

Szegélyek szerepe a diverzitás fenntartásában futóbogarak esetén

Molnár Tivadar¹, Magura Tibor², Tóthmérész Béla³ és Elek Zoltán³

¹Debreceni Egyetem, Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék
4010 Debrecen, Pf. 3

²Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóság
4024 Debrecen, Sumen u. 2

³Debreceni Egyetem, Ökológiai Tanszék
4010 Debrecen, Pf. 71

Összefoglaló: Kutatásunk során futóbogarak diverzitásának változását vizsgáltuk az Aggteleki Nemzeti Parkban egy gyertyános-tölgyes belsejéből az erdőszegélyen át a szomszédos gyepeg húzódo transzektek mentén talajcsapdás mintavétellel. Eredményeink azt mutatják, hogy szignifikáns szegélyhatás figyelhető meg futóbogarak esetén: a diverzitás szignifikánsan magasabb volt az erdőszegélyben és a gyepeben, mint az erdő belsejében. A habitatok fajösszetétel és abundancia alapján is elkülönültek nem-metrikus ordináció segítségével, jelezve, hogy a három habitat egymástól eltérő fajegyüttesel rendelkezik. Kvantitatív karakterfaj-elemzés segítségével az alábbi csoportok jellemző fajait azonosítottuk: (1) habitat generalisták, (2) gyepe jellemző fajok, (3) erdei generalisták, (4) erdei specialisták, (5) szegély specialisták. Eredményeink megmutatták, hogy az erdőszegély magas diverzitása egyrészt a szegélyhez kötődő fajok, másrészt a szomszédos területekre jellemző fajok jelenlétének köszönhető. Mindez kiemeli az erdőszegélyek konzervációbiológiai fontosságát, mivel a diverzitás fenntartásában kulcsszerepet töltenek be.

Kulcsszavak: diszperzió, diverzitás, erdőszegély, futóbogarak, karakterfajok, szegélyhatás, természetvédelem

Bevezetés

Az erdőszegélyek, mind az ökológiai, mind a konzervációbiológiai kutatások szempontjából központi szerepet töltenek be, mivel az élőhelyek növekvő fragmentációja miatt az erdőszegélyek egyes területeken az erdőállományok belső területeihez képest egyre nagyobb kiterjedésűvé válnak (Saunders *et al.* 1991), míg más területeken eltűnőben vannak, köszönhetően a modern erdőtelepítéseknek vagy a szomszédos területek művelés alóli kivonásának. Az erdőszegély szomszédos habitatok közötti átmeneti zóna. Az erdőszegélyek sajátos mikroklimatikus viszonyokkal rendelkeznek, hirtelen változásokat figyelhetünk meg a fényviszonyokban, a talaj jellemzőiben, a vízviszonyokban (Murcia 1995). Ezek a fak-

torok fontosak a kisebb állatok, mint például a rovarok és főleg a talajon mozgó ízeltlábúak (bogarak) számára (Lövei & Sunderland 1996).

Kutatási munkánk három, az erdő belsejétől a gyep felé haladó transzekt mentén a futóbogarak térbeli eloszlásának vizsgálatára irányult, külön kiemelve a szegélyhatás következményét. A klasszikus szegélyhatás hipotézise azt állítja, hogy a fajszám és a diverzitás a szegélyben magasabb, mint a szomszédos területeken. Ezért kutatási hipotézisünk az volt, hogy a futóbogár közösségekben jelentkező változások a sajátos környezeti feltételekkel rendelkező erdőszegélyben a legkifejezettebbek és a klasszikus szegélyhatás hipotézisének megfelelően a futóbogarak fajszáma és diverzitása nagyobb lesz az erdőszegélyben, mint az erdő belsejében. Vizsgálatunk célja az volt, hogy teszteljük ezt a hipotézist futóbogár közösségekre három erdő–gyep transzekt mentén, továbbá vizsgáltuk azokat a környezeti változókat, amelyek fontosak lehetnek a talajon mozgó futóbogarak térbeli eloszlásának szempontjából (Niemelä & Spence 1994).

Módszerek

A kutatási terület az Északi-középhegységben az Aggteleki Nemzeti Parkban helyezkedik el. Ezen a területen gyertyános-tölgyes (*Quercus-Carpinetum*) a zonális erdőtársulás. A kutatási területen 3 habitatot tanulmányoztunk a transzekt mentén: (1) az erdő belseje: gyertyános-tölgyes mérsékelt gyep- és cserjeszinttel; (2) az erdőszegély: közepesen zárt lombkoronaszinttel és sűrű lágyszárú-vegetációval, mely főleg a szomszédos gyepből származik, a cserjeszint szintén dús volt; (3) valamint, a gyep sűrű lágyszárú-vegetációval. Három párhuzamos, az erdő belsejétől a gyepig húzódó transzektet jelöltünk ki, amelyek mentén talajcsapdákat helyeztünk el. A transzekt egymástól 50 méterre helyezkedtek el. Talajcsapdának 10 cm átmérőjű, 500 ml térfogatú műanyag poharakat használtunk. A csapdázási periódusok a hómentes időszakokat (márciustól novemberig) ölelték fel 1997-ben és 1998-ban. A csapdázott egyedeket havonta gyűjtöttük. A határozás Freude *et al.* (1976) alapján történt.

Nyolc környezeti tényezőt vizsgáltunk. Mértük minden egyes talajcsapda mellett (1) a talaj hőmérsékletét 2 cm-es mélységben, (2) a levegő hőmérsékletét a talajfelszínen, (3) a levegő relatív páratartalmát. Továbbá becsültük mindegyik csapda mentén 2 méteres körben (4) az avarréteg-, (5) a lágyszárúak és (6) a cserjék borítását, (7) a lombkoronaszint záródását. Ezen felül (8) a futóbogarak lehetséges zsákmányállatainak (pl. Chilopoda, Collembola, Diplopoda, Gastropoda, Isopoda, Orthoptera stb.) egyedszámát is meghatároztuk csapdánként.

A fajgazdagság jellemzésére a Shannon-diverzitást használtuk. Egytényezős varianciaanalízist használtunk annak meghatározásához, hogy vannak-e különbségek a transektek mentén az egyes habitatokban a talajcsapdánkenti futóbogár diverzitásban és a vizsgált környezeti változóiban. Többszörös regresszióanalízist használtunk annak kimutatására, hogy van-e összefüggés a vizsgált 8 környezeti változó és a futóbogarak diverzitása között.

Az egyes habitatokra (erdő, erdőszegély és gyep) jellemző karakterfajok azonosításához egy kvantitatív karakterfaj meghatározó módszert (IndVal) használtunk (Dufrene & Legendre 1997). A sokváltozós elemzéseket a NuCoSA programcsomaggal készítettük (Tóthmérész 1993).

Eredmények

Szignifikáns különbségeket találtunk a transektek mentén mindkét évben a mért mikroklimatikus értékekben (a talaj- és a talajfelszíni léghőmérsékletben és a levegő relatív páratartalmában), valamint az avarborítás, a gyep-, a cserje- és a lombkoronaszint záródásának becsült értékeiben, továbbá a futóbogarak potenciális táplálékállatainak abundanciáiban.

Az egytényezős varianciaanalízis (ANOVA) igazolta, hogy szignifikáns különbség volt mindkét évben a transektek mentén a három habitat futóbogarainak diverzitásában (1. a. ábra, $F = 30,54$, $df = 8,44$, $p = 0,0002$; és 1b ábra, $F = 29,07$, $df = 8,44$, $p = 0,0003$). A Tukey-típusú poszteriori teszt bizonyította, hogy a Shannon-diverzitás szignifikánsan ($p < 0,05$) mindkét évben magasabb volt az erdőszegélyben és a gyepben, mint az erdő belsejében. Azonban a diverzitásban levő különbségek az erdőszegély és a gyep között nem voltak szignifikánsak (1. ábra).

A többszörös lineáris regresszióanalízis eredménye azt mutatja, hogy a talaj hőmérséklete, a levegő relatív páratartalma, valamint a lágyszárúak borítása azok a tényezők, melyek szignifikánsan befolyásolják a futóbogarak diverzitását a transektek mentén (1997: $F = 8,6308$, $df = 8,36$, $p < 0,0001$, $r^2 = 0,6573$; 1998: $F = 10,7646$, $df = 8,36$, $p < 0,0001$, $r^2 = 0,7052$).

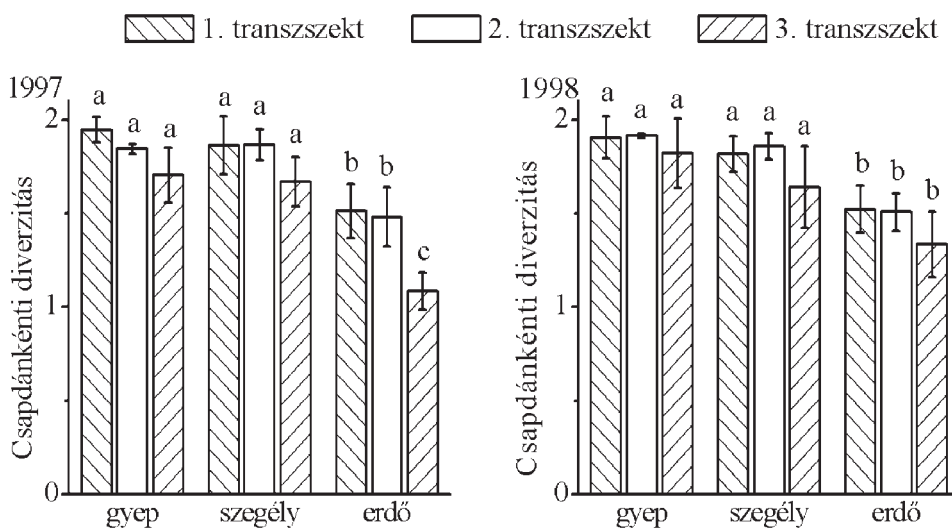
A nem-metrikus sokdimenziós skálázás (MDS) eredményei azt mutatják, hogy a gyepben, az erdőszegélyben és az erdő belsejében levő csapdák futóbogár együtteseinek lényegesen elkülönültek egymástól a fajösszetétel és az abundancia alapján egyaránt. A gyep futóbogár együttese az erdei habitatok (az erdő belseje és az erdőszegély) együtteseitől az első tengely, míg az erdő belsejének és az erdőszegélynek a futóbogár együttese a második tengely mentén szeparálódnak (2. ábra). Az erdei habitatok futóbogár együtteseinek összetétele jobban hasonlít egymáshoz, mint a gyepben lévő csapdák futóbogár együtteseinek összetételéhez. Az or-

dináció a Bray–Curtis és a Matusita hasonlóságok használata esetén is azonos eredményt adott.

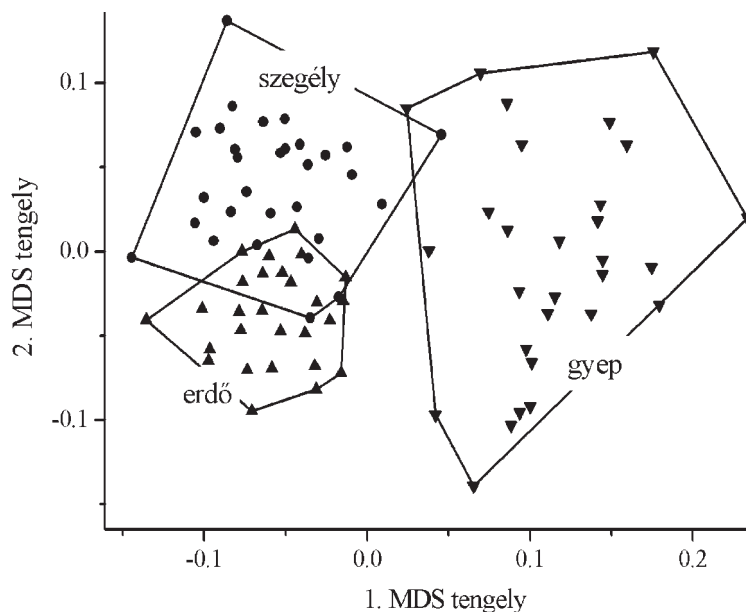
A gyűjtött futóbogár fajokat (34 faj 3406 egyedét) 5 csoportba oszthatjuk: (1) habitat generalisták, melyek minden habitattípusban nagy számban fordultak elő; (2) nyílt területekre jellemző fajok, amelyeket kizárólag a gyepten fogtunk vagy ott voltak a legnagyobb egyedszámúak; (3) erdei generalisták, melyek kizárólag az erdei habitatokban (erdő belseje és erdőszegély) fordultak elő vagy ezen habitatokban voltak a legtömegesebbek; (4) erdei specialisták, melyek kizárólag az erdő belsejében találtunk meg vagy ott voltak a tömegesek; (5) erdőszegély specialisták, melyek kizárólag az erdőszegélyben voltak jelen vagy ott voltak a legnagyobb mennyiségben megtalálhatók. A kvantitatív karakterfaj-elemzés eredményét a 3. ábra mutatja.

Értékelés

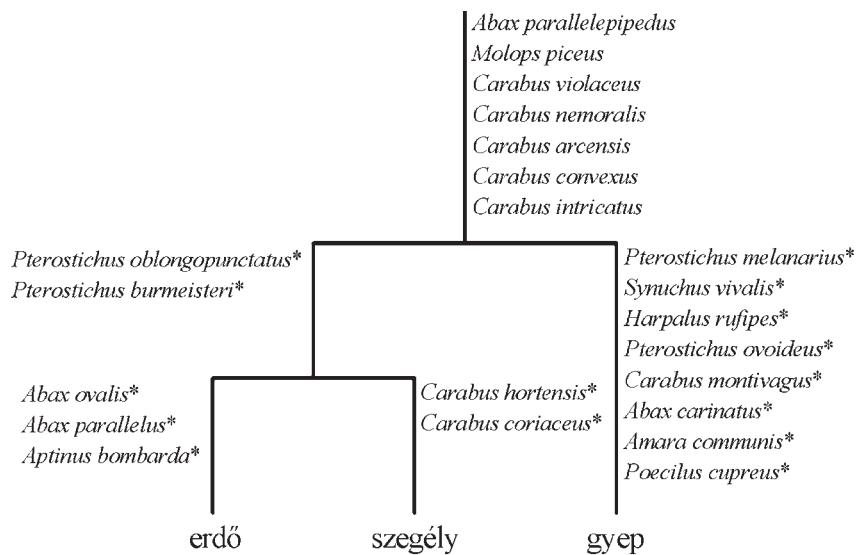
Két típusát szokás megkülönböztetni a szegélyhatásoknak (Murcia 1995): (1) abiotikus hatások, amelyek magukba foglalják a környezeti tényezők változásait, amelyek abból erednek, hogy két, strukturálisan különböző mátrix van egymáshoz közel; (2) biotikus hatások, amelyek a fajok térbeli eloszlásának és abun-



1. ábra. A csapdánkénti Shannon-diverzitás átlagértékei (\pm a szórás) a két évben a vizsgált élőhelyeken. A különböző betűkkel jelölt átlagok között szignifikáns ($p < 0,05$) különbség van. Mindegyik összehasonlítás esetében $F > 10,00$ és $p < 0,01$.



2. ábra. A csapdák ordinációja nem-metrikus sokdimenziós skálázással a fajösszetétel alapján a Rogers-Tanimoto hasonlóságot használva.



3. ábra. Az erdő, a szegély és a gyep karakterfajai az IndVal módszer alapján. A * a szignifikáns karakterfajokat jelöli. A fa-diagram a fajösszetétel alapján készült Rogers-Tanimoto hasonlóság és teljes lánc módszer segítségével.

danciájának a változásait foglalják magukba, ezek a hatások a szegélyben uralkodó körülmények, valamint a faj fiziológiai toleranciája által meghatározottak.

A kutatási területen az erdei habitatok rendszerint alacsony strukturális komplexitással jellemezhető gyepek által határoltak. A strukturális komplexitásban jelentkező különbségek a mikroklímában való eltérésekben nyilvánulnak meg. Az erdőhöz képest a gyepek nappal több napsugárzást engednek a talajfelszínre, így a nappali hőmérséklet nagyobb. Ezzel ellentétben, az erdő belsejében a mikroklíma hűvösebb, nedvesebb. A levegő hőmérséklete és relatív páratartalma az erdőszegélyben magasabb, mint az erdő belsejében. A szegély két oldalán jelentkező mikroklimatikus különbségek nedvesség- és hőmérséklet-gradienst alakítanak ki, amely a szegélyre merőlegesen fut. Az élőhely struktúrája is változik a vizsgált transektek mentén (Magura *et al.* 2001a, b, Molnár *et al.* 2001). Az avar borítása és a lombkoronaszint záródása csökken az erdő belsejétől a gyepek felé haladva. A cserjék borítása az erdőszegélyben volt a legnagyobb. Az erdőszegély fiziognómiája is befolyásolja az abiotikus szegélyhatás intenzitását. A lombkoronaszint záródásának csökkentésével a fényintenzitás is változik a szegélyben (Murcia 1995).

Eredményeink igazolják, hogy jelentős szegélyhatás figyelhető meg a futóbogarak esetében a kutatási területen. A kapott eredmények azt mutatják, hogy a futóbogarak Shannon-diverzitása szignifikánsan nagyobb volt a gyepekben és az erdőszegélyben, mint az erdő belsejében. Az erdő belsejének és a gyepeknek a fajgazdagságában mutatkozó szignifikáns különbség jól ismert az irodalomból (Niemelä *et al.* 1992, Butterfield *et al.* 1995, Magura & Tóthmérész 1997, 1998). Nem találtunk szignifikáns különbséget a gyepek és az erdőszegély diverzitása között, amely szintén igazolja a futóbogaraknál talált szegélyhatást, ugyanis az erdei habitatok futóbogár közösségei rendszerint szignifikánsan kevésbé diverzek, mint a nyílt élőhelyek, ahogy a fent említett cikkekben is beszámolnak erről.

Eredményeink bizonyítják, hogy a lágyszárúak relatív borítása, a talajfelszín hőmérséklete és a levegő relatív páratartalma a legfontosabb tényezők, amelyek meghatározzák a tanulmányozott transektek mentén a futóbogár közösségek diverzitását. Korábbi tanulmányok hangsúlyozták a mikroklimatikus tényezőknek a futóbogár együttesek összetételére gyakorolt hatását (Butterfield 1997). A szignifikáns pozitív korreláció a futóbogarak diverzitása, valamint a lágyszárúak borítása között a habitat struktúrájával magyarázható, mivel a futóbogarak inkább a habitat struktúrájától függnek, mint az egyes növényfajok jelenlététől. Korábbi vizsgálatok kimutatták, hogy a vegetáció nagyobb heterogenitása a futóbogár közösségek magasabb diverzitási értékével jár együtt (Bedford & Usher 1994, Magura *et al.* 2000). Az erdőszegélyről elmondhatjuk, hogy a szomszédos gyepekből származó lágyszárúak és az erdőből származó cserjék jelentősen hozzájárulnak a habitat heterogenitáshoz, és elősegítik a mikrohabitatok kialakulását. Továbbá,

mivel a csapdázott egyedek többsége nem specializálódott ragadozó, dögevő, vagy mindenevő volt, ezért a futóbogarak potenciális zsákmányainak abundanciája is fontos befolyásoló tényező lehet. A lágyszárúak borításának növekedése hozzájárul a növényevő gerinctelen állatok mennyiségének növekedéséhez, melyek a futóbogarak számára potenciális zsákmányként szolgálhatnak és így biztosított egy időben és térben egyenletes resource eloszlás (Niemelä & Spence 1994, Niemelä *et al.* 1996).

Az ordinációs elemzés, valamint a karakterfaj-elemzés azt mutatja, hogy a tanulmányozott habitattípusok jellegzetes futóbogár közösségekkel jellemezhetőek, amelyek az adott habitathoz kötődnek (3. ábra). Azonban a tanulmányozott mezoskálán a különböző habitatok, az erdő belseje, az erdőszegély, a gyepek, nem függetlenek egymástól és diszperziós folyamatok figyelhetők meg a szomszédos habitatok között. Tehát az egyes habitatokra jellemző fajok nemcsak az adott habitatban fordulnak elő, hanem a szomszédos területekre is behatolnak. A futóbogarak térbeli eloszlásának havonkénti változása arra utal, hogy szezonális mozgások vannak a szomszédos élőhelyek között. A karakterfajokat havonkénti bontásban vizsgálva azt tapasztaltuk, hogy a *Pterostichus oblongopunctatus* (Fabricius, 1787) szignifikáns karakterfaj az erdő belsejére márciustól áprilisig, az erdei habitatokra májustól júniusig, végül ismét az erdő belsejére júliustól novemberig. A kétéves adatsor összegzett adatait figyelembe véve az erdei habitatokra találtuk szignifikáns karakterfajnak. Ugyanez a jelenség volt a *Pterostichus burmeisteri* (Linnaeus, 1758) esetében is megfigyelhető. Továbbá a lombkoronaszint záródásának csökkenésével a többnyire a nyílt területekre jellemző fajok (pl. *Pterostichus melanarius* (Illiger, 1798), *Synuchus vivalis* (Illiger, 1798), *Harpalus rufipes* (De Geer, 1774), *Carabus montivagus* (Pallairdi, 1825), *Abax carinatus* (Duftschmid, 1812) is behatolhatnak az erdőszegélybe növelve annak diverzitását. Az erdő belsejére jellemző fajok (*Abax ovalis* Duftschmid, 1812, *Aptinus bombardae* Illiger, 1800, *Abax parallelus* Duftschmid, 1812) szintén képesek az erdőszegélybe behatolni. A diszperziós folyamatok, melynek révén az egyes habitatokra jellemző fajok a szomszédos habitatokba is behatolnak, valamint a szegélyhez kötődő fajok, jelentősen hozzájárulnak az erdőszegélyben található futóbogár közösség diverzitásának növeléséhez. Összességében megállapítható, hogy a futóbogaraknál jelentkező szegélyhatás részben a szomszédos habitatokra (erdő belseje és gyepek) jellemző fajok jelenlétéből adódik, de ehhez nagymértékben hozzájárulnak még a szegélyhez kötődő fajok is (Magura *et al.* 2002). Ezek a szegélyfajok olyan habitattípust találhatnak az erdőszegélyben, amely a szomszédos habitatok egyikeiben sincs meg, illetve ezek a fajok igénylik a két, strukturálisan különböző habitat egymáshoz való közelségét.

Kutatásaink során kimutattuk, hogy az erdőszegélyek fontos szerepet játszanak a futóbogarak diverzitásának fenntartásában és megőrzésében, ezért védelmük elengedhetetlen. Számos futóbogár faj, amely az erdő belsejére vagy a gyepre volt jellemző, be tudott hatolni az erdőszegélybe, így az erdőszegély a szomszédos habitatok életképes populációit tarthatja fent, forrás habitatként (Pulliam 1988) vagy ún. „stepping stones”-ként (den Boer 1970) szolgálhat a futóbogár populációk diszperziós folyamatai számára, hozzájárulva ezzel a lokális kihalási folyamatok utáni (den Boer 1981) vagy a természetes élőhelyek tönkretétele (pl. a gyepek felégetése, felszántása, túllegeltetése stb.) utáni regenerációs, illetve visszatelepődési folyamatokhoz. Mindez azt jelzi, hogy az erdőszegélyek fontos szerepet játszanak a szomszédos zavart területek regenerációjában vagy szekunder szukcessziójában.

Irodalomjegyzék

- Bedford, S. E. & Usher, M. B. (1994): Distribution of arthropod species across the margins of farm woodlands. – *Agriculture, Ecosystems and Environment* **48**: 295–305.
- Butterfield, J., Luff, M. L., Baines, M. & Eyre, M. D. (1995): Carabid beetle communities as indicator of conservation potential in upland forests. – *Forest Ecology and Management* **79**: 63–77.
- den Boer, P. J. (1970): On the significance of dispersal power for populations of carabid-beetles (Coleoptera, Carabidae). – *Oecologia* **4**: 1–28.
- den Boer, P. J. (1981): On the survival of populations in a heterogeneous and variable environment. – *Oecologia* **50**: 39–53.
- Dufrene, M. & Legendre, P. (1997): Species assemblages and indicator species: the need for a flexible asymmetrical approach. – *Ecological Monographs* **67**: 345–366.
- Freude, H., Harde, K. W. & Lohse, G. A. (1976): *Die Käfer Mitteleuropas*. – Goecke and Evers Verlag, Krefeld, 302 pp.
- Lövei, G. & Sunderland, K. D. (1996): Ecology and behavior of ground beetles (Coleoptera: Carabidae). – *Ann. Rev. Entomology* **41**: 231–256.
- Magura, T. & Tóthmérész, B. (1997): Testing the edge effect on carabid assemblages in a deciduous forest. – *Acta zool. hung.* **43**: 303–312.
- Magura, T. & Tóthmérész, B. (1998): Edge effect on carabids in oak-hornbeam forest at Aggtelek National Park (Hungary). – *Acta Phytopat. Entomol. Hung.* **33**: 379–387.
- Magura, T., Tóthmérész, B. & Bordán, Zs. (2002): Carabids in oak hornbeam forest: testing the edge effect hypothesis. – *Acta Biol. Debrecina* **24**: 235–249.
- Magura, T., Tóthmérész, B. & Molnár T. (2000): Spatial distribution of carabid species along grass forest transects. – *Acta zool. hung.* **46**: 1–17.
- Magura, T., Tóthmérész, B. & Molnár, T. (2001a): Forest edge and diversity: carabids along forest-grass transects. – *Biodiversity and Conservation* **10**: 287–300.
- Magura, T., Tóthmérész, B. & Molnár, T. (2001b): Edge effect on carabids along forest-grass transects. – *Web Ecology* **2**: 7–13.
- Molnár, T., Magura, T. & Tóthmérész, B. (2001): Ground beetles (Carabidae) and edge effect in oak-hornbeam forest-grassland transects. – *European J. Soil Biol.* **37**: 297–300.

- Murcia, C. (1995): Edge effects in fragmented forests: implications for conservation. – *Tree* **10**: 58–62.
- 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., Spence, J. R. & Spence, D. H. (1992): Small-scale heterogeneity in the spatial distribution of carabid beetles in the southern Finnish taiga. – *J. Biogeogr.* **19**: 173–181.
- Niemelä, J., Haila, Y. & Punttila, P. (1996): The importance of small-scale heterogeneity in boreal forests: variation in diversity in forest-floor invertebrates across the succession gradient. – *Ecography* **19**: 352–368.
- Pulliam, H. R. (1988): Sources, sinks, and population regulation. – *Amer. Naturalist* **132**: 652–661.
- Saunders, D. A., Hobbs, R. J. & Margules, C. R. (1991): Biological consequences of ecosystem fragmentation: a review. – *Conservation Biology* **5**: 18–32.
- Thiele, H. U. (1977): *Carabid Beetles in their Environments*. – Springer Verlag, Berlin, 369 pp.
- Tóthmérész, B. (1993): NuCoSA 1.0: Number cruncher for community studies and other ecological applications. – *Abstracta Botanica* **17**: 283–287.
- Tóthmérész, B. (1995): Comparison of different methods for diversity ordering. – *J. Veg. Sci.* **6**: 283–290.

The role of edges in supporting biodiversity in the case of carabids

Molnár, T.¹, Magura, T.², Tóthmérész, B.³ and Elek, Z.³

¹Department of Evolutionary Biology, Debrecen University
H-4010 Debrecen, P. O. Box 3, Hungary

²Hortobágy National Park Directorate, H-4024 Debrecen, Sumen u. 2, Hungary

³Ecological Institute, Debrecen University, H-4010 Debrecen, P. O. Box 71, Hungary

Abstract: Diversity relationships of carabids in forest edges and neighbouring forest interiors and the surrounding grassland areas were studied. Samples were taken along three replicated forest-grassland transects using pitfall traps in the Aggtelek National Park in Hungary for 2 years. The study revealed significant edge effect on the carabids. The Shannon diversity of carabids was significantly higher in the forest edge and the grassland than in the forest interior. Carabids of the forest interior, forest edge and grassland can be separated from each other by ordinations, both on the species composition and abundance, suggesting that all three habitats have distinct species assemblages. Moreover, indicator species analysis detected significant edge associated species; based on the specificity and fidelity of the carabids we have distinguished five groups of species: habitat generalists, grassland-associated species, forest generalists, forest specialists and edge-associated species. Our result suggests that the increased diversity of the forest edges is due to the edge-associated species and to the occurrence of the species of the neighbouring habitats.

Key words: dispersion, diversity, edge effect, environmental conservation, forest edge, ground beetles, indicator species