



METAKÖZÖSSÉG-ÖKOLÓGIA KISVIZEKBEN

Szigetek a szárazföld tengerében

Szigetekről hallva, leginkább trópusi klíma, tengerpart és pálmafák rajzolódnak ki lelki szemünk előtt, így a szigetek ökológiájának kutatása könnyen hangozhat egzotikusnak. Ökológiai értelemben vett szigetek vagy szigetszerű élőhelyek azonban mindenhol megtalálhatóak, ahol a Földön élet van. Gyakorlatilag bármilyen élőhelyet szigetnek tekinthetünk, amennyiben az ott előforduló élőlények számára kihívást jelent eljutni a következő hasonló élőhelyre.

„*No man is an island*” — senki sem sziget, tartja a popkultúrában is gyakran felbukkanó, eredetileg XVII. századi angol mondás. Azonban ökológiai szempontból nem is állhatnánk messzebb a valóságtól: ha a testünkben élő mikrobákra gondolunk, számukra az emberi test egy darabka kényelmes sziget az amúgy lakhatatlan nagyvilágban (ez utóbbit az ökológiában mátrixnak nevezzük), így tehát végső soron gyakorlatilag mindannyian szigetek vagyunk. Ezek között a szigetek között azonban adott esetben (például egy tüsszentéssel) összeköttetés alakulhat ki, és a mikrobaközösségek egyes tagjai új szigetre kerülhetnek. Ez a folyamat a diszperzió, az így összeköttetésbe kerülő, különböző szigetekeken élő közösségeket pedig együtt egy metaközösségnek nevezzük.

Hidak a szigetek között

A természetben található állóvizek szintén tekinthetők szigetszerű élőhelyeknek. Folytatva a fenti gondolati párhuzamot, itt a vízi élőlények azok, amelyek számára az állóvizek elszeparált foltok (szigetek) a számukra lakhatatlan szárazföldi mátrixban. Ezt egyes fajok számára igencsak nagy kihívás áthidalni, nehéz átjutni két víztest között (extrém példaként gondoljunk csak két olyan tó halaira, amelyeket semmilyen patak vagy csatorna sem köt össze).

Ma már tudjuk, hogy a legtöbb szigeten (legyen az klasszikus sziget, tó, vagy bármilyen más szigetszerű élőhely) kialakuló élőlény-közösség összetételét

jelentősen befolyásolja, hogy mennyi és milyen jellegű hasonló élőhely található a közelben. Azonban ennek fontosságára csak az utóbbi 50 évben folytatott kutatások világítottak rá. Bár már Darwin is jól értette és munkáiban hangsúlyozta is a diszperzió szerepét, a klasszikus ökológia később mégis inkább egyenként, individuumként tekintett ezekre az élőhelyekre, és az őket benépesítő élőlény-közösségeket kizárólag a helyi környezeti tényezőkkel próbálta leírni. Hatalmas átöröslést jelentett az 1960-as években annak felismerése, hogy a tengeri szigetekeken található élőlények számát nem csak a szigetek mérete befolyásolja, de azok távolsága is a legközelebbi nagyobb szárazföldtől. *Robert H. MacArthur* és *Edward O. Wilson* egy nagyon egyszerű modellel mutatták be, hogy a fajszám a szárazföldtől legtávolabbi, legkisebb szigetekeken lesz a legalacsonyabb, míg a legmagasabb fajszámok a szárazföldhöz közeli, legnagyobb szigetekeken várhatóak. Ez az ún. egyensúlyi fajszám elmélet, amely az ökológia egyik legtöbbet idézett, legalapvetőbb és máig helytálló modellje.

A csótányirtás tanulsága

A 60-as években nem csak MacArthur és Wilsont foglalkoztatta a diszperzió és az élőhelyek térbeli elhelyezkedése és kapcsolata: a szigetbiográfiai modellel szinte egy időben született meg a metapopulációs elmélet is, a két éve elhunyt *Richard Levins*-nek köszönhetően. Ez gyakorlatilag tökéletes analógiája a később erre épülő, ezt kiterjesztő metaközösség-elméletnek, csak itt a

diszperzió által összeköttetésben álló helyi populációk (és nem teljes közösségek) interakcióiról van szó. Levins a metapopulációkat szó szerint a populációk populációinak nevezte, és munkáiban elsősorban demográfiai kérdésekkel foglalkozott. Hogy ez hogyan lehet a gyakorlatban is fontos? Levins elsőként mutatott rá, hogy amennyiben egy nagyobb területen belül egy adott kártevő több izolált foltban (szigeten) is előfordul, egyetlen foltban alkalmazva a kártevőirtás sosem lesz igazán hatékony, hiszen a szomszédos populációk ezután újra benépesítik majd a kihalt foltot. Egyszerű példaként elég arra gondolni, ha egy nagyobb társasházban egy lakó elmulasztja a közös csótányirtás időpontját, a szomszédok „legnagyobb öröme” innen már másnap meg is indulhat a diszperzió a megürült foltok, azaz a tiszta lakások felé.

De hogy ne csak a nátha és a kártevők elrettentő példáival illusztráljuk a metapopulációk és metaközösségek megértésének alapvető fontosságát: ezek az elméletek a modern természetvédelmi biológiában is kiemelkedően fontosak. Ma már a természetvédelmi biológián belül külön irányvonalat képvisel a „*connectivity conservation*”, a diszperzió általi összeköttetések megőrzésének tudománya és ennek alkalmazása. Az 1960-as évek óta számtalan példa mutatja, hogy egy önmagában, elszigetelten álló élőhely szinte mindig fajszegényebb, mint egy hasonló, de más élőhelyekkel kapcsolatban álló. A jelenséget, amikor egy élőhely „elszakad” a többitől, és köztük a diszperzió megszűnik vagy ritkává válik, diszperzió-limitációnak nevezzük.

Janus-arcú diszperzió

Azonban a diszperzió általi „közösség-csere” nem minden esetben előnyös, sőt, a túl nagy mennyiségben érkező egyedek akár teljesen át is formálhatják az őket befogadó élőhelyek közösségeit – ilyenkor „*mass effect*”-ről, tömeghatásról beszélünk. Ez utóbbi sokkal ritkább, mint a diszperzió-limitáció, és inkább csak nagyon közeli, viszonylag kis méretű élőhelyeken fordul elő.

Diszperzió-limitáció ezzel szemben számos természetes metapopulációban és metaközösségben megfigyelhető bizonyos mértékben, és a természetes módon izolált élőhelyek (például magashegységi tavak) esetén korántsem feltétlenül káros. Alaposan meg kell tehát fontolni, és mindig az adott problémához igazítani, hogy szükséges és valóban előnyös-e egy olyan természetvédelmi beavatkozás, ami megváltoztatja a diszperzió gyakoriságát egy metaközösségben vagy metapopulációban. Két, emberi beavatkozás miatt elszigetelődött bambuszerdőben élő pandapopuláció között például létfontosságú lehet létrehozni egy új összeköttetést (például egy újabb darabka bambuszerdő ültetésével) a beltenyésztettség elkerülésére. Ugyanakkor az alföldi szikes tavaink között természetes módon sem csatornák, sem patakok, sem egyéb vízi összeköttetések nincsenek, így ilyeneket létrehozni a vízi közösségeik számára semmiképp sem előnyös. Erre láthatunk egy szomorú példát például a Fertő tó keleti oldalán, ahol az egyik ilyen természetes szikes tavat csatornával összeköttetésbe hozták a Fertővel. A szikes tavak mellett, hogy természetes módon fizikailag izoláltak, rendszeresen kiszáradnak, és mivel emiatt halak tartósan nem élnek bennük, így gazdag zooplankton-közösségeknek biztosítanak élőhelyet, amelyek később számos védett vízimadarat táplálnak. Ez a becsatornázás azonban amellelt, hogy lényegesen megváltoztatta a kis tó vízháztartását, szabad utat engedett a Fertő halainak is, tönkretéve az eredeti életközösséget. A természetes módon fennálló diszperzió-limitáció megszüntetésével járó változások másik példája az íjhal (*Balistes capriscus*) és más, eredetileg a Vörös-tengerben őshonos halak megjelenése a Földközi-tengerben: a Szuézi-csatorna megépítésével ma már diszperzió zajlik a Vörös-tenger és a Földközi-tenger halközösségei között, és az így bejutott, itt eredetileg nem őshonos halak jelentősen átformálják a földközi-tengeri közösségeket is.

1. ábra. Szárazföldi sziget a vízen és vízi sziget a szárazföldön.



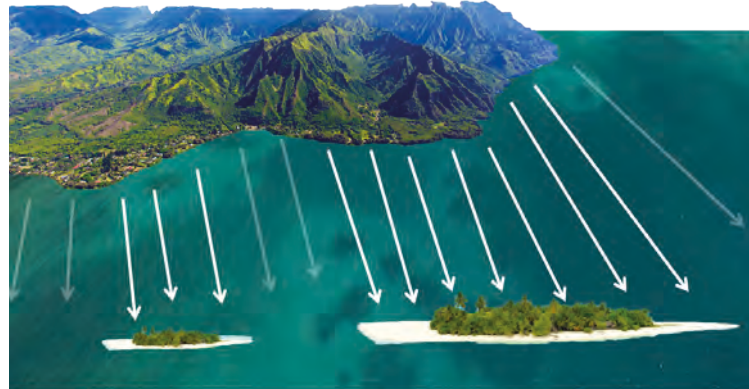
Ahogy ezek a példák mutatják, a diszperzió és hatásai nem értelmezhetők feketén-fehéren. A metaközösségek formálásáért ráadásul a térbeli hatások (diszperzió) csak részben felelősek, a leggyakrabban mind az adott élőhely környezeti tényezői, mind a szomszédos élőhelyekkel való összeköttetés fontos. Ilyenkor gyakran folt-dinamikáról (az angol irodalomban „*patch dynamics*”) beszélünk: az egyes élőhelyfoltok (szigetek) sok különféle környezetet kínálnak, és ha egy bizonyos faj kihal egy foltból (pl. a környezet időszakos megváltozása miatt), diszperzió révén egy másiktól újra megjelenhet, amikor a környezet újra előnyössé válik. Hosszú távon ez biztosítja a metaközösségek fennmaradását a terület egészén, még ha időről időre nem is találunk meg bizonyos fajokat minden foltban. Ehhez azonban elengedhetetlen a diszperzió általi összeköttetés, hiszen a teljesen izolált, diszperzió-limitált élőhelyek elveszítik ezt a hosszú távú „ökológiai biztosítást”.

Tócsák, pocsoltyák, dagonyák

A fentiekben már számos példát láttunk vízi metaközösségekre, ami nem véletlen, hiszen a metaközösség-ökológiai vizsgálatokban is egyre több munka foglalkozik velük. Ezen belül is talán a leggyakrabban használt objektumok a tavak és kisvizek, amelyek a valódi szigetek legjobb analógjai, gyakorlatilag inverz megfelelői: míg a földrajzi értelemben vett szigetek szárazföldi foltok, amiket víz vesz körül, az állóvizek vizes foltok szárazfölddel körülvéve. A magyar szakirodalom számos altípusát különbözteti meg a kis állóvizeknek, ezeket az angol általában egységesen a „*pond*” (esetleg „*pool*”) kategóriába sorolja. Ezek párhuzamos, hasonlóképpen egyszerű megfelelője sajnos hiányzik a magyar nyelvből. A magyar limnológiában ehhez legközelebb talán az alighanem mesterségesen létrehozott „kistó” vagy „kisvíz” kifejezés áll. Ezek alá a gyűjtőnevek alá a legkülönfélébb apró állóvizek tartoznak, mint a tócsák, pocsoltyák, tavacsok, de egyes források megkülönböztetnek kopolyákat, dagonyákat, tömpölyöket, fertőket, tocsogókat is. Ugyan ez a nyelvi gazdagság elsősorban izgalmasan hangzik (sőt, további tájnyelvi változatokat hozzáadva szinte a végtelenségig fokozható), a tudomány számára a kevesebb sokszor több, és így ezek használata a tudományos világban inkább kerülendő, mint támogatandó, nem csak azért, mert ezek között a fogalmak között gyakorlatilag lehetetlen egyértelmű határvonalakat húzni, de emellett nehezen vagy egyáltalán nem feleltethetők meg a tudomány nemzetközi nyelvének, az angolnak.

Az egyszerűség kedvéért nevezzük kisvizeknek ezeket az apró állóvizeket. Ha egy utcai járókelőnek nekiszegzenék a kérdést, mit gondol, globálisan vajon a nagy tavak

vagy a náluk sokkal kisebb állóvizek játszanak-e fontosabb szerepet a biodiverzitás fenntartásában és az anyagforgalmi folyamatokban, szinte biztosan a tavakat kapnánk válaszként. Ez volt a tudomány



2. ábra. Robert H. MacArthur és Edward O. Wilson szigetbiogeográfiai elmélete alapján nem csak a szigetek mérete (fent) alakítja ki a szigetek fajszámát, hanem azok távolsága is a szárazföldtől (lent): a szárazföldhöz közeli szigetekre több faj jut el, mint a távoliakra (így a távoliak diszperzió-limitáltabbak).

álláspontja is úgy nagyjából a 2000-es évekig. Azonban az utóbbi két évtizedben folytatott kutatások rávilágítottak, hogy ez koránt sincs így. Hogyan lehetséges ez? Elsősorban a kisvizek hatalmas számának köszönhetően — Nagy-Britanniában, Dániában és Svájcban készült felmérések alapján ezen országok állóvizeinek több mint 97%-át kisvizek adják! Ennek révén tudnak jelentősen hozzájárulni a biodiverzitáshoz, élőhelyet biztosítva nem csak a kizárólag kisvizekben előforduló élőlényeknek, de azoknak is, amelyek a nagyobb tavakban vagy folyókban is megtalálhatók. Egy tanulmány azt is kimutatta, hogy a kisvizekben világszerte tárolt szén biomaszája messze meghaladja a világoceánban találhatóét, ezáltal a globális folyamatokban is igen je-

A nagyobb béka nagyobbat ugrik

Több vizsgálat is rámutatott már arra, hogy a kisvizek a természetben élőhelyek hálózataként működnek. Egyik fontos szerepük, hogy úgynevezett lépőkövek („stepping stones”), azaz megteremthetik a nagyobb élőhelyek között az összeköttetést. Például ha két egymástól távol található mocsár közé mesterséges kisvizet létesítenek, az elősegíti a kétéltűek diszperzióját a két terület között. De nem csak összekötő kapocsként lehetnek fontosak, hanem saját hálózatokat alkotva is. Bár egyetlen kisvíz gyakran kis fajszámmal rendelkezik és egy nagy kiterjedésű tónál sokkal kevésbé értékes élőhelynek tűnhet, táji (regionális) léptékben a kisvizekben összesen megtalálható fajok száma gyakran meghaladja a nagyobb tavakban találhatóét. Ez fontos üzenet a gyakorlati természetvédelem számára is, amely gyakran inkább csak egyes kitüntetett vizes élőhelyek védelmét részesíti előnyben. Ez a természetvédelmi gyakorlat ráadásul a kisvizek esetében sajnos fokozottan érvényesül.

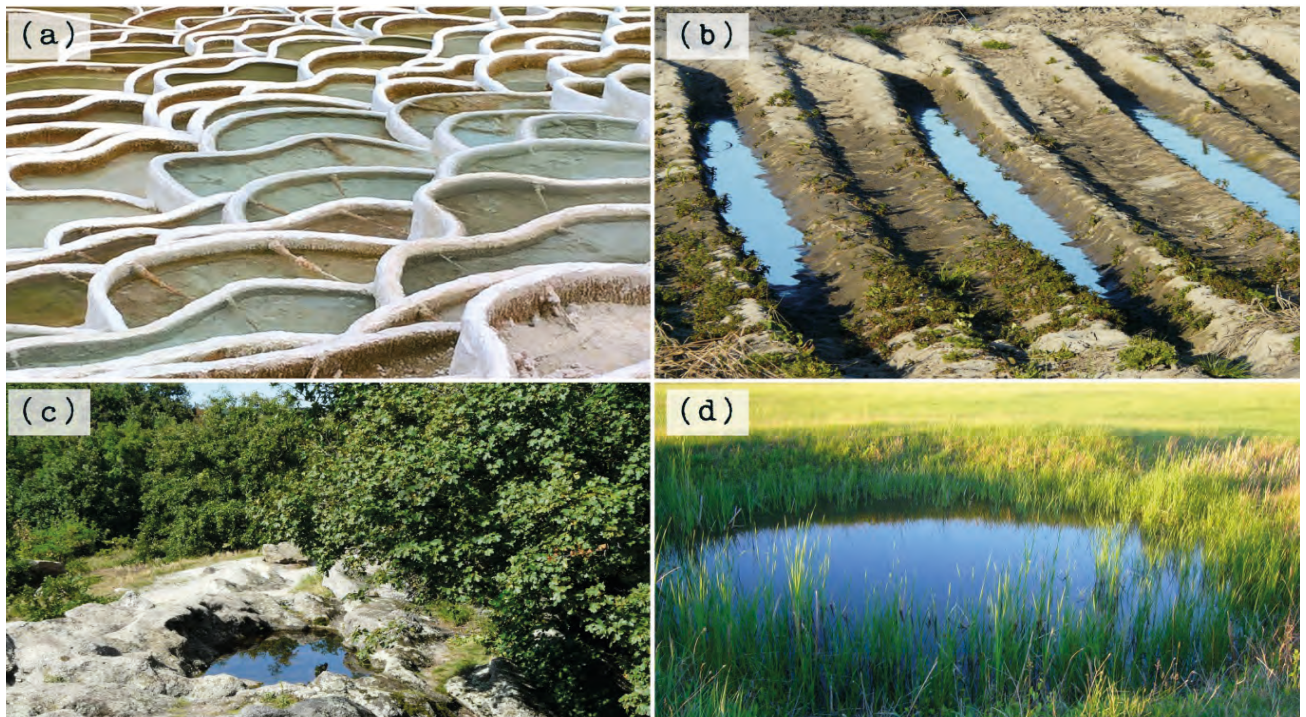
Az élőlények diszperziós tulajdonságai alapvetően befolyásolják egy adott metaközösség működését. Alapvetően két fő csoportba sorolhatjuk őket, lehetnek aktívan és passzívan terjedők. Előbbiek saját mozgásszerveiknek, lábaiknak, szárnyaiknak, uszonyaiknak köszönhetően képesek eljutni az egyik élőhelyről a másikra. Ez egyben azt is jelenti, hogy elméletileg sokkal könnyebben megtalálják a számukra megfelelő élőhelyeket, hiszen képesek azok között „válogatni”. Ennek ellenére számos vizsgálat bizonyítja, hogy az aktívan terjedő állatok diszperzióját is jelentősen hátráltatja, ha az élőhelyek ritkásan, egymástól távol helyezkednek el, vagy a körülöttük található mátrix nehezen átjárható (pl. autópályák szelik keresztül-kasul). Mi is ezt találtuk a dél-magyarországi kisvizek kétéltű-metaközösségének vizsgálatakor. Alacsonyabb éves csapadék esetén az időszakos kisvizek száma is alacsonyabb volt. Ezek között a szárazabb körülmények között az állatok diszperzió-limitáltabbak voltak, és ezért kevésbé alkalmas élőhelyekkel is „kiegyeztek”. Ennek oka, hogy hiába képesek aktívan új élőhelyet keresni, a legtöbb kétéltű nem vándorol egy kilométernél messzebb a szülőhelyétől, ezért számukra alapvető fontosságú a kisvizek sűrű elhelyezkedése és sokfélesége. Ugyanazok a körülmények ráadásul az egyes fajokra is másként hatnak, és ez a hatás függ az adott faj diszperziós képességétől, ami arányos a testmérettel. Egyszerűsítve: a nagyobb béka nagyobbat ugrik. Pontosabban ez látható az állatok térbeli mintázataiban, diszperzió-limitáltságának fokában is: minél nagyobb testű egy adott faj, annál jobb diszperziós készségekkel rendelkezik, és annál könnyebben képes megtalálni a neki ideális élőhelyeket, akár

azok ritkasága ellenére is. Ennek fordítottja is igaz — ha nem találunk diszperzió-limitációt egy nagyobb testű kétéltű (pl. barna varangy) esetében, ez még nem jelenti azt, hogy ugyanabban a tájban a kisméretű unkáik terjedése sem akadályozott.

Ha rövid a lábad ...

A passzívan terjedő élőlények esetén még nehezebb, esetlegesebb eljutni egyik lakható élőhelyfoltból a másikba. Az ő esetükben ugyanis szükség van egy, a terjedésüket elősegítő külső tényezőre, úgynevezett diszperziós vektorra. Talán legismertebb példák a növények, melyek magvai a szél szárnyán, állatok bundájába akadva vagy a víz hátán sodródva jutnak egyre messzebb az anyanövénytől, hogy egy alkalmas élőhelyre jutva kicsírázzanak. Ez azonban azt jelenti, hogy az így „stoppoló” élőlényeknek semmilyen beleszólásuk nincs abba, hová jutnak végül, és nagyrészt a szerencsén és a nagy számok törvényén múlik, hogy elérnek-e egy nekik megfelelő élőhelyfoltot. A vízi élőlények közül a planktonikus élőlények (rákok, kerekcsigák, egysejtűek, algák) a szárazföldi növényekhez hasonlóan passzívan terjednek. Ezt a hasonlóságot növeli, hogy kitartóképleteik (pl. vastag falú tartóspeték) a növények magbankjához hasonlóan petebankot képeznek, és az iszapba eltemetve aprócska időgépekként akár évszázadokig is életképesek (csíráképesek) maradhatnak. Ezek a kitartóképletek emellett terjesztőképletekként is funkcionálnak. Ebben segíti őket sokszor extrém tűrőképességük (az *Artemia* sórákok tartóspetéi például akár a folyékony nitrogénbe mártást is túlélnek), illetve számos csoport esetén a növények magvaihoz hasonló kampókat, horgokat, felületi mintázatokat is találunk, amik segítik az állatok bőrén, bundáján való megkapaszkodást. A planktonikus rákok egy csoportjában, a vízibolhák közt számos olyan fajt ismerünk, amelyek tartóspetéi már-már papírsárkányokra hasonlítanak — nem véletlenül, hiszen a nagy, lapos felületbe könnyebben belekap a szél, és a vizek partjára sodródott rákpetéket így könnyebben szállítja akár nagy távolságokra is.

Mivel a passzív élőlények ilyen erősen függenek terjesztőiktől, így aztán az ő metaközösségeik mintázatait nagyban befolyásolják az elérhető diszperziós vektorok, sőt, néha meglepő, esetenként globálisan is megfigyelhető mintázatokat okozhatnak. Egyes vizsgálatok kimutatták, hogy a terepi mintavételt végző kutatók is jelentős mennyiségben szállítják a kitartóképleteket gumicsizmájukon vagy a mintavételi eszközeikhez ragadva, így saját maguk szolgáltatnak összeköttetést az egyes, térben izolált élőhelyfoltok között. Az Észak-Amerikába behurcolt, idegenhonos tüskés vízibolha



3. ábra. Magyarországon található kisvizek példái: gipszmedencék Egerszalókon (a), szántóföldi tócsák az Alföldön (b), „madáritató” a szentbékállai kötengerben (c) és egy bombatólcsér Apaj mellett (d).

(*Bytotrephes longimanus*) esetében azt is megfigyelték, hogy a turisták által gyakrabban látogatott tavakban nagyobb eséllyel található meg. A szél általi diszperzióra jó példa a fertőzugai szikes tavak esete, ahol a zooplankton közösségek összetételében a régióban uralkodó északnyugati szélirány jelentősen nagyobb lenyomatot hagy, mint az adott élőhelyek helyi környezete (pl. sóssága). Az összeköttetések fontosságát mutatják a Kiskunságban található bombatólcsérekben kialakult kisvizek is. Ezek egy sűrű foltban, gyakorlatilag „szigetcsoporthként” helyezkednek el. A középén, centrálisan elhelyezkedő élőhelyek zooplankton közösségei hasonlóbbak egymáshoz, mint a periférián, ezáltal a többiekétől izoláltabban elhelyezkedő élőhelyek közösségeihez, annak ellenére, hogy a helyi élőhelyi tulajdonságok hasonlóak.

Az amőbától az elefántig

Ahogy arról már korábban is szó esett, a diszperzió fontosságát a nagytestű gerincesek, növények és néhány népszerű gerinctelen-csoport (pl. lepkék) esetén már néhány évtizede kimutatták és a természetvédelmi biológia a gyakorlatban is figyelembe veszi. A mikroszkopikus világban (elsősorban a baktériumok és egysejtűek esetében) azonban sokáig az a feltételezés számított alapvetőnek, hogy rendkívül gyors szaporodásuknak és hatalmas populációméreteiknek köszönhetően ezen apró élőlények

diszperziós képessége korlátlan és megjelenésüknek csak a környezet szab határt (*„Everything is everywhere but the environment selects”* – minden élőlény előfordul mindenütt, csak a környezet szelektál, szól *Baas-Becking elve*, amely a mikrobiális ökológia egyik alapvető gondolata). Elég csak egy a laborasztalon vagy kertben hagyott, vízzel töltött befőttesüvegre gondolni, amely pár héten belül átlátszóból élénkzöld színűre vált a megjelenő algáknak köszönhetően. Természetesen ezek a mikroszkopikus élőlények valóban hatalmas diszperziós potenciállal rendelkeznek, és sokan közülük igazi kozmopolitának tekinthetőek. Ugyanakkor egyre több vizsgálat világít rá arra, hogy közösségeik összetétele szempontjából a helyi tényezők mellett számos esetben az élőhelyek térbeli elhelyezkedése is kulcsfontosságú, azaz metaközösségnek tekinthetjük őket (és így az említett befőttesüvegben sem fogunk antarktisi egysejtűeket találni). Ez egyben azt jelenti, hogy a mikroszkopikustól a makroszkopikusig, tehát a legapróbb amőbától az elefántig az élőlények hasonló szerveződési elvek szerint működnek. Ez persze más-más földrajzi skálán értendő és nagyban függ az adott taxonok diszperziós tulajdonságaitól is, de mégis egységes szemléletet és vizsgálati módszereket tesz lehetővé a metaközösség-ökológia számára, amelyhez a kisvizek kiváló vizsgálati objektumként szolgálnak.

HORVÁTH ZSÓFIA – VAD CSABA FERENC