

TÁJ- ÉS ORSZÁGOS LÉPTÉKŰ MOHA-BIOINDIKÁCIÓS MÓDSZEREK ÉS ALKALMAZÁSUK

Csintalan Zsolt

PhD, habil. egyetemi docens
Szent István Egyetem Növényteni
és Ökofiziológiai Intézet
csintalan.zsolt@mkk.szie.hu

Tuba Zoltán

DSc, mb. intézetigazgató, egyetemi tanár
SZIE Növényteni és Ökofiziológiai Intézet,
MTA-SZIE Növényökológiai
Tanszéki Kutatócsoport

Ötvös Edit

PhD
SZIE Növényteni és Ökofiziológiai Intézet

Rabnecz Gyula

PhD-hallgató, tanszéki mérnök
SZIE Növényteni és Ökofiziológiai Intézet

A környezetvédelem napjaink egyik legfontosabb kérdése, ezzel összhangban egyre erősebb és kifejezettebb az igény a környezetet károsító tevékenységek szabályozására. Minden ilyen irányú szabályozásnak és korlátozásnak azonban előfeltétele, hogy egzakt módon tudjuk meghatározni a környezet állapotát, a környezetterhelés mértékét és annak élőlényekre, köztük az emberre kifejtett tényleges hatását.

A fenti igény változatos módszereket hívott életre, illetve a meglévőkhöz rohamos fejlődéséhez vezetett. A módszerek egyik jelentős csoportja a környezet megváltozásának műszeres megfigyelése. Ezen eljárások skálája a legegyszerűbb módszerektől a teljesen automatizált, műszeres vizsgálati rendszerekig terjedhet. Ezekre az eljárásokra azonban kivétel nélkül jellemző, hogy csak az egyes szennyező anyagoknak a környezetbe jutott mennyiségét határozzák meg, de nem adnak információt a terhelés élőlényekre kifejtett hatásai-

ról. Ennek kimutatása kizárólag az előbbiektől lényegesen eltérő bioindikációs módszerekkel lehetséges, amelyek a környezetterhelésnek bizonyos tesztélőlényekre, például tesztnövényekre gyakorolt hatását vizsgálják, mellyel lehetővé válik a környezetnek mint élőhelynek magukon az élőlényeken keresztüli minősítése.

A bioindikációs célra felhasználható élőlények (bioindikátorok) között elsőbbséget élveznek a növények, életmódjuknak (például helyhez kötöttség) köszönhetően. Kiváló bioindikátor értéküknek köszönhetően a növények között is kiemelkedő szerepet kapnak a kriptogám növények, a zuzmók, és elsősorban a mohák. A mohák ugyanis nagyságrendekkel nagyobb mértékben akkumulálják a nehézfémeket, mint a virágos növények, beleértve olyan ritka elemeket is (Ag, Bi, Sn), melyek a szubsztrátban nem kimutathatóak. Mivel legtöbbször nem rendelkeznek kutikulával és vastag sejtfallal, testük könnyen átjár-

ható a víz és ásványi anyagok számára (a szennyezőanyagokat is beleértve), melyet így a csapadékból és a felületükre rakódott anyagokból veszik fel. A felhalmozott elem mennyiséget a légköri ülepedésből származó elemkoncentráció, a mohák felülete, adszorbeáló képessége és ionkicszerelési kapacitása szabja meg. A szubsztrát elemi összetétele a belső vízszállító rendszerrel rendelkező, úgynevezett endohidrikus fajoknál (pl. *Polytrichum*) jelent csak befolyásoló hatást, az ektohidrikus fajoknál, melyeknél a víz a moha külső felületén szállítódik (pl. *Hypnum*), ez elhanyagolható.

A környezetterhelés bioindikációja mohákkal

A mohák bioindikációs célú felhasználása egyrészt történhet a vizsgált térségben az *in situ* megtalálható fajok előfordulásának feltérképezése, a mohaflóra összetételének vizsgálata alapján. E térképezési technikák a legszennyezettebb területeken, például nagyvárosok központi területein, rendszerint mohamentes övezetet, mohasivatagot vagy csak ún. gyommohákat (pl. *Funaria hygrometra*, *Bryum argenteum*, *Marchantia polymorpha*) találnak. Innen távolodva fokozatosan jelennek meg a kevésbé toleráns fajok.

A mohák mint bioindikátorok legszélesebb alkalmazási területe azonban a nehézfemterhelés bioindikációja. Alkalmazásukkal egészen kis területek, pontszerű szennyezőforrások környezete ugyanolyan eredményességgel vizsgálható, mint több, diszperz szennyezőforrás hatásának kitett térségek, mint például nagyvárosok vagy több települést is magába foglaló kistáj-térléptékű élőhelyek, de akár egész országok, sőt kontinensek.

In situ háttérszennyezés vizsgálata

Az utóbbi időben a moha-bioindikáció legfontosabb, legnépszerűbb alkalmazási területévé

vált a háttérterhelés vizsgálata. Az észak-európai országokban a moha-bioindikáció nagy múltra tekint vissza (például Rühling – Tyler, 1971). Az 1970-es, 80-as években svéd–dán közös program indult a levegő nehézfém-háttérszennyezettségének felmérésére, amely nyolc elem – cink, kadmium, króm, nikkel, ólom, réz, vanádium és vas – vizsgálatára terjedt ki. Az Északi Miniszterek Tanácsa közreműködésével 1985-ben Svédországon, Dánián, Norvégian és Finnországon kívül egyre több ország kapcsolódott az *Atmospheric Heavy Metal Deposition in Europe* monitoring projekthez. A vizsgálatokat 1990-ben Európa java részét lefedő mérésekkel egészítették ki. A vizsgálatosorozatot – melyet napjainkra már több mint harminc európai országban elvégeztek – ötvenként azóta is megismétlik, ami hosszú távú és nagy léptékű biomonиторing vizsgálatokat és összehasonlításokat tesz lehetővé.

Ehhez a kezdeményezéshez vizsgálatainkkal Magyarország 1995-ben csatlakozott. Az első sorozat után a méréseket 2003-ban ismételtük meg újra (Ötvös *et al.*, 2003).

E vizsgálathoz a legáltalánosabban használt mohafajok az igen széles elterjedésű *Hylocomium splendens* és a *Pleurozium schreberi*. Mellettük vagy hiányuk esetén *Hypnum cupressiforme*-t és *Scleropodium purum*-ot használnak. A mohákat legalább 1–3 mintavételi hely/1000 km² sűrűséggel gyűjtik, egy-egy mintavételi helyet pedig egy kb. 50x50 m-es kvadrátból származó öt-tíz minta homogén keveréke képvisel.

Transzplantációs bioindikáció

Transzplantációs technika alkalmazása során a tesztnövényeket egy elméletileg szennyezetlen, csak a háttérszennyezésnek kitett területről ültetik át a vizsgálandó helyszínre. E

módszer egyik előnye, hogy megfelelő kivitelezéssel standardizációra ad módot, ami a különböző helyeken és időben elvégzett kísérletek eredményeit összemérhetővé teszi.

Saját transzplantációs vizsgálatainkhoz rendszeresen a széles elterjedésű, talajlakó, ektohidrikus *Tortula ruralis* ssp. *ruralis* mohafajt használjuk. A mohapárnákat 6 cm-es talajszubsztrátjukkal együtt 15×25 cm-es alapterületű expozíciós dobozokba ültetve telepítjük át. A tesztnövények expozíciójának időtartama általában két-három hónap.

Ökofiziológiai bioindikáció

Az *in situ* előforduló vagy transzplantált mohatelepek begyűjtését követően a további feldolgozás során lehetőség van arra is, hogy ne csupán a tesztnövények elemakkumulációs sajátosságait használjuk ki bioindikációs célra, hanem bizonyos fiziológiai paraméterek szennyezés hatására bekövetkező változásait is. Ez utóbbi, úgynevezett moha-ökofiziológiai bioindikációs módszerrel arra kapunk választ, hogy egy térség környezete milyen mértékben terhelt, illetve milyen mértékben károsodott egy gyakorlatilag szennyezetlen (kontroll) területhez képest. Az ökofiziológiai bioindikáció azért igen előnyös, mert a fiziológiai paraméterek nemcsak az akkumulált ágensek, hanem valamennyi egyéb, az adott területen ható előnytelen környezeti tényező hatásának eredőjét tükrözik.

A fiziológiai paraméterek közül azok a leginformatívabbak, amelyek a növények állapota egészének szempontjából döntő rész-folyamatok eredői, illetve a növények állapotának egészét tükrözik, mint például a növények növekedését, produktivitását döntően meghatározó fotoszintézis.

E módszer alapfeltétele a tesztnövények ökofiziológiai sajátosságainak pontos és

részletes ismerete. Ennek érdekében bioindikációs vizsgálatainkkal párhuzamosan folyamatosan tanulmányozzuk a mohák sajátos élettani folyamatait is. Az egyik ilyen sajátosság a mohák mint poikilohidrikus, kiszáradástűrő növények ún. újranedvesedési légzése, melynek több karakterisztikus pontját is alkalmasnak találtuk bioindikációs célra (Menks et al., 1991). Egy másik intenzíven vizsgált terület a mohák tápanyagfelvétele, az elemek növényen belüli lokalizációja és a nehézfémek növényen belüli mozgása, melyről beigazolódott, hogy a különböző nehézfém-ionoknak nemcsak a lokalizációja, de transzlokációja is eltérő, melyet a tápanyag-ellátottság is lényegesen befolyásol (Badacsonyi et al., 2000). Továbbá különböző zavaró tényezők (például: egyéb szennyezők, szél, csapadék) hatását és kiküszöbölésük lehetőségét is vizsgáljuk (Tuba et al., 1994).

Többváltozós analitikai módszerek a bioindikációban

Az indikátorként használt szervezeteket egyidejűleg több károsító hatás is éri, másrészt a tesztnövényekben felhalmozódó szennyező elemek egyidejűleg több forrásból is származhatnak, melyeket a különböző források más-más arányban bocsátanak ki. A minták elemkoncentráció-adatai nyilvánvalóan ezeket az információkat nem hordozhatják, ám körültekintően megtervezett mintavételezéssel, illetve transzplantációval az adatok varianciájából ezekre is következtethetünk. A különböző hatások elkülönítésében, a vizsgálatokkal nyert adatokban rejlő részletek feltárásában a multivariancia-analízis különböző módszerei nyújthatnak segítséget.

A multivariancia-analízis a vizsgált paraméterek (mint változók) tér- és időbeli mennyiségi varianciájának összehasonlítása révén

egyrészt lehetőséget nyújt a különböző helyeken és időben gyűjtött minták (mint objektumok) csoportosítására (klasszifikáció, pl. klaszteranalízis), valamint az egyes változók közötti kapcsolat, korreláció kimutatására, a szennyezést okozó fő faktorok beazonosítására, elkülönítésére (ordináció, pl. főkomponensanalízis).

A PONTSZERŰTŐL AZ ORSZÁG- ÉS KONTINENS-TÁJLÉPTÉKIG TERJEDŐ BIOINDIKÁCIÓS VIZSGÁLATAINKRÓL

Pontszerű és vonal szennyezőforrások által okozott környezetterhelés vizsgálata

A mohák egyik nagy felhasználási területe olyan önmagukban álló szennyezőforrások hatásának felderítése, amelyek a háttérszennyezés szintjénél jelentősen nagyobb terhelést jelentenek. Ezek lehetnek közutak (pl. Tuba – Csintalan, 1993a) vagy különféle ipari létesítmények, mint például bányák, kohászati és fémfeldolgozó üzemek (például Meenks et al., 1991), illetve hőerőművek (például Tuba – Csintalan, 1993b).

Nagyváros nehézfémterhelésének vizsgálata

A mohák jól alkalmazhatóak a nagyvárosok környezetszennyezésének és állapotának nyomon követésére is, melyet főként a gépjárműforgalom, fűtés, különböző ipari tevékenységek okoznak, illetve peremterületeken a mezőgazdasági tevékenység is szerephez juthat.

Magyarországon transzplantációs moha-ökoфизиологияi bioindikációs módszerrel Budapesten végeztünk két alkalommal – 1993 októberében és 1994 februárjában – vizsgálatokat. A városban az ÁNTSZ ülepedőpormérő hálózatának tizenhat kiválasztott mérőpontján helyeztünk el a Kiskunsági Nemzeti

Parkban gyűjtött *T. ruralis* ssp. *ruralis* moha-telepeket. Az expozíció időtartama két-két hónap volt. Az eredmények kiértékelése során felhasználtuk az ÁNTSZ-től kapott szedimentációs, valamint az Országos Meteorológiai Szolgálatól kapott meteorológiai adatokat is.

Vizsgálataink egyértelműen igazolták, hogy a belváros sokkal erősebben szennyezett, mint a peremkerületek. Ugyanakkor a város déli részén kimutatható volt a közeli ipari város, Százhalombatta hatása az onnan érkező magasabb vanádium- és a nikkelszennyezés tekintetében. A peremterületek és a városközpont közötti különbséget vizsgálva az élettani paraméterek alapján nem mutattunk ki szignifikáns különbséget. Ennek okát részben abban látjuk, hogy a peremterületek között egyaránt vannak ipari-lakóövezetek és zöldövezeti területek, s ez a heterogenitás tompítja a különbséget. A városközpont nagyobb távú hatása mellett tehát a lokális szennyezőforrások terhelésével is számolni kell, ami a peremkerületek bizonyos pontjain akár a városközpontot meghaladó terhelést is jelenthet.

Kistáj-térléptékű

moha bioindikációs vizsgálatok

Több települést is magába foglaló kistérségi transzplantációs moha-ökoфизиологияi bioindikációt ezidáig Ajka és Százhalombatta térségében végeztünk el, Ajkán 1991-ben és 1993-ban, Százhalombattán pedig 1990-ben, 1997-ben és 2002-ben. Bioindikációs célra minden alkalommal a *T. ruralis* tesztnövényt használtuk a budapestivel azonos módon, az expozíciós idő azonban három-három hónap volt.

Százhalombatta területén két jelentős ipari létesítmény található, egy kőolajfinomító és egy olajtüzeltésű hőerőmű. A több mint tízéves vizsgálati időszakban a környezetszeny-

nyezés szempontjából igen jelentős változások játszódtak le. Az első vizsgálati periódus után a hőerőműben porleválasztó szűrőberendezéseket helyeztek üzembe, ami drasztikusan lecsökkentette a kén-dioxid és nehézfém-tartalmú porkibocsátást. 1999-ben beszüntették az ólomtartalmú üzemanyagok gyártását, és végül a 2000-es évek elején a hőerőműben földgázüzemre tértek át. Ezek a változások – jelentős javulást hozva a hazai háttérszennyezéshez viszonyítva és nemzetközi összehasonlítás tekintetében is – nagyon jól nyomon követhetők voltak a bioindikációs eljárásokkal.

Százhalombattán és környékén a legjelentősebb szennyező elem a Százhalombattán feldolgozott és elégetett ún. nehézkőolajból származó vanádium és nikkel. Mindkét elem legnagyobb mértékben az erőmű közvetlen közelében halmozódott fel a tesztnövényekben. Az erőműtől távolodva a telepek terhelése a távolság függvényében exponenciálisan csökkent. A többi elem esetében hasonló tendencia nem mutatkozott, de egyes elemek, mint például a cink és a réz esetén lokális, a térség mezőgazdasági tevékenységével összefüggő jelentős szennyezés volt kimutatható.

A 2002-es százhalombattai elemtartalom adatok multivariancia-analízise a Ni tekintetében már két elkülönülő szennyezőforrást is beazonosított. Az egyik, amelyben a nikkel kizárólag a vanádiummal alkotott elkülönülő csoportot, továbbra is a Százhalombattán feldolgozott és felhasznált nehézkőolaj. A másik – a nikkellel ebben a komponensben párosuló elemek alapján – talajeredetű, a talaj felső rétegeiben korábban felhalmozódott nikkelszennyezés, mely a szél, illetve a mezőgazdasági művelés okozta talajerózió révén okoz másodlagos környezetszennyezést. Ez utóbbi forrás természetesen régebben is létezett, de hatása – arányában – csekély mérté-

kú volt. Meghatározó jelentőségűvé 2002-re a fő kibocsátás szignifikáns csökkenése miatt vált. 2002-ben az ólomszennyezés egyedüli forrásának a szennyezett talajrézecskek felkavarása és kiülepedése adódott, minthogy az ólom kizárólag a fenti második forrás elemével csoportosult. A korábbi vizsgálat sorozat eredményeivel ellentétben egyéb, a gépjárműforgalommal összefüggésbe hozható ólomszennyező forrást a statisztikai elemzés már nem mutatott ki.

A három időszakot összevetve jelentős csökkenés mutatkozott hét elem (Al, Cu, Fe, Ni, Pb, V és Zn) három hónap alatt akkumulált mennyiségében is. A krómnál az átlagos terhelés változatlan maradt, a kadmiumnál azonban csekély mértékben megnövekedett a terület egészén a szennyezés. A V és Zn kivételével minden elem térségen belüli eloszlása sokkal egyenletesebb lett. Azonban továbbra is változatlan a térségben a V és a Ni-terhelés dominanciája és e két elem területi eloszlása is, minthogy továbbra is a hőerőműhöz közeli helyek a legszennyezettebbek.

ORSZÁGOS TÉRLÉPTÉKŰ MOHA-BIOINDIKÁCIÓ: ELSŐ HAZAI HÁTTÉRSZENNYEZÉSI ATLASZ

Nehézfémterhelés vizsgálata

Hazánk területének száznál több pontjára kiterjedő, többéves mohavizsgálataink alapján elkészítettük hazánk légkörből történő háttérszennyezési nehézfém-lerakódási térképét (Ötvös et al., 2003). Eddigi eredményeink legfontosabb üzenete, hogy az eddig kis hatótávúnak gondolt nehézfém-szennyezés a kibocsátó forrástól távolabb is érezeti hatását. Az eltérő földrajzi-geológiai adottságok mellett jól kirajzolódnak a fő emissziós körzetek. Az ólom esetében például, melynek fő forrása

az első vizsgálat idején még a gépjárművekben elégetett üzemanyag volt, élesen kirajzódnak hazánk legforgalmasabb főútjai (*i. ábra*). Világossá vált, hogy miután a szennyezés nincs tekintettel az országhatárokra, az ellene folytatott küzdelem is csak nemzetközi összefogásban valósítható meg. A magyarországi helyzet a környező országokhoz viszonyítva elfogadhatónak mondható, hazánk a legtöbb vizsgált elem tekintetében az európai középmezőnyben vagy annak közelében található. Ugyanakkor nyugtalanító tény, hogy Európában a legsúlyosabb helyzet határaink közelében (Románia, Szlovákia) van.

A radioaktív szennyezés bioindikációja

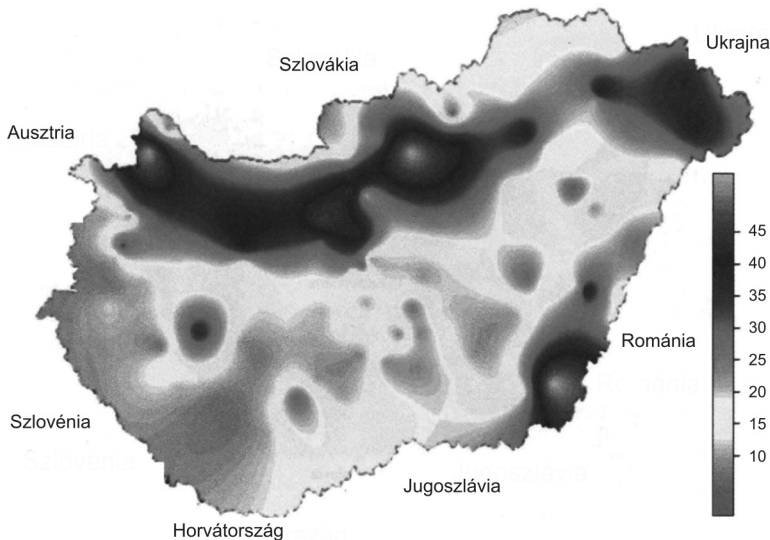
A mohák a radioaktív anyagokat is nagyobb mértékben veszik fel az edényes növényekhez képest. A radioaktív szennyeződés bioindikációjának jelentősége az 1986-os csernobili katasztrófa után növekedett meg, és igen kiter-

jedt irodalma lett mára. A nukleáris robbanások és robbantások mellett jól használhatók a mohák az uránbányászat, radioaktív hulladéklerakók környezetre gyakorolt hatásának tanulmányozására is.

A magyarországi nehézfém-háttérszennyezés vizsgálatához 1997-ben begyűjtött *H. cupressiforme* mohamintákból elvégeztük a hosszú felezési idejű radioaktív izotópok (^{210}Pb , ^{134}Cs , ^{137}Cs és béta-sugárzó izotópok) feldúsulásának vizsgálatát is. A kapott eredmények megnyugtatóak voltak a maximum és az átlagos értékek tekintetében is, mint-hogy egyetlen érték sem utalt kitüntetett, lokális szennyezőforrásra.

Szerves szennyezők bioindikációja

A policiklusos aromás szénhidrogének (PAH) két vagy több benzolgyűrűt tartalmazó vegyületek, a fosszilis energiahordozók tökéletlen égése során kerülnek a környezetbe. Az



i. ábra • A hazai ólomterhelés eloszlása 1997-ben Magyarország 112 pontjáról begyűjtött több száz *H. cupressiforme* mohaminta felhasználásával elvégzett első hazai nehézfém-háttérszennyezés felmérés alapján

erőművek mellett a legfontosabb szennyezőforrás a gépjárműforgalom, ami különösen fontossá válik városi környezetben. A nagyvárosok központi területein a PAH vegyületek koncentrációja akár egy nagyságrenddel is nagyobb lehet, mint a kizárólag háttérszennyezésnek kitett területeken.

Az 1997-es magyarországi háttérszennyezés vizsgálatához gyűjtött mohaminták közül a *H. cupressiforme* esetében a PAH akkumulációt is megvizsgáltuk (Ötvös et al., 2004). Biztató eredmény, hogy a mintáknak majdnem a felében a friss növényi anyagra vonatkoztatott koncentráció $15 \mu\text{g g}^{-1}$ alatti volt. A PAH szennyezés tapasztalt térbeli eloszlásában jól tükröződik az a tendencia, hogy a nagyobb, forgalmasabb helyeken a közúti forgalom terhelésével összhangban jelentősen megemelkedik a szennyezés.

Egy kontinens térleptékű moha-bioindikáció kezdő munkálatai

Erre a tájékozódó jellegű vizsgálatra a trópusi Kelet-Afrikában (Kenya, Tanzánia és Madagaszkár) 1998 és 2001 között, kizárólag nemzeti parkok területén gyűjtött, közel száz mohaminta feldolgozásával került sor. A minták túlnyomó része *H. cupressiforme* volt, továbbá *Hypnum aduncoides*, *Bryum preusii*, valamint *Dystichium capillaceum*. Kilenc elem – Al, Cd, Cr, Cu, Fe, Ni, Pb, V és Zn – mennyiségi adatait az 1997-es magyarországi háttérszennyezés-adatokkal összehasonlítva az afrikai mintákban a Zn és Fe kivételével az elemek legtöbbször lényegesen alacsonyabb koncentrációban fordult elő. Az ólomnál pl. csupán tizedakkora koncentrációt tapasztaltunk.

Nagy időleptékű, retrospektív bioindikáció

A bioindikációs kutatás néhány évtizedes története már módot ad arra, hogy a különbö-

ző időben végzett vizsgálatok eredményeit összehasonlítva a környezetterhelés jellegének és mértékének időbeli alakulására lehessen következtetni. Saját vizsgálataink tekintetében erre Százhalombattán és a környező kistérségben adódott lehetőség. Az összehasonlítás korlátja, hogy a kezdetben alkalmazott módszer nem változhat lényegesen, lehetetlené téve a legújabb eljárások és módszerek alkalmazását. Alternatívát jelenthet a szennyezés retrospektív monitoringja, ahol egységes módszerrel végezhető a vizsgálat, ám a minták eltérő kora az eredmények interpretálása során különös figyelmet kell hogy kapjon.

Az egyik lehetséges megoldás a herbáriumban fellelhető mohák nehézfém-tartalmának összehasonlító elemzése. A vizsgált időszak lehet néhány év, de készült már százévesnyi időszakot felölelő elemzés is. A herbáriumi minták vizsgálata általában megfelelő képet adhat a szennyezés változásának irányáról és hozzávetőleges mértékéről, azonban a minták elérhetősége esetleges, és nagyon ritkán lehet nagy térfelbontású, részletes monitoringot végrehajtani. További feladatot jelent a minták tárolás alatti esetleges elemtartalom-változásának kalibrálása is.

A múlt század során a hazai nehézfémterhelésben bekövetkezett változások tanulmányozása céljából a huszadik század elejéről (1910–1940) a Magyar Természettudományi Múzeum Növénytarából származó három mohafaj (*Brachythecium rutarbulum*, *H. splendens* és *T. ruralis*) összesen nyolcvanöt mintáját vizsgáltuk meg. A kapott eredmények jól mutatják a légkörből származó és onnan kiülepedő nehézfémek koncentrációjának emelkedését. Az elmúlt század megnövekedett Cd, Cr, Ni és V terhelése egyértelmű következménye az ipar fejlődésének. A Cu terhelés növekedése a növényvédőszer-

szélesebb körű alkalmazásával és a közlekedés fejlődésével is magyarázható.

A bioindikáció fejlődésének várható iránya

A bioindikációs kutatás az elmúlt évtizedekben bebizonyította alkalmazását a környezet változásának jelzésére, különös tekintettel az emberi eredetű környezetváltozásra, környezet-szennyezésre. Nagy mennyiségű, másképpen nem megszerezhető, így pótolhatatlan információt szolgáltatott a tudományos kutatás és a környezetvédelmi döntéshozatal számára.

A bioindikációban rejlt lehetőségek jobb kihasználására két – egymást nem kizáró – fejlődési út látszik lehetségesnek. Az első, nagyobb térségek, földrajzi egységek nagyléptékű, elsősorban a háttérszennyezésre összpontosító, rendszeresen megismételt felmérése. Ebben az esetben továbbra is jól hasznosítha-

tó a bioindikáció olcsósága és egyszerűsége, amely lehetővé teszi nagyszámú mérés egyidejű elvégzését. A másik út a bioindikáció megbízhatóságának és előrejelző képességének növelése. Ezt egyrészt a szennyezéssel kapcsolatos biokémiai és élettani ismereteink növelésével és rendszerezésével, másrészt az egyéb tényezők növényekre és a szennyezés folyamataira gyakorolt hatásának felderítésén keresztül érhetjük el.

Jelen kutatásokat az MTA-GATE Globális Klímaváltozás–Növényzet kutatócsoport 1009 és az International Visegrád Found kutatási programok támogatták.

Kulcsszavak: környezetszennyezés, nehézfémterhelés, háttérszennyezés, moha, bioindikáció, ökofiziológia, fotoszintézis, retrospektív

IRODALOM

- Badacsonyi András – Bates, J. W. – Tuba, Z. (2000): Effects of Desiccation on Phosphorus and Potassium Acquisition by a Desiccation-Tolerant Moss and Lichen. *Annals of Botany*. 86. 621–627.
- Meenks, Jan L. D.- Tuba Z.- Csintalan Zs. (1991): Eco-physiological Responses of *Tortula ruralis* upon Transplantation around a Power Plant in West Hungary. *Journal of the Hattori Botanical Laboratory*. 69, 21–35.
- Ötvös Edit – Pázmándi T. – Tuba Z. (2003): First National Survey of Atmospheric Heavy Metal Deposition in Hungary by Analysis of Mosses. *The Science of Total Environment*. 309, 151–160.
- Ötvös Edit – Kozák I. O. – Fekete J. et al. (2004): Atmospheric Deposition of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Mosses (*Hypnum cupressiforme*) in Hungary. *The Science of Total Environment*. 330, 89–99.
- Rühling, Ake – Tyler, Gernund (1971): Regional Difference in the Deposition of Heavy Metals over Scandinavia. *Journal of Applied Ecology*. 8, 497–507.
- Tuba Zoltán – Csintalan Zsolt (1993a): Bioindication of Road Motor Traffic Caused Heavy Metal Pollution by Lichen Transplants. In: Markert, Bernd (ed.) *Plants as Biomonitors for Heavy Metal Pollution of Terrestrial Environments*. VCH – Publisher, Inc., Weinheim–New York, 329–342.
- Tuba Zoltán – Csintalan Zsolt (1993b): The Use of Moss Cushion Transplantation Technique for Bioindication of Heavy Metal Pollution. In: Markert, Bernd (ed.): *Plants as Biomonitors. Indicators for Heavy Metals in the Terrestrial Environment*. VCH Publisher, Inc., Weinheim–New York, 403–411.
- Tuba Zoltán – Csintalan Zs. – Nagy Z. et al. (1994): Sampling of Terricolous Lichen and Moss Species for Trace Element Analysis with Special Reference to Bioindication of Air Pollution. In: Markert, Bernd (ed.): *Sampling of Environmental Materials for Trace Analysis*. VCH Publisher, Weinheim–New York–Tokio, 415–434.