

Kritikus élőhelyfoltok azonosítási lehetőségei – egy esettanulmány

Jordán Ferenc¹, Báldi András², Orci Kirill Márk², Rácz István³ és Varga Zoltán³

¹ELTE, Növényrendszertani és Ökológiai Tanszék

1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C, E-mail: jordanf@falco.elte.hu

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

³DE, Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék, 4010 Debrecen, Pf. 3

Összefoglaló: Az átjárható ökológiai folyosókkal összekötött élőhelyfoltokon élő metapopulációk fennmaradása gyakran már csak az egyedek megfelelő mértékű keveredésétől függ. Az így módon végbemenő génáramlás hatékonysága pedig függ a teljes élőhely térszerkezetétől, azaz a foltok és a folyosók topológiájától. Célunk az volt, hogy egy konkrét példa kapcsán próbáljuk meg az egyes térszerkezeti elemek (foltok és folyosók) pozicionális jelentőségét jellemezni. Meghatároztuk az erdélyi kurtaszárnyú szöcske (*Pholidoptera transsylvanica*) aggteleki-karszti metapopulációjának térszerkezeti elemeit, és különböző gráfelméleti indexek segítségével jellemeztük az egyes foltok és folyosók relatív jelentőségét. Egy kombinált mérőszám segítségével figyelembe tudtuk venni a folyosók átjárhatóságát, a foltok minőségét, és a hálózat lokális, illetve globális tulajdonságait is. Végeredményben azt kaptuk, hogy az „N3” folt (Sziliceai kaszálók) a legfontosabb az összefüggőség fenntartásában. Munkánk illusztrálja a hálózati szemléletmód jelentőségét és operativitását az ökológia ezen területén is.

Kulcsszavak: élőhelyszerkezet, hálózat, metapopuláció, ökológiai folyosó, összefüggőség, *Pholidoptera transsylvanica*

Bevezetés

A természetes élőhelyek beszűkülésével párhuzamosan jelentkező globális probléma a még fennmaradó területek feldarabolódása, az élőhely-fragmentáció. A fragmentált területeken élő populációk viselkedése általában metapopulációs dinamikával írható le (Hanski 1998), azaz a kisebb-nagyobb élőhelyfoltokon élő lokális populációk közötti migrációval, melynek fontos folyománya a génáramlás. Enélkül az izolált lokális populációkban ugrásszerűen megnő a kihalási esély, például genetikai vagy demográfiai okok miatt. Valószínűsíthető, hogy sok veszélyeztetett faj túlélésének kulcsa éppen a lokális populációk között kialakuló génáramlás. Ennek feltételei például az élőhelyfoltok közötti átjárhatóság (pl. ökológiai folyosók léte, Beier & Noss 1998), az egyedek megfelelő mobilitása, vagy a génáramlásnak a beltenyésztéses leromlás végbemenetelénél gyorsabb tempója. (Megjegyezzük, hogy sok faj természetes tulajdonsága az egyedek foltos előfordulása, ilyenkor persze a fentiek nem feltétlenül érvényesek.)

Egy élőhelyfoltok és ökológiai folyosók rendszeréből álló élőhelyet benépesítő metapopuláció túlélésével, illetve a migráció és a génáramlás hatékonyságával kapcsolatban felmerül a kérdés, vajon az élőhely szerkezete, a foltok és folyosók (tehát a térszerkezeti elemek) egymáshoz viszonyított helyzete mennyiben befolyásolja azt. Feltehető, hogy egy fragmentált rendszerben további erős zavaró hatások is jelentkezhetnek (újabb térszerkezeti elemek vesztese), és nem mindegy, hogy ezek miként befolyásolják a lehetséges migrációs mintázatokat (pl. nem szakad-e ketté a hálózat). Egymás után sorban következő foltok közül akár egynek az elvesztése is szeparálhatja a fennmaradó foltokat, s ilyenkor akár mindkét „utódhálózatban” biztos kihalás lehet a „leánypopuláció” sorsa (vö. „lánc” elrendezés, Jordán 2000, Pickett & Cadenasso 1995). Más élőhelyszerkezetek összefüggősége ellenállóbb akár az ilyen drasztikus mértékű behatásokkal szemben is (vö. „hurok” elrendezés, Pickett & Cadenasso 1995). Röviden tehát, a térszerkezeti elemek elrendeződése erősen befolyásolja a lokális populációk közötti kapcsolatok fennmaradását.

Az élőhely térszerkezetének összefüggősége kiemelt témája a mai (táj)ökológiai kutatásoknak. Elméleti és gyakorlati szempontból is érdekes probléma az összefüggőség mérése (vagy becslése), illetve a jövőbeli természetvédelmi alkalmazások számára hasznos lehet az összefüggőség fenntartásában viszonylag nagy szerepet játszó „kulcsfoltok”, illetve „kulcsfolyosók” azonosításának lehetősége. Ennek módszertani oldalához kívánunk hozzájárulni, s illusztrációként egy esettanulmányt mutatunk be. Konkrét célunk tehát az erdélyi kurtaszárnyú szöcske (*Pholidoptera transsylvanica*) aggteleki-karszti populációja kapcsán a térszerkezet leírása, az egyes térelemek hálózatbeli pozíciójának kvantitatív jellemzése, valamint a modellünk szerény keretein belül ésszerűnek tűnő konkrét természetvédelmi preferenciák megalkotása.

A vizsgált terület és a vizsgált faj

Az erdélyi kurtaszárnyú szöcske (*Pholidoptera transsylvanica*) a magyar fauna védett, Vörös Könyves, dacikus eredetű színezőeleme (Orci 1997, Varga 1997, Varga-Sipos & Varga 1997). A faj három magyarországi előfordulási területe közül az Aggteleki-karszton élő populáció jelenti a faj abszolút legnyugatibb előfordulását. A szöcske a félszáraz gyepek lakója: elsősorban a gyepfoltok peremén él, de a foltok között viszonylag nagy távolságot is megtehet. Ezt kommunikációs képességei és a ragadozó életmódjából adódó mobilitása teszi lehetővé. Bár nem alkalmazható esetében a jelölés-visszafogásos vizsgálati módszer, élőhelyének azonosítása viszonylag egyértelmű.

Módszerek

A terepi munka alapján két lépésben vizsgálódunk. Először megalkotjuk az élőhely szerkezetét reprezentáló hálózatot, majd matematikailag elemezzük annak szerkezetét.

Hálózatépítés

A terepi munka során meghatároztuk a szöcskék által benépesített félszáraz gyepfoltokat, és felmértük azokat az utakat, amelyeken át a szöcskék átjárnak az egyes foltok között. Mind a foltokon élő lokális populációk méretét, mind az ökológiai folyosók átjárhatóságát súlyoztuk, azaz 1-től 4-ig skáláztuk. „Félkvantitatív” adataink ismeretében felrajzoltuk az 1. ábrán látható hálózatot (a körök jelzik a foltokat, a lokális populációméretre utal nagyságuk; a vonalak a folyosókat mutatják, a vékonyabbak nehezebben járhatóak át). A körökbe írt számok az alábbi élőhelyeknek felelnek meg: 1: Huszas-töbör, 2: Kis tisztások, 3: Szilicei kaszálók, 4: U-alakú töbör, 5: Nagy Nyilas, 6: Mogyoróskúti-rét, 7: Árvalányhajas, 8: Dénes-töbör, 9: Nagyoldal mögötti tisztások, 10: Gyertyánсарjas tisztás, 11: Lófej-forrás alatti tisztás. Látható, hogy tizenegy élőhelyfoltot tizenhárom folyosó köt össze a metapopuláció élőhelyének egységes térszerkezetévé. Az egyes élőhelyfoltokon élő populációk nagyságát az éneklő hímek számának megfigyelése alapján becsültük (1–4-ig terjedő skálán). Az élőhelyfoltok közötti átjárhatóságot a foltok közötti távolság, és a folyosót borító növényzet fizionómiája (mennyi a nyílt, illetve félénykos terület a zárt erdőrészekhez viszonyítva) alapján becsültük (szintén 1–4-es skálán). A becslést hárman egymástól függetlenül végeztük, majd egy negyedik személy készítette ez alapján egy konszenzusgráfot. Tanulmányunkban ezt elemezzük.

Hálózatelemzés

A hálózatot négyféle szempontból vizsgáltuk. Egyrészt megnéztük annak lokális tulajdonságait, azaz az egyes pontjaihoz tartozó szerkezeti indexeket. Másrészt foglalkoztunk a globális, a teljes hálózat ismeretében kiszámítható indexekkel. Mindkét esetben elemeztük a hálózat puszta topológiáját (mi mivel van vagy nincs összekötve), illetve „topográfiáját” (itt figyelembe vettük a súlyozófaktorokat is). Az alábbi négy szerkezeti indexet tartjuk a legrelevánsabbnak:

Az i -edik gráfpont szomszédainak száma, azaz az i -edik pont fokszáma (D_i) megegyezik a kérdéses ponttal szomszédos, azzal összekötött pontok számával. A hármas ponté például négy (a továbbiakban az élőhelyfoltokat reprezentáló pon-

tokra N betűvel hivatkozunk, a folyosókat reprezentáló gráfélekre pedig L-lel, az angol „node” és „link” szavakra utalva): $D_{N_3} = 4$. Az egyes élekre is megadunk fokszámot, ez legyen a két végpont fokszámának átlaga, például $D_{L_{2,3}} = (D_{N_2} + D_{N_3})/2 = (2+4)/2 = 3$. Egy magasabb fokszámú pont fontosabb pozíciót tölt be a hálózatban: elvesztésekor erősebben sérül az összefüggőség.

Az i -edik gráfpont klaszterezettségi koefficiense (CC_i) a kérdéses pont szomszédainak összekötöttségére utal, ahol utóbbi azt fejezi ki, hogy a szomszédok között potenciálisan kialakuló kapcsolatok mekkora része valósul meg a gráfban. A tizes pont négy szomszédja (N3, N5, N7, N11) között például két kapcsolat létezik, a négy pont között létrejehető maximális hat helyett, tehát $CC_{N_{10}} = 2/6 = 1/3$. (Kis gráfoknál nem okoz jelentős problémát, ha – bár egyébként logikus lenne – nem vetjük el a síkba nem rajzolható teljes gráfok egymást keresztező éleinek számbavételét). Ha a klaszterezettségi koefficiens kicsi, akkor a szomszédos foltok közötti átjárás csekély, ami növeli a kérdéses folt jelentőségét: annak elvesztése esetén ugyanis jobban sérül az összefüggőség. Folyosóknál átlagoltuk a végpontok indexeit.

Az i -edik gráfpont teljes hálózatra vonatkoztatott topográfiai távolsága (d^{tr}_i) legyen az i -ből egyenként az összes többi ponthoz vezető legrövidebb utak hosszának súlyozott átlaga, ahol a súlyozófaktorok az élekre becsült folyosó-átjárhatósági súlyok. Az ötös pont többi ponttól mért topológiai távolsága rendre 3, 2, 1, 2, 1, 1, 2, 3, 1, és 2 (magát az N5-öt kihagytuk a sorrendből), a topográfiai távolságok pedig rendre így adódnak: 5 (3+1+1), 2, 1, 4, 4, 2, 3, 6, 2, és 4. Ezek átlaga $d^{tr}_{N_5} = 3,3$. A perifériásabb helyzetű kilences pontra ugyanez $d^{tr}_{N_9} = 7,4$, ami jelzi, hogy a kilences folt általában messzebb van a többi folttól. A centrálisabb helyzetű foltok (illetve folyosók) elvesztése károsabb (folyosók esetében ismét a végpontokra számított értékeket átlagoltuk).

Az i -edik gráfpont törlése után egymással még összeköttetésben álló egységek maximális száma ($LPS^{max}_{conn(i)}$) megadja, hogy ha a kérdéses gráfpont törlése során kettő vagy több komponensre esik szét a hálózat, akkor a legnagyobb komponensben mekkora a lokális populációméreték összege (ez volt a foltminőség félkvantitatív súlyozófaktora). Ez az index a gráfélekre is értelmezhető, például az eredetileg összesen 23 „szöcskeegységet” tartalmazó hálózat L2,3 élének törlése esetén a gráf szétesik: az egyik komponensben 4 „szöcskeegység” marad (N1 és N2), míg a másik, nagyobb komponensben 19 (N3-tól N11-ig a többi folt). Tehát $LPS^{max}_{conn(L_{2,3})} = 19$. Alacsony értékek ez esetben fontosabb foltokat jeleznek, hiszen ezeknél jobban sérül a hálózat.

A négy bemutatott index a pozicionális jelentőség más-más aspektusát emeli ki. A különböző indexek alapján eltér az egyes térelemek fontossági sora, és nem könnyű eldönteni (nem is érdemes), melyik indexet preferáljuk. Így javasunk egy kombinált indexet, amely a – sok egyéb index közül (lásd pl. Urban & Keitt 2001)

1. táblázat. Az 1. ábrán látható hálózat pontjai által reprezentált élőhelyfoltok (N), illetve a vonalak által reprezentált ökológiai folyosók (L) négyféle gráfindeket adjuk meg, melyek a teljes hálózaton belül betöltött pozíció fontosságára utalnak. Az i -edik térszerkezeti elem (folt vagy folyosó) elvesztése nagyobb kárt okoz, ha D_i értéke magasabb, CC_i értéke alacsonyabb, d_i^{gr} értéke alacsonyabb, és $LPS_{conn(i)}^{max}$ értéke kisebb (CC_i nem adható meg olyan foltokra, amelyeknél $D_i = 1$, illetve olyan folyosókra, amelyek legalább egyik végpontjára igaz ugyanez). Az egyes indeksek alapján kisebb-nagyobb mértékben eltér a térelemek fontossági sorrendje. Bővebb magyarázat a szövegben.

i	D_i	CC_i	d_i^{gr}	$LPS_{conn(i)}^{max}$
FOLTOK				
N1	1	–	7	20
N2	2	0	4,3	19
N3	4	0,17	3,6	15
N4	1	–	6,3	21
N5	4	0,33	3,3	21
N6	2	0	6,2	19
N7	3	0,33	4,2	22
N8	3	0	4,7	18
N9	1	–	7,4	20
N10	4	0,33	4,7	20
N11	1	–	6,5	22
FOLYOSÓK				
L1/2	1,5	–	5,65	20
L2/3	3	0,085	3,95	19
L3/4	2,5	–	4,95	21
L3/5	4	0,255	3,45	23
L3/10	4	0,255	4,15	23
L5/10	4	0,33	4	23
L5/6	3	0,17	4,75	23
L5/7	3,5	0,33	3,75	23
L10/7	3,5	0,33	4,45	23
L10/11	2,5	–	5,6	22
L6/8	2,5	0	5,45	23
L7/8	3	0,17	4,45	23
L8/9	2	–	6,05	20

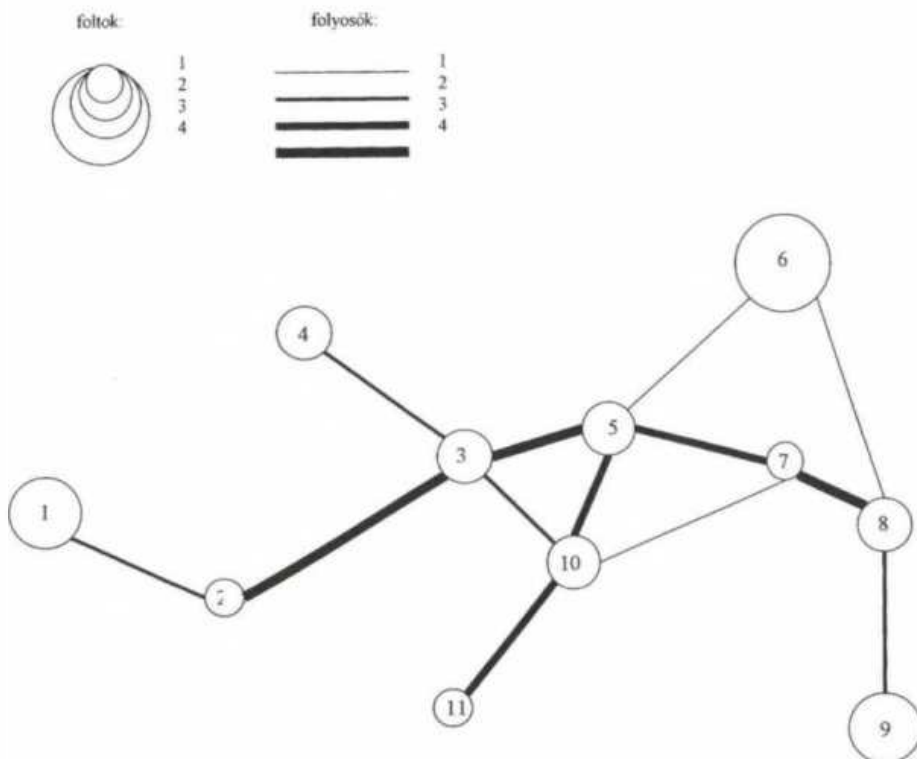
2. táblázat. Az egyes térszerkezeti elemek (i) fontossági sorrendje az 1. táblázat indexeiből konstruált összetett fontossági index (I_i) alapján. N3 elvesztése a legrosszabb, N11 elvesztése pedig a legkevésbé rossz az élőhely összefüggősége fenntartása, azaz a metapopuláció zavartalan génáramlása szempontjából.

i	$I(i)$
N3	0,2059
N5	0,151
N10	0,1486
L3–5	0,1416
L3–10	0,1379
L5–10	0,1359
N8	0,1322
L2–3	0,127
L5–7	0,1185
L7–10	0,1154
L7–8	0,1031
L5–6	0,102
N7	0,1019
L3–4	0,089
L6–8	0,0879
N2	0,0858
L10–11	0,0837
N6	0,0794
L8–9	0,0695
L1–2	0,0511
N1	0,03
N4	0,0297
N9	0,0296
N11	0,0284

– kiválasztott négy indexünket is egybefogja. Jellemezze tehát $I_i = (D_i - CC_i) / (d_i^{gr} + LPS_{conn(i)}^{max})$ az i -edik térelem pozicionális fontosságát ($I = importance$). A térelemek fontosságával kapcsolatos megfontolásokat tükrözi az index.

Eredmények és összefoglalás

Az 1. táblázat bemutatja minden gráfél és minden gráfpont négy szerkezeti indexét, a 2. táblázat pedig az I_i indexek alapján felállított rangsort. Ezek alapján



1. ábra. Az erdélyi kurtaszárnyú szöcske (*Pholidoptera transsylvanica*) aggteleki-karszti populációjának élőhelyszerkezetét mutató gráf. A szövegben adjuk meg a körökkel jelzett élőhelyfoltok nevét, melyeket 1-től 11-ig számoztunk. A körök közti vonalak ökológiai folyosókat jeleznek, azaz a szöcske foltok közötti átjárási lehetőségeit. A foltokon élő szöcskék mennyiségét, illetve a folyosók átjárhatóságát 1-től 4-ig skáláztuk, erre a körök sugara, illetve a folyosók vastagsága utal: nagy körben több szöcske él, vastagabb folyosón pedig könnyebb átjutni. Minden további magyarázat és a hálózat értékelése a szövegben.

úgy gondoljuk, hogy a szöcskepopuláció összefüggősége szempontjából legfontosabb az N3 folt megőrzése (Szilicei kaszálók), míg modellünk alapján a Lófej-forrás alatti tisztás (N11) kiesése okozná a legkisebb zavart. A folyosók törlésének hatása kevésbé szélsőséges, legjobban azt kell óvni, amelyik a Szilicei kaszálóktól vezet a Nagy Nyilashoz (L3,5), leginkább pedig azt lehetne nélkülözni, amelyik a Huszas-töbör és a Kis tisztások (L1,2) között vezet.

Kiemelnénk megközelítési módunk, illetve módszerünk néhány alapvető tulajdonságát. Először is, filozófiánk a hálózati perspektívában történő gondolkodás volt, tehát az egyes élőhelyfoltok minősítését nem tudjuk elképzelni anélkül, hogy az adott foltot egy folthálózat részének ne tekintenénk (s mindez kvantifikálható is). Másodsor, a topológiai összefüggőség és a maximálisan összefüggő populációméret kombinálása lehetővé teszi egy gyakori probléma kezelését: térszerkezeti elemzések során gyakran adódik az a műtermék, hogy a fragmentáció hatására nő a konnektivitás. Ez félrevezető, és egyrészt a helytelenül választott konnektivitást mérő számból adódhat, másrészt abból, hogy nem veszik figyelembe a térelemekkel együtt elveszített lokális populációméreteket. Harmadsor, bár módszerünk még nyilván alaposan továbbfejleszhető, példát mutat arra, hogyan lehet objektív mércével fontossági rangsort felállítani több, potenciálisan védendő terület között: a kvantitatív mérőszámok jelentősége nyilvánvaló lehet a természetvédelmi preferenciák objektív megalkotása során. Végül megjegyeznénk, hogy a félkvantitatív súlyozófaktorok alkalmazása egy apró lépés a térszerkezet struktúrájának és funkciójának egységes tárgyalása felé (Jordán 2001, Jordán *et al.* 2003, Tischendorf & Fahrig 2000a, b).

*

Köszönetnyilvánítás – JF munkáját az OTKA F 035092, T 037726 és D 042189 sz. pályázatai és az MTA Bolyai János Kutatási Ösztöndíja támogatták. Emellett köszönettel tartozik a Collegium Budapest vendégszeretetéért.

Irodalomjegyzék

- Beier, P. & Noss, R. F. (1998): Do habitat corridors provide connectivity? – *Conservation Biology* **12**: 1241–1252.
- Hanski, I. A. (1998): Metapopulation dynamics. – *Nature* **396**: 41–49.
- Jordán, F. (2000): A reliability-theory approach to corridor design. – *Ecological Modelling* **28**: 211–220.
- Jordán, F. (2001): Adding function to structure – comments on Palmarola landscape connectivity. – *Community Ecology* **2**: 133–135.

- Jordán, F., Báldi, A., Orci, K. M., Ráczi, 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.
- Orci, K. M. (1997): A comparative study on grasshopper (Orthoptera) communities in the Aggtelek Biosphere Reserve. – In: Tóth, E. & Horváth, R. (eds): *Research in Aggtelek National Park and Biosphere Reserve*. ANP Directorate, Aggtelek, pp. 109–116.
- Pickett, S. T. A. & Cadenasso, M. L. (1995): Landscape ecology: spatial heterogeneity in ecological systems. – *Science* **269**: 331–334.
- Tischendorf, L. & Fahrig, L. (2000a): On the usage and measurement of landscape connectivity. – *Oikos* **90**: 7–19.
- Tischendorf, L. & Fahrig, L. (2000b): How should we measure landscape connectivity? – *Landscape Ecology* **15**: 633–641.
- Urban, D. & Keitt, T. (2001): Landscape connectivity: a graph-theoretic perspective. – *Ecology* **82**: 1205–1218.
- Varga, Z. (1997): Biogeographical outline of the invertebrate fauna of the Aggtelek Karst and surrounding areas. – In: Tóth, E. & Horváth, R. (eds): *Research in Aggtelek National Park and Biosphere Reserve*. ANP Directorate, Aggtelek, pp. 87–94.
- Varga-Sipos, J. & Varga, Z. (1997): Phytocenology of semi-dry grasslands in the Aggtelek Karst area (N Hungary). – In: Tóth, E. & Horváth, R. (eds): *Research in Aggtelek National Park and Biosphere Reserve*. ANP Directorate, Aggtelek, pp. 59–78.

Identifying critical habitat patches – a case study

Jordán, F.¹, Báldi, A.², Orci, K. M.², Ráczi, I.³ and Varga, Z.³

¹Department of Plant Taxonomy and Ecology, Eötvös University
H-1117 Budapest, Pázmány Péter sétány 1/C, Hungary

²Animal Ecology Research Group of the Hungarian Academy of Sciences and Hungarian Natural History Museum, H-1083 Budapest, Ludovika tér 2, Hungary

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

Abstract: A quantitative approach is given for evaluating the relative positional importance of landscape elements (habitat patches and ecological corridors) within the landscape graph of an endangered Hungarian *Pholidoptera transsylvanica* bush-cricket metapopulation. Various graph indices are proposed to reflect positional importance, and a combined measure of importance, based on both pure topology and weighted indices referring to patch and corridor quality, is presented. Since the survival of many natural populations living in fragmented landscapes depends on migration and gene flow between local populations, our methods quantifying the role of spatial elements in maintaining connectivity can be useful in future conservation practice.

Key words: metapopulation, *Pholidoptera transsylvanica*, connectivity, positional importance