

# Globális változás, lokális túlélés: kitettség és nedvességi grádiens hatása avarlakó gerinctelenekre aggteleki tőbrök alapján

Sólymos Péter<sup>1,2</sup>, Vilisics Ferenc<sup>2</sup>, Kemencei Zita<sup>2</sup>, Páll-Gergely Barna<sup>3</sup>, Farkas Roland<sup>4</sup>, Nagy Antal<sup>5</sup>, Kisfali Máté<sup>6</sup> és Hornung Erzsébet<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Albertai Egyetem, Matematikai és Statisztikai Tanszék, Edmonton, Alberta, T6G 2G1, Canada, E-mail: solymos@ualberta.ca*

<sup>2</sup>*SZIE-ÁOTK Ökológiai Tanszék*

<sup>3</sup>*PTE-TTEK Általános és Alkalmazott Ökológiai Tanszék*

<sup>4</sup>*Aggteleki Nemzeti Park Igazgatóság*

<sup>5</sup>*DE-MÉK Növényvédelmi Tanszék*

<sup>6</sup>*DE-TTK Evolúciós Állattani és Humánbiológiai Tanszék*

Összefoglaló: Dolgozatunkban azt vizsgáltuk, milyen hatással van a kitettség és a nedvesség az ászkarákok és csigák előfordulási és tömegességi viszonyaira. Vizsgálatainkat az Aggteleki-karszt 16 erdőszült tőbrében végeztük. Minden tőbrében észak-déli transzekt mentén vettük a mintákat, hogy a kitettség és a nedvesség (töbörmélység) hatásait vizsgáljuk. A fajszám és egyedszám mindkét állatsoport esetén a töböraljban volt a legmagasabb. A kitettség hatása az ászkarákoknál kevésbé érvényesült, csigáknál a közösségi mutatók északi kitettségben voltak magasabbak. A közösségek fajösszetételét ászkák esetén főleg a térbeli helyzet határozta meg, míg csigáknál a térbeli és helyi környezeti tényezők egyforma arányban járultak hozzá a fajösszetétel formálásához. Eredményeink alapján jól látszik, hogy a helyi környezeti tényezők, mint a domborzati kitettség és az élőhely minőség (nedvesség), képesek a közeljövő várható klimatikus változásait időlegesen és lokálisan tompítani.

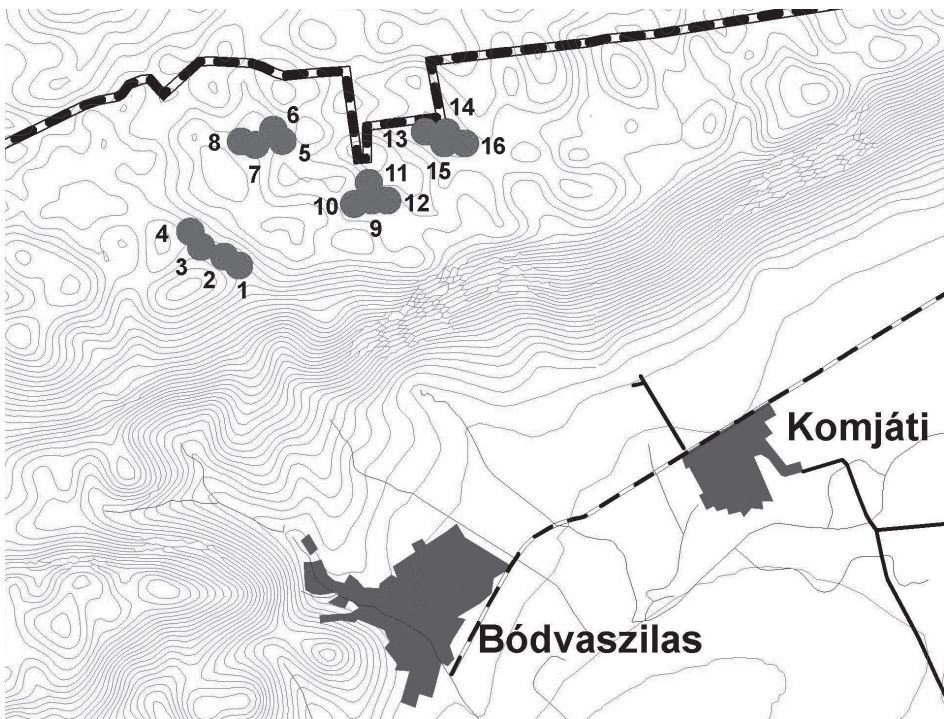
Kulcsszavak: globális változás, lokális tényezők, fajgazdagság, Mollusca, Isopoda, túlélés, mikroskála, menedékhelyek

## Bevezetés

A globális környezeti változások kimutatható hatással vannak a fajok elterjedésére, kihalására, fenológiájára, és ezen keresztül a táplálékhálózatokra

és az élő rendszerek működésére (McCarty 2001, Parmesan 2006, Visser & Both 2005). A jövőbeli változások nagyságrendjére vonatkozóan a becslések tág intervallumban mozognak (IPCC 2007), és a változásokat kiváltó fő tényezőkről is megoszlanak a vélemények (Hulme *et al.* 1999, IPCC 2007, Schwartz *et al.* 2007). Az azonban vitathatatlan, hogy a változás egyértelmű trendje mellett a szélsőséges időjárási események gyakoribbá válása jelentős próbatételt jelenthet az élővilág számára az ember által dominált tájképben (Parmesan 2006, Thomas *et al.* 2001).

Európa nagy része, így hazánk is, hosszú évezredek óta magán viseli az ember tájatalakító tevékenységének nyomait (Tinnera *et al.* 2007, Willis *et al.* 1998). A fajok egy része alkalmazkodott ezekhez a körülményekhez (Allen 2003), más részük – főleg a csekély terjedési képességű élőlények, mint dolgozatunk célcsoportjai – természetközeli élőhelyfragmentumokban talál menedéket (Sólymos & Fehér 2005). Az őshonos fajok helyi fennmaradásához szükséges feltételek megmaradása, és élőhelyeik környezeti szélsőségeket tompító szerepe a közeljövőben bekövetkező változások szem-



1. ábra. A tőbrök elhelyezkedése az Alsó-hegyen (Aggteleki-karszt). A 16 tőbrő négy darab négyes csoportot alkot.

pontjából kulcsfontosságú. A legegyszerűbb ilyen hatás-módosító tényező maga a domborzat. Jól ismert a tengerszint feletti magasságnak (zonáció) és a kitétségnak az élőlények elterjedésére kifejtett hatása (Bacsó 1970, Horvát & Papp 1965, Lawton *et al.* 1987).

A domborzat hatását legtöbbször regionális léptékben, általában pozitív felszíni formák, hegyvidékek összehasonlítása révén vizsgálták (pl. Grytnes 2003, Sfenthourakis 1992, Zimmermann & Kienast 1999). Kisebb léptékben jó ismétlési lehetőséget nyújtanak a negatív felszíni formák, mint amilyenek karsztvidékeink dolinái. A töbrökben a kitétség (beérkező hőösszeg) és az önárnyékolás folytán a hőmérséklet nagyfokú eltérést mutat. Emellett a dolinákban vertikális nedvességi és hőmérsékleti (éjszakai hőretegződési) grádiens is megfigyelhető (Bárány 1985, Bárány-Kevei 1999, Jakucs 1954, Nagy & Sóllymos 2002).

A „Dolina 2007” projekt során azt vizsgáltuk, milyen hatása van a helyi domborzatnak az ászkarákok és csigák fajszámára, tömegességére és az együttesek fajösszetételének kialakítására. A domborzati kitétség (beérkező hőösszeg) és a mélység (nedvességi grádiens) hatásainak vizsgálatához erdősült töbröket választottunk, mert a töbrökben a kitétség és mélység hatásainak vizsgálata jól ismételt módon elvégezhető.

### Módszerek

A mintavételt az Aggteleki-karszt Alsó-hegyi fennsíkjának 16 töbrében 2007 augusztus 16–18. között végeztük. A 16 töbrő négy azonos elemszámú csoportot alkotott (1. ábra). A töbrök átlagosan 1,25 ha (min = 0,53 ha, max = 2,52 ha) kiterjedésűek voltak, 19,6 m-es átlagos mélységgel (min = 10 m, max = 30 m). Mindegyik töbrőben észak-déli transzekt mentén gyűjtöttünk ászkarákokat és csigákat egyeléses módszerrel. Az egyelés ászkarákok esetén mintánként 20 perc (összesen 96 minta), csigák esetén mintánként 5 perc (összesen 80 minta) volt. A transzekt mentén alsó, középső és töbrőperemi mintákat vettünk mind északi, mind déli kitétségben. Ászkarákok esetén északi és déli kitétségben egyaránt vettünk töbrőalji mintát, ám ezeket egységesen töbrőaljként kezeltük a két taxon összevethetősége érdekében. Csigák esetén csak egy töbrőalji mintát vettünk töbrőnként. Az előkerült egyedeket faji szintig határoztuk. Az ászkarákok tudományos nevének írásmódja Schmalfuss (2003) munkáját követi. A csigafajok idézésénél Kerney *et al.* (1983) munkáját vettük alapul, viszont egyes taxonok esetében újabb cikkeket is használtunk. Ezek idézésétől eltekintünk.

Az összesített fogásadatokból meghatároztuk a mintánkénti faj- és egyedszámot mindkét állatcsoportra. A kitétség és mélység faj- és egyedszámra gyakorolt hatásait általánosított lineáris modellekkel (GLM) vizsgáltuk. A GLM típusának kiválasztásakor a függő változók grafikus ábrázolása alapján megvizsgáltuk a túlszóródást (elnyúlt farok) és a nulla értékek mennyiségét.

Az ászkarák fajszáma túlszóródás és kimagaslóan sok zéró érték nélküli volt, így Poisson GLM-et végeztünk. A csigák fajszáma és mindkét taxon egyedszámai esetén túlszóródást figyeltünk meg, így negatív binomiális GLM-et használtunk. A modellezés során becsültük a Poisson log-Gamma keverék (mixture) modell alak paraméterét ( $\theta$ ) is (Venables & Ripley 2002). A GLM modellekben a töbörmélységet és a kitétséget egyetlen fix faktorként vettük figyelembe (a szintek kombinációja révén), hogy elkerüljük a mintavételi elrendezésből adódó kolinearitást.

A modellek illeszkedés vizsgálatát a deviancia alapján végeztük. Ha a maradék deviancia jelentősen eltér a maradék szabadsági fokok számától, a modell illeszkedése nem jó. A deviancia a telített modelltől ( $df = 0$ ) vett távolságot mutatja, null deviancia a konstans modell (csak tengelymetszet) távolságát adja. A deviancia az általánosított lineáris modellekben a maradék eltérésnégyzet-összeg megfelelője.

A fajösszetétel elemzésekor a fajokat nem tartalmazó mintákat kihagytuk, és távolság alapú permutációs variancia-elemzést hajtottunk végre (Anderson 2001, McArdle & Anderson 2001). Ezzel a módszerrel a hatások tesztelése parametrikus módon történik, és az  $F$ -arány statisztikára épül. A tesztstatisztika kiszámolása során a nullhipotézisnek megfelelő  $F$  értéket az eredeti minták 100 permutációja alapján állapítottuk meg. Itt kovariánsként a töbörmélység, a kitétség és ezek kölcsönhatása mellett a töbör-csoport is fix faktorként szerepelt a térbeli hatások kvantifikálása miatt (mennyire változik a fajösszetétel töbörként).

A korrelatív modellezés során azt a logikát követtük, hogy a kitétség és töbörmélység jól megfeleltethető a relatív hőösszeg és a nedvesség térbeli változásának (Bárány 1985, Bárány-Kevei 1999, Nagy & Sólymos 2002). Amennyiben a csiga és ászkarák együttesek vizsgált karakterisztikái ugyanúgy korrelálnak a hőösszeggel és a nedvességgel, mint ahogy a hőösszeg és nedvesség összefügg a kitétséggel és töbörmélységgel, akkor a modellekből kirajzolódó kapcsolatrendszer indirekten megfeleltethető a közösség-mikroklíma kapcsolatnak. Mivel a mikroklíma műszeres mérése a vizsgálat térbeli kiterjedése miatt nem volt lehetőségünk, így a kapcsolatrendszert közvetve vizsgáltuk.

Az adatkezelést és elemzést R (R Development Core Team 2008) környezetben végeztük. Az adatok kezeléséhez a mefa csomagot (Sólymos 2008), a negatív binomiális modellekhez a MASS csomagot (Venables & Ripley 2002), a permutációs variancia-elemzéshez a vegan csomagot (Oksanen *et al.* 2008) használtuk. Az ászkarákok biotikai alapadatait Vilisics *et al.* (2008) egészében, a csigák alapadatainak egy részét pedig Sólymos & Kemencei (2008) közli.

## Eredmények

A csigák mintánkénti fajszáma (null deviancia: 137,6,  $df = 79$ ; maradék deviancia: 93,6,  $df = 75$ ; AIC = 348,9,  $\theta = 14,3$ ) és egyedszáma (null deviancia: 144,9,  $df = 79$ ; maradék deviancia: 89,4,  $df = 75$ ; AIC = 447,9;  $\theta = 2,41$ ) egyaránt a töböráljban volt a legmagasabb, és felfelé haladva csökkent, illetve a déli kitettség azonos magasságú pontjain rendre alacsonyabbnak mutatkozott (1. táblázat, 2. ábra).

Az ászkarákok fajszáma a töböráljban volt legmagasabb, és a töbrök pereme felé haladva fokozatosan csökkent (null deviancia: 104,2,  $df = 95$ ; maradék deviancia: 88,7,  $df = 91$ ; AIC = 324,6). Az ászkarákok egyedszáma töbörálji helyzetben volt legmagasabb, a perem felé távolodva mindkét kitettség esetén csökkent (null deviancia: 132,1,  $df = 95$ ; maradék deviancia: 112,9,  $df = 91$ ; AIC = 324,6;  $\theta = 2,39$ ). A kitettség hatása egyik esetben sem mutatkozott markánsan (1. táblázat, 2. ábra).

A csigák fajösszetételét a kitettség (az összes variancia 8%-a), a töbörmélység (az összes variancia 6%-a) és a töbör-csoport (az összes variancia 8%-a) befolyásolta, a kettő kölcsönhatása nem volt szignifikáns hatással. Az ászkarákok fajösszetételét a töbörmélység (az összes variancia 5%-a) és a töbör-csoport, mint térbeli egység (az összes variancia 14%-a) határozta meg. A kitettség, valamint a kitettség és mélység kölcsönhatása nem volt jelentős hatással. A kovariánsok által magyarázott variancia mindkét csoportnál 25% alatt maradt (2. táblázat).

Az általánosan elterjedt (*Aegopinella minor*, *Petasina unidentata*, *Monachoides vicinus*, *Discus perspectivus*) és közepesen gyakori csigafajok (*Alinda biplicata*, *Euomphalia strigella*, *Monachoides incarnatus*, *Faustina faustina*, *Vitrea diaphana*, *Aegopinella pura*, *Cochlodina laminata*, *Helicodonta obvoluta*, *Cochlodina cerata*) a töböráljban és északi kitettségben mutattak halmozódást. A kisebb előfordulási gyakoriságú fajok előfordulása a töbrök belsőbb területeire korlátozódott, azaz a peremen nem fordultak elő (3. táblázat).

1. táblázat. A fajszámot és egyedszámot befolyásoló tényezők elemzése általánosított lineáris modellekkel. SE: standard hiba.

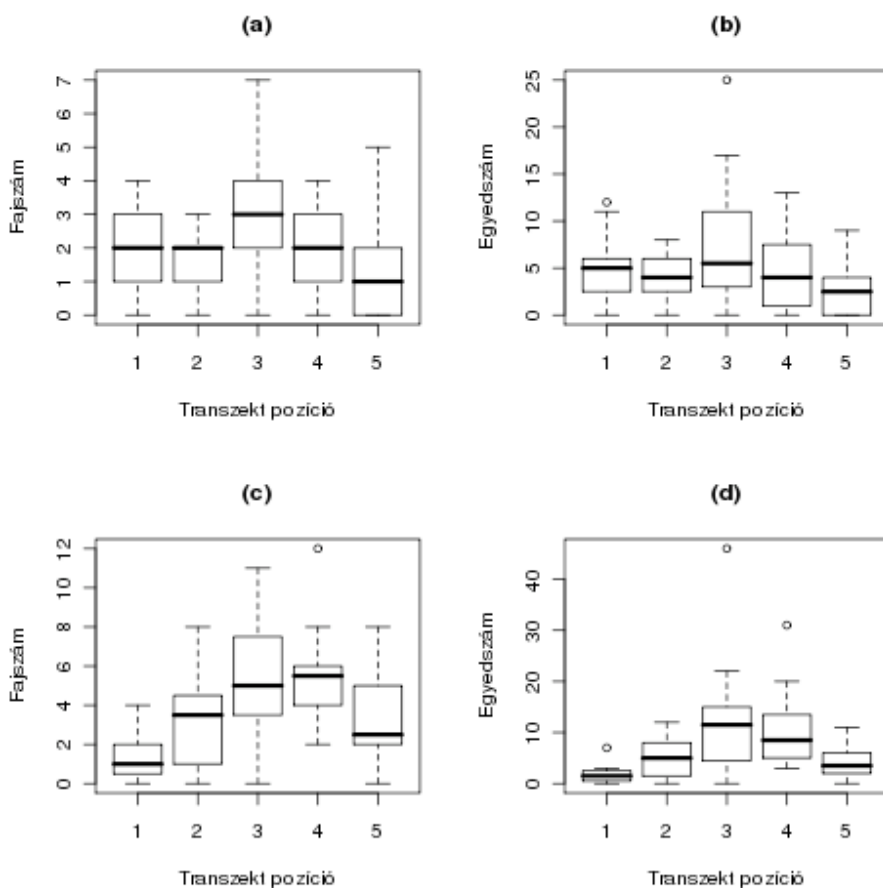
|                      | Fajszám     |       |        | Egyedszám   |       |        |
|----------------------|-------------|-------|--------|-------------|-------|--------|
|                      | Koefficiens | SE    | p      | Koefficiens | SE    | p      |
| <b>Ászkarák</b>      |             |       |        |             |       |        |
| Tengely-<br>metszet  | 1,08        | 0,103 | <0,001 | 2,02        | 0,131 | <0,001 |
| Északi<br>töbörperem | -0,71       | 0,233 | <0,01  | -1,05       | 0,259 | <0,001 |
| Déli<br>töbörperem   | -0,38       | 0,205 | 0,06   | -0,43       | 0,237 | 0,07   |
| Északi<br>töböroldal | -0,45       | 0,210 | <0,05  | -0,51       | 0,239 | <0,05  |
| Déli<br>töböroldal   | -0,59       | 0,222 | <0,01  | -0,59       | 0,242 | <0,05  |
| <b>Csigák</b>        |             |       |        |             |       |        |
| Tengely-<br>metszet  | 1,72        | 0,130 | <0,001 | 2,53        | 0,176 | <0,001 |
| Északi<br>töbörperem | -0,54       | 0,194 | <0,01  | -1,04       | 0,267 | <0,001 |
| Déli<br>töbörperem   | -1,35       | 0,250 | <0,001 | -1,97       | 0,304 | <0,001 |
| Északi<br>töböroldal | -0,03       | 0,177 | 0,82   | -0,19       | 0,251 | 0,44   |
| Déli<br>töböroldal   | -0,56       | 0,190 | <0,01  | -0,88       | 0,263 | <0,001 |

2. táblázat. A fajösszetétel és kovariánsok kapcsolata permutációs többváltozós variancia elemzés szerint.

|                     | Ászkarák |        |       | Csigák |        |       |
|---------------------|----------|--------|-------|--------|--------|-------|
|                     | df       | R2     | p     | df     | R2     | p     |
| Kitettség           | 1        | 0,0176 | 0,16  | 2      | 0,0842 | <0,01 |
| Mélység             | 2        | 0,0479 | <0,05 | 1      | 0,0549 | <0,01 |
| Töbör-csoport       | 3        | 0,1420 | <0,01 | 3      | 0,0813 | <0,01 |
| Kitettség × Mélység | 2        | 0,0143 | 0,78  | 1      | 0,0146 | 0,35  |
| Maradék             | 75       | 0,7782 |       | 64     | 0,7650 |       |
| Összes              | 83       | 1,0000 |       | 71     | 1,0000 |       |



Az ászkarákok közül három faj volt, mely általánosan előfordult (*Trachelipus difficilis*, *Protracheoniscus politus*, *Lepidoniscus minutus*), a közepesen gyakori fajok (*Haplophthalmus hungaricus*, *Orthometopon planum*, *Trichoniscus provisorius*, *Ligidium hypnorum*, *Porcellium conspersum*) a töböráljban és az északi kitétségű oldalakra voltak jellemzőek. A gyakori és közepesen gyakori fajok előfordulása és abundanciája a töböráljban és északi kitétségekben egységesen magasabb volt. Az itt ritka *Trachelipus ratzeburgii* és *Mesoniscus graniger* élőhelyi preferenciái a kis egyedszám miatt nem állapíthatók meg egyértelműen (3. táblázat).



2. ábra. Az ászkarákok (a-b) és a csigák (c-d) fajszámának (a, c) és egyedszámának (b, d) változása az észak-déli (1-5) transzekt mentén. A 3. pozíció a töbörálj, a 2. és 4. a töböroldal, 1. és 5. a töbörperem. Az 1-2. pozíció déli, míg a 4-5. északi kitétségekben található.

3. táblázat. Az egyeléssel gyűjtött ászka- és csigafajok mintánkénti átlagos gyakorisága az észak-déli transzekt mentén 16 töbör összesített adatai alapján. Az égtájak (É: észak, D: dél) jelölése a kitettségre utal. A töbrök adatainak összevonása miatt az előfordulások és hiányok nem annyira az átlagos képet, mint inkább a tolerancia határait érzékeltetik.

| Fajok  | É-i perem | É-i oldal | Töböralj | D-i oldal | D-i perem |
|--|-----------|-----------|----------|-----------|-----------|
| <b>Ászkarákok</b>                              |           |           |          |           |           |
| Trachelipus difficilis<br>(Radu, 1950)         | 0,56      | 1,56      | 2,91     | 1,44      | 1,44      |
| Protracheoniscus politus<br>(C. Koch, 1841)    | 1,13      | 1,19      | 1,28     | 1,88      | 1,94      |
| Lepidoniscus minutus<br>(C. Koch, 1838)        | 0,31      | 0,81      | 0,63     | 0,63      | 0,94      |
| Haplophthalmus hungaricus<br>(Kesselyák, 1930) | 0,25      | 0,13      | 0,78     | -         | -         |
| Orthometopon planum<br>(Budde-Lund, 1885)      | 0,25      | 0,25      | 0,16     | 0,06      | 0,31      |
| Trichoniscus provisorius<br>(Racovitza, 1908)  | -         | 0,25      | 0,53     | -         | -         |
| Ligidium hypnorum<br>(Cuvier, 1792)            | -         | 0,13      | 0,47     | 0,13      | 0,06      |
| Porcellium conspersum<br>(C. Koch, 1841)       | -         | 0,13      | 0,59     | -         | -         |
| Trachelipus ratzeburgii<br>(Brandt, 1833)      | 0,13      | -         | 0,16     | -         | 0,19      |
| Mesoniscus graniger<br>(Frivaldszky, 1875)     | -         | 0,06      | -        | -         | -         |
| <b>Csigák</b>                                  |           |           |          |           |           |
| Aegopinella minor<br>(Stabile, 1864)           | 1,07      | 1,50      | 2,93     | 2,00      | 0,75      |
| Petasina unidentata<br>(Draparnaud, 1805)      | 0,73      | 1,31      | 2,73     | 0,43      | 0,25      |
| Monachoides vicinus<br>(Rossmässler, 1842)     | 0,73      | 1,69      | 0,60     | 0,50      | 0,33      |
| Discus perspectivus<br>(M. von Mühlfeld, 1816) | 0,20      | 1,31      | 1,13     | 0,79      | 0,25      |



|   |      |      |      |      |      |
|---|------|------|------|------|------|
| <i>Alinda biplicata</i><br>(Montagu, 1803)            | 0,13 | 0,75 | 1,60 | 0,14 | -    |
| <i>Euomphalia strigella</i><br>(Draparnaud, 1801)     | 0,27 | 0,69 | 0,40 | 1,14 | 0,08 |
| <i>Monachoides incarnatus</i><br>(O. F. Müller, 1774) | 0,40 | 0,88 | 0,27 | 0,43 | 0,42 |
| <i>Faustina faustina</i><br>(Rossmässler, 1835)       | 0,47 | 1,00 | 0,27 | 0,07 | -    |
| <i>Vitrea diaphana</i><br>(Studer, 1820)              | 0,13 | 0,19 | 1,13 | 0,14 | -    |
| <i>Aegopinella pura</i><br>(Alder, 1830)              | 0,13 | 0,06 | 0,93 | -    | 0,17 |
| <i>Cochlodina laminata</i><br>(Montagu, 1803)         | 0,07 | 0,31 | 0,40 | 0,14 | -    |
| <i>Helicodonta obvoluta</i><br>(O. F. Müller, 1774)   | 0,07 | 0,13 | 0,27 | -    | 0,08 |
| <i>Cochlodina cerata</i><br>(Rossmässler, 1836)       | 0,27 | 0,13 | 0,07 | -    | -    |
| <i>Merdigera obscura</i><br>(O. F. Müller, 1774)      | -    | 0,06 | 0,20 | -    | -    |
| <i>I. isognomostoma</i><br>(Schröter, 1784)           | 0,07 | 0,06 | 0,13 | -    | -    |
| <i>Vitrea crystallina</i><br>(O. F. Müller, 1774)     | -    | 0,06 | -    | 0,14 | -    |
| <i>Laciniaria plicata</i><br>(Draparnaud, 1801)       | -    | 0,13 | 0,07 | -    | -    |
| <i>Macrogastra ventricosa</i><br>(Draparnaud, 1801)   | -    | -    | 0,13 | -    | -    |
| <i>Acanthinula aculeata</i><br>(O. F. Müller, 1774)   | -    | -    | 0,07 | -    | -    |
| <i>Punctum pygmaeum</i><br>(Draparnaud, 1801)         | -    | 0,06 | -    | -    | -    |

### Értékelés

Eredményeink mindkét állatcsoport esetén egyértelműen tükrözik a kis léptékű (100 m-es nagyságrend) klimatikus eltérések jelentős hatását a vizsgált élőlény együttesekre. A kis skálájú környezeti különbségek (pl. talaj mésztartalomra és nedvesség) alapvetően meghatározzák az együtte-

sek összetételét és a fajok abundancia viszonyait (Martin & Sommer 2004, Juříčková *et al.* 2008). Jelen vizsgálatunkban a hőmérséklet és nedvesség szerepét implicite (műszeres mérések nélkül, a geomorfológiából fakadó fizikai és meteorológiai összefüggésekre alapozva) sikerült igazolnunk. A nedvesség mindkét élőlénycsoport esetén fontosnak bizonyult a fajszám, tömegesség és fajösszetétel kialakításában. A kitettség, mint a lokális hőmérsékletet erőteljesen befolyásoló tényező, ászkarákok esetén nem bizonyult meghatározónak. A csigák ezzel szemben elég érzékenyen reagáltak ezen tényező különbségeire, és mind fajszámuk, mind egyedszámuk az északi, hűvösebb oldalon volt magasabb.

A csigákról jól tudjuk, hogy a hűvös és nedves környezet kedvez előfordulásuknak (ld. pl. Horskák *et al.* 2007), és az időjárási körülmények kedvezőtlené válása komolyan veszélyeztetheti egyes fajok fennmaradását (Giokas *et al.* 2007). A kedvező növényzetű és mikroklímájú élőhelyek több faj együttélését teszik lehetővé, és az élőhely minőségi gradiens mentén a fajkészlet fokozatos egymásba ágyazottsága figyelhető meg (Hylander *et al.* 2005). Ez egybevág az általunk is megfigyelt kitettségi és nedvességi gradiens szerinti fajkészlet változással.

A térbeliség fajösszetételre gyakorolt hatása csigák esetén csekélynek bizonyult az ászkarákokhoz viszonyítva. Ennek hátterében a két csoport eltérő fajszámából adódó bizonytalanság, illetve az ászkarák abundanciák nagyfokú variabilitása állhat.

Az ászkarákok páratartalom és hőmérséklet igénye nagyfokú faji különbözőségeket mutathat (Warburg 1964, 1987, Warburg *et al.* 1984). A magasabb töbörálji faj- és egyedszám hátterében a kedvezőbb nedvesség viszonyok mellett a jellemzően vastagabb talaj és magasabb szervesanyag-tartalom is állhat. A töbörálj és az északi kitettség, mint kedvezőbb környezet, a fajok tűrőképességén keresztül a fajkészlet egymásba ágyazottságát okozza. A töbrök teljes egészében, és így azok felső szintjein is előforduló, egyben abundáns fajok (*L. minutus*, *P. politus*, *T. difficilis*) relatíve nagy testmértűek és a felszíni aktivitású fajokra jellemző ökomorfológiai típusba sorolhatóak: „runner” és „clinger” (Schmalfuss 1984). A dolinák alsóbb, így nedvesebb szintjein részben a kisméretű, inkább talajaktív („creeper”: *T. provisorius*, *H. hungaricus*, *M. graniger*) és a páratartalomra érzékenyebb felszínaktív („runner”, „clinger”) fajok voltak jelen (*L. hypnorum*, valamint *O. planum*, *P. conspersum*, *T. ratzeburgii*). Az egyes fajok ökológiai igényein kívül a terület fajgazdagságát és az együttesek fajösszetételét meghatározza, és pozitívan befolyásolja az a fajkészlet, amit az atlantikus (*P. conspersum*, *T. ratzeburgii*), közép-európai (*P. politus*, *L. minutus*), a

kárpáti (*T. difficilis*), valamint endemikus (*H. hungaricus*) elemek együttes előfordulása jelent. Természetvédelmi szempontból különösen értékesé teszi az együttest és a vizsgált védett területet, jelzi annak „jó” állapotát, zavartalanságát az a tény, hogy a fajok mindegyike „természetes” (Hornung *et al.* 2007), és emellett legtöbbször magyarországi elterjedési viszonylatában kifejezetten ritka (*H. hungaricus*, *M. graniger*, *T. difficilis*).

A csigák esetén a helyi tényezőkhez (kitettség, mélység) viszonyítva a térbeliség távolság szerepe csekélynek mutatkozott. Ez azzal magyarázható, hogy az avarlakó fajok elég tágtűrésűek, pl. a holt fához, vagy sziklákhoz kötődő fajokkal összehasonlítva. (A töbrökben található egyéb mikroélőhelyek szerepét egy másik dolgozatunkban elemezzük.) Az ászkarákoknál viszont a térbeliség a helyi tényezőkhez viszonyítva nagy hatással volt a fajösszetételre. Ez magyarázható a töbörálji, nedvességkedvelő fajok (Vilisics *et al.* 2008) korlátozott terjedésével, vagy a töbör csoportokon belül a töbrök egymáshoz jobban hasonlító jellegzetességeivel. Ez lehet a viszonylag kis fajszámból adódó műtermék is.

Ilyen kis léptékben végzett hasonló részletességű és kiterjedésű vizsgálatot a vizsgált állatcsoportokra nem ismerünk, pedig a kisléptékű vizsgálatok fontossága nem csak a helyi faunák védelme kapcsán vetődik fel. Általánosan elfogadott modellezési gyakorlat, hogy elterjedési atlaszok digitalizált areatérképeinek (nem biotikai lelőhelyi adatok!) felhasználásával, sokféle klíma előrejelzés alapján sokféle modell típus átlagolásával „től-ig” előrejelzéseket adnak a fajok várható elterjedésére vonatkozóan. Például Araújo *et al.* (2006) az európai kétéltű- és hüllőfajok várható jövőbeli előfordulását a „zéró-” és „korlátlan terjedés” szélsőséges eseteire vázolja fel.

A nagyvonalú modell előrejelzések korlátozott volta közismert (Araújo & Guisan 2006, Dormann 2007), mint ahogy az is, hogy a környezeti változásokhoz történő helyi, ökológiai vagy evolúciós értelemben vett adaptáció kulcsfontosságú (Thomas *et al.* 2004). Annak megítélése, hogy a „től-ig” eredmények a két véglet között pontosan hol realizálódnak, nem nélkülözheti a terepi megfigyeléseket, hiszen konkrét vizsgálatok nélkül az előrejelzések nagyfokú bizonytalansággal terheltek.

Eredményeink rámutatnak, hogy a jelenben zajló globális klímaváltozás hatásait ellensúlyozandó, a kedvező kitettségű, alkalmas mikroklíma zugokban lévő mikroélőhelyeken az ászkarákok és csigák túlélési esélyei nagyobbak. Azonban ez csak akkor igaz, ha a klímaváltozás kedvezőtlen hatásait nem tetézik egyéb, antropogén eredetű veszélyeztető tényezők.

## Köszönetnyilvánítás

A terepmunkát az ÁOTK-NKB 15714 kutatási pályázat támogatta, S. P. az NSERC és az Alberta Biodiversity Monitoring Institute posztdoktori ösztöndíjasa. Ez a „Dolina 2007 Projekt” harmadik kézirat.

## Irodalomjegyzék

- Anderson, M. J. (2001): A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. – *Austral Ecol.* **26**: 32–46.
- Allen, H. D. (2003): Response of past and present Mediterranean ecosystems to environmental change. – *Progr. Phys. Geogr.* **27**: 359–377.
- Araújo, M. B. & Guisan, A. (2006): Five (or so) challenges for species distribution modelling. – *J. Biogeogr.* **33**: 1677–1688.
- Araújo, M. B., Thuiller, W. & Pearson, R. G. (2006): Climate warming and the decline of amphibians and reptiles in Europe. – *J. Biogeogr.* **33**: 1712–1728.
- Bacsó, N. (1970): Die physikalische Betrachtungsweise des Mikroklimas und deren praktische Verwendung. – *Időjárás* **74**: 352–360.
- Bárány, I. (1985): A karsztos dolinák talajainak és növényzetének sajátosságai. – *Földrajzi Értesítő* **3**: 195–208.
- Bárány-Kevei, I. (1999): Microclimate of karstic dolines. – *Acta Climatologica* **32-33**: 19–27.
- Dormann, C. F. (2007): Promising the future? Global change projections of species distributions. – *Basic Appl. Ecol.* **8**: 387–397.
- Giokas, S., Karkoulis, P., Pafilis, P. & Valakos, E. (2007): Relictual physiological ecology in the threatened land snail *Codringtonia helenae*: A cause for decline in a changing environment? – *Acta Oecologica* **32**: 269–278.
- Grytnes, A. (2003): Species-richness patterns of vascular plants along seven altitudinal transects in Norway. – *Ecography* **26**: 291–300.
- Hornung, E., Vilisics, F. & Szlávecz, K. (2007): Szárazföldi ászkarák (Isopoda, Oniscidea) fajok tipizálása hazai előfordulási adatok alapján (különös tekintettel a sikeres megtelepedőkre) – *Természetvédelmi Közlem.* **13**: 47–58.
- Horsák, M., Hájek, M., Tichy, L. & Juříčková, L. (2007): Plant indicator values as a tool for land mollusc autecology assessment. – *Acta Oecol.* **32**: 161–171.

- Horvát, A. O. & Papp, L. (1965): A nagyharsányi Szársomlyón végzett mikroklímamérések eredményei. – *Jan. Pann. Múz. Évk.* **9**: 43–55.
- Hulme, M., Barrow, E. M., Arnell, N. W., Harrison, P. A., Johns, T. C. & Downing, T. E. (1999): Relative impacts of human-induced climate change and natural climate variability. – *Nature* **397**: 688–691.
- Hylander, K., Nilsson, C., Jonsson, B. G. & Gothner, T. (2005): Differences in habitat quality explain nestedness in a land snail meta-community. – *Oikos* **108**: 351–361.
- IPCC (2007) Climate Change 2007, the Fourth Assessment Report (AR4) of the United Nations Intergovernmental Panel on Climate Change. <http://www.ipcc.ch>
- Jakucs, P. (1954): Mikroklímamérések a Tornai karszton, tekintettel a fatömegprodukciónra és a karsztfásításra. – *Ann. Hist. Nat. Mus. Hung.* **5**: 149–173.
- Juříčková, L., Horsák, M., Cameron, R., Hylander, K., Míková, A., Hlavác, J. C. & Rohovec, J. (2008): Land snail distribution patterns within a site: the role of different calcium sources. – *Eur. J. Soil Biol.* **44**: 172–179.
- Kerney, M. P., Cameron, R. A. D., Jungbluth, J. H. (1983): *Die Landschnecken Nord- und Mitteleuropas*. – P. Parey, Hamburg-Berlin, 384 pp.
- Lawton, J. H., MacGarwin, M. & Heads, P. A. (1987): Effect of altitude on the abundance and species richness of insect herbivores on beech. – *J. Anim. Ecol.* **56**: 147–160.
- Martin, K. & Sommer, M. (2004): Relationships between land snail assemblage patterns and soil properties in temperate-humid forest ecosystems. – *J. Biogeogr.* **31**: 531–545.
- McArdle, B. H. & Anderson, M. J. (2001): Fitting multivariate models to community data: A comment on distance-based redundancy analysis. – *Ecology* **82**: 290–297.
- McCarty, J. P. (2001): Ecological consequences of recent climate change. – *Conserv. Biol.* **15**: 320–331.
- Nagy, A. & Sólymos, P. (2002): Relationship between Orthoptera assemblages and microclimate in different exposures of a dolina. – *Articulata* **17**: 73–84.
- Oksanen, J., Kindt, R., Legendre, P., O'Hara, B., Simpson, G. L., Sólymos, P., Stevens, M. H. H., & Wagner, H. (2008). *vegan: Community Ecology Package*. R package version 1.15-0, URL: <http://www.r-project.org>, <http://vegan.r-forge.r-project.org/>

- Parmesan, C. (2006): Ecological and evolutionary responses to recent climate change. – *Annual Rev. Ecol. Evol. Syst.* **37**: 637–69.
- R Development Core Team (2008): R: A Language and Environment for Statistical Computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0, URL <http://www.R-project.org>.
- Schmalzfuss, H. (2003): World catalog of terrestrial isopods (Isopoda: Oniscidea). – *Stuttgarter Beiträge zur Naturkunde Serie A*, Nr. 654: 341.
- Schmalzfuss, H. (1984): Eco-morphological strategies in terrestrial isopods. – *Symp. Zool. Soc. London* **53**: 49–63.
- Schwartz, S. E., Charlson, R. J. & Rodhe, H. (2007): Quantifying climate change? too rosy a picture? *Nature Reports: Climate Change* – **2**: 23–24.
- Sfenthourakis, S. (1992): Altitudinal effect on species richness of Oniscidea (Crustacea; Isopoda) on three mountains in Greece. – *Global Ecol. Biogeogr.* **2**: 157–164.
- Sólymos, P. (2008): “mefa: an R Package for Handling and Reporting Count Data.” *Comm. Ecol.* **9**: 125–127.
- Sólymos, P. & Fehér, Z. (2005): Conservation prioritization based on distribution of land snails in Hungary. – *Conserv. Biol.* **19**: 1084–1094.
- Sólymos, P. & Kemencei, Z. (2008): “Methodological study data set of land snails from the Dolina 2007 project.” The Dataverse Network, URL <hdl:1902.1/12060>.
- Tinnera, W., Nielsen, E. H. & Lotter, A. F. (2007): Mesolithic agriculture in Switzerland? A critical review of the evidence. – *Quat. Sci. Rev.* **26**: 1416–1431.
- Thomas, C. D., Bodsworth, E. J., Wilson, R. J., Simmons, A. D., Davies, Z. G., Musche, M. & Conrad, L. (2001): Ecological and evolutionary processes at expanding range margins. – *Nature* **411**: 577–581.
- Thomas, C. D., Cameron, A., Green, R. E., Bakkenes, M., Beaumont, L. J., Collingham, Y. C., Erasmus, B. F. N., de Siqueira, M. F., Grainger, A., Hannah, L., Hughes, L., Huntley, B., van Jaarsveld, A. S., Midgley, G. F., Miles, L., Ortega-Huerta, M. A., Peterson, A. T., Phillips, O. L. & Williams, S.E. (2004): Extinction risk from climate change. – *Nature* **427**: 145–148.
- Venables, W. N. & Ripley, B. D. (2002): *Modern Applied Statistics with S. Fourth Edition*. – Springer, New York.
- Vilisics, F., Nagy, A., Sólymos, P., Farkas, R., Kemencei, Z., Páll-Gergely, B., Kisfali, M. & Hornung, E. (2008): Data on the Terrestrial Isopoda Fauna of the Alsó-hegy, Aggtelek National Park, Hungary. – *Folia Faunistica Slovaca* **13**: 9–12.



- Visser, M. E. & Both, C. (2005): Shifts in phenology due to global climate change: the need for a yardstick. – *Proc. Roy. Soc. B* **272**: 2561–2569.
- Warburg, M. (1964): The response of isopods towards temperature, humidity and light. – *Anim. Behav.* **12**: 175–186.
- Warburg, M. (1987): Isopods and their terrestrial environment. – *Adv. Ecol. Res.* **17**: 187–242.
- Warburg, M., Linsenmair, K. & Bercovitz, K. (1984): The effect of climate on the distribution and abundance of isopods. – *Symp. Zool. Soc. London* **53**: 339–367.
- Willis, K. J., Sümegi, P., Braun, M., Bennett, K. D. & Tóth, A. (1998): Prehistoric land degradation in Hungary: who, how and why? – *Antiquity* **72**: 101–113.
- Zimmermann, N. E. & Kienast, F. (1999): Predictive mapping of alpine grasslands in Switzerland: species versus community approach. – *J. Veget. Sci.* **10**: 469–482.

## Global change, local survival: effects of aspect and moisture on epigeic invertebrate communities

Péter Sólymos<sup>1,2</sup>, Ferenc Vilisics<sup>2</sup>, Zita Kemencei<sup>2</sup>, Barna Páll-Gergely<sup>3</sup>, Roland Farkas<sup>4</sup>, Antal Nagy<sup>5</sup>, Máté Kisfali<sup>6</sup> and Elisabeth Hornung<sup>2</sup>

<sup>1</sup>*Department of Mathematical and Statistical Sciences, University of Alberta*

<sup>2</sup>*Dept. of Ecology, Szent István University*

<sup>3</sup>*Dept. of General and Applied Ecology, Univ. of Pécs*

<sup>4</sup>*Aggtelek National Park Directorate*

<sup>5</sup>*Dept. of Plant Protection, Univ. of Debrecen*

<sup>6</sup>*Dept. of Evolutionary Zoology, Univ. of Debrecen*

**Abstract:** We investigated the effect of aspect and habitat moisture on occurrence and abundance patterns of terrestrial isopods and snails. Samples were collected from north-to-south transects in 16 forested sinkholes in the Aggtelek karst area (N Hungary). Species richness and abundance were highest in the moist bottoms of the sinkholes for both taxa. The effect of aspect on these parameters was less pronounced for isopods than for snails. Species composition of isopods was shaped primarily by spatial constraints, while for snails the effect of local factors and spatial constraints were balanced. Our results indicate that local environmental conditions, i.e. topographical aspect and habitat quality (moisture) might temporarily provide shelter for invertebrates during environmental change.

**Keywords:** global change, local environment, species richness, Mollusca, Isopoda, survival, micro scale, refugia