra, különös tekintettel a futóbogarakra gyakorolt hatásait vizsgálják, különböző, de egymásra épülő szempontrendszer alapján (Tóthmérész és Magura 2009).

Az első fejezet a futóbogarak faj-populációjának szintjén vizsgálja, hogy a különböző élőhely-kötődésű fajok (erdei specialisták, generalisták, nyílt élőhelyhez kötődők) egyedszámai hogyan változnak a rurál - urbán gradiens mentén és az egyedszámbeli eloszlásokat milyen környezeti paraméterek magyarázhatják (Magura és mtsai. 2008d).

A második fejezet átmenet a faj-populációs szintű és közösségi szintű vizsgálatok között, ugyanis a futóbogarak testméretét és testméret-eloszlását elemzi az urbanizációs gradiens mentén a legmodernebb, eloszlást leíró függvények segítségével (Magura és mtsai. 2006c).

A harmadik fejezettől kezdődően az urbanizáció közösségi szintű jellemzőkre gyakorolt hatásait vizsgálom. Így a harmadik fejezetben a futóbogarak teljes fajszerkezetének, a különböző habitat affinitású fajok szerkezetének és egyedszámának változásait elemzem a rurál - urbán gradiens mentén, feltárva a gradiens egyes elemeire jellemző karakterfajokat és megvizsgálva, hogy a közösségi jellemzők és a környezeti faktorok között milyen kapcsolat mutatható ki (Magura és mtsai. 2004).

A negyedik fejezetben két egymást követő év adatait felhasználva a futóbogarak teljes faj- és egyedszámának változásait, valamint a különböző élőhely-kötődésű fajok viselkedését elemzem a gradiens mentén (Magura és mtsai. 2004, 2005, 2008b).

Az ötödik fejezet a GLOBENET projekt keretében az eddig kilenc országból publikált futóbogár adatok felhasználásával vizsgálja azt a kérdést, hogy az egyes urbanizációs vizsgálatok eredményeiből levont következtetések vajon azonos érvényűek-e és helytállóak-e a különböző földrajzi régiókban. A tanulmányban választ keresek arra, hogy az urbanizáció hatására a futóbogarak diverzitásában, illetve az erdei specialista fajok diverzitásában kimutatható-e valamilyen általános mintázat, továbbá, hogy az urbanizáció hatására érvényesül-e a taxonómiai homogenizáció (Magura és mtsai. 2010b).

A hatodik és a hetedik fejezetben azt vizsgálom, hogy a futóbogarak kapcsán kimutatott összefüggések más, szintén a talajfelszínen aktív ízeltlábú csoport esetén is helytállóak-e. Ezekben a fejezetekben a szárazföldi ászkarákok és a pókok urbanizációra adott válaszait vizsgálom (Magura és mtsai. 2006b, 2008a, 2008c, 2009, 2010a).

A nyolcadik fejezetben az emberi tevékenységek környezetre gyakorolt hatásának számszerűsítésére kidolgozott új eljárást, a habitat-affinitási indexeket alkalmazom az urbanizáció kapcsán (Tóthmérész és Magura 2005).

3. Anyag és módszer

A mintavételek a GLOBENET projekt standardizált mintavételi módszere szerint történtek és mindhárom mintavételi területen (rurál, szuburbán, urbán) négy-négy mintavételi hely került kijelölésre. Mindegyik mintavételi helyen (összesen 12 mintavételi hely) 10, egymástól legalább 10 méterre elhelyezkedő talajcsapda lett telepítve random módon (azaz összesen 120; 3 mintavételi terület x 4 mintavételi hely x 10 talajcsapda). A GLOBENET projekt természetes erdei élőhelyeket vizsgál, azaz a külvárosi (szuburbán) és a városi területeken található erdőfoltok is természetesek, őshonos, nem telepített fafajok alkották (Niemelä és mtsai. 2000).

A futóbogarak faj-populációinak szintjén és közösségi szintjén, a szárazföldi ászkarákok közösségi szintjén, valamint a pókok közösségi szintjén végzett tanulmányok esetén vizsgáltam azokat a környezeti változókat, amelyek fontosak lehetnek a talajon mozgó futóbogarak, ászkarákok és pókok térbeli eloszlásának szempontjából (Niemelä és Spence 1994, Pearce és mtsai. 2004, Oxbrough és mtsai. 2005). Így havonta, egy tipikus napsütéses napon mértem a talajhőmérsékletet 2 cm mélységben, a levegő hőmérsékletét a talajfelszínen és a relatív páratartalmat. A statisztikai elemzések a havonkénti mérések átlagain alapultak. Ezenkívül becsültem a lomblevelekből álló avarréteg, a lágyszárú növények és a cserjék borítását, a korhadó faanyag mennyiségét és a lombkoronaszint záródását. Továbbá tanulmányoztam a futóbogarak lehetséges táplálékforrásának mennyiségét is. A lehetséges zsákmányállatok csoportját azok az állatok alkották, amelyek a futóbogarakon kívül szintén a talajcsapdába estek (egyéb bogarak, százlábúak, ikerszelvényesek, szárazföldi ászkarákok és szárazföldi csigák). Mivel ezek az állatok is a talajfelszínen mozogtak, így a futóbogarak szempontjából potenciális táplálékforrásnak tekinthetjük őket.

A futóbogarak testméret-eloszlását a ferdeségi koefficienssel, a robusztus ferdeséggel, a Gini index-szel és a Lorenz aszimmetria koefficienssel jellemeztem (Magura és mtsai. 2006c).

A testméret-eloszlást jellemző indexek értékeiben, az össz fajszámában, az összegyedszámában, a különböző habitat affinitású fajok fajszámában és egyedszámában, illetve az össz fajszámhoz és összegyedszámhoz viszonyított arányukban, továbbá a

különböző habitat-affinitási indexek értékeiben rejlő különbségek kimutatásához varianciaanalízist használtam. Az értékek csapdaszinten történő összehasonlításakor beágyazott varianciaanalízist alkalmaztam, mivel a kísérleti elrendezés olyan volt, hogy a mintavételi helyek be voltak ágyazódva a mintavételi területekbe. Többéves adatok elemzése során ismétléses varianciaanalízist használtam, ahol a vizsgálati évek voltak az ismétlések. Az adatok normál eloszlását a Kolmogorov-Smirnov teszttel vizsgáltam, amennyiben az adatok eloszlása nem volt normál log (x+1) transzformációval biztosítottam a normalitást. Ha a varianciaanalízis az átlagértékek szignifikáns eltérését jelezte, akkor az egyes csoportok közötti összehasonlításokhoz valamilyen post hoc tesztet (Tukey teszt vagy LSD teszt) alkalmaztam (Sokal és Rohlf 1995).

A tanulmányozott ízeltlábúak fajszáma, illetve egyedszáma és a vizsgált háttérváltozók közötti viszonyt többszörös lineáris regresszióanalízissel (Kutner és mtsai. 1996) vagy detrendelt kanonikus korrespondencia analízissel (DCCA) vizsgáltam, a CANOCO programcsomagot használva (Ter Braak és Šmilauer 1998).

A vizsgált talajfelszíni ízeltlábú együttesek rurál - urbán gradiens menti kompozícióját klaszteranalízis és nem-metrikus többdimenziós skálázás (NMDS) segítségével vizsgáltam prezencia-abszencia adatokat (Sørensen index) vagy az egyes fajok egyedszámértékeit felhasználva (Hellinger távolságfüggvény, Bray-Curtis disszimilitási index). A klaszteranalízis során a Ward fúziós módszert alkalmaztam (Rencher 2002) és a számításokhoz a NuCoSA programcsomagot használtam (Tóthmérész 1993b).

A három mintavételi területre (rurál, szuburbán és urbán) jellemző futóbogár fajok azonosításához kvantitatív karakterfaj elemzést, az IndVal (Indicator Value) módszert alkalmaztam (Dufrêne és Legendre 1997).

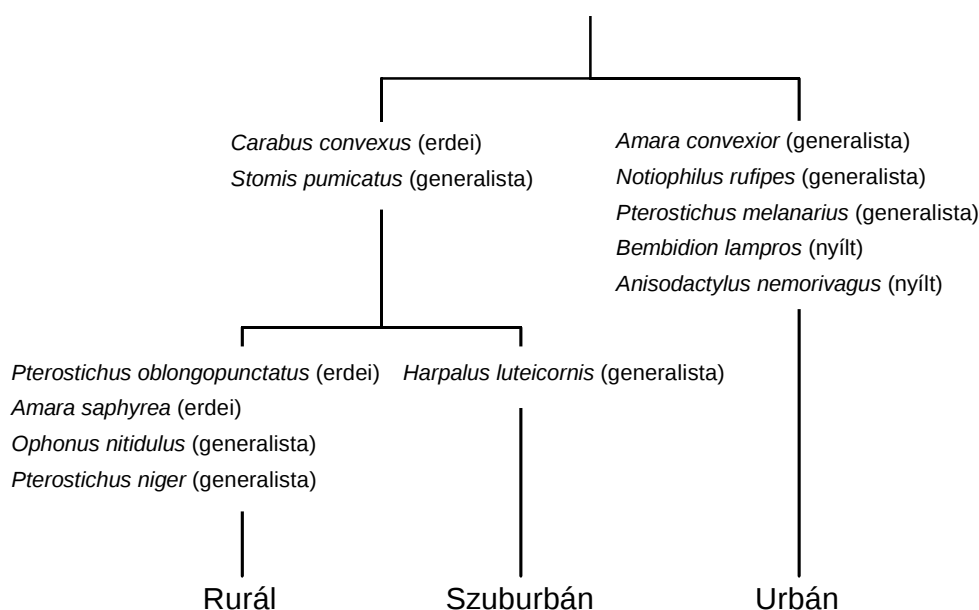
A GLOBENET projekt keretében az eddig kilenc országból közölt futóbogár adatok elemzésénél a futóbogarak, illetve az erdei futóbogarak diverzitását skálafüggetlen diverzitási módszerek segítségével hasonlítottam össze, a Rényi-féle diverzitási függvényt felhasználva. A számításokat a DivOrd programcsomag segítségével végeztem (Tóthmérész 1993a).

A habitat-affinitási indexek közül az összegzett affinitási értéket ($HA_{\cdot}$), a relatív gyakorisággal súlyozott indexet (HAR_r), a fidelitáson alapuló indexet (HAF_r), a specifitáson alapuló indexet (HAS_r) és a fidelitáson és a specifitáson egyaránt alapuló indexet ($HAFS_r$) számítottam és elemeztem (Tóthmérész és Magura 2005, Magura és mtsai. 2006a).

4. Eredmények

4.1. Futóbogarak térbeli eloszlásának faj-populációs szintű összehasonlítása urbanizációs gradiens mentén

A gyűjtött fajok közül a kvantitatív karakterfaj elemzés után 12 olyan faj volt, amelyek szignifikánsan kötődtek valamelyik területhez (rurál, szuburbán és urbán) vagy területek kombinációjához és egyedszámuk meghaladta az összegyedszám 1 %-át (4.1.1. ábra). Ezek közül három faj erdei specialista, hét faj generalista és két faj nyílt élőhelyekhez kötődő volt.



4.1.1. ábra. Szignifikáns karakterfajok a rurál - urbán gradiens mentén, melyek egyedszáma elérte az összegyedszám 1 %-át.

Mindhárom erdei specialista faj tömegesebb volt a rurál és a szuburbán területen, mint az urbán területen. A különbség a *Carabus convexus* és a *Pterostichus oblongopunctatus* esetén szignifikáns volt, míg az *Amara saphyrea* esetén nem volt szignifikáns. A hét generalista faj közül csupán kettő egyedszám-eloszlása különbözött szignifikánsan az urbanizációs gradiens mentén. Az *Amara convexior* egyedszáma szignifikánsan nagyobb volt az urbán mintavételi helyeken, míg az *Ophonus nitidulus* szignifikánsan tömegesebb volt a rurál helyeken. A többi öt generalista faj vagy az urbán helyeken (*Notiophilus rufipes* és

Pterostichus melanarius), vagy a szuburbán helyeken (*Harpalus luteicornis*), vagy a rurál mintavételi helyeken (*Pterostichus niger*), vagy a rurál és szuburbán mintavételi helyeken (*Stomis pumicatus*) volt gyakoribb, de ezek a különbségek nem voltak szignifikánsak. A nyílt élőhelyekhez kötődő fajok (*Anisodactylus nemorivagus* és *Bembidion lampros*) az urbán mintavételi helyeken voltak tömegesebbek, bár ezek a különbségek statisztikailag nem voltak szignifikánsak.

A 12 futóbogár faj egyedszámai alapján kanonikus korrespondencia analízissel a mintavételi helyek határozottan elkülönültek a rurál - urbán gradiens mentén. A négy urbán mintavételi hely jól elkülönült a szuburbán és a rurál helyektől és a szuburbán és a rurál helyek jobban hasonlítottak egymáshoz. Az urbán helyeken magasabb volt a talaj- és talajfelszíni hőmérséklet. A szuburbán helyeken magasabb volt a relatív páratartalom és nagyobb a lombavar- és a cserjeborítás, míg a rurál helyeken a korhadó faanyag mennyisége, a lágyszárúak borítása és a futóbogarak potenciális táplálékállatainak száma volt magasabb.

A kanonikus korrespondencia analízis eredményei szerint négy faj (*Amara convexior*, *Anisodactylus nemorivagus*, *Bembidion lampros* és *Pterostichus melanarius*) a magasabb talaj- és talajfelszíni hőmérséklettel jellemezhető urbán helyekhez kötődött, míg a *Notiophilus rufipes* az urbán és a szuburbán helyekhez egyaránt kötődött. Két faj (*Carabus convexus* és *Pterostichus oblongopunctatus*) preferálta a mérsékleten vagy enyhén zavart szuburbán és rurál helyeket, míg a *Stomis pumicatus* a szuburbán helyekhez kötődött. Három faj (*Amara saphyrea*, *Ophonus nitidulus* és *Pterostichus niger*) a nagyobb mennyiségű korhadó faanyaggal, több lágyszárúval és nagyobb mennyiségű potenciális táplálékállattal jellemezhető rurál helyekre volt jellemző. A *Harpalus luteicornis* a nagyobb cserjeborítású szuburbán helyekhez kötődött.

4.2. Futóbogarak testméretének és testméret-eloszlásának változása urbanizációs gradiens mentén

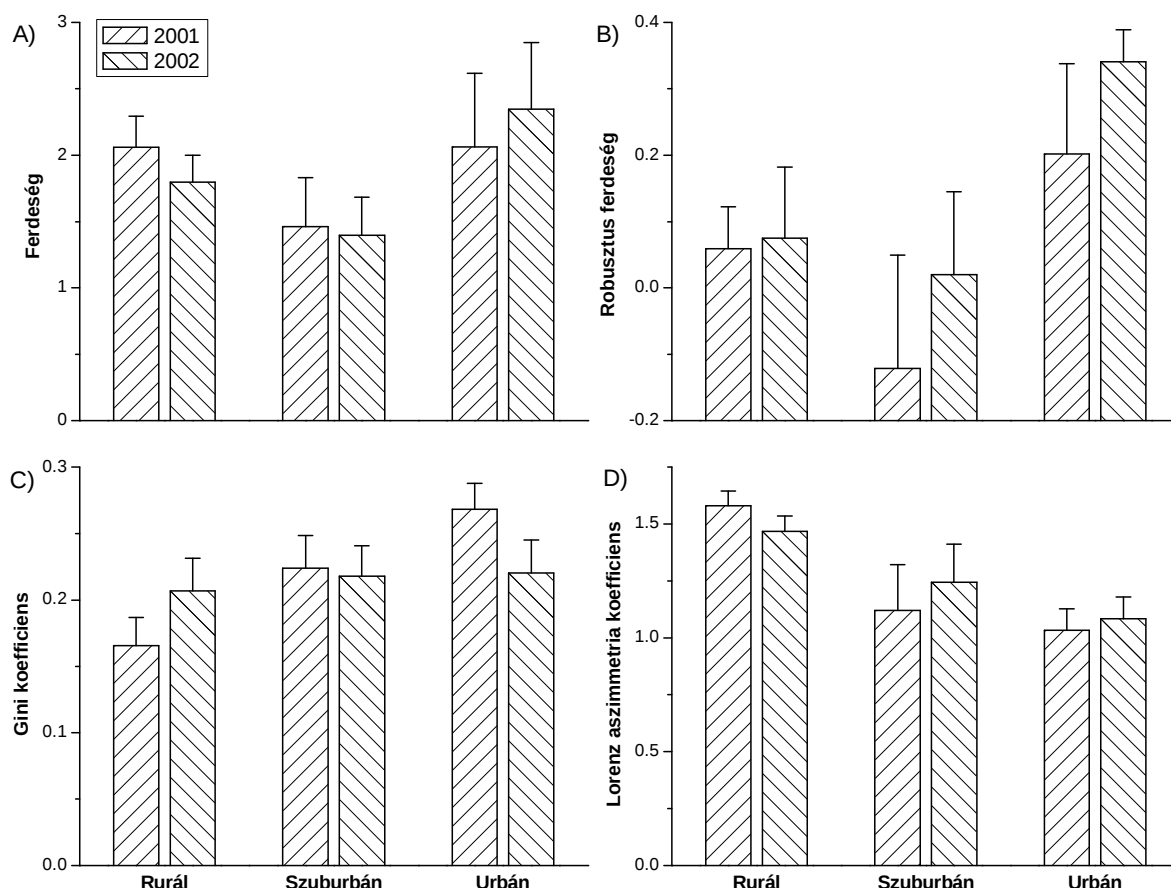
A futóbogarak átlagos testmérete mindkét évben szignifikánsan nagyobb volt a rurál és szuburbán területeken, mint az erőteljesen zavart urbán területen. A második évben az átlagos testméretek mindhárom területen nagyobbak voltak, emiatt a változókon belüli hatás esetén az évek között szignifikáns különbség adódott.

A ferdeség értéke mindkét évben az urbán területen volt a legnagyobb, míg a szuburbán területen volt a legkisebb, jelezve, hogy az urbán területen a többi területhez képest több, kisebb méretű futóbogár volt jelen (4.2.1. ábra).

A robusztus ferdeség értéke a ferdeséghez hasonlóan változott. A robusztus ferdeség értéke is mindkét évben az urbán területen volt a legnagyobb, míg a szuburbán területen volt a legkisebb (4.2.1. ábra). A szuburbán és az urbán területek robusztus ferdeségében jelentkező különbség statisztikai értelemben szignifikáns volt.

A Gini koefficiens értéke fokozatosan növekedett a rurál terület felől haladva az urbán terület felé, jelezve, hogy a futóbogár közösségek testméret-eloszlásának egyenetlensége a rurál területen volt a legkisebb és az urbán terület felé haladva fokozatosan növekedett és az egyenetlenség az urbán területen volt legnagyobb, jóllehet ezek a különbségek nem voltak szignifikánsak (4.2.1. ábra).

A Lorenz aszimmetria koefficiens értéke minden esetben egynél nagyobb volt ($S > 1$), utalva arra, hogy mindhárom területen (rurál, szuburbán és urbán) a nagyobb méretű egyedek fontos szerepet játszottak a Lorenz görbe alakjának meghatározásában (4.2.1. ábra). Mindkét évben a Lorenz aszimmetria koefficiens értéke a rurál területen volt a legnagyobb, az urbán területen a legkisebb és a szuburbán területen köztes értéket vett fel. Az urbán területen mindkét évben a koefficiens értéke nagyon közel volt az egyhez ($S = 1$), ami közel szimmetrikus Lorenz görbére utal. A Lorenz aszimmetria koefficiens értékeiben tapasztalható különbségek statisztikailag szignifikánsak voltak, így a koefficiens értéke szignifikánsan nagyobb volt a rurál területen, mint a szuburbán és/vagy az urbán területen, míg azt utóbbi két területen az értékek nem különböztek egymástól szignifikánsan. A Lorenz görbe lefutásában jelentkező szignifikáns különbségeket a rurál területen a másik két területhez (szuburbán és urbán) képest nagyobb számban előforduló viszonylag nagyobb testméretű egyedek okozták.

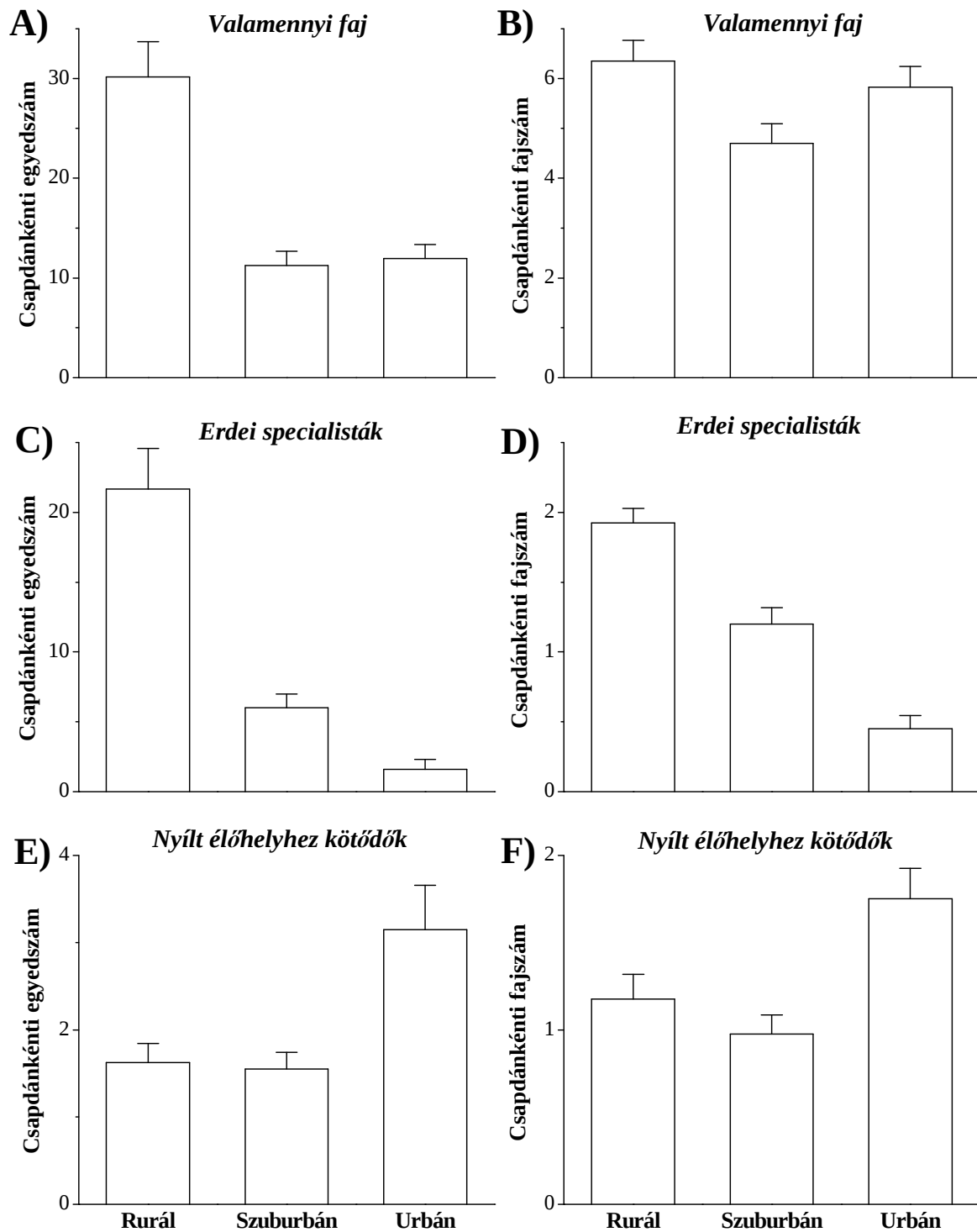


4.2.1. ábra. A futóbogár közösségek testméret-eloszlását leíró ferdeség (A), robusztus ferdeség (B), Gini koefficiens (C) és Lorenz aszimmetria koefficiens (D) átlagértékeinek ($\pm$ S.E.) változása a rurál, szuburbán és az urbán területeken a vizsgált két évben.

4.3. Futóbogár közösségek változása urbanizációs gradiens mentén

A futóbogarak csapdánkénti összegyedszáma szignifikánsan magasabb volt a rurál területen, mint a szuburbán vagy az urbán területen. Az erdei specialista futóbogarak csapdánkénti egyedszáma szintén a rurál területen volt szignifikánsan a legnagyobb, míg a nyílt élőhelyhez kötődő futóbogarak csapdánkénti egyedszáma az urbán területen szignifikánsan magasabb volt, mint a szuburbán vagy a rurál területen (4.3.1. ábra).

A futóbogarak csapdánkénti össz fajszáma szignifikánsan magasabb volt a rurál és az urbán területen, mint a szuburbán területen. Azonban az erdei specialista futóbogarak csapdánkénti fajszáma szignifikánsan csökkent a rurál terület felől az urbán felé haladva. A nyílt élőhelyhez kötődő futóbogarak csapdánkénti fajszáma az urbán területen szignifikánsan magasabb volt, mint a rurál vagy a szuburbán területen (4.3.1. ábra).



4.3.1. ábra. A futóbogarak csapdánkenti összegyedszámának (A), összfajszámának (B), az erdei specialista fajok egyedszámának (C), fajszámának (D) és a nyílt élőhelyhez kötődő fajok egyedszámának (E) és fajszámának (F) változása a tanulmányozott gradiens mentén (átlag $\pm$ S.E.).

Az opportunist (generalista) futóbogarak csapdánkenti egyedszámának a csapdánkenti összegyedszámhoz viszonyított aránya szignifikánsan magasabb volt az urbán területen, mint a rurál vagy a szuburbán területen.

A futóbogár együttesek jelentősen különböztek a rurál - urbán gradiens mentén. A fajkompozíció alapján a négy urbán mintavételi hely különálló klaszter csoportot alkotott, míg a rurál és a szuburbán helyek egy másik csoportot alkottak. Az egyedszámtérkékek alapján készült ordináció (NMDS) lineáris gradiens jelenlétét jelezte: a futóbogár együttesek fokozatosan változtak a rurál terület felől az urbán felé haladva. A futóbogár együttesek kompozíciójában mutatkozó heterogenitás fokozatosan nőtt a rurál terület felől az urbán felé haladva.

A klaszteranalízissel kimutatott élőhely csoportokra a kvantitatív karakterfaj elemzés (IndVal módszer) az alábbi jellemző futóbogarakat azonosította: (1) valamennyi területen tömeges fajok (pl. *Harpalus tardus*, *Carabus violaceus*, *Platyderus rufus*); (2) a rurál területre jellemző fajok, amelyek csak itt fordultak elő, vagy itt voltak a legtömegesebbek (pl. *Pterostichus oblongopunctatus*, *Ophonus nitidulus*, *Amara saphyrea*); (3) a szuburbán területet preferáló fajok (pl. *Harpalus luteicornis*, *Badister lacertosus*, *Amara consularis*); (4) a szuburbán és a rurál területre egyaránt jellemző fajok (pl. *Carabus convexus*, *Stomis pumicatus*, *Oxypselaphus obscurus*) és (5) az urbán területet kedvelő fajok, melyek csak itt fordultak elő vagy itt voltak a legtömegesebbek (pl. *Amara convexior*, *Pterostichus melanarius*, *Anisodactylus nemorivagus*).

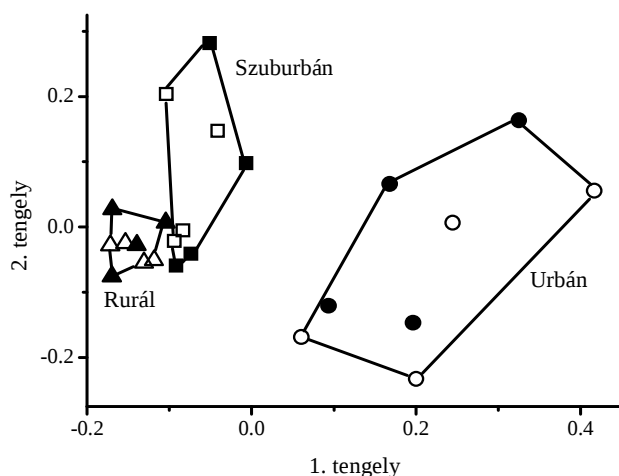
A talajhőmérséklet és a nyílt élőhelyekre jellemző fajok egyedszáma és a teljes fajszám között szignifikáns pozitív összefüggés volt. A talajfelszíni léghőmérséklet növekedése negatívan befolyásolta az erdei fajok egyed- és fajszámát, míg pozitívan a nyílt élőhelyekre jellemző fajok számát. A relatív páratartalom és a teljes egyedszám, valamint az erdei fajok egyedszáma között egyaránt szignifikáns negatív összefüggés volt. A korhadó faanyag mennyiségének növekedésével az erdei fajok száma nőtt, míg a nyílt élőhelyekre jellemző fajok egyed- és fajszáma csökkent. A lágyszárúak borítása a nyílt élőhelyekre jellemző fajok száma kivételével valamennyi esetben szignifikánsan és pozitívan befolyásolta a vizsgált egyed- és fajszámokat. A futóbogarak teljes egyedszámát, az erdei fajok egyedszámát és a nyílt élőhelyekre jellemző fajok számát a lombkoronaszint záródásának növekedése egyaránt negatívan befolyásolta. A lehetséges zsákmányállatok száma és a teljes fajszám, valamint az erdei fajok száma között szignifikáns pozitív kapcsolat volt.

4.4. Futóbogár közösségek változása urbanizációs gradiens mentén, két éves adatsor alapján

A futóbogarak csapdánkénti egyedszáma mindkét évben szignifikánsan magasabb volt a rurál területen, mint a szuburbán és az urbán területen, míg a futóbogarak csapdánkénti fajszaámában nem volt szignifikáns különbség a három terület között.

Az erdei specialista futóbogarak csapdánkénti egyedszámának a csapdánkénti összegyedszámhoz viszonyított aránya mindkét évben szignifikánsan csökkent a rurál terület felől az urbán terület felé haladva, míg az erdei specialisták csapdánkénti fajszaámának aránya szignifikánsan nagyobb volt a rurál és a szuburbán területen, mint az urbán területen. Ellentétes tendencia volt megfigyelhető a generalisták esetén, amelyek csapdánkénti egyedszámának aránya szignifikánsan nőtt a rurál - urbán gradiens mentén. A generalista fajok arányában nem volt szignifikáns különbség a három terület között, bár az urbán területen volt a legnagyobb az arányuk. A nyílt élőhelyekre jellemző futóbogarak csapdánkénti egyedszámának és fajszaámának az aránya is szignifikánsan nagyobb volt mindkét évben az urbán területen, mint a rurál vagy a szuburbán területen.

Az ordináció alapján a rurál, szuburbán és urbán területek mintavételi helyeinek futóbogár közösségei jól elkülönültek egymástól. Az urbán mintavételi helyek futóbogár közösségei a többi mintavételi hely közösségeitől az első tengely mentén különültek el. A rurál és a szuburbán mintavételi helyek futóbogár együtteseinek kompozíciója sokkal jobban hasonlított egymáshoz, mint az urbán mintavételi helyek kompozíciójához. Az ordinációs térben a konvex burok méretével kifejezett futóbogár közösségek kompozíciójának heterogenitása a rurál terület felől az urbán felé haladva nőtt (4.4.1. ábra).



4.4.1. ábra. Futóbogár közösségek mintavételi helyek szintjén végzett ordinációja (NMDS, Hellinger távolság) a tanulmányozott rurál - urbán élőhely-gradiens mentén. Az üres szimbólumok a 2001-ből származó adatokat, míg a teli szimbólumok a 2002-ből származó adatokat jelölik.

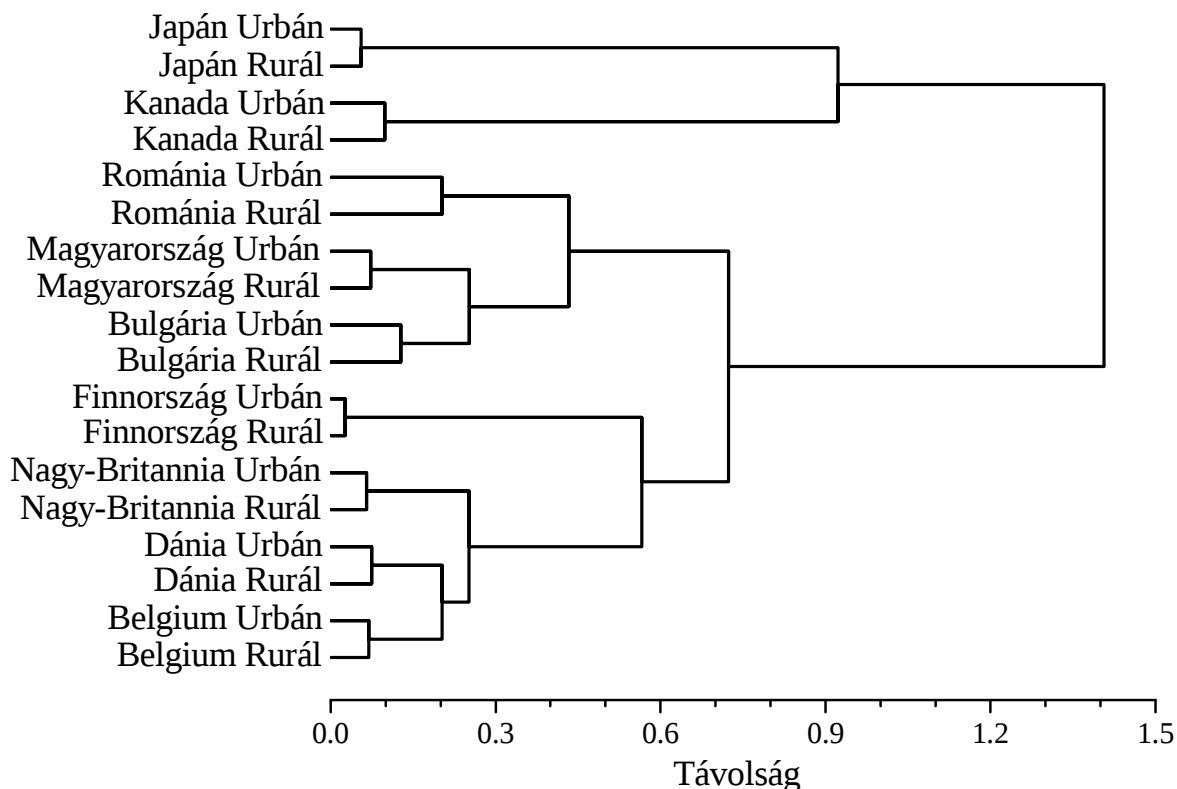
4.5. *Futóbogár közösségek változása urbanizációs gradiens mentén különböző országokban*

A kilenc országban végzett vizsgálat során összesen 213 futóbogár faj 65 262 egyedét csapdázták. Az urbán területek mindegyik országban újabb fajokat adtak a teljes fajkészlethez, azaz mindegyik ország teljes fajkészlete nagyobb volt, mint a rurál terület fajkészlete. Az erdei specialista fajok szinte teljesen beágyazottak voltak, mivel a rurál területeken fogott fajokon kívül nem vagy csak néhány újabb erdei specialista faj került elő a többi területen.

Valamennyi csapdázott futóbogár fajt figyelembe véve az egyes urbanizációs stádiumok (rurál, szuburbán és urbán terület) diverzitási profiljai csak Kanada, Belgium és Magyarország esetén voltak egyértelműen rendezhetők. Azonban a növekvő zavarási hipotézis, miszerint a diverzitás a legkevésbé zavart rurál terület felől haladva fokozatosan csökken az erősen zavart városi terület felé, csak Kanadában igazolódott. A növekvő zavarási hipotézis enyhébb változata, miszerint a kissé zavart rurál terület diverzitása a teljes skálaparaméter értéken nagyobb, mint a zavart urbán területé, Kanadán kívül még Belgiumban és Japánban igazolódott. A többi országban az urbán terület futóbogarainak diverzitása egyáltalán nem volt kisebb, mint a rurál területé. Ha csak az erdei specialista futóbogarak diverzitását tekintjük, akkor a kapott mintázat kevésbé volt bonyolult. Az eredeti, természetközeli rurál erdőfoltok erdei specialista futóbogarai a legdiverzebbek Belgiumban, Bulgáriában, Finnországban és Romániában, míg az urbán területen a legkevésbé diverzek valamennyi országban, kivéve Belgiumot és Bulgáriát. Azonban mindegyik ország esetén megfigyelhető volt egy robusztus mintázat: az erdei specialista futóbogarak a teljes skálaparaméteren diverzebbek voltak a rurál területen, mint az urbán területen.

A Sørensen indexet alkalmazó klaszteranalízis segítségével három csoportot különíthetünk el: észak-nyugat európai országok (Belgium, Dánia, Nagy-Britannia és Finnország), dél-kelet európai országok (Bulgária, Magyarország és Románia) és az Európán kívüli országok (Japán és Kanada). Mindhárom csoport esetén az adott ország rurál területének futóbogár faunája hasonlóbb volt urbán párjához (4.5.1. ábra). Hasonló volt a mintázat a Sørensen indexet alkalmazó nem-metrikus többdimenziós skálázással is. Ebben az esetben a nyugat-európai országok (Belgium, Dánia és Nagy-Britannia) kompaktabb csoportot alkottak, de az urbanizáció hatására az urbán területek faunái ekkor sem váltak egymáshoz hasonlóbbá. A legtöbb esetben, az adott földrajzi régióban a két urbanizációs végpont (rurál terület és urbán terület) futóbogár faunájának hasonlósága nagyobb volt, mint az urbán területek hasonlósága. Továbbá, az urbán területek faunája nem volt szignifikánsan

hasznalóbb egymáshoz, mint a rurál területek faunája egymáshoz, sem az észak-nyugat európai országok esetén ($t=0.309$, $d.f.=10$, $p=0.764$), sem a dél-kelet európai országok esetén ($t=2.762$, $d.f.=4$, $p=0.051$). A dél-kelet európai országok esetén kimutatott marginális szignifikáns összefüggés abból adódott, hogy a rurál területek faunája sokkal inkább hasznalóbb volt egymáshoz, mint az urbán területek faunája egymáshoz.



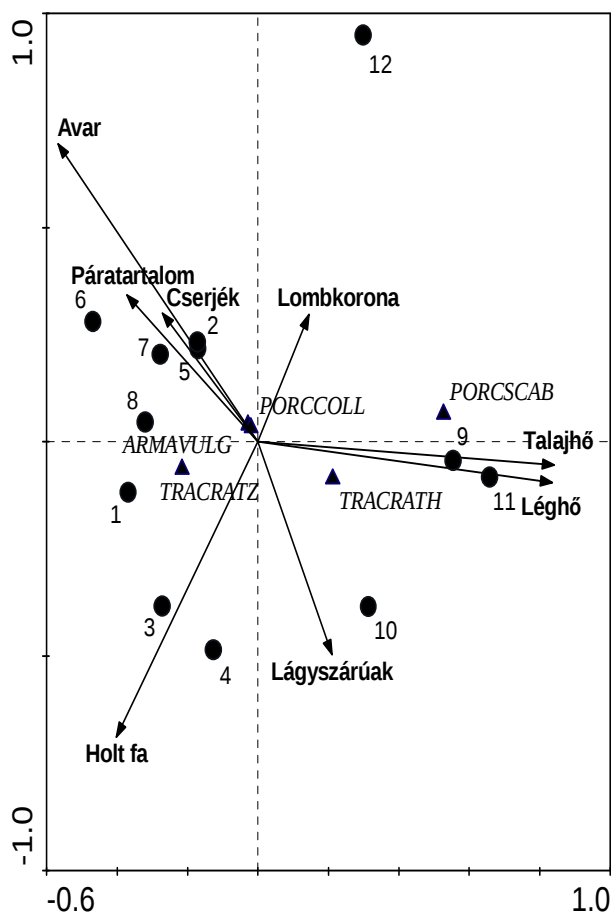
4.5.1. ábra. A kilenc tanulmányozott ország rurál és urbán területein gyűjtött futóbogarak fajkompozíciójának elemzése klaszteranalízissel (Sørensen index és Ward fúziós módszer).

4.6. Szárazföldi ászkarák közösségek változása urbanizációs gradiens mentén

Az ászkarákok csapdánkénti összegyűjtött egyedszáma nem különbözött szignifikánsan az urbanizációs gradiens mentén. Az erdei specialista *Trachelipus ratzeburgii* ászka faj csapdánkénti egyedszáma szignifikánsan csökkent a rurál terület felől az urbán terület felé haladva. Ezzel szemben a *Porcellio scaber* (városi élőhelyekhez alkalmazkodott faj) csapdánkénti egyedszáma szignifikánsan magasabb volt az urbán területen, mint a rurál vagy a szuburbán területen. A generalista *Trachelipus rathkii* faj csapdánkénti egyedszáma is szignifikánsan magasabb volt az urbán területen. A másik két generalista faj (*Armadillidium*

vulgare és *Porcellium collicola*) csapdánkénti egyedszámában nem volt szignifikáns különbség a vizsgált területek között.

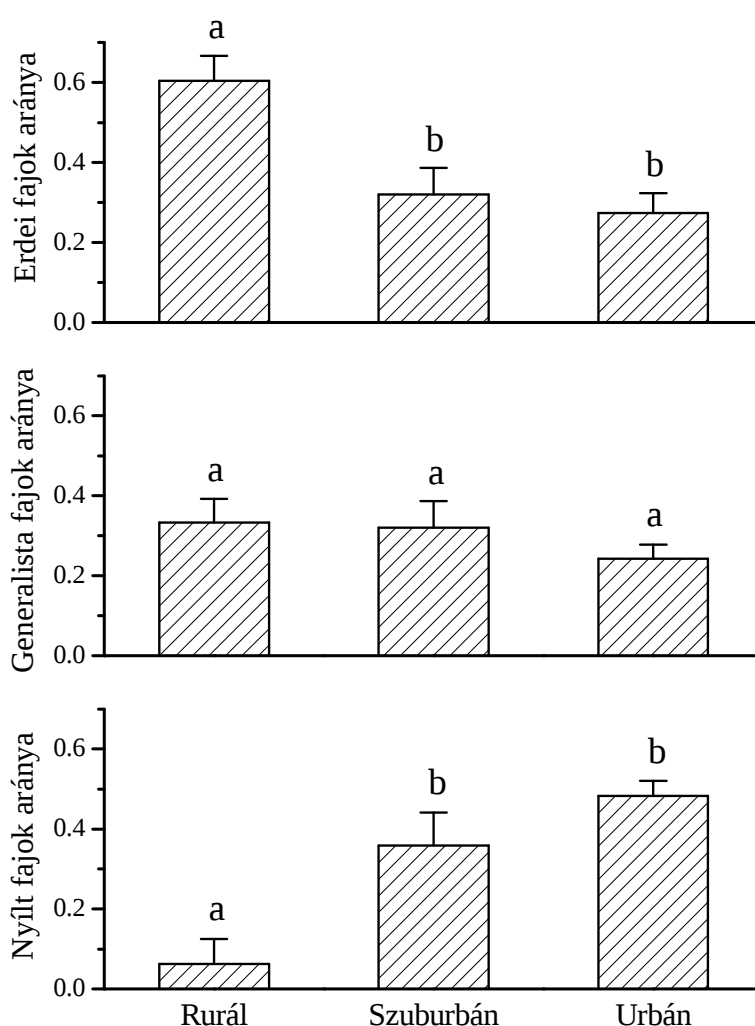
Az öt ászkarák faj egyedszámértékei alapján az urbán mintavételi helyek az első tengely mentén határozottan elkülönültek a szuburbán és a rurál helyektől, ugyanakkor a szuburbán és a rurál mintavételi helyek jobban hasonlítottak egymáshoz kanonikus korrespondencia analízissel. Az urbán helyek magasabb talaj- és talajfelszíni hőmérséklettel voltak jellemezhetők, a szuburbán helyek magasabb relatív páratartalommal és nagyobb lombavar- és cserjeborítással bírtak, míg a rurál helyek a korhadó faanyag nagyobb mennyiségével és alacsonyabb lombkorona-záródással voltak jellemezhetők. Két generalista faj (*Armadillidium vulgare* és *Porcellium collicola*) eloszlását a vizsgált környezeti változók nem befolyásolták, mivel a fajokat reprezentáló pontok a triplot ábra origójának közelében helyezkedtek el. A városi élőhelyekhez alkalmazkodott *Porcellio scaber* és a generalista *Trachelipus rathkii* a magasabb talaj- és talajfelszíni hőmérséklettel jellemezhető urbán helyekhez kötődtek, míg az erdei specialista *Trachelipus ratzeburgii* az alacsonyabb talaj- és talajfelszíni hőmérséklettel jellemezhető rurál és szuburbán helyekhez kötődött (4.6.1. ábra).



4.6.1. ábra. A vizsgált öt ászkarák faj egyedszáma és a környezeti tényezők közötti kapcsolat korrespondencia analízissel. A teli körök a mintavételi helyeket jelölik (1 - 4: rurál, 5 - 8: szuburbán és 9 - 12: urbán mintavételi helyek), míg a teli háromszögek és a nyolcbetűs rövidítések a tanulmányozott fajokat (ARMAVULG: *Armadillidium vulgare*, PORCCOLL: *Porcellium collicola*, PORCSCAB: *Porcellio scaber*, TRACRATH: *Trachelipus rathkii* és TRACRATZ: *Trachelipus ratzeburgii*).

4.7. Pók közösségek változása urbanizációs gradiens mentén

Szignifikánsan több pók faj volt az urbán területen, mint a rurál vagy a szuburbán területen. Az erdei fajok összfajszámhoz viszonyított aránya szignifikánsan nagyobb volt a rurál területen, mint az urbán és a szuburbán területen. Ellentétes tendencia volt megfigyelhető a nyílt élőhelyekre jellemző fajok esetén, fajszaámuk aránya nőtt a rurál - urbán gradiens mentén és a rurál területen arányuk szignifikánsan a legkisebb volt. A generalista pókok fajszaámának összfajszámhoz viszonyított aránya nem különbözött szignifikánsan a három terület között (4.7.1. ábra).



4.7.1. ábra. Az erdei pók fajok, a generalista fajok és a nyílt élőhelyekre jellemző fajok mintavételi helyenkénti fajszaámának a mintavételi hely összfajszámához viszonyított arányának átlaga ($\pm$ S.E.) a vizsgált rurál - urbán élőhelygradiens mentén. A különböző betűk szignifikáns ($p < 0.05$) különbséget jelölnek (Tukey teszt).

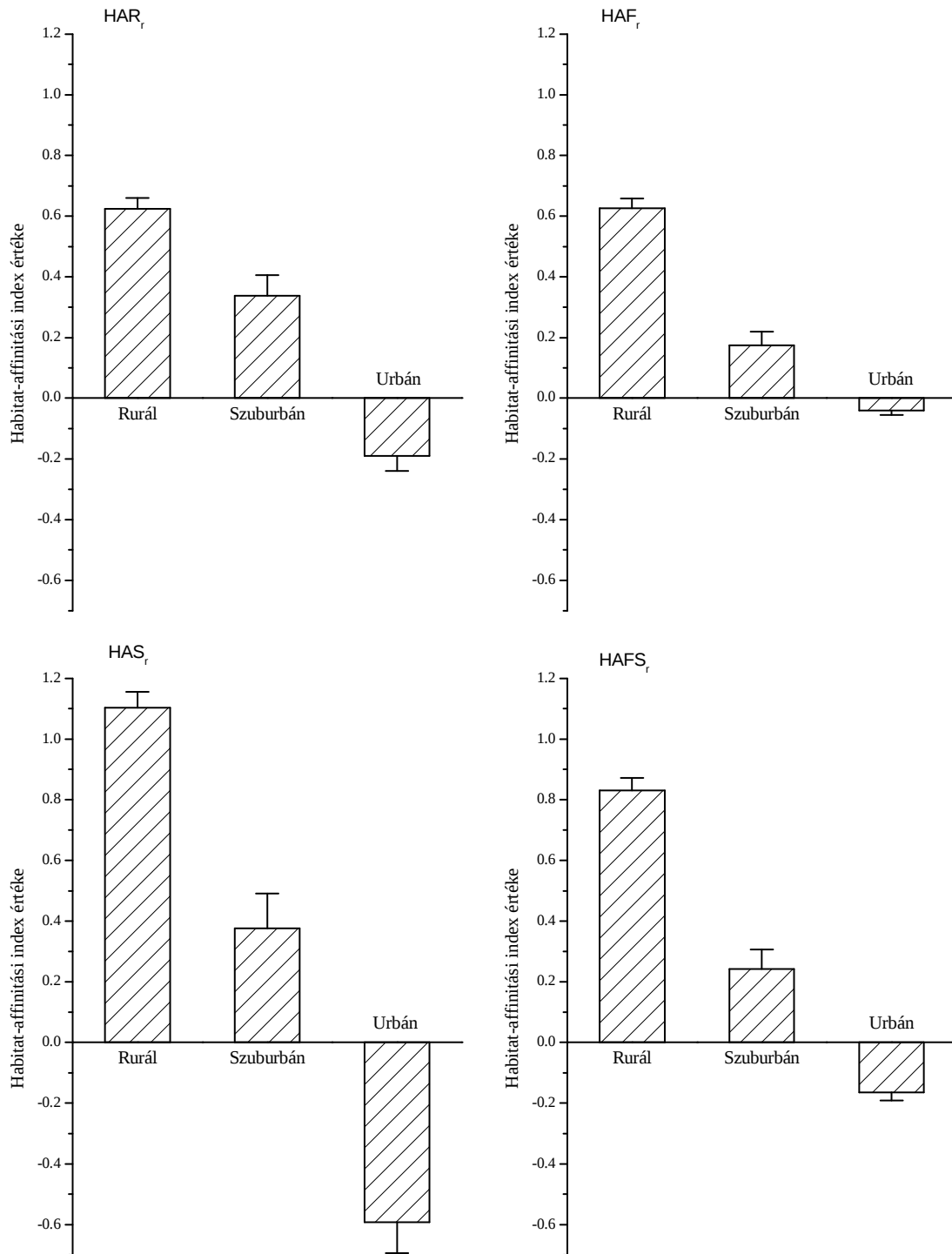
A különböző ökológiai igényű pók fajok egyedszámmértékei alapján a rurál - urbán gradiens menti mintavételi helyek jól elkülönültek kanonikus korreszpondencia analízissel. A rurál mintavételi helyek a korhadó faanyag nagyobb mennyiségével, nagyobb lágyszárú-borítással és lombkorona záródással, a szuburbán helyek magasabb relatív páratartalommal, nagyobb lombavar- és cserjeborítással és kisebb lágyszárú-borítással és lombkorona záródással voltak jellemezhetők, míg az urbán mintavételi helyek magasabb talaj- és talajfelszíni hőmérséklettel voltak leírhatók. Az erdei pók fajok a korhadó faanyag nagyobb mennyiségével jellemezhető rurál helyekre voltak jellemzőek. A nyílt élőhelyekre jellemző fajok a magasabb talaj- és talajfelszíni hőmérsékletű urbán területekhez kötődtek, míg a generalista fajok eloszlását a vizsgált környezeti változók lényegesen nem befolyásolták.

4.8. *Habitat-affinitái indexek az urbanizáció hatásának jellemzésére*

Mind a négy habitat-affinitási index csapdánkénti átlagos értékeiben szignifikáns különbség volt a rurál - urbán gradiens mentén és mindegyik index ugyanazt az eredményt adta: a rurál és a szuburbán területen pozitív volt az indexek értéke, míg az urbán területen negatív. Mind a négy esetben a rurál területen volt a legnagyobb az index értéke, jelezve, hogy a rurál területen az erdei fajok domináltak (4.8.1. ábra).

A szuburbán területen is pozitív volt mindegyik index értéke, jelezve, hogy itt is inkább az erdei fajok voltak túlsúlyban, de az indexek értékei szignifikánsan kisebbek voltak, mint a rurál területen (4.8.1. ábra).

Valamennyi index értéke az urbán területen volt a legalacsonyabb, ráadásul minden esetben negatív volt az érték. Ez arra utal, hogy az urbán területen az erdei fajok, ha egyáltalán jelen voltak, sokkal kisebb mennyiségben fordultak elő, mint a nyílt élőhelyekre jellemző és a generalista fajok (4.8.1. ábra).



4.8.1. ábra. A négy habitat-affinitási index csapdánkénti értékeinek átlaga ($\pm$ S.E.) a vizsgált rurál - urbán élőhelygradiens mentén.

5. Összegzés, kitekintés

Az értekezésben tárgyalt közlemények egyikében sem igazolódott a mérsékelt zavarási hipotézis, hiszen a tanulmányozott talajfelszíni ízeltlábúak diverzitása nem a mérsékelt zavar szuburbán területen volt a legmagasabb.

Az értekezésben közölt futóbogarakra vonatkozó eredmények sem az egyéves, sem a kétéves, sem a kilenc ország adatai esetén nem igazolták a növekvő zavarási hipotézist, ugyanis a fajgazdagság nem csökkent a zavarás mértékének növekedésével. A pókokra vonatkozó közleményben sem csökkent a fajsám a legkevésbé zavar rurál élőhelytől az erősen zavar urbán élőhely felé haladva.

Az értekezésben tárgyalt valamennyi vizsgálat során igazolódott a habitat specialista hipotézis, hiszen az eredeti, zavartalan élőhelyekhez kötődő, ahhoz adaptálódott talajfelszíni ízeltlábú fajok (vizsgálati szituációkban az erdei specialista fajok) száma, közösségen belüli részesedése vagy a közösség fajainak erdei élőhelyekhez való kötődését számszerűsítő habitat-affinitási indexek értéke szignifikánsan csökkent az erősen zavar, átalakított urbán élőhely felé haladva. Ez a következetes mintázat rávilágít arra, hogy az urbanizáció hatására az eredeti élőhelyekben bekövetkezett változások leginkább a specialista fajokat érintik hátrányosan. Az értekezésben ismertetett faj-populációs szintű vizsgálatok eredményei is csak az erdei specialista fajok esetén tekinthetők következetesnek, hiszen szinte valamennyi vizsgált erdei specialista futóbogár és ászkarák egyedszáma szignifikánsan nagyobb volt a rurál területen, mint az urbán területen.

Az opportunist fajok hipotézis a faj-populációs szintű vizsgálatokban nem mutatott egységes mintázatot. A tanulmányozott hét generalista futóbogár faj közül ugyanis csak az egyik faj egyedszáma, a három generalista ászkarák faj közül is csak az egyik faj egyedszáma volt szignifikánsan nagyobb az urbán területen, mint a rurál területen. Azonban a faj-populációk szintjén bekövetkezett nem szignifikáns változások összegződhetnek és közösségi szinten már szignifikáns változásokat okozhatnak, ahogyan ezt a futóbogarak egyéves és kétéves adatsora esetén is igazolódott, hiszen a generalista fajok közösségbeli részesedése az erősen zavar és jelentősen átalakított urbán élőhelyen volt a legmagasabb. Ugyanakkor a pókok esetén nem volt szignifikáns különbség a generalisták arányában a rurál - urbán gradiens mentén. A generalista fajok mennyiségének urbanizációs gradiens menti nem egységes mintázata rávilágít arra, hogy a generalista fajok az urbanizáció hatásaira nem biztos, hogy egységesen reagálnak, mivel térbeli eloszlásukat a környezeti feltételek, az urbanizáció/zavarás mértéke és autökológiai tulajdonságuk komplex módon befolyásolhatja.

A futóbogarakra irányuló faj-populációs szintű vizsgálatokban a nyílt élőhelyekhez kötődő fajok az urbán mintavételi helyeken voltak tömegesebbek, de ezek a különbségek statisztikailag nem voltak szignifikánsak. A városi élőhelyekhez alkalmazkodott ászkarák faj csapdánkénti egyedszáma az urbán területen volt szignifikánsan a legmagasabb. Közösségi szinten az értekezésben vizsgált valamennyi talajfelszíni ízeltlábú csoport (futóbogarak, ászkarák, pókok) esetén igazolódott a mátrixfaj hipotézis. Hiszen a környező nyílt élőhelyek (mezőgazdasági területek és gyepek) alkotta mátrixból behatoló fajok (nyílt élőhelyekre jellemző fajok) száma, közösségen belüli részesedése szignifikánsan nőtt az erősen zavart, átalakított urbán élőhely felé haladva. Valamint a közösség fajainak erdei élőhelyekhez való kötődését számszerűsítő habitat-affinitási indexek értéke az urbán területen volt szignifikánsan a legalacsonyabb, ráadásul minden esetben negatív volt. Ezek az eredmények arra utalnak, hogy az urbanizáció a városi erdőállományokat jelentősen átalakítja és olyan élőhelyfoltokat hoz létre, amelyek a nyílt élőhelyekre jellemző fajoknak kedvezőek és képesek azokat kolonizálni.

A habitat specialista hipotézist, az opportunist fajok hipotézist és a mátrixfaj hipotézist is magába foglaló habitat-módosítási hipotézist az értekezésben a futóbogarakra irányuló kétéves vizsgálat, a pókok egyéves adatsora és a habitat-affinitási indexek elemzése igazolta. Az erdei specialista futóbogár és pók fajok aránya szignifikánsan magasabb volt, míg a nyílt élőhelyekre jellemző futóbogár és pók fajok aránya szignifikánsan alacsonyabb volt a kevésbé zavart rurál területen, mint az erőteljesen zavart urbán területen. A generalista futóbogarak egyedszámának aránya szignifikánsan magasabb volt az urbán területen, de sem a generalista futóbogár fajok, sem a generalista pók fajok aránya nem különbözött szignifikánsan a rurál - urbán gradiens mentén. A habitat-affinitási indexek segítségével is kimutatható, hogy az urbanizáció mértékének növekedésével az erdei specialista futóbogár fajok részesedése csökken és a generalista fajok és a környező mátrixból származó, esetünkben a nyílt élőhelyekre jellemző futóbogár fajok aránya nő. Ezek az eredmények ismét csak az urbanizációnak az eredeti élőhely szerkezetére gyakorolt szignifikáns hatását jelzik.

A csökkenő testméret hipotézis csak a futóbogarak esetén került vizsgálatra és igazolódott. Mind a futóbogarak csapdánkénti átlagos testmérete, mind a futóbogár közösség testméret-eloszlásában jelentkező aszimmetriát leíró Lorenz aszimmetria koefficiens értéke szignifikánsan kisebb volt az urbán területen, mint a rurál területen. Az eredmények azt jelzik, hogy az erősen zavart urbán területen az átalakított élőhelyeket gyorsan kolonizáló kisebb méretű egyedek domináltak, míg a gyengén zavart, stabil, kiegyensúlyozott környezeti

feltételekkel jellemezhető természetközeli, rurál élőhelyeken a nagyobb méretű egyedek voltak többségben.

A GLOBENET projekt keretében kilenc országból publikált, futóbogarakra vonatkozó adatok kiváló lehetőséget biztosítottak a taxonómiai homogenizáció hipotézisének tesztelésére. Az eredmények viszont azt mutatták, hogy az urbanizáció hatására a városok, legalábbis a tanulmányozott városok futóbogár faunája, taxonómiai kompozíciójukat tekintve, nem homogenizálódott. Azaz, a homogenizációs hipotézis nem igazolódott, mivel az egyes városok urbán területeinek futóbogár faunája nem lett hasonlóbb egymáshoz, sőt mindhárom földrajzi régióban az adott ország rurál területének futóbogár faunája hasonlóbb volt urbán párjához. Ez az eredmény újra rávilágít arra, hogy élőhely-fragmentumokban a mátrix fajoknak jelentős hatása van az élőhelyfoltok fajkompozíciójának és fajszerkezetének meghatározásában.

Az eredmények szerint az urbanizáció hatására az eredeti élőhelyekben bekövetkezett változások leginkább az erdei specialista fajokat érintik hátrányosan. Azonban arra vonatkozóan, hogy az urbanizáció hatására a városi területen bekövetkező erdei specialisták számának és közösségen belüli részesedésének drasztikus csökkenését milyen mechanizmusokkal magyarázhatjuk, csak feltételezéseink vannak. Ezért a jövőbeli urbanizációs vizsgálatoknál az erdei specialista fajok drasztikus csökkenésének faj-populációs és közösségi szintű hatásaira kell koncentrálni. A faj-populációs vizsgálatoknál az adott faj egyedeinek táplálkozására, kondíciójára, ivararányára, fekunditására, tojásainak, lárváinak és imágóinak mortalitására, metapopulációs dinamikájára, genetikai változatosságára kell kitérni, míg a közösségszintű vizsgálatok közül a kompetícióra kell fókuszálni.

Miután választ kapunk arra a kérdésre, hogy az urbanizáció hatására a városi területen milyen mechanizmusok, folyamatok miatt csökken drasztikusan az erdei specialisták száma és közösségen belüli részesedése, az eredményekre támaszkodva hozzáláthatunk a városi élőhelyek, parkok olyan típusú kezelésének kidolgozásához, amely egyszerre veszi figyelembe a rekreációs, az ökonómiai és az ökológiai érdekeket.

6. Hivatkozott irodalmak

- Antrop M (2000): Changing patterns in the urbanized countryside of Western Europe. *Landscape Ecology*, 15: 257-270.
- Collins J P, Kinzig A, Grimm N B, Fagan W F, Hope D, Wu J, Borer W T (2000): A new urban ecology. *American Scientist*, 88: 416-425.
- Connell J H (1978): Diversity in tropical rain forests and coral reefs. *Science*, 199: 1302-1310.
- Dufrêne M, Legendre P (1997): Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. *Ecological Monographs*, 67: 345-366.
- Forman R T T, Godron M (1986): *Landscape Ecology*. New York: Wiley & Sons.
- Gilbert O L (1989): *The Ecology of Urban Habitats*. London: Chapman and Hall.
- Gray J S (1989): Effects of environmental stress on species rich assemblages. *Biological Journal of the Linnean Society*, 37: 19-32.
- Kutner M, Nachtschiem C, Wasserman W, Neter J (1996): *Applied Linear Statistical Models*. Boston: McGraw-Hill.
- Lövei G L, Sunderland K D (1996): Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). *Annual Review of Entomology*, 41: 231-256.
- Lövei G L, Magura T, Tóthmérész B, Ködöböcz V (2006): The influence of matrix and edges on species richness patterns of ground beetles (Coleoptera: Carabidae) in habitat islands. *Global Ecology and Biogeography*, 15: 283-289.
- Magura T, Hornung E, Tóthmérész B (2008a): Abundance patterns of terrestrial isopods along an urbanization gradient. *Community Ecology*, 9: 115-120.
- Magura T, Hornung E, Tóthmérész B (2009): Changes of ground beetle and isopod assemblages along an urbanisation gradient in Hungary. In: Tajovský K, Schlaghamerský J, Pižl V (eds.) *Contributions to Soil Zoology in Central Europe III*. Ceske Budajovice: Institute of Soil Biology, Biology Centre, Academy of Sciences of the Czech Republic, pp. 97-101.
- Magura T, Horváth R, Tóthmérész B (2010a): Effects of urbanization on ground-dwelling spiders in forest patches, in Hungary. *Landscape Ecology*, 25: 621-629.
- Magura T, Lövei G L, Tóthmérész B (2008b): Time-consistent rearrangement of carabid beetle assemblages by an urbanisation gradient in Hungary. *Acta Oecologica - International Journal of Ecology*, 34: 233-243.
- Magura T, Lövei G L, Tóthmérész B (2010b): Does urbanization decrease diversity in ground beetle (Carabidae) assemblages? *Global Ecology and Biogeography*, 19: 16-26.

- Magura T, Tóthmérész B, Elek Z (2006a): Changes in carabid beetle assemblages as Norway spruce plantations age. *Community Ecology*, 7: 1-12.
- Magura T, Tóthmérész B, Hornung E (2006b): Az urbanizáció hatása talajfelszíni ízeltlábúakra. *Magyar Tudomány*, 6: 705-708.
- Magura T, Tóthmérész B, Hornung E, Horváth R (2008c): Urbanisation and ground-dwelling invertebrates. In: Wagner L N (ed.) *Urbanization: 21st Century Issues and Challenges*. New York: Nova Science Publishers Inc., pp. 213-225.
- Magura T, Tóthmérész B, Lövei G L (2006c): Body size inequality of carabids along an urbanisation gradient. *Basic and Applied Ecology*, 7: 472-482.
- Magura T, Tóthmérész B, Molnár T (2004): Changes in carabid beetle assemblages along an urbanisation gradient in the city of Debrecen, Hungary. *Landscape Ecology*, 19: 747-759.
- Magura T, Tóthmérész B, Molnár T (2005): Species richness of carabids along a forested urban-rural gradient in eastern Hungary. In: Lövei G L, Toft S (eds.) *European Carabidology 2003: Proceedings of the 11th European Carabidologists' Meeting. DIAS Report 114*. Flakkebjerg: Ministry of Food, Agriculture and Fisheries and Danish Institute of Agricultural Sciences, pp. 209-217.
- Magura T, Tóthmérész B, Molnár T (2008d): A species-level comparison of occurrence patterns in carabids along an urbanisation gradient. *Landscape and Urban Planning*, 86: 134-140.
- McDonnell M J, Pickett S T A, Groffman P, Bohlen P, Pouyat R V, Zipperer W C, Parmelee R W, Carreiro M M, Medley K (1997): Ecosystem processes along an urban-to-rural gradient. *Urban Ecosystems*, 1: 21-36.
- McKinney M L (2002): Urbanization, biodiversity and conservation. *Bioscience*, 52: 883-890.
- McKinney M L (2006): Urbanization as a major cause of biotic homogenization. *Biological Conservation*, 127: 247-260.
- Niemelä J (1999): Ecology and urban planning. *Biodiversity and Conservation*, 8: 119-131.
- Niemelä J, Kotze D J (2009) Carabid beetle assemblages along urban to rural gradients: A review. *Landscape and Urban Planning*, 92: 65-71.
- Niemelä J K, Spence J R (1994): Distribution of forest dwelling carabids (Coleoptera): spatial scale and the concept of communities. *Ecography*, 17: 166-175.
- Niemelä J, Kotze J, Ashworth A, Brandmayr P, Desender K, New T, Penev L, Samways M, Spence J (2000): The search for common anthropogenic impacts on biodiversity: a global network. *Journal of Insect Conservation*, 4: 3-9.

- Oxbrough A G, Gittings T, O'Halloran J, Giller P S, Smith G F (2005): Structural indicators of spider communities across the forest plantation cycle. *Forest Ecology and Management*, 212: 171-183.
- Pearce J L, Venier L A, Eccles G, Pedlar J, McKenney D (2004:) Influence of habitat and microhabitat on epigeal spider (Araneae) assemblages in four stand types. *Biodiversity and Conservation*, 13: 1305-1334.
- Penev L, Niemelä J, Kotze D J, Chipev N (2004): *Ecology of the City of Sofia. Species and Communities in an Urban Environment*. Sofia-Moscow: Pensoft Publisher.
- Rebele F (1994): Urban ecology and special features of urban ecosystems. *Global Ecology and Biogeography*, 4: 173-187.
- Rencher A C (2002): *Methods of Multivariate Analysis*. New York: John Wiley and Sons.
- Sokal R R, Rohlf F J (1995): *Biometry*. New York: Freeman.
- Szyszkowski J (1983): *State of Carabidae (Col.) fauna in fresh pine forest and tentative valorisation of this environment*. Warsaw: Warsaw Agricultural University Press.
- Ter Braak C J F, Šmilauer P (1998): *CANOCO Reference Manual and User's Guide to Canoco for Windows. Software for Canonical Community Ordination (version 4)*. Wageningen and Ithaca: Centre for Biometry Wageningen and Microcomputer Power.
- Tóthmérész B (1993a): DivOrd 1.50: A program for diversity ordering. *Tiscia*, 27: 33-44.
- Tóthmérész B (1993b): NuCoSA 1.0: Number cruncher for community studies and other ecological applications. *Abstracta Botanica*, 17: 283-287.
- Tóthmérész B, Magura T (2005): Affinity indices for environmental assessment using carabids. In: Lövei G L, Toft S (eds.) *European Carabidology 2003: Proceedings of the 11th European Carabidologists' Meeting. DIAS Report 114*. Flakkebjerg: Ministry of Food, Agriculture and Fisheries and Danish Institute of Agricultural Sciences, pp. 345-352.
- Tóthmérész B, Magura T (2009): Az urbanizáció hatása a talajfaunára: Hipotézisek és nemzetközi kitekintés. *Természetvédelmi Közlemények*, 15: 13-22.
- Tóthmérész B, Máthé I, Balázs E, Magura T (2011): Responses of carabid beetles to urbanization in Transylvania (Romania). *Landscape and Urban Planning*, 99: in press.
- Whitney G G (1985): A quantitative analysis of the flora and plant communities of a representative midwestern U. S. town. *Urban Ecology*, 9: 143-160.
- Wilson E O (2002): *The Future of Life*. New York: Little, Brown & Co.

7. Az értekezés témakörében megjelent publikációk

7.1. Impakt faktoros közlemények

Magura T, Hornung E, Tóthmérész B (2008): Abundance patterns of terrestrial isopods along an urbanization gradient. *Community Ecology*, 9: 115-120.

Magura T, Horváth R, Tóthmérész B (2010): Effects of urbanization on ground-dwelling spiders in forest patches, in Hungary. *Landscape Ecology*, 25: 621-629.

Magura T, Lövei G L, Tóthmérész B (2008): Time-consistent rearrangement of carabid beetle assemblages by an urbanisation gradient in Hungary. *Acta Oecologica - International Journal of Ecology*, 34: 233-243.

Magura T, Lövei G L, Tóthmérész B (2010): Does urbanization decrease diversity in ground beetle (Carabidae) assemblages? *Global Ecology and Biogeography*, 19: 16-26.

Magura T, Tóthmérész B, Lövei G L (2006): Body size inequality of carabids along an urbanisation gradient. *Basic and Applied Ecology*, 7: 472-482.

Magura T, Tóthmérész B, Molnár T (2004): Changes in carabid beetle assemblages along an urbanisation gradient in the city of Debrecen, Hungary. *Landscape Ecology*, 19: 747-759.

Magura T, Tóthmérész B, Molnár T (2008): A species-level comparison of occurrence patterns in carabids along an urbanisation gradient. *Landscape and Urban Planning*, 86: 134-140.

7.2. Nem impakt faktoros közlemények

Magura T, Hornung E, Tóthmérés B (2009): Changes of ground beetle and isopod assemblages along an urbanisation gradient in Hungary. In: Tajovský K, Schlaghamerský J, Pižl V (eds.) *Contributions to Soil Zoology in Central Europe III*. Ceske Budajovice: Institute of Soil Biology, Biology Centre, Academy of Sciences of the Czech Republic, pp. 97-101.

Magura T, Tóthmérés B, Hornung E (2006): Az urbanizáció hatása talajfelszíni ízeltlábúakra. *Magyar Tudomány*, 6: 705-708.

Magura T, Tóthmérés B, Hornung E, Horváth R (2008): Urbanisation and ground-dwelling invertebrates. In: Wagner L N (ed.) *Urbanization: 21st Century Issues and Challenges*. New York: Nova Science Publishers Inc., pp. 213-225.

Magura T, Tóthmérés B, Molnár T (2005): Species richness of carabids along a forested urban-rural gradient in eastern Hungary. In: Lövei G L, Toft S (eds.) *European Carabidology 2003: Proceedings of the 11th European Carabidologists' Meeting. DIAS Report 114*. Flakkebjerg: Ministry of Food, Agriculture and Fisheries and Danish Institute of Agricultural Sciences, pp. 209-217.

Tóthmérés B, Magura T (2005): Affinity indices for environmental assessment using carabids. In: Lövei G L, Toft S (eds.) *European Carabidology 2003: Proceedings of the 11th European Carabidologists' Meeting. DIAS Report 114*. Flakkebjerg: Ministry of Food, Agriculture and Fisheries and Danish Institute of Agricultural Sciences, pp. 345-352.

Tóthmérés B, Magura T (2009): Az urbanizáció hatása a talajfaunára: Hipotézisek és nemzetközi kitekintés. *Természetvédelmi Közlemények*, 15: 13-22.