

A Beregi-sík erdőfragmentumainak élőhelyszerkezeti elemzése a futóbogár fauna alapján

Vasas Vera^{1*}, Magura Tibor², Tóthmérész Béla³, Jordán Ferenc⁴, Kődöböcz Viktor²

¹Eötvös Loránd Tudományegyetem, Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék
Pázmány P. s. 1/c, 1117, Budapest

²Hortobágyi Nemzeti Park Igazgatóság, Debrecen
Pf. 216, 4002, Debrecen

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

⁴MTA-MTM Állatökológiai Kutatócsoport, Ludovika tér 2., 1083, Budapest

*felelős szerző: ELTE Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék,
Pázmány P. s. 1/c, 1117, Budapest
e-mail: vvasas@yahoo.com

Összefoglaló: Az élőhelyek pusztulásával szorosan összefüggő természetvédelmi probléma a habitatfragmentáció jelensége. A Beregi-sík megmaradt erdőfragmentumaiban élnek olyan futóbogárfajok, melyek fennmaradása jelentős mértékben függ a Kárpátok irányából, ökológiai folyosókon keresztül történő bevándorlástól. Több szempontból is megvizsgáltuk, az ilyen élőhelyfoltokból és folyosókból álló élőhely-hálózat összefüggőségét és azt, hogyan lehetséges azt a természetvédelmi céloknak megfelelően javítani. Célunk az volt, hogy (1) meghatározzuk az egyes élőhelyfoltok relatív fontosságát, (2) a gyakorlatban létesíthető folyosók közül kiválasszuk azokat, amelyek a lehető legnagyobb mértékben növelik a hálózat összefüggőségét, valamint (3) megvizsgáljuk a meglévő folyosók minőségjavításának várható hatását. Eredményeink alapján viszonylag egyszerű beavatkozások is jelentősen növelhetik a vizsgált fajok túlélési esélyét. A Munkácsi erdő és a hozzá kapcsolódó folyosók, valamint a Beregújfalui erdőt a Kárpátokkal összekötő folyosó kiemelt védelemre érdemes.

Kulcsszavak: Carabidae, élőhely fragmentáció, hálózat, gráfelmélet, ökológiai folyosó

Bevezetés

Az erdők védelme összetett, sokoldalú feladat, ami csak akkor hatékony, ha az erdei élővilág közösségi szintű védelmén alapul. Ez fajok, fajkombinációk, illetve fajkölcsonhatások megőrzését és ezen keresztül az erdőre jellemző közösségi ökológiai funkciók fenntartását jelenti. A tájökölógiai és a közösségi ökológiai folyamatok jelentős mértékben összefüggenek. Például az élőhelyfragmentációra különösen érzékeny, a táplálékláncban magas státuszú ragadozók lokális kihalása sok esetben az alacsonyabb státuszú ragadozók elszaporodásához vezet (Crooks & Soulé 1999), ez pedig a növényevők, vagy akár a növények szintjét is átrendezheti. A jelentősen fragmentált területeken tehát az erdei élővilág integritása szempontjából különösen fontos a ragadozók védelme. A kiemelkedő fragmentációs érzékenység általában a mobilitással, a kis populációmérettel és a viszonylag alacsony denzitással függ össze. Sok esetben a ragadozók túlélésének, és ezen keresztül a megfelelő belső kontrollal rendelkező közösségek megőrzésének kulcsa az élőhelyfragmentumok közötti migráció és génáramlás. Ennek hiányában genetikai és demográfiai okok az izolált,

lokális populáció kihalását okozhatják. A migráció korlátait az élőhely térszerkezete jelenti, például az ökológiai folyosók kedvezőtlen térbeli mintázata.

A futóbogarak (*Coleoptera: Carabidae*) sok faja ragadozó (Lövei & Sunderland 1996), ezért a fragmentációra adott válaszuk tanulmányozása rendkívül fontos. Terepi és irodalmi adatok alapján jól azonosítható a bogarak élőhelyválasztása. Élőhelyszerkezeti vizsgálatokra a futóbogarak rendkívül alkalmasak, hiszen a zárt erdőkhez kötődő fajok esetében jól azonosíthatóak az élőhelyszerkezet elemei és viszonylag egyszerűen kivitelezhetőek kísérletek is. Ennek megfelelően ma már sok adat áll róluk rendelkezésre, a tájökológia „szent állatainak” számítanak (mint a genetikában a *Drosophila* vagy növénygenetikában az *Arabidopsis*).

Célunk a Beregi-sík korábban egybefüggő, ma jelentős mértékben fragmentált erdeihez kötődő futóbogár fauna élőhelyszerkezetének hálózati elemzése. Szeretnénk megállapítani (1) a jelenlegi élőhelyhálózat térszerkezeti elemeinek (foltok és folyosók) a migráció és génáramlás fenntartásában betöltött jelentőségét, (2) a létesíthető folyosók becsült relatív hasznát, és (3) a jelenlegi folyosók elvi javításának becsült hasznát.

Módszerek

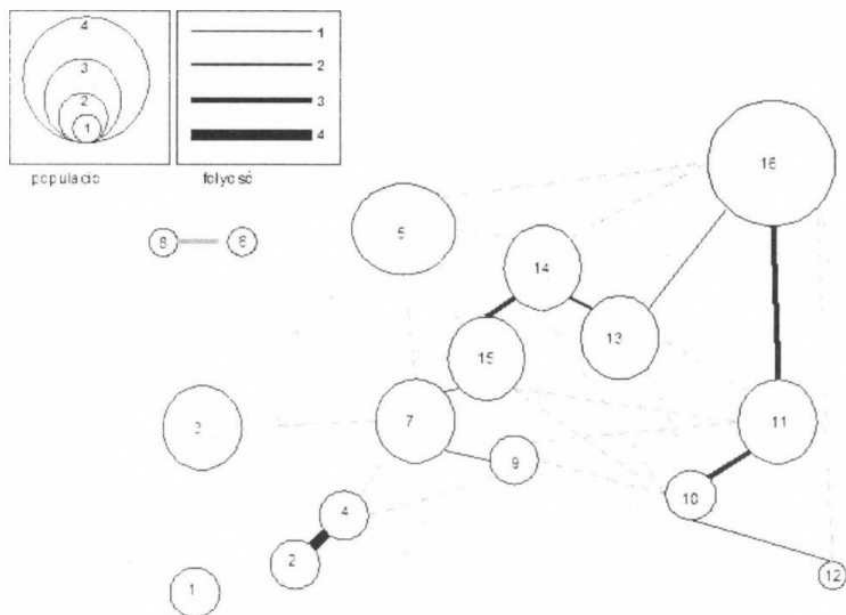
A vizsgált élőhelyhálózat

Vizsgálatunk során a Beregi-sík 15 erdőfoltját és a Kárpátokat tanulmányoztuk. A Beregi-síkot a 18-19. században még összefüggő erdőség borította, így a Kárpátokra jellemző erdei domb- és hegyvidéki fajok le tudtak terjedni a síkságra is. Mára az egykor összefüggő erdőség erőteljesen feldarabolódott. Így a mostani erdőfragmentumok egymástól és a Kárpátoktól is különböző mértékben elszigetelődtek. Azonban a jelenlegi erdőfoltokban is számos olyan domb- és hegyvidéki zárterdei futóbogár populációja él, amelyek potenciális kolonizációs forrása a Kárpátok (Magura et al. 1997, 2001, Ködöböcz & Magura 1999). A domb- és hegyvidéki zárt erdőkhez szorosan kötődő fajok számára különösen kedvezőtlen folyamat az erdők feldarabolódása (Lövei et al. 2006). Ilyen fajok a *Leistus piceus* (Frölich 1799), a *Carabus intricatus* (Linnaeus 1761), a *Cychrus caraboides* (Linnaeus 1758), az *Abax parallelus* (Duftschmid 1812), a *Cymindis cingulata* (Dejean 1825), a *Carabus arcensis carpathus* (Born 1902), a *Pterostichus melas* (Creutzer 1799) és a *Molops piceus* (Panzer 1793).

A terület légifotói alapján megszerkesztettük a fentebb említett domb- és hegyvidéki zárt erdőkhez kötődő futóbogár fajokra vonatkoztatott élőhelyszerkezeti hálózatot (1. ábra, kódokat lásd 1. táblázat), melyben a gráfpontok erdőfoltoknak felelnek meg, a gráfélek pedig ökológiai folyosó-jellegű térelemeknek. A foltokon élő lokális populációméretek alapján szemikvantitatív módon, 1-től (alacsony) 4-ig (magas) jellemeztük a foltok minőségét. Az egyes fajok adatait összevontuk. A lokális populációméretet csapdázással becsültük, évente átlagosan 0–10 csapdázott futóbogár egyed esetén a folt minősége 1, 11–100 egyed esetén 2, 101–1000 egyed esetén 3, végül több mint 1000 egyed esetén 4. A folyosók átjárhatóságát a terepi tapasztalatok (barrierként működő utak stb. elhelyezkedése), és a bogarak viselkedésmintázatai alapján hasonlóan 1-től 4-ig jellemeztük. Átjárhatóságot

azon foltpárok között feltételeztünk, amelyek 1 km-nél közelebb vannak egymáshoz. Az egész metapopuláció (*sensu* Pickett & Cadenasso 1995) egy olyan forrás-nyelő rendszer, melyben a Kárpátok vonulatait reprezentáló 16-os folt a forrás. Ilyen értelemben a hálózat jelenleg izolált foltokból és két "biogeográfiai köldökzsinórból" áll (Diamond & Gilpin 1983). Az élőhelyhálózat erősen fragmentált (a gráf sok komponensből áll; 1. ábra).

A rendelkezésünkre álló adatok alapján súlyozott, irányított, több komponensű gráfot alkottunk. Az erdőfoltokat N1-től N16-ig jelöltük, a folyosókat pedig L1-től L9-ig (1. táblázat). Listát készítettünk azokról a foltpárokról, amelyek között elvben lehetséges zöld folyosót létesíteni (ezeket L10-től L27-ig jelöltük), majd becsültük a tervezett folyosók átjárhatóságát. Kilencvenhárom, elvben lehetséges folyosóval nem foglalkoztunk, részben topográfiai és fiziognómiai kényszerek miatt, vagy azért, mert jelentőségük önmagukban elenyésző. Például nehéz folyosót elképzelni N8 és N12 között és nem lenne nagy jelentősége egy N1 és N3 közötti folyosónak (ld. 1. ábrát). A meglévő folyosók javításának vizsgálatakor a javított változatokat L1*-tól L9*-ig kódoltuk.



1. ábra. A vizsgált élőhelyhálózat szerkezete. A foltok és a folyosók minőségét egy négy fokozatú (1-4) skálán jellemeztük. Nagy kör nagy lokális populációt, vastag vonal könnyű átjárhatóságot jelent. Szaggatott vonalak jelzik a létesíthető folyosókat. Az 1. táblázat adja meg a térelemek kódjait.

1. táblázat. Az élőhelyszerkezetet alkotó foltok (N1-N16) és folyosók (L1-L9) kódjai, beleértve a tervezhető (L10-L27) folyosókat is. A jelenlegi hálózatra vonatkozó adatok a bal oldalon, a tervezhető elemekre vonatkozó adatok pedig a jobb oldalon láthatóak. Minden erdőfolt és folyosó minőségét négyfokozatú (1-4) skálán jellemeztük, ahol 1 a legrosszabb, 4 pedig a legjobb állapotnak felel meg.

Aktuális hálózat			Tervezhető hálózat		
Élőhelyfoltok			Tervezhető folyosók		
kód	név	minőség	kód	pozíció	becsült minőség
N1	Bockerek	2	L10	N3 / N5	1
N2	Déda H	2	L11	N3 / N7	1
N3	Lónya	3	L12	N4 / N7	1
N4	Déda U	2	L13	N4 / N9	1
N5	Dobrony	4	L14	N5 / N7	1
N6	Peres	1	L15	N5 / N14	1
N7	Rafajna	3	L16	N5 / N15	1
N8	Téglás	1	L17	N5 / N16	1
N9	Gút	2	L18	N6 / N8	3
N10	Alsóremete	2	L19	N9 / N10	1
N11	Beregújfalú	3	L20	N9 / N11	1
N12	Puskinó	1	L21	N10 / N13	1
N13	Munkács	3	L22	N10 / N14	1
N14	Alsókerepec	3	L23	N10 / N15	1
N15	Gát	3	L24	N11 / N13	1
N16	Kárpátok	4	L25	N11 / N15	1
			L26	N12 / N16	1
			L27	N14 / N16	1
Folyosók					
kód	pozíció	minőség			
L1	N2 / N4	4			
L2	N7 / N9	1			
L3	N7 / N15	1			
L4	N14 / N15	3			
L5	N13 / N14	2			
L6	N13 / N16	1			
L7	N11 / N16	3			
L8	N10 / N11	3			
L9	N10 / N12	1			

A hálózat jellemzése

Az egyes térszerkezeti elemek (foltok és folyosók) jelentőségének becslésére olyan hálózati indexeket használtunk, melyek azt számszerűsítik, hogy egy adott elem kiesése illetve a hálózatba történő beépítése (pl. folyosó létesítése) milyen hatással van a hálózat globális tulajdonságaira, leginkább az összefüggőségére. Az összefüggőség alapvető jelentőségű, mint a migráció és a génáramlást potenciálisan meghatározó tényező. A különféle, rendelkezésünkre álló hálózatelemzési módszerek közül a vizsgálni kívánt gráf tulajdonságai határozzák meg, melyek alkalmazandók. Bogaraink élőhelyszerkezetének tulajdonságai és a rendelkezésünkre álló adatok alapján az alábbi indexek alkalmazását tartottuk ésszerűnek.

Fokszám. A foltok pozicionális jelentőségét legegyszerűbben a szomszédos foltok számának megadásával jellemezhetjük. Folyosók esetén a fokszámot a végpontot alkotó foltok fokszámának átlagaként definiáltuk.

Távolság és topográfiai távolság. Egy hálózatban két pont távolságát a gráfélek minimális száma definiálja, amelyeken keresztül az egyik pontból a másikba juthatunk (Harary 1969). Egy pont összes többitől mért távolságának átlaga jellemzi a pont központi elhelyezkedésének mértékét a hálózatban. A kis átlagos távolsággal jellemezhető élőhelyfoltból kerülhetnek egyedek leggyorsabban a többi foltba. Ha a gráfélek számán túl azok minőségét is figyelembe vesszük, akkor az átlagos topográfiai távolságnak nevezett indexet kapjuk (Jordán et al. 2003), mely sokkal realisabb jellemzője a folt többi folttól mért távolságának. A távolság itt nem a szokásos SI mértékekre utal (mint pl. km), bár a becsült átjárhatóságérték egyik komponense lehet a folyosó hossza (hosszabb folyosón nagyobb a predációs veszély, a sikertelen bolyongás vagy a véletlenszerű elhullás). A fokszámhoz hasonlatosan a folyosók távolságértéke a végpontokat alkotó foltok távolság-értékének átlaga.

Maximális metapopulációméret. A térszerkezet vizsgálatakor lényeges, hogy mekkora az egyes izolátumokban (foltokban vagy foltcsoportokban) egymással migrációs kapcsolatban maradó lokális populációk összegyedyszáma. A lokális populációméret, mellyel a foltminőséget jellemeztük, lehetőséget kínál arra, hogy megadjuk az egyes térszerkezeti változások nyomán kialakult helyzetben a még egymással összefüggő populációrendszerek közül a legnagyobbak a méretét (ez jelen esetben több kisebb izolátum és egy kiugróan nagy csoport, melyet most metapopulációnak nevezünk). Az egyes térszerkezeti elemek elvesztésének vagy létesítésének hatását mutató maximális metapopulációméret a megváltozott gráfot jellemzi ilyen szempontból és fontos, a topológiai elemzést kiegészítő információt szolgáltat. A vizsgált hálózatban ennek értéke 24, amely a folyosók létesítésének a hatására nőhet, illetve erdőfoltok vagy folyosók elvesztésének hatására pedig csökkenhet.

Összetett fontossági index. Az eddig bemutatott indexekből egy összetett fontossági indexet készíthetünk (I^*). A most használt változat egy korábbi mérce (Jordán et al. 2003, Jordán et al. 2004, Pascual Hortal & Saura, 2006) módosított változata. Ez a fontossági index egyaránt alkalmas foltok és folyosók jellemzésére és azok jelentőségének közvetlen összevetésére, emellett a topológiai tulajdonságokat terepen becsült folt- és folyosóminőséget jellemző adatokkal egészíti ki.

A forráshoz kötött szubpopuláció mérete. A maximális metapopulációméret speciális eseteként megállapíthatjuk a forrásfolttal (itt N16, Kárpátok) összefüggő foltokban élő

szubpopuláció méretét is ($C16$), amennyiben feltehető az irányított gráffal reprezentált, jellemzően forrás-nyelő metapopulációs rendszer léte. Ez az index akkor hasznos, ha feltételezzük az akadálytalan migrációt, tehát a nyelő folttól mérhető gráfbéli távolság közömbös. Használata akkor indokolt, ha nem elsősorban a migrációs folyamatra koncentrálnak, hanem a forrással összeköttetésben álló szubpopuláció méretére, mert a vizsgált faj(ok) pl. a kihálás közelébe kerülnek.

Távolsággal súlyozott elérhetőség a forrásból. Amennyiben forrás-nyelő rendszerben gondolkodunk, és fontos figyelembe vesszük a migráció közben fellépő zavarásokat (pl. megnövekedett predációs veszély), ésszerűen megadható a kijelölt forrástól való távolsággal súlyozott elérhetőség (R). A távolsággal történő súlyozás nem csak a becsült átjárhatósági értékek használatára utal, hanem a topológiai alapokon történő súlyozásra is. A számolás részletei Borgatti (2003) cikkében található. Az index számolása során az egyes foltokban élő populációk méretét a Kárpátoktól való topográfiai távolsággal súlyoztuk, majd a fentiek összegét a hálózat méretével (a foltok számával) és a lehetséges legjobb foltminőséggel normáltuk.

Eredmények

Amennyiben az élőhelyhálózatot irányítatlan gráfként tekintjük, azaz nem forrás-nyelő jellegű metapopulációs rendszerként, a fontossági index szerint jellemezhetjük a térelemek relatív jelentőségét (2. táblázat). Ilyenkor az N13-mal jelölt Munkácsi erdő elvesztése okozza a legnagyobb zavart az élőhelyhálózat összeköttettségében, azaz a migrációs lehetőségek szempontjából. A legesekélyebb probléma az N9-es az N12-es folt, a Gúti erdő és a Puskinói erdő elvesztése lenne, hiszen ezek a kis populációt eltartó foltok a legnagyobb komponens két szélén találhatóak. A folyosók közül az Alsókerepeczi erdőt és a Munkácsi erdőt összekötő (L5) megőrzése a legfontosabb. A legnagyobb komponensen kívül eső foltok és folyosók elvesztése ilyen szempontból érdektelen, a fontossági index értéke ráadásul módszertani okból sem állapítható meg. A foltok általában nagyobb jelentősége részben abból fakad, hogy egy folt törlésekor a kapcsolódó folyosókat is értelem szerűen töröljük, de ez általában jól tükrözi a természetes jelenségeket. Megfontolandó, de elég nehézkes lenne figyelembe venni a foltvesztést követően esetleg megmaradó folyosók összevonását. Ily módon igen alacsony permeabilitású folyosókat lehetne létrehozni.

A forrással összefüggő szubpopuláció mérete alapján összehasonlítható a meglévő térelemek elvesztésének és az elképzelhető térelemek létesítésének hatása (mindez érzéketlen a migrációs távolságokra). Eszerint a Kárpátokat és a Munkácsi erdőt összekötő folyosónak (L6) vagy magának a Munkácsi erdőnek (N13) elvesztése okozza a legnagyobb problémát. Mindkét esetben az egyik „biogeográfiai köldökzsinór” elvágásáról van szó, aminek következményeképpen több, nagyobb méretű szubpopuláció szakadna el a forrástól. Az indexen javító események közül a legfontosabb hat olyan kombináció, melyek annak értékét 24-ről egyaránt 28-ra növelik. Ezek valamennyien olyan zöld folyosók, amelyek vagy a Dédai erdőt (N2 és N4) vagy a Dobronyi erdőt (N5) kötik össze a legnagyobb komponenssel.

2. táblázat. A különböző térszerkezeti elemek fontossági rangsora három index szerint (*I**: fontossági index, *C16*: forrással összefüggő populációméret, *R*: forrásból való elérhetőség). Vastag: térelem kódja, normál: index értéke (további magyarázat a szövegben).

<i>I*</i>	<i>C16</i> (folt- v. folyosó-vesztés)	<i>C16</i> (folyosólétesítés)	<i>R</i> (folt- v. folyosó-vesztés)	<i>R</i> (folyosólétesítés ill. javítás)					
N13	0,1081	N16	x	L12	28	N16	x	L6*	0,1690
L5	0,0967	N13	10	L13	28	L7	0,0916	L7*	0,1511
N14	0,0958	L6	10	L14	28	L6	0,0957	L17	0,1404
L6	0,0920	N14	13	L15	28	N11	0,0977	L27	0,1339
N16	0,0909	L5	13	L16	28	N13	0,1021	L15	0,1305
L4	0,0825	N15	16	L17	28	L5	0,1074	L5*	0,1298
N15	0,0812	L4	16	L11	27	L4	0,1141	L16	0,1296
L7	0,0758	N11	18	L18	24	N14	0,1146	L20	0,1292
N11	0,0748	L7	18	L19	24	L8	0,1150	L25	0,1289
L3	0,0693	N7	19	L20	24	L3	0,1193	L14	0,1284
N7	0,0664	L3	19	L21	24	N15	0,1217	L12	0,1283
L8	0,0658	N10	21	L22	24	N10	0,1227	L13	0,1277
N10	0,0645	L8	21	L23	24	L9	0,1228	L8*	0,1277
L9	0,0432	N9	22	L24	24	L2	0,1229	L11	0,1275
L2	0,0430	L2	22	L25	24	eredeti	0,1248	L19	0,1271
N12	0,0274	N12	23	L26	24	L1	0,1248	L26	0,1267
N9	0,0273	L9	23	L27	24	N7	0,1273	L3*	0,1262
		eredeti	24	L10	24	N12	0,1310	L9*	0,1259
		N1	24			N9	0,1311	L23	0,1258
		N2	24			N1	0,1331	L4*	0,1258
		N3	24			N2	0,1331	L2*	0,1252
		N4	24			N3	0,1331	L1*	0,1248
		N5	24			N4	0,1331	L10	0,1248
		N6	24			N5	0,1331	L18	0,1248
		N8	24			N6	0,1331	L21	0,1248
		L1	24			N8	0,1331	L22	0,1248
								L24	0,1248

Az erdőfoltok és folyosók elvesztésének, illetve folyosók létesítésének és javításának hatását a távolságfüggő elérhetőség számolásával hasonlítottuk össze. Ez tűnik a legrealistább indexnek, hiszen figyelembe veszi a hálózat valószínűsíthető forrás-nyelő jellegét és a migráció korlátait is. Érdemes megfigyelni, hogy a két legszerencsésebb megoldás két folyosó minőségének javítása (L6 és L7, a Kárpátokat a Munkácsi erdővel és a Beregújfalui erdővel összekötő folyosók) és csak ezt követi egy új zöld folyosó létesítése (L17).

Értékelés

A kutatás során a Beregi-sík erdőfragmentumaiban élő, domb- és hegyvidéki zárt erdők-höz kötődő futóbogár fajok élőhelyszerkezetét vizsgáltuk úgy, hogy az élőhelyfoltok és köztük leírható folyosók összességéből álló élőhelyhálózatot matematikai módszerekkel elemeztük. A terepi adatoknak megfelelő hálózat tulajdonságai (sokkomponensű, irányított, súlyozott gráf) alapján igyekeztünk kiválasztani a megfelelő módszereket a hálózat-elemzés kelléktárából, és ezek használatával megvizsgáltuk az egyes térszerkezeti elemek elvesztésének, a lehetséges folyosók létesítésének és a meglévő folyosók minőségjavításának hatását.

Eredményeink alapján viszonylag egyszerű beavatkozások is jelentősen növelhetik a vizsgált fajok túlélési esélyét. Az elemzés során a vizsgált fajok ökológiájától függően többféle megközelítést is megvizsgáltunk. Eredményeink egységesen azt mutatják, hogy a Munkácsi erdő és a hozzá kapcsolódó folyosók (L5 és L6), valamint a Beregújfalui erdőt a Kárpátokkal összekötő folyosó (L7) kiemelt védelemre érdemes. Néhány folyosó javítása jelentősen növelheti az élőhelyszerkezet összefüggőségét (pl. L6), másoké kevésbé hasznos (pl. L9), és helyettük érdemes inkább újakat kialakítani (pl. L17-et). A bemutatott természetvédelmi probléma részletesebb elemzése megtalálható Jordán et al. (submitted) cikkében, ahol például viszonylag egyszerűen létesíthető ugródeszka-elemek (stepping stone) hatását is tanulmányozzuk.

Mivel egyre fontosabb a természetes élőhelyhálózatok jól átgondolt és pontosan tervezett kezelése (Briers 2002), ezért lényeges az ilyen célok megvalósítását segítő hálózatelemzési kelléktárat folyamatosan bővíteni. Igazán jól használható megoldásokat a multidiszciplináris kutatások eredményeznek; a hálózatelmélet ezek közül meghatározó jelentőségű (Urban & Keitt 2001, Verboom et al. 2001, Étienne 2004).

*

Köszönetnyilvánítás – Köszönettel tartozunk Peresztegi-Nagy Zoltánnak a számításokhoz használt szoftver elkészítéséért és Báldi Andrásnak értékes tanácsaiért. JF munkáját az OTKA T 37726 pályázat segítette munkáját az OTKA F 61651 pályázat támogatta.

Irodalomjegyzék

- Borgatti, S.P. (2003.) The Key Player Problem. In: Breiger, R., Carley, K. & P. Pattison (szerk.), *Dynamic Social Network Modeling and Analysis: Workshop Summary and Papers*, Committee on Human Factors, National Research Council, pp. 241–252.
- Briers, R.A. (2002): Incorporating connectivity into reserve selection procedures. – *Biological Conservation*, **103**: 77–83.
- Crooks, K.R. & Soulé, M.E. (1999): Mesopredator release and avifaunal extinctions in a fragmented system. – *Nature*, **400**: 563–566.

- Diamond, J.M. & Gilpin, M.E. (1983): Biogeographic umbilici and the origin of the Philippine avifauna. – *Oikos*, **41**: 307–321.
- Étienne, R.S. (2004): On optimal choices in increase of patch area and reduction of inter-patch distance for metapopulation persistence. – *Ecological Modelling*, **179**: 77–90.
- Harary, F. (1969): Graph Theory. Addison-Wesley, Reading, MA.
- Jordán, F., Báldi, A., Orci, K.M., Rácz, I. & Varga, Z. (2003): Characterizing the importance of habitat patches and corridors in maintaining the landscape connectivity of a *Pholidoptera transsylvanica* (Orthoptera) metapopulation. – *Landscape Ecology*, **18**: 83–92.
- Jordán, F., Báldi, A., Orci, K.M., Rácz I.A. & Varga, Z. (2004): Kritikus élőhelyfoltok azonosítási lehetőségei – egy esettanulmány. – *Természetvédelmi Közlemények*, **11**: 31–38.
- Jordán, F., Magura, T., Tóthmérész, B., Vasas, V. & Ködöböcz, V. (2007): The survival of carabids (Coleoptera: Carabidae) in a forest patchwork: a connectivity analysis of the Bereg Plain (NE Hungary) landscape graph. – *Landscape Ecology* **22**: 1527–1539.
- Ködöböcz, V. & Magura, T. (1999): Biogeographical connections of the carabid fauna (Coleoptera: Carabidae) of the Beregi-síkság to the Carpathians. – *Folia Entomologica Hungarica*, **60**: 195–203.
- 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. and 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., Ködöböcz, V., Tóthmérész, B., Molnár, T., Elek, Z., Szilágyi, G. & Hegyessy, G. (1997): Carabid fauna of the Beregi-síkság and its biogeographical relations (Coleoptera: Carabidae). – *Folia Entomologica Hungarica*, **58**: 73–82.
- Magura, T., Ködöböcz, V. & Tóthmérész, B. (2001): Effects of habitat fragmentation on carabids in forest patches. – *Journal of Biogeography*, **28**: 129–138.
- Pascual Hortal, L. & S. Saura (2006): Comparison and development of new graph-based landscape connectivity indices: towards the prioritization of habitat patches for conservation. – *Landscape Ecology*, **21**: 959–967.
- Pickett, S.T.A. & Cadenasso, M.L. (1995): Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. – *Science*, **269**: 331–334.
- Urban, D. & Keitt, T. (2001): Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. – *Ecology*, **82**: 1205–1218.
- Verboom, J., Foppen, R., Chardon, P., Opdam, P. & Luttikhuisen, P. (2001): Introducing the key patch approach for habitat networks with persistent populations: an example for marshland birds. – *Biological Conservation*, **100**: 89–101.

Habitat network analysis of the forest patches of the Bereg Plain based on the carabid fauna

Vera Vasas^{1*}, Tibor Magura², Béla Tóthmérész³, Ferenc Jordán⁴, Viktor Ködöböcz²,

¹*Department of Plant Taxonomy and Ecology, Eötvös University
H-1117, Pázmány P. S. 1/c, Budapest, Hungary*

²*Hortobágy National Park Directorate
POB 216, H-4002 Debrecen, Hungary*

³*Ecological Institute of Debrecen University
POB 71, H-4010 Debrecen, Hungary*

⁴*Animal Ecology Research Group of HAS
Hungarian Natural History Museum, Ludovika tér 2., H-1083, Budapest, Hungary*

* *corresponding author:*

*ELTE Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék,
Pázmány P. s. 1/c, 1117, Budapest
vvasas@yahoo.com*

Abstract: For many species, the most probable key to survival is maintaining the connectivity between local populations making migration and gene flow possible. This is probably true for the carabid species (*Coleoptera: Carabidae*) living in the fragmented forests of the Bereg Plain (NE Hungary and W Ukraine). Based on field data we constructed the landscape graph of the area representing the habitat network of these species. We analysed (1) the positional importance of landscape elements in maintaining the connectivity of the intact network, (2) the effect of inserting hypothetical corridors into the network, and (3) the effects of improving the quality of the existing corridors. Our results set quantitative priorities for conservation practice by identifying what to protect, what to build and what to improve. Several network analytical techniques were used, according to the essentially directed (source-sink) and highly fragmented nature of the landscape graph. We provide conservation priority ranks for the landscape elements and discuss the conditions for the use of the particular indices. Our study could be of extreme relevance considering that the construction of a new freeway through the area is in the planning phase.

Key-words: Carabidae, habitat fragmentation, network, graph theory, green corridor