

VÁLASZ

Prof. Dr. Székács András MTA doktora opponensi véleményére

Téma: Kunderát-Simon Edina „Antropogén tevékenységek hatásának becslése falevelek, mint biológiai indikátorok biológiai és kémiai paraméterei alapján” című MTA doktori értekezésének bírálta

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Dr Székács András professzornak, hogy elvállalta értekezésem bírálatát. Köszönöm a pozitív hozzáállását a témafelvetéshez és az eredmények megítéléséhez.

Javaslatokra adott válaszaim:

1. Megjegyezhető, hogy az utcai fasorok kialakítására és parkok társulásaiba választott fajok szintén elkülönülő halmazt alkotnak. Kevesebb útmenti sövény és bokor van városainkban és ezekre a dolgozat ki sem tért, pedig mintavételezésre alkalmasak, és másik légtérrel képviselnek, mint a fák.

Válasz: A városrendezési tervekben a különböző fák/csemeték telepítésének pontos dátuma, a telepített fajok neve sokszor hiányos, nem beszélve a telepítések pontos helyének megjelöléséről. Különösen igaz ez idősebb, régebben telepített állományok esetében. Ezért jelenlegi vizsgálatainkban próbáltunk már olyan fajt választani, mely különböző vegetációs szinteket is képvisel és városainkban mindenhol megtalálható. A fentiekben vázolt előnyök megtalálhatóak, a korlátok pedig teljes mértékben lecsökkenthetők a közönséges borostyán (*Hedera helix*) leveleinek vizsgálatával. A közönséges borostyán szinte minden városi, kertvárosi és városon kívüli területen megtalálható. Faji identitása egyértelmű, ezáltal tökéletes biológiai indikátor, mivel eleget tesz a biológiai indikátorfaj kritériumának, hogy bélyegei alapján gyorsan és megbízhatóan azonosítható legyen. Széles földrajzi elterjedésű, könnyen hozzáférhető, Európa egyik legelterjedtebb örökzöld kúszónövénye, mely vizsgálatával a növényi vertikális szinteket végig tudjuk monitorozni. Másik előnye az örökzöld jellege, mellyel a Magyarországon és a környező országok légszennyezés szempontjából legkritikusabb időszakát, a késő őszi, téli és korai tavaszi időszakot is végig tudjuk monitorozni.

2. A minta-előkészítések során a falevelekre ülepedett portartalmat ioncserélt vizes lemosással távolította el. Miért nem végzett minta-előkészítési visszanyerési (recovery) vizsgálatokat mesterségesen szennyezett (spike) falevelekkel, annak megállapítására, hogy a felvitt szennyezőt milyen mértékben tudja az analitikai méréshez eltávolítani? Különösen izgalmas ez a kérdés a különböző morfológiai és anatómiai paraméterekkel jellemezhető levéltípusok összevetése esetén.

Válasz: Végeztünk hasonló jellegű vizsgálatot nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis*) leveleivel, mely során egy műfát készítettünk, leveleket rögzítettünk rá. A leveleket mesterségesen szennyeztük ismert tömegű homokkal, majd Debrecenre jellemző átlagos szélességet használva szélcsatornában modelleztük a szél „tisztító” hatását. A homokkal szennyezett portartalom visszanyerési százalékunk ebben a vizsgálatban 90% feletti volt.

3. Mi volt az oka annak, hogy a bizonyos mintavételezési helyszíneken (Debrecen, Bécs) pusztán elemösszetétel-vizsgálatokat végzett, míg másik helyszínen (Miskolc) szervesanyag tartalom meghatározását is elvégezte?

Válasz: A Miskolcra gyűjtött levélen megüledett por és levélminták szervesanyag-tartalmának meghatározása egy módszertani fejlesztés kezdeti lépése volt. Tervben volt a por lemosás módszerének fejlesztése szűrőpapír és vákumszivattyús szűrőrendszer alkalmazásával, meggyorsítva ezzel a lemosás módszerét. A szerves anyag meghatározása után terveztük a porminta után visszamaradt hamu elemösszetételének meghatározását. Mivel azonban a magas izzítási hőmérséklet az ólom és kadmium esetében már esetleg koncentrációvesztést okozhat, ezért ezt a módszertani fejlesztést nem ítéltük meg sikeresnek és a későbbi minták esetében már nem használtuk az izzítási módszert. A kapott eredmények értékelésénél pedig a potenciálisan toxikus fémek és szerves anyag közti korrelációt tanulmányoztuk, a fémek természetes vagy antropogén eredetére következtetve.

4. Minthogy élő növényről vett falevélminták álltak rendelkezésére, érdekes lehetett volna a klorofill-a-tartalom meghatározása mellett a Kautsky-effektus szerinti klorofillfluoreszcencia intenzitás alakulását is vizsgálni, ami jobban jelezhetné volna az aktuális élettani fotoszintetikus aktivitásokat. Ilyen vizsgálatokra miért nem terjedtek ki a mérések?

Válasz: A Kautsky-effektus viszonylag korán jelzi a környezeti stresszt. A mi vizsgálataink az APTI alkalmazhatóságára fókuszáltak, melynek alapja a teljes klorofill-tartalom, ezért nem merült fel a klorofillfluoreszcencia-intenzitás vizsgálata jelen vizsgálatokban. Köszönöm a hasznos javaslatot, mert valóban bioindikációs vizsgálataink során jelentős információkkal szolgálhatnak a kapott eredmények a Kautsky-effektus szerinti klorofillfluoreszcencia-intenzitás alakulása alapján.

Formai, stiláris megjegyzésekre adott válaszaim

Opponensem véleménye szerint célszerű lett volna az első említéskor magyar és latin, a további említésekkel a rövidített latin néven említeni a vizsgált fajokat. A korábbi tapasztalatok szerint sokszor hol angol, hol latin néven történt a fajok nevének említése, de a jövőben igyekszem egységesen a latin néven történő említést alkalmazni.

A klorofill-a-koncentráció meghatározásával kapcsolatban valóban kimaradt a hivatkozások közül Felföldy L. (1987): A biológiai vízminőség. Vízgazdálkodási Intézet, Budapest (ISBN: 963-602-209-8), amelyet a jövőben pótolni fogunk hasonló munkáinkban. A gyakorlati oktatásban rendszeresen alkalmazzuk Németh J. (1998): A biológiai vízminőség módszerei. Környezetgazdálkodási Intézet (ISBN: 963602731) című művét is, amely a hazai vízminősítési rendszer egyik szintén alapvető szakirodalmi és az akkreditált laboratóriumok által alkalmazott módszerek szempontjából is meghatározó jelentőségű.

Opponensem kiemeli a potenciálisan toxikus elemek kifejezése elterjedését a nehézfémek helyett, az erre vonatkozó megjegyzéssel teljes mértékben egyetértek, a jövőben ezen kifejezés alkalmazását fogjuk követni.

Bírálom szóvá teszi az előforduló nyelvtani hibákat, a magyar helyesírás szabályainak nem megfelelő alkalmazását. Egyetértek azzal a megállapítással, hogy a tudományos közlemények túlnyomórészt angol nyelven történő készítése miatt a magyar szaknyelv

használata egyre ritkább, ami sajnos a magyar nyelvhelyességi és helyesírási szabályok kevésbé rutinszerű alkalmazásához vezethet. Emellett számos angol szakmai kifejezés magyar nyelven történő alkalmazása is kihívást jelent. A jövőben fokozott figyelmet fordítok arra, hogy a magyar nyelvhelyességi és helyesírási szabályokat következetesen alkalmazzam.

A bíráló kérdéseire adott válaszaim

1. Mi alapján választotta ki a vizsgált fafajokat? A levelek milyen sajátosságai kedvezők-e a légszennyezettség vizsgálatára? Tervezi-e különleges levélstruktúrák (mirigyszőrös, molyhos cserepes gyomnövények) vizsgálatát? A vizsgált morfológiai és anatómiai paraméterek (pl. sztómaméret és -denzitás, trichómák) kizárólag fajspecifikus tulajdonságok vagy környezeti tényezők (pl. vízellátottság) is jelentősen befolyásolhatják ezeket a paramétereket? Mi a magyarázata az eltérő fafajválasztásnak Debrecen mintavételi hely esetében az elemösszetétel- és az APTI-vizsgálatok esetében?

Válasz: A vizsgált fajok kiválasztását minden esetben azok előfordulása határozta meg, hogy mintavételi helyek közötti összehasonlítást, illetve fajok közötti összehasonlítást tudjunk végezni. Ehhez arra volt szükség, hogy valamennyi területen ugyanazon faj egyedei megtalálhatók legyenek. Korábbi tanulmányok azt igazolták, hogy a levelek morfológiai és anatómiai paraméterei nem kizárólag fajspecifikus tulajdonságok; kialakulásukat a genetikai háttér mellett számos környezeti tényező befolyásolja (Vatén & Bergmann 2012). Casson and Gray (2008) bizonyította, hogy fényintenzitás és a légköri CO₂-koncentráció hatással lehet a sztómák fejlődésére, míg Hauser (2014) szerint a trichómák denzitását az UV-sugárzás mértéke, a fényintenzitás és akár a herbivória mértéke is befolyásolhatja. Soheili et al. (2023) *Quercus brantii* Lindl. levelek morfológiai és anatómiai jellegét vizsgálta különböző klimatikus viszonyok között. Ugyanazon tölgyfaj különböző klímájú élőhelyeiről gyűjtött egyedek levelei alapján jelentős különbséget tapasztaltak a sztómaméret, a sztómadenzitás, a trichómák mérete és a trichómák sűrűsége alapján. Fentiek alapján ugyanazon faj egyedei eltérő környezeti feltételek között különböző anatómiai és morfológiai jellemzőket fejleszthetnek ki, ami a növények fenotípusos plaszticitásának egyik megnyilvánulása lehet.

A Debrecenben végzett vizsgálatok első részében kései meggy (*Padus serotina* Ehrh.), mezei juhar (*Acer campestre* L.), zöld juhar (*Acer negundo* L.), kocsányos tölgy (*Quercus robur* L.) és nyugati ostorfa (*Celtis occidentalis* L.) fajok leveleit gyűjtöttük. A mintavételi helyek kijelölésénél a Globenet (Global Network for Monitoring Landscape Change) protokollt követtük, mely alapján a városi, városszéli és városon kívüli területek lettek kiválasztva. A Globenet vizsgálatok nemzetközi urbanizációökológiai kutatásokat foglaltak magukba, melyeket Niemelä és munkatársai (2000) kezdeményeztek. Ezen vizsgálatok célja ugyanazon mintavételi és értékelési módszerek alkalmazása volt különböző országokban, arra a kérdésre keresve a választ, hogy az urbanizáció egységes-e, valamennyi kontinensre kiterjedő válaszreakciót vált ki az élőlényekből. Fenti protokoll élőlényközpontú volt, elsősorban talajlakó gerinctelen (főleg futóbogarak, pókok, ászkák, hangyák stb.) taxonok vizsgálatára vonatkozott a protokoll (Magura et al. 2006, 2010). Ehhez kapcsolódtunk be az első Debrecenben végzett vizsgálatokkal, és a kijelölt mintavételi helyeken a fent említett fajok voltak dominánsak, mindhárom helyen előfordultak, így a területek között összehasonlítást el tudtuk végezni. A második Debrecenben végzett vizsgálatban már a fajok közötti összehasonlítás volt a célunk az APTI alapján.

Irodalomjegyzék:

- Casson, S., Gray, J.E. (2008). Influence of environmental factors on stomatal development. *New Phytologist* 178, 9–23. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2007.02351.x>
- Hauser, M.T. (2014). Molecular basis of natural variation and environmental control of trichome patterning. *Frontiers in Plant Science* 5, 320. doi: 10.3389/fpls.2014.00320
- Magura, T., Lövei, G.L., Tóthmérész, B. (2010). Does urbanisation decrease diversity in ground beetle (Carabidae) assemblages? *Global Ecology and Biogeography* 19, 16–26. <https://doi.org/10.1111/j.1466-8238.2009.00499.x>
- Magura, T., Tóthmérész, B., Lövei, G.L. (2006). Body size inequality of carabids along an urbanisation gradient. *Basic and Applied Ecology* 7, 472–482. <https://doi.org/10.1016/j.baae.2005.08.005>
- Niemelä, J., Kotze, J., Ashworth, A., Brandmayr, P., Desender, K., New, T., Penev, L., Samways, M., Spence, J. (2000). The search for common anthropogenic impacts on biodiversity: a global network. *Journal of Insect Conservation* 4, 3–9. <https://doi.org/10.1023/A:1009655127440>
- Soheili, F., Heydari, M., Woodward, S., Naji, H.R. (2023). Adaptive mechanism in *Quercus brantii* Lindl. leaves under climatic differentiation: morphological and anatomical traits. *Scientific Reports* 13, 3580. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-30762->
- Vatén, A., Bergmann, D.C. (2012). Mechanisms of stomatal development: an evolutionary view. *Evolution and Development* 3, 11. <https://doi.org/10.1186/2041-9139-3-11>

2. Milyen egyéb módszerek és biológiai indikátorok állnak rendelkezésre a légszennyezettség és az urbanizáció hatásainak értékelésére? A fák mellett milyen további növénycsoportok alkalmazhatók bioindikátorként, illetve ezek milyen előnyökkel vagy korlátokkal rendelkeznek a vizsgált paraméterek szempontjából? Tervezi-e a jövőben a cserje- és gyomszint vizsgálatát?

Válasz: A légszennyezettség és az urbanizáció hatásainak vizsgálatára kiválóan alkalmasak az automata levegőminőség-mérő állomások (Debrecenben például 3 található, illetve a Zöld Őrszem hálózat önkormányzati működtetés alatt álló rendszer 15 mérőponttal városszerte), passzív diffúziós mintavevők. Az élőlényközpontú bioindikátor vizsgálatokhoz pedig kiválóan alkalmasak lehetnek a zuzmók, mohák, illetve gombák, melyek kémiai és biológiai paramétereik változásával jelezhetik a légszennyezésben bekövetkező változásokat (Gadd 2007, 2010; Hammens et al. 2010; Thakur et al. 2024). Gyakorlati megvalósításra például zuzmó és moha panelek kihelyezését tudom elképzelni különböző területekre, úgy mint városi, városszéli és városon kívüli területeken például zöldfal dekoráció, zöldítési rendszerek.

A fák mellett van gyakorlatunk a különböző rózsafajták (Armin et al. 2025), illetve a gyomfélék közül a fehér libatop (*Chenopodium album*), kaporlevelű ebszékfű (*Tripleurospermum inodorum*) (Tözsér et al. 2019) és a szőrös disznóparéj (*Amaranthus retroflexus*) (Sipos et al. 2023; Tözsér et al. 2023) kémiai és biológiai paramétereinek a meghatározásában. A minta laboratóriumban történő könnyű kezelhetősége, kis vegyszerigénye és a szimultán egyszerre történő potenciális toxikus elemek koncentrációjának meghatározása viszonylag költséghatékony módszer, mely alkalmazásával nagy mintaszámmal tudunk dolgozni, eredményeink statisztikai értékelését ezzel lehetővé téve. Ugyanakkor a növényi bioindikátor szervezetek alkalmazásának korlátja, hogy a különböző típusú mintavételi területeken nem biztos ugyanazon faj egyedeinek előfordulása. Például a fent említett példákat figyelembe véve, a fehér libatop, kaporlevelű ebszékfű és a szőrös disznóparéj nagyobb valószínűséggel fordul elő városszéli és városon kívüli területeken, mint belvárosi parkokban, városi zöldterületeken. A rózsafajták egyedei rendszerint telepítés eredményeként jelennek meg a városi parkokban, zöldterületeken, növelve a város esztétikai értékét. A probléma a hasonló növényi bioindikátorok esetében, hogy egyrészt ugyanazon fajta városszéli, és városon kívüli területeken nehezen megtalálható. Másrészt tapasztalatból tudjuk, hogy a városrendezési tervekben a telepítések pontos dátuma, a telepített fajok neve is sokszor hiányos, nem beszélve

a telepítések pontos helyének megjelöléséről, különösen igaz ez idősebb telepített állományok esetében.

A fentiekben vázolt előnyök megtalálhatóak, a korlátok pedig teljes mértékben lecsökkenthetőek a közönséges borostyán (*Hedera helix*) leveleinek vizsgálatával. A borostyán szinte minden városi, kertvárosi és városon kívüli területen megtalálható. Faji identitása egyértelmű, ezáltal tökéletes biológiai indikátor, mivel eleget tesz a biológiai indikátorfaj kritériumának, hogy bélyegei alapján gyorsan és megbízhatóan azonosítható legyen. Széles földrajzi elterjedésű, könnyen hozzáférhető, Európa egyik legelterjedtebb örökzöld kúszónövénye, mely vizsgálatával a növényi vertikális szinteket végig tudjuk monitorozni. Másik előnye az örökzöld jellege, mellyel a Magyarországon és a környező országok légszennyezés szempontjából legkritikusabb időszakát, a késő őszi, téli és korai tavaszi időszakot is végig tudjuk monitorozni (Sipos et al. 2026).

Irodalomjegyzék:

- Gadd, G.M. (2007). Geomycology: biogeochemical transformations of rocks, minerals, metals and radionuclides by fungi, bioweathering and bioremediation. *Mycological Research* 111, 3-49. <https://doi.org/10.1016/j.mycres.2006.12.001>
- Gadd, G.M. (2010) Metals, minerals and microbes: geomicrobiology and bioremediation. *Microbiology* 156, 609-643. <https://doi.org/10.1099/mic.0.037143-0>
- Harmens, H., Norris, D.A., Steinnes, E., Kubin, E., Piispanen, J., Alber, R., Aleksiyenko, Y., Blum, O., Coşkun, M., Dam, M., De Temmerman, L., Fernández, J.A., Frolova, M., Frontasyeva, M., González-Miqueo, L., Grodzińska, K., Jeran, Z., Korzekwa, S., Krmar, M., Kviatkovskiy, K., Leblond, S., Liiv, S., Magnússon, S.H., Maňksovská, B., Pesch, R., Rühling, Å., Santamaria, J.M., Schröder, W., Spiric, Z., Suchara, I., Thöni, L., Urumov, V., Yurukova, L., Zechmeister, H.G. (2010). Mosses as biomonitors of atmospheric heavy metal deposition: Spatial patterns and temporal trends in Europe, *Environmental Pollution* 158, 3144-3156. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2010.06.039>.
- Sipos, B., Bibi, D., Magura, T., Tóthmérész, B., Simon, E. (2023). High phytoremediation and translocation potential of an invasive weed species (*Amaranthus retroflexus*) in Europe in metal-contaminated areas. *Environmental Monitoring and Assessment* 195, 790. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11422-3>
- Sipos, B., Abriha-Molnár, V.É., Mukherjee, S., Bibi, D., Bárány, F.Zs., Oláh, V., Tóthmérész, B., Magura, T., Simon, E. (2026). Assessment of air pollution tolerance of *Hedera helix* in urban areas. *City and Environment Interactions* 30, 100371. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2026.100371>
- Thakur, M., Bhargava, S., Kumar, V., Rodrigo-Comino, J. (2024). Lichens as effective bioindicators for monitoring environmental changes: A comprehensive review. *Total Environment Advances* 9, 200085. <https://doi.org/10.1016/j.teadva.2023.200085>.
- Tózsér, D., Tóthmérész, B., Harangi, S., Baranyai, E., Lakatos, Gy., Fülöp, Z., Simon, E. (2019). Remediation potential of early successional pioneer species *Chenopodium album* and *Tripleurospermum inodorum*. *Nature Conservation* 36, 47-69. <https://doi.org/10.3897/natureconservation.36.32503>
- Tózsér, D., Yelamanova, A., Sipos, B., Magura, T., Simon, E. (2023). A meta-analysis on the heavy metal uptake in *Amaranthus* species. *Environmental Science and Pollution Research* 30, 85102-85112. <https://doi.org/10.1007/s11356-023-28374-3>

3. A vizsgált paramétereken túl milyen további biokémiai markerek (pl. karotinoidok, reaktív oxigénformák) lehetnek alkalmazhatók a stresszhatások kimutatására?

Válasz: Az MTA értekezésben bemutatott paramétereken, azaz a levélen megüledett portartalmon, a por és levélszövet elemösszetételén, potenciális toxikus elemtartalmán kívül a környezeti stressz hatásának kimutatására alkalmasak lehetnek a fotoszintetikus pigmentek. A klorofilok, karotinoidok, feofitinek és xantofilok kiváló biokémiai indikátorok, mivel gyorsan reagálnak a környezeti hatásokra, kimutatásuk módszertana validált és viszonylag költséghatékony, extrém esetekben koncentrációváltozásuk már látható tüneteket, például levélsárgulást is okozhat (Sipos et al. 2026). A korábban vizsgált paraméterek (portartalom) és a biokémiai indikátorok (klorofill, feofitin) kombinálásával, egymáshoz viszonyított arányaik

alapján indexek kidolgozására van lehetőség, melyekkel már a szennyezettség vagy tolerancia kategorizálást is le lehet végezni a vizsgált növényi fajokra vonatkozóan (Mukherjee et al. 2026).

A reaktív oxigénformák szintén a környezeti stressz kiváló indikátorai, mivel a legkorábbi sejtszintű válaszreakcióról van szó, és a légszennyezés jelentősen növeli a ROS-termelést (Mittler et al. 2002). Jelenlegi és jövőbeli vizsgálatainkban a peroxidáz (POD)-, kataláz (CAT)-, szuperoxid-diszmutáz (SOD)- koncentrációt vizsgáljuk közönséges borostyán és európai hárs leveleiben. Ellenében az elemösszetétel és pigment koncentrációjának meghatározásával az említett enzimek koncentrációjának meghatározásához módszertesztelésre, módszerfejlesztésre van szükség, mely jelenleg is tart.

Felhasznált irodalom:

- Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. Trends in Plant Science 7, 405-410. [https://doi.org/10.1016/S1360-1385\(02\)02312-9](https://doi.org/10.1016/S1360-1385(02)02312-9)
- Mukherjee, S., Bibi, D., Sipos, B., Abriha-Molnár, V.É., Orlóci, L., Kisvargam Sz., Horotán, K., Istvánfi, Zs., Oláh, V., Tóthmérész, B., Magura, T., Simon, E. (2026). Pigment Integrity-to-Dust Ratio (PIDR): A novel bioindicator for assessing urban air pollution stress in *Ginkgo biloba*. Plants 15, 1893. <https://doi.org/10.3390/plants15121893>
- Sipos, B., Abriha-Molnár, V.É., Mukherjee, S., Bibi, D., Bárány, F.Zs., Oláh, V., Tóthmérész, B., Magura, T., Simon, E. (2026). Assessment of air pollution tolerance of *Hedera helix* in urban areas. City and Environment Interactions 30, 100371. <https://doi.org/10.1016/j.cacint.2026.100371>

4. Milyen mértékben lenne indokolt a dolgozatban ismertetett szennyezőanyag-expozíció közvetlen kvantifikálása? A tényleges levegő- és talajszennyezettség analitikai meghatározása és jellemzése mennyiben járulna hozzá az eredmények megbízhatóbb interpretációjához?

Válasz: A szennyezőanyag-expozíció közvetlen kvantifikálása jelentősen növelné a vizsgálat eredményeinek megbízhatóságát és az ok-okozati összefüggések bizonyíthatóságát. A tényleges levegő- és talajszennyezettség részletes analitikai meghatározása lehetővé tenné a további vizsgált paraméterekkel történő statisztikai értékelését. A szennyezőanyag-vizsgálat, illetve a bioindikációs vizsgálatok véleményem szerint multidiszciplináris tudományterületet ölelnek fel, tehát minél több környezeti és bioindikációs paramétert tudunk bevonni az antropogén hatások vizsgálatába, eredményeink annál megbízhatóbbak lesznek. Korábbi, jelenlegi és jövőbeli kutatásaink során is erre törekedtünk, illetve törekedünk.

5. A kimutatott antropogén szennyezések tükrében hogyan értékeli a városi kiskertek (közösségi kertek, erkély- és balkonkertek, függőleges kertészkedés stb.) hasznosságát az emberi egészség szempontjából?

A közösségi kertek kialakítása Debrecenben forgalmas utaktól viszonylag távol, tömbházak által körülvárt városi parkok közelében történt. Véleményem szerint az ilyen helyeken kialakított kiskertek, erkély-balkonkertek és függőleges kertészkedés esetében kismértékű egészségügyi, illetve környezeti kockázattal kell számolni. Megjelent tudományos publikációkban a kockázatelemzésre, a kockázatok mértékének csökkentésére hívják fel a figyelmet az ilyen jellegű kertészkedéssel kapcsolatban (Boahen 2024, Kim et al. 2014). Ugyanakkor a korábbi eredmények azt mutatják, hogy az ipari tevékenységek és a közlekedés a kiskertészkedés fő szennyező forrásai is (Montaño-López and Biswas 2021, Rossini-Oliva and Nuñez 2024).

Felhasznált irodalom:

- Boahen, E. (2024) Heavy metal contamination in urban roadside vegetables: origins, exposure pathways, and health implications. *Discover Environment* 2, 145. <https://doi.org/10.1007/s44274-024-00182-7>
- Kim, B. F., Poulsen, M. N., Margulies, J. D., Dix, K.L., Palmer, A.M., Nchman, K.E. (2014). Urban community gardeners' knowledge and perceptions of soil contaminant risks. *PLoS ONE* 9, e87913. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0087913>
- Montaño-López, F., Biswas, A. (2021). Are heavy metals in urban garden soils linked to vulnerable populations? A case study from Guelph, Canada. *Scientific Reports* 11, 11286. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-90368-3>
- Rossini-Oliva, S., Nuñez, R.L. (2024). Is it healthy urban agriculture? Human exposure to potentially toxic elements in urban gardens from Andalusia, Spain. *Environmental Science and Pollution Research* 31, 36626–36642. <https://doi.org/10.1007/s11356-024-33500-w>

6. Az APTI értéke évszakonként eltérő. Lehet ez az eltérés olyan mértékű, hogy érzékenység APTI szerinti besorolása változik egy-egy növényfajnál? A különböző növényfajok APTI értéke ugyanolyan mértékben változik évszakonként?

A vizsgálati eredményeink alapján olyan mértékű évszakonkénti változást nem tapasztaltunk, amely érzékenységi kategóriaváltozást okozott volna. *Hedera helix* leveleken végzett kutatási eredményeink mutattak növekvő APTI értéket nyártól haladva a téli időszak felé, majd enyhe csökkenést tapasztaltunk az APTI értékekben a tavaszi mintákban a téli mintavételezéshez képest, de ezek az értékek nem szignifikáns változások voltak. *Ginkgo biloba* leveleken végzett vizsgálatainkban szintén a nyári hónapokban alacsonyabb az őszi hónapokban már emelkedő APTI értéket mutattunk ki. Mindkét faj esetében a változás mértéke alacsony intenzitást mutatott, de egyik esetben sem következett be érzékenységi kategóriaváltozás.

7. Mely antropogén szennyezők lehetnek káros hatással a fotoszintézisre és milyen hatásmechanizmusok alapján?

Az antropogén eredetű szennyezők, úgymint a nehézfémek, légszennyező gázok, porszennyezők, ritka földfémek, szerves szennyezők lehetnek káros hatásúak a fotoszintézisre. A hatás lehet az oxidatív stressz, klorofill molekula lebomlása, vagy klorofillszintézis-gátlás, PSI és PSII rendszerek károsodása, szótamzáródás, enzimgátlás (Fryzova et al. 2017, Hasanuzzaman et al. 2020, Ozturk et al. 2023, Popek et al. 2018). A hatás következménye lehet a kloroplasztizok és membránok károsodása, csökken fényelnyelés, csökkent elektrontranszport, csökkent szén-dioxid felvétel. Összességében ezek a hatások a fotoszintézis intenzitásának visszaeséséhez, a növekedés lassulásához és végső soron a növények produktivitásának csökkenéséhez vezetnek.

Felhasznált irodalom:

- Fryzova, R., Pohanka, M., Cihlarova, H., Brtnicky, M., Hladky, J., Kynicky, J. (2017). Oxidative Stress and heavy metals in plants. In: de Voogt, P. (eds) *Reviews of Environmental Contamination and Toxicology Volume 245. Reviews of Environmental Contamination and Toxicology* 245. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/398_2017_7
- Hasanuzzaman, M., Bhuyan, M.H. M.B., Zulfiqar, F., Raza, A., Mohsin, S.M., Mahmud, J.A., Fujita, M., & Fotopoulos, V. (2020). Reactive oxygen species and antioxidant defense in plants under abiotic stress: Revisiting the crucial role of a universal defense regulator. *Antioxidants* 9, 681. <https://doi.org/10.3390/antiox9080681>
- Ozturk, M., Metin, M., Altay, V., Prasad, M.N.V., Gul, A., Bhat, R.A., Darvash, M.A., Hasanuzzaman, M., Nahar, K., Unal, D., Unal, B.T., Garcia-Capparós, P., Kawano, T., Toderich, K., Shahzadi, A. (2023). Role of rare earth elements in plants. *Plant Molecular Biology Reporter* 41, 345–368 (2023). <https://doi.org/10.1007/s11105-023-01369-7>

Popek, R., Przybysz, A., Gawrońska, H., Klamkowski, K., Gawroński, S.W. (2018). Impact of particulate matter accumulation on the photosynthetic apparatus of roadside woody plants growing in the urban conditions. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 163, 56-62. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2018.07.051>

8. Milyen szerepe lehet a faleveleken alapuló bioindikációs módszereknek a városi tervezés és városrendezés során?

Mindenképpen irányt szeretnénk mutatni a bioindikációs alapú vizsgálatainkkal, hogy melyek azok a fajok, melyek a szennyezőanyagok akkumulációjára képesek, azaz toleráns fajok, így ipari területeken, ipari körzetekbe telepíthetők. A városi környezetbe pedig, a humán egészségügyi szempontból különösen veszélyeztetett helyekre (bölcsőde, óvoda, iskolák, kórházak) olyan fajok telepítése javasolt, melyek érzékenyek, rövid időn belül jelzik a kedvezőtlen környezeti hatásokat. Ha a javasolt fajok őshonosak, a természetes vegetáció alapját képezik, akkor természetvédelmi, természetmegőrzési szempontból is hasznos információkat tudunk szolgáltatni a város vezetői felé.

9. A nehézfémek (Pb, Cd, Zn, Cu stb.) környezeti kiülepedésének vizsgálata az épülő akkumulátorgyárak környezetében különösen indokolt lehet (pl. Ni, Co, Mn). Van-e terve ennek követésére?

Válasz: Tudományos alapú vizsgálatokat végzünk közönséges akác (*Robinia pseudo-acacia*) és dió (*Juglans regia*) levél- és talajminták potenciális toxikus elemtartalmára vonatkozóan. A kijelölt mintavételi helyek között vannak akkumulátorgyár közelében lévő mintavételi pontok is. A minták laboratóriumi feldolgozása folyamatban van. A nehézfémek környezeti kiülepedése mellett, azonban jelentős figyelmet kell fordítani a ritkaföldfém-terhelésre is véleményem szerint, mivel főként az elektromos autógyártás során ezek kibocsátásával is számolnunk kell. Ehhez kapcsolódóan monitorozandó elemek lehetnek a cérium (Ce), lantán (La), neodímium (Nd) és diszpróziium (Dy) (Haque et al. 2014, Navarro and Zhao 2014), melyek vizsgálata szintén terveink között szerepelnek jövőbeni kutatásainkban.

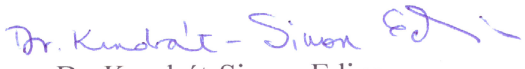
Felhasznált irodalom:

Haque, N., Hughes, A., Lim, S., & Vernon, C. (2014). Rare Earth Elements: overview of mining, mineralogy, uses, sustainability and environmental impact. *Resources* 3, 614-635. <https://doi.org/10.3390/resources3040614>

Navarro, J., Zhao, F. (2014). Life-Cycle Assessment of the production of rare-earth elements for energy applications: A Review. *Frontiers in energy research* 2, 45. doi: 10.3389/fenrg.2014.00045

Még egyszer köszönöm Prof. Dr. Székács András méltató szavait. Opponensi véleményében megfogalmazott megjegyzéseivel egyetértek és köszönöm a dicsérő szavait, valamint a dolgozat vitára bocsátásához adott pozitív támogató nyilatkozatát.

Debrecen, 2026. július 9.


Dr. Kunderát-Simon Edina