A TERMÉSZETESSÉGI MUTATÓK NYOMÁBAN

Az ökológiai indikáció és az ökológiaiindikátor-értékek

1. RÉSZ Az ökológiai indikátorok népes családján belül találjuk a természetességi indikátorokat, melyek segítségével a természeti környezetünkről közvetett módon, az ott megfigyelhető növényzet által szerzünk ismereteket. Háromrészes cikksorozatunk első részében az ökológiai indikáció fogalmát és jelentőségét mutatjuk be, hogy megágyazzunk a természetességi indikátoroknak, melyekről a későbbi részekben ejtünk szót.

Közismert tény, hogy az élőlények puszta jelenlétükkel (vagy éppen hiányukkal) jelzik, azaz indikálják környezetük minőségét. Ha valahol enyves égerfákat látunk, akkor talajvizsgálatok nélkül, akár már a távolból joggal feltételezhetjük, hogy a fák alatt a talaj nedvességtartalma nagy. A fekete bodza vagy a nagy csalán jelenléte rendszerint magas tápanyagtartalomra, míg a bordapáfrány **(1.ábra)** előfordulása savas pH-ra utal. A nagyezerjófű **(nyitóképünkön)** meleg termőhelyet és meszes talajt jelez. Ha pedig egy réten a sóvirág lila foltjai virítanak, akár a vonatablakból is könnyen meg tudjuk mondani, hogy a talaj szikes. Ez a jelenség az ökológiai indikáció, amely azon alapul, hogy a különböző élőlényeknek eltérő igényeik vannak az egyes környezeti tényezőket, például a fent említett talajnedvességet, tápanyagtartalmat, pH-t, vagy sótartalmat illetően. Ennek megfelelően vannak nedves és száraz talajt, tápanyagban gazdag és tápanyagban szegény élőhelyeket, savas és bázikus pH-t, alacsony és magas sótartalmat igénylő vagy elviselő fajok. Hasonlóképpen léteznek meleg- és hidegkedvelők, valamint fény- és árnyékkedvelők.

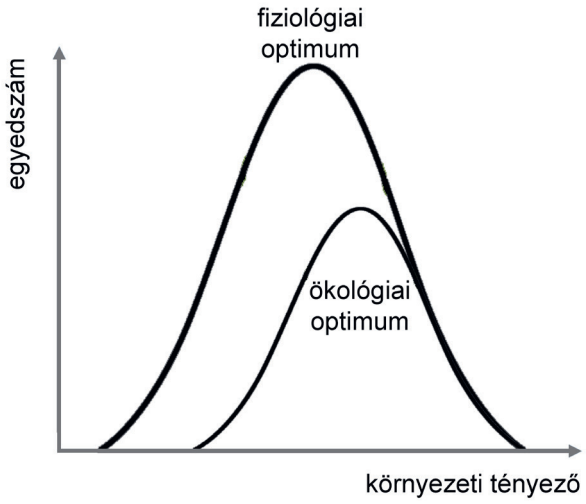
Az élőlények környezeti igényeit, azaz tűrőképességét haranggörbe formájában szokás szemléltetni (**2. ábra**). A harang legmagasabb része jelzi a fiziológiai optimumot: ez a környezeti tényező azon tartománya, amely a legjobban megfelel az adott élőlénynek. Egyszerűbben fogalmazva: az élőlény a fiziológiai optimumnál érzi magát a legjobban. Azt gondolhatnánk, hogy egy faj mindig a fiziológiai optimumnál található a legnagyobb egyedszámban, míg ettől távolodva az egyedszám fokozatosan csökken. Ez sokszor valóban így van, de gyakran előfordul az is, hogy a legelőnyösebb élőhelyekről a fajt más, „erősebb", versenyképesebb faj kiszorítja. Például számos növényfaj szívesen élne jó vízellátottságú talajon, csakhogy azt sok más faj is kedveli, és a legjobb helyeken olyan nagy lehet a tülekedés, hogy néhány faj már nem „fér be" az ottani közösségbe, és szárazabb élőhelyekkel kénytelen megelégedni. Azt a tartományt, ahol az adott faj a legnagyobb egyedszámot éri el, ökológiai optimumnak nevezzük. A leginkább versenyképes fajok esetében a fiziológiai és az ökológiai optimum egybeesik, míg gyöngébb versenyképességű fajok esetében a kettő között jelentős eltérés is lehet.

A fiziológiai és az ökológiai optimum közötti eltérést kimutató kísérletek közül a legismertebb *Heinz Ellenberg* német növényökológus klasszikus vizsgálata 1953-ból [1]. Ellenberg a mocsári perje, a réti ecsetpázsit, a réti csenkesz, a csomós ebír, a franciaperje és a sudár rozsnok magjait vetette el egyenletesen növekvő talajvízszint mentén, kétféle elrendezésben. Az elsőben minden fajt önállóan vetett, így az adott fajnak semmilyen másikkal nem kellett versengenie. A másodikban az összes fajt keverten vetette, így azoknak versengeniük kellett egymással. Előbbi esetben Ellenberg azt tapasztalta, hogy minden egyes vizsgált faj nagyjából ugyanazokat a körülményeket kedvelte: a növé-

1. ábra. A bordapáfrány savas kémhatású talajt jelez
(Erdős László felvétele)

nyek minden esetben a közepesen nedves területeken nőttek a legjobban (ez tekinthető tehát a fajok fiziológiai optimumának). Utóbbi esetben viszont egyes fajok a szárazabb, mások pedig a nedvesebb területekre szorultak ki, mert ott tudták elkerülni a versengést (ez felel meg az ökológiai optimumnak).

Valamely környezeti tényezővel szemben egy adott faj lehet tág vagy szűk tűrőképességű (**3. ábra**). Az előbbiek az adott környezeti tényező széles tartományában képesek túlélni, míg az utóbbiak csak egy szűk

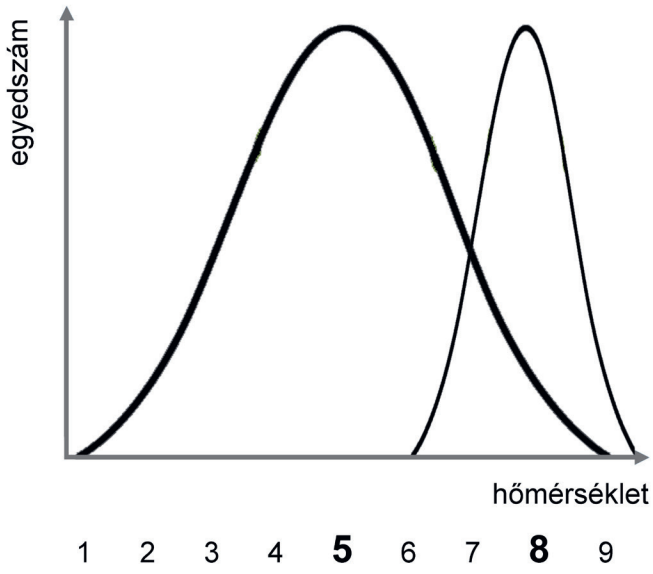


2. ábra. Tűrőképességi görbe a fiziológiai és az ökológiai optimummal
(Erdős László ábrája)

tartományt viselnek el. Egy faj valamely tényezővel szemben lehet szűktűrésű, de más tényezővel szemben ugyanez lehet tágtűrésű [2]. A magyar csenkesz (**4. ábra**) például tágtűrésű a talaj pH-ját tekintve, hiszen savas és bázikus kémhatású talajokon egyaránt előfordul. Ugyanez a faj viszont szűktűrésű a fényviszonyokat illetően: csak a jól megvilágított, napfényes helyeken él meg, már az enyhe árnyékolás hatására is visszaszorul, az árnyékos erdőkből pedig teljesen hiányzik. Általában a szűk tűrőképességű fajokat szokás jó indikátornak tekinteni. Például egyes zuzmók igen érzékenyek a légszennyezésre (tehát bizonyos szennyező anyagokkal, főként a kén-dioxiddal szemben szűktűrésűek), ezért jelenlétük rendszerint tiszta levegőt jelez. A jó indikátorokról szóló elképzelést azonban némiképpen pontosítani szükséges. Az általános indikáció elve szerint ugyanis minden élőlény és minden életközösség jó indikátor: saját környezetét tökéletesen indikálja [3]. A szűktűrésű fajokat inkább azért tartjuk jó indikátornak, mert ezek jelzéseit viszonylag könnyen tudjuk értelmezni.

Mivel az egyes fajok tűrőképessége eltérő, ezért egy adott területen megtalálható fajok kitűnően jelzik, indikálják a környezet minőségét. Az ökológiai indikáció már ősidők óta ismert (még ha nem is nevezték így), de csak a XX. század közepétől kezdve használják széles körben tudományos célokra [4]. Az ökológiai indikáció kutatásának kiemelkedő alakja Ellenberg volt, aki mezőgazdasági területek (gyomközösségek, legelők, kaszálók) termőhelyét szerette volna az ott előforduló növények alapján értékelni. Ellenberg számos kísérlet és óriási mennyiségű terepi adat alapján a növényfajokat csoportokba rendezte környezeti igényük alapján. Például a fényigény alapján több csoportot különített el az árnyékos helyeken gyakori növényektől kezdve egészen a teljes napsütésben jellemző fajokig. A különböző csoportokat számokkal jelölte. A beosztás az 1970-es évekre nyerte el végleges formáját. A fényigény esetében azóta is az 1-es szám jelöli a legalacsonyabb, míg a 9-es a legmagasabb fénymennyiség mellett gyakori fajokat. Hasonló kilencfokozatú skála használatos például a hőmérséklet, a pH, és a tápanyagtartalom esetében. A talajnedvességnél viszont tizenkét fokozatot különített el; itt a három legnagyobb szám a vízinövények különböző csoportjait jelöli [5]. Az egyes értékeket relatív ökológiaiindikátor-értékeknek nevezzük. Az Ellenberg által kidolgozott módszer egész Európában elterjedt és töretlen népszerűségnek örvend a növényökológusok körében. Magyarországon az indikátorértékek használata főként *Zólyomi Bálint* és *Borhidi Attila* munkásságának köszönhetően vált népszerűvé.

3. ábra. Egy tágtűrésű, közepes hőmérsékletet kedvelő és egy szűktűrésű, melegkedvelő faj tűrőképességi görbéje. Alul a relatív ökológiaiindikátor-értékek láthatók, az optimumoknak megfelelő értékek vastagon kiemelve szerepelnek.
(Erdős László ábrája)



A relatív ökológiaiindikátor-értékek használata akkor megalapozott, ha a fajokhoz rendelt indikátorértékek és a fajok tűrőképessége egymásnak megfeleltethető. A tűrőképesség gyakran, de nem mindig írható le haranggörbével, ám az önmagában nem jelent problémát, ha a tűrőképesség nem harang alakú. Feltétel viszont, hogy a tűrőképesség görbéje unimodális, azaz egycsúcsú legyen. Ezt a csúcsot, vagyis az ökológiai optimumot jelöli a hozzá rendelt ökológiaiindikátor-érték (**3. ábra**). A vizsgálatok szerint a növényfajok többségére az unimodalitás feltétele teljesül [6]. Ideális esetben a tűrőképességi görbék szimmetrikusak, minden fajnál azonos alakúak és egyforma szélességűek. Ekkor ugyanis az optimum önmagában is elég információt hordoz ahhoz, hogy a különböző fajok tűrőképességei összevethetők legyenek, ami biztosítja az indikátorértékek összehasonlíthatóságát [7]. A valóság azonban csak ritkán ideális, és a tűrőképességi görbék alakja jelentősen eltérhet az egyes fajok között. Komoly fejtörést okoz az ökológusoknak a szűk- és tágtűrésű fajok görbéi közötti eltérés. A probléma egyik lehetséges megoldása, hogy a tágtűrésű fajokhoz nem rendelnek indikátorértéket, így ezeket a fajokat nem használják az adott terület vagy élőhely jellemzésére. Ezt az utat követte Ellenberg is. Mások úgy érvelnek, hogy pontosabb eredményeket kapunk, ha a tágtűrésű fajokhoz is rendelünk értékeket, még ha ezek kevéssé informatívak is, mint a szűktűrésű fajok. Ez utóbbi álláspontot képviseli többek között Borhidi Attila [8].

Az indikátorértékeket ordinális skálán értelmezzük. Az ordinális skála értékei, amint fentebb is láttuk, sorba rendezhetők, vagyis kijelenthető például, hogy a 7-es érték nagyobb hőmérsékleti igényt jelez, mint a 6-os. Arról azonban az ordinális skála nem ad felvilágosítást, hogy mekkora a két érték közötti eltérés. Ezen felül az ordinális skálán a szomszédos értékek közötti különbségek nem feltétlenül azonosak, vagyis például az 5-ös és a 6-os érték közötti különbség eltérhet a 6-os és a 7-es érték közötti különbségtől. Mindebből az is következik, hogy bár az ökológiaiindikátor-értékeket számokkal jelöljük, ezekkel a számokkal matematikai műveleteket végezni nem lehet, az értékszámokat nem lehet például összeadni vagy kivonni. Szigorúan nézve tehát az ökológiaiindikátor-értékekből nem számítható átlag. Az ökológusok körében az átlagos indikátorértékek kiszámítása mégis népszerű, mert viszonylag egyszerű, és a tapasztalatok szerint rendkívül informatív.

Az indikátorértékek használatával egy adott terület vagy élőhely környezeti viszonyai könnyen jellemezhetők: első lépésben azonosítani kell az ott előforduló

4. ábra. A magyar csenkesz savas és bázikus kémhatású talajon is állományalkotó, de az árnyékolást nem kedveli *(Erdős László felvétele)*

növényfajokat, majd kikeresni az egyes fajokhoz tartozó indikátorértékeket, amelyek összesítése (például a medián vagy az átlag kiszámítása, a gyakorisági eloszlás vizsgálata) felvilágosítást ad a vizsgált terület vagy élőhely jellemzőiről.

Az olvasóban felmerülhet a kérdés, hogy mi értelme van az ökológiaiindikátor-értékekkel dolgozni. Nem kézenfekvőbb műszeres méréseket végezni? Az ökológiai indikációnak a műszeres mérésekkel szemben van néhány lényeges előnye. Először is, a környezeti paraméterek az időben gyakran fluktuálnak. Például egy adott élőhely hőmérséklete nagyon eltérő lehet éjjel és nappal, vagy nyáron és télen. Egy-egy időpontban végzett műszeres mérések ezért félrevezetők lehetnek. A vizsgált élőhelyen lévő növények viszont egész életüket egy helyben töltik, azaz jelenlétük hosszú időtartamra vonatkozóan nyújt információt a környezeti tényezőkről. Másodszor, a műszeres mérések gyakran

költségesek és időigényesek, míg az ökológiaiindikátor-értékek használata viszonylag egyszerű, gyors, és rendkívül olcsó. Harmadszor, a múltban nem tudunk műszeres méréseket végezni, ha viszont rendelkezésre állnak akár több évtizeddel ezelőtt készült ökológiai, például növényzeti adatok, akkor az indikátorértékek használatával következtethetünk arra, hogy akkoriban milyen körülmények uralkodtak az adott élőhelyen. Így nyomon követhető, hogy milyen változások következtek be például a talajvízszint csökkenése vagy a savas eső hatására. Negyedszer, míg a műszeres mérések pontos információt adhatnak a környezeti tényezők értékeiről, ezek ökológiai jelentőségéről semmit sem árulnak el. Az indikátorértékek használata ezzel szemben sokkal informatívabb, hiszen a segítségükkel azt is megtudhatjuk, hogy az egyes tényezők milyen szerepet töltenek be az életközösségekben. *Izaak S. Zonneveld* holland ökológus mindezt úgy fogalmazta meg, hogy a legjobb, ha a pácienst kérdezzük meg arról, hogy érzi magát [9]. Az ökológiaiindikátor-értékek használatával éppen ezt tesszük: az életközösségeket kérdezzük a számukra fontos környezeti tényezőkről.

A relatív ökológiaiindikátor-értékek rendkívül hasznos módszert adnak az ökológus kutatók kezébe, ugyanakkor tisztában kell lenni az eljárás korlátaival. Az indikátorértékekhez általában nem rendelhetők a környezeti tényezők konkrét értékei. Vagyis nem mondható meg, hogy például a 6-os érték milyen talajnedvesség-tartalomnak vagy pH-értéknek felel meg [10]. Az indikáció sokkal inkább arra használható, hogy különböző élőhelyeket (például egy bükköst és egy gyertyános-tölgyest), vagy élőhelyek különböző állapotait (például egyazon erdő állapota 1970-ben és 2020-ban) hasonlítsuk össze. Ennek ellenére természetesen jogos elvárás, hogy az indikátorértékek pontosak legyenek, tehát megfelelően jelezzék, ha a környezeti tényezők ténylegesen eltérnek két vagy több vizsgált élőhely vagy állapot között. Erre vonatkozóan számos vizsgálatot végeztek Európa különböző tájain, melyek során az ökológiaiindikátor-értékek elemzése mellett műszeres mérések is történtek. Az eredmények összességében azt mutatják, hogy az ökológiaiindikátor-értékek megbízhatók, mivel rendszerint jól korrelálnak a műszeresen mért értékekkel [6].

Ha ökológiai indikátorokat használunk, mindig észben kell tartanunk, hogy a növényzet a változásokra csak bizonyos idő elteltével reagál. Ha például egy terület elkezd kiszáradni, sok nedvességkedvelő faj jó ideig még túlélhet a területen. Ugyanakkor a szárazabb körülményekhez alkalmazkodott fajok sem feltétlenül jelennek meg azonnal, hiszen lehetséges, hogy távolról kell a magoknak megérkezniük, ami időbe telik. Az ökológusok ezért úgy vélik, hogy egy faj hiányának kisebb az indikációs értéke, mint a jelenlétének [6]. Végül pedig nem szabad megfeledkezni arról, hogy egy adott faj ökológiaiindikátor-értékei eltérhetnek egyes régiók között. Például ugyanaz a faj esetleg kissé eltérő optimumokkal jellemezhető Nyugat-Európában, mint a kontinens keleti részén. Ennek magyarázata, hogy a fajok tűrőképessége más lehet az előfordulási terület központi részén, mint az elterjedés perifériáján.

Korlátai ellenére az ökológiai indikátorokat a szakemberek nagyon jó módszernek tartják, ezért is olyan kedvelt ezen értékek használata. A relatív ökológiaiindikátor-értékek mintájára dolgozták ki a természetességiindikátor-értékeket, amikkel a cikksorozat következő részében foglalkozunk.

ERDŐS LÁSZLÓ – BEDE-FAZEKAS ÁKOS

Nyitóképünk: A nagyezerjófű meleg termőhelyet és meszes talajt jelez *(Erdős László felvétele)*

IRODALOM

[1] Ellenberg, H. (1953): Physiologisches und ökologisches Verhalten derselben Pflanzenarten. — Berichte der Deutschen Botanischen Gesellschaft 65: 350 — 361.

[2] Hortobágyi, T. & Simon, T. (szerk.) (2000): Növényföldrajz, társulástan és ökológia. Budapest: Nemzeti Tankönyvkiadó.

[3] Juhász-Nagy, P. (1986): Egy operatív ökológia hiánya, szükséglete és feladatai. Budapest: Akadémiai Kiadó.

[4] Borhidi, A., Csete, S., Csiky, J., Kevey, B., Morschhauser, T. & Salamon-Albert, É. (2000): Bioindikáció és természetesség a növénytársulásokban. In: Virágh, K. & Kun, A. (szerk.): Vegetáció és dinamizmus (pp. 159—194). Vácrátót: MTA ÖBKI.

[5] Ellenberg, H., Weber, H. E., Düll, R., Wirth, V., Werner, W., & Paulißen, D. (1992): Zeigerwerte von Pflanzen in Mitteleuropa. — Scripta Geobotanica 18: 1 — 248.

[6] Diekmann, M. (2003): Species indicator values as an important tool in applied plant ecology: a review. — Basic and Applied Ecology 4: 493 — 506.

[7] Bartha, S. (2002): A változó vegetáció leírása indikátorszámokkal. In: Salamon-Albert, É. (szerk.): Magyar botanikai kutatások az ezredfordulón (pp. 527—556). Pécs: PTE Növénytani Tanszék.

[8] Borhidi, A. (1993) A magyar flóra szociális magatartás típusai, természetességi és relatív ökológiai értékszámai. Pécs: Janus Pannonius Tudományegyetem.

[9] Zonneveld, I. S. (1983): Principles of bio-indication. — Environmental Monitoring Assess. 3: 207 — 217.

[10] Király, A. (2006): Az Európában alkalmazott mutatószám-rendszerek összehasonlító elemzése. — Tájökológiai Lapok 4: 35 — 64.