

VÁLASZ

Prof. Dr. Bakonyi Gábor MTA doktora opponensi véleményére
Téma: Kundrát-Simon Edina „Antropogén tevékenységek hatásának becslése falevelek, mint biológiai indikátorok biológiai és kémiai paraméterei alapján” című MTA doktori értekezésének bíráltára

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Bakonyi Gábornak Professzor Úrnak, hogy elvállalta értekezésem bírálatát. Köszönöm opponensem elismerő szavait a dolgozattal kapcsolatban és köszönöm a jobbtó szándékú kritikai megjegyzéseket és javaslatokat.

Stílus, szerkesztéssel kapcsolatos javaslatokra adott válaszaim

Az egyes alkalmazott terepi és laboratóriumi módszereket önállóan értelmezhető fejezetekként szerettem volna bemutatni, ezért ugyanazokat a módszereket, például a levelek lemosását, a porfrakciók meghatározását vagy az alkalmazott statisztikai módszereket több fejezetben is ismertettem. A pormintát tartalmazó vizes szuszpenziót 150 µm pórusméretű szitán szűrtük át.

Opponensem hiányolta a mintavételek pontos részleteit. A mintavételezés során standardizált mintavételezést alkalmaztunk. A fák egészséges, ép leveleiből és azonos fejlettségi állapotú egyedekről történt a mintagyűjtés. A mintavétel 1,5-1,8 m magasságból történt, a lombkorona külső és belső részeiről egyaránt, körbemintázva a teljes lombkoronát. A mintavételezést minden esetben száraz időben, legalább 2 nappal később végeztük csapadék után, amennyiben csapadékkal számolnunk kellett. Minden mintavételezést minden alkalommal délelőtt 10 és délután 14 óra között végeztünk.

Opponensem kifogásolta, hogy nem mindenütt adtam meg az elemszámokat és a korrelációs együtthatókat és az alkalmazott módszert a statisztikai eredmények ismertetése során. A korrelációk szignifikanciáját természetesen minden esetben vizsgáltam, azonban ezeket nem minden eredményközlésnél tüntettem fel. Az alkalmazott módszer Pearson-féle lineáris korrelációanalízist volt, mely során a korrelációs együtthatók szignifikanciáját $\alpha = 0,05$ szignifikanciaszinten értékeltük.

Opponensem kifogásolta, hogy a „finom” és „durva” frakciójú por kifejezések helyett esetenként a PM₅ és PM₁₀-frakció elnevezéseket használtam. Érvelése szerint az alkalmazott szűrők átlagos pórusmérete alapján a finom frakciójú por inkább a PM_{2,5}, míg a durva frakciójú por a PM_{6,5} mérettartománynak felel meg. A mintavétel során alkalmazott szűrőpapírok pórusátmérője 5–8 µm (Munktell 392, Ahlstrom), illetve 2–3 µm (Munktell 391, Ahlstrom) volt. A kéziratok bírálati folyamata során törekedtünk az opponens által is javasolt frakcióelnevezések használatára. A bírálók és a szerkesztő kérésére azonban végül a PM₅ és PM₁₀ elnevezések maradtak a kéziratokban. Ezt azzal indokolták, hogy a 2–3 µm-es pórusméret közelebb áll a PM₅ kategóriához, míg a PM_{6,5} elnevezés a szakirodalomban nem tekinthető elterjedtnek.

Opponensem véleménye szerint a „5. Következtetések” fejezet lényegében megbeszélés, diszkusszió. Elsődleges célom az egyes vizsgálatok eredményeinek bemutatása és a releváns szakirodalommal történő összevetése volt, ezért a fejezet elsősorban az eredmények összefoglalására és azok leíró értelmezésére épült. A Juhász-Nagy Pál általános indikációs

elvének alkalmazása valóban megfelelő elméleti keretet jelenthet az eredmények indikációs szempontú értelmezéséhez a jövőben.

A kérdésekre adott válaszaim az opponensi véleménynek megfelelő sorrendben a következők

1. A porszenyezések vizsgálatakor rendszerint a $PM_{2,5}$ és PM_{10} részecskenagyságokat különítik el a kutatók, ezeket mérik a mérőállomások és ezek vizsgálatára vannak szabványok. Jelölt miért nem ezekkel a frakciókkal dolgozott, hiszen egzakt módon így tudta volna adatait összehasonlítani más vizsgálatok eredményeivel.

Válasz: A légszennyezettségi vizsgálatok során a $PM_{2,5}$ és PM_{10} frakciók vizsgálata a MSZ EN 16450:2017, MSZ EN ISO 23210:2009 és az MSZ EN 14902:2006 szabványok alapján történik. Ezek a szabványok a levegőben lebegő aeroszolok koncentrációjának mérésére szolgálnak, és a levegőminőséget monitorozó hálózatok is ezeket a frakciókat mérik. Bár utóbbi szabvány a PM_{10} frakció Pb, Cd, As és Ni tartalmának meghatározására vonatkozik. Természetesen a $PM_{2,5}$ és PM_{10} frakciókkal történő összehasonlítás elősegítené a közvetlen összevetést a levegőminőség monitoring adataival, azonban ehhez olyan mintavételi és szemszeméret-szeparálási módszerre lenne szükség, amely kifejezetten a levegőben lebegő aeroszolok aerodinamikai átmérő szerinti elkülönítésére szolgál. A levélen megüledett portartalom-bebecslésre alkalmazott módszerek azonban eltérnek a légköri PM_{10} és $PM_{2,5}$ frakciók meghatározásának monitoring módszereitől (Sæbø et al. 2012). A kereskedelmi forgalomban nehéz olyan (üveg és/vagy papír) szűrőket beszerezni, melyekkel a fent említett frakciók teljes mértékben szeparálhatóak, és a szűrőn visszamaradt portartalom a későbbiek során további vizsgálatokra, például potenciálisan toxikus elemkoncentráció meghatározására is alkalmas legyen. A levélen megüledett portartalom meghatározására alkalmazott módszerét porcsapdával validáltuk egy korábbi munkánk során. A leveleken ülepedett PM_{10} koncentráció és a porgyűjtő csapdákból mért PM_{10} koncentráció között szignifikáns pozitív összefüggést találtunk. Továbbá pozitív korreláció volt a gravimetriás és a lézerdiffrakciós mérési módszerekkel meghatározott részecske koncentrációk között is (Simon et al. 2020). Ugyanakkor fontos azt megemlíteni, hogy a levelek természetes pormegkötő felületek, melyeken a különböző frakciók megkötése más mechanizmusok alapján történik szemben a levegő-monitoring rendszereknél használt porszűrőkkel (Weerakkody et al. 2018).

Felhasznált irodalom:

- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H., Gawronski, S.W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of The Total Environment* 427-428, 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084>
- Simon, E., Molnár, V. É., Tóthmérész, B., & Szabó, S. (2020). Ecological assessment of particulate material (PM_5 and PM_{10}) in urban habitats. *Atmosphere* 11, 559. <https://doi.org/10.3390/atmos11060559>
- Weerakkody, U., Dover, J.W., Mitchell, P., Reiling, K. (2018). Evaluating the impact of individual leaf traits on atmospheric particulate matter accumulation using natural and synthetic leaves. *Urban Forestry & Urban Greening* 30, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.001>

2. A 65-66. oldalakon összehasonlítja a pormintákban talált elemkoncentrációkat más szerzők adataival és „kisebb”, illetve „nagyobb” koncentrációkról beszél. Végzett statisztikai számításokat a megállapítások alátámasztására? Ha nem, milyen kritériumok alapján hasonlította össze az adatokat? Ugyanezek a kérdések vonatkoznak a levelekben mért elemkoncentrációkra is.

Válasz: Az összevetés leíró jellegű volt, hiszen az irodalmi adatközlés esetében általában nem állnak rendelkezésre az alapadatok, ami nem teszi lehetővé összetett statisztikai tesztek elvégzését. Ezért célunk a kapott eredményeink nemzetközi szakirodalomban közölt értékekkel történő nagyságrendi összevetése volt. Tehát azt szerettem volna bemutatni, hogy a szakirodalomban közölt átlagkoncentrációkhoz viszonyítva alacsonyabb/magasabb átlagkoncentrációt tapasztaltunk e vizsgálatunk mind a levélen ülepedett por, mind a levélszövet potenciálisan toxikus elemtartalma alapján.

3. A bécsi és miskolci vizsgálatok eredményei között a CDA tengelyek és egyes elemek korrelációját részletesen bemutatja. Az eredmények diszkusszióját azonban nem találtam az értekezésben. Kérem, a szignifikáns korrelációk esetében értékelje ezeket az eredményeket.

Válasz: A CDA tengelyek és az egyes változók közötti korreláció azt mutatja meg, hogy milyen erős és milyen irányú kapcsolat van a vizsgált elemek és a tengely között (Huberty & Olejnik 2006, Rencher & Christensen 2012). Ha a dolgozat 34. oldalán található 1. táblázatban bemutatott eredményeket vesszük alapul, akkor a nátrium, bárium és stroncium pozitív, míg a foszfor és kén koncentráció negatív korrelációt mutat a CDA 1 tengellyel. Ez azt jelenti számunkra, hogy a tengely pozitív oldalán található pontokhoz magasabb Na-, Ba- és Sr-koncentráció, míg a tengely negatív oldalon elhelyezkedő pontokhoz inkább magasabb P- és S-koncentráció köthető. A korreláció azt mutatja meg, hogy a változó milyen szorosan kapcsolódik a tengelyekhez, oksági következtetéseket azonban nem tudunk levonni. A 0,65 körüli korreláció ökológiai alkalmazásokban már viszonylag erős kapcsolatnak tekinthető, ami azt jelzi, hogy az adott változók jelentősen hozzájárulnak a CDA1 tengely által leírt csoportelkülönülés értelmezéséhez, mely csoportelkülönülés a kanonikus diszkriminanalízis alapját képezi.

Felhasznált irodalom:

Huberty, C.J. and Olejnik, S. (2006) Applied MANOVA and Discriminant Analysis. 2nd Edition, John Wiley & Sons, Hoboken, NJ. <https://doi.org/10.1002/047178947x>
Rencher, A.C., Christensen, W.F. (2012). Discriminant Analysis: Description of Group Separation. In Methods of Multivariate Analysis (eds A.C. Rencher and W.F. Christensen). <https://doi.org/10.1002/9781118391686.ch8>

4. Mivel magyarázza, hogy a bécsi vizsgálatában a városon kívül szignifikánsan magasabb volt a Cd koncentráció a hegyi juhar (*Acer pseudoplatanus*) levelében, mint a városban (3. táblázat)?

Válasz: Az eltérés oka a helyi talajadottságok is lehet, mivel a levélszövet elemtartalmát a talajadottságok is befolyásolják. Bécs elővárosi és vidéki területein is jelentős talajszennyezettséget mutattak ki hasonló vizsgálatok (Bibi et al. 2023). Gentile et al. (2009) az erdei talajminták esetében 5%-kal, míg a gyepterületeken 6%-kal határértéket meghaladó Cd-koncentrációt mutattak ki. A legközelebbi szennyezőforrások Bécs délkeleti részén található ipari létesítmények (Zehetner et al. 2009). A magas Cd-koncentráció részben a nagy távolságú légköri transzporttal és az azt követő ülepedéssel magyarázható, különösen a kitett lejtőkön, továbbá az Északi Mészkő-Alpok területén a kadmium természetes háttérkoncentrációja is emelkedett lehet (Kralik, 1999).

Felhasznált irodalom:

Bibi, D., Tózsér, D., Sipos, B., Tóthmérész, B., Simon, E. (2023). Heavy metal pollution of soil in Vienna, Austria. Water, Air and Soil Pollution 234, 232. <https://doi.org/10.1007/s11270-023-06244-5>
Gentile, A.R., Barceló-Cordon, S., Van Liedekerke, M. (Eds.). (2009). Soil country analyses Austria. JRC scientific and technical reports. EUR 23959 EN. OPOCE. <https://doi.org/10.2788/2600>

- Kralik, M. (1999). Environmental geology in Austria. Mit teilungen der Österreichischen Geographischen Gesellschaft, 92 313–335 ISSN 0251-7493.
- Zehetner, F., Rosenfellner, U., Mentler, A., Gerzabek, M.H. (2009). Distribution of road salt residues, heavy metals and polycyclic aromatic hydrocarbons across a highway-forest interface. Water, Air and Soil Pollution 198, 125–132. <https://doi.org/10.1007/s11270-008-9831-8>

5. Hipotézisként írja: „korrelációt feltételeztünk az APTI [légszennyezettségi tolerancia index] értékek és a finom és durva frakciójú por, valamint a levélszövetben felhalmozódott elemek koncentrációja között” (7. o.). Érdekel, hogy ezt a hipotézist mennyiben sikerült igazolni. A kapott adatokból mire lehet következtetni?

Válasz: A *Tilia europaea* esetében pozitív korrelációt tapasztaltunk a finom frakciójú portartalom ($r = 0,828$), a Cr-koncentráció (0,803) és az APTI értékek, valamint negatív korrelációt mutattak eredményeink a Mn-koncentráció ($r = -0,669$) és az APTI értékek között. A *Celtis occidentalis* esetében pozitív korrelációt tapasztaltunk Ba ($r = 0,810$) és a Na-koncentráció ($r = 0,833$), valamint negatív korrelációt figyeltünk meg a Ca-koncentráció ($r = -0,714$) és az APTI értékek között. A nagyobb porterhelés az eredmények alapján okozhat magasabb APTI értékeket, mely az antioxidáns rendszer fokozott működésével járhat, mely az aszkorbinsav-tartalom emelkedésével okozza a magasabb APTI értéket (Singh & Rao 1983). A Cr esetében tapasztalt pozitív korreláció arra utalhat, hogy a magasabb Cr-koncentráció mellett is az APTI érték továbbra is magas maradhat a megnövekedett aszkorbinsav-koncentrációnak köszönhetően (Al-Huqail et al. 2020). A nagyobb Mn-koncentráció negatív hatással lehet a klorofill- és aszkorbinsav-tartalomra, melyek csökkenése okozhat alacsonyabb APTI értéket (Alejandro et al. 2020, Fecht-Christoffers et al. 2003). A Ba és a Na is lehet közlekedési eredetű, illetve a városi por indikátorainak is tartják ezt a két elemet (Grigoratos & Martini 2015). A pozitív korreláció arra utalhat, hogy ugyanazon környezeti hatás következményeként együttesen változhat a koncentrációjuk és a nagyobb antropogén porterhelés okozhatja az egyedek magasabb APTI-értékét. A Na és a Ca felvétele között ismert antagonizmus állhat fenn. Nagyobb Na-terhelés mellett több növénynél csökkenhet a Ca felvétele vagy transzportja, ezért a pozitív Na és APTI, illetve a negatív Ca és APTI kapcsolat részben ugyanannak a folyamatnak a következménye lehet, de ezt a kapcsolatot a korreláció valószínűsíti, de nem bizonyítja (Munns & Tester 2008).

Felhasznált irodalom:

- Alejandro, S., Höller, S., Meier, B., Peiter, E. (2020). Manganese in Plants: From acquisition to subcellular allocation. *Frontier in Plant Science* 11, 300. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.00300>
- Al-Huqail, A.A., Ali, H.M., Kushwaha, B.K., Singh, V. P., Siddiqui, M.H. (2020). Ascorbic acid is essential for inducing chromium (VI) toxicity tolerance in tomato roots. *Journal of Biotechnology* 322, 66–73. <https://doi.org/10.1016/j.jbiotec.2020.07.011>.
- Fecht-Christoffers, M.M., Maier, P., Horst, W.J. (2003). Apoplastic peroxidases and ascorbate are involved in manganese toxicity and tolerance of *Vigna unguiculata*. *Physiologia Plantarum*, 117, 237–244. <https://doi.org/10.1034/j.1399-3054.2003.00022.x>
- Grigoratos, T., Martini, G. (2015). Brake wear particle emissions: A review. *Environmental Science and Pollution Research*, 22, 2491–2504. <https://doi.org/10.1007/s11356-014-3696-8>
- Munns, R., Tester, M. (2008). Mechanisms of salinity tolerance. *Annual Review of Plant Biology* 59, 651–681. <https://doi.org/10.1146/annurev.arplant.59.032607.092911>
- Singh, S.K., Rao, D. N. (1983). Evaluation of plants for their tolerance to air pollution. *Proceedings of Symposium on Air Pollution Control* 1, 218–224.

6. Mi lehet az oka annak, hogy a miskolci vizsgálatban a CDA tengelyek mentén a vizsgált fajok levelében talált elemösszetétel sokkal kevésbé különbözik a mintavételi helyek között, mint az ülepedett por elemösszetétele?

Válasz: A levélfelszínen ülepedett por elemösszetétele az adott mintavételi hely aktuális, éppen jellemző légköri terhelését tükrözi, ezért érzékenyebben reagál a különböző légszennyezési források által kibocsátott elemkoncentráció-változásokra (Weerakkody et al. 2018). Az ülepedett por elemtartalmával ellentétben a levélszövet elemtartalmát nem kizárólag a légköri ülepedés határozza meg (Markert et al. 2003). Az elemek a gyökéren keresztül is felvehetők, majd a különböző növényi élettani folyamatok fogják befolyásolni a vizsgált elemek koncentrációját a levelekben. Összességében jelentős különbséggel kell számolni a levélfelszíni ülepedett por és a levélszövetben ülepedett potenciális toxikus elemek akkumulációja során (Rai 2016).

Felhasznált irodalom:

Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. (2003). Bioindicators and Biomonitoring. 1st Edition, Volume 6. eBook ISBN: 9780080527970

Rai, P.K. (2016). Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. *Ecotoxicology and Environmental Safety* 129, 120-136. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>

Weerakkody, U., Dover, J.W., Mitchell, P., Reiling, K. (2018). Evaluating the impact of individual leaf traits on atmospheric particulate matter accumulation using natural and synthetic leaves. *Urban Forestry & Urban Greening* 30, 98-107. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2018.01.001>

7. A légszennyezettségi tolerancia index (APTI) értéke függ a levél aszkorbinsav- és összklorofill-koncentrációjától, a levél oldat pH-jától és a levél relatív nedvesség tartalmától. Megállapítja, hogy ezek közül a légszennyezettséggel szemben legérzékenyebbnek a klorofill koncentráció tekinthető (72. o.). Milyen alapon teszi ezt a megállapítást? Végzett esetleg érzékenységvizsgálatot (sensitivity analysis) vagy más kvantitatív elemzést a négy összetevő relatív hatásának megállapítására?

Válasz: A vizsgált paraméterek közül az aszkorbinsav-koncentráció, a levélszuszenzió pH-ja és a levél relatív nedvességtartalma általában kisebb mértékű változást mutat a tapasztalataink alapján. Korábban publikált eredmények alapján a klorofill- és aszkorbinsav-tartalmat tanulmányozzuk metaanalízissel, melynek célja az volt, hogy ezek a paraméterek mennyire jelzik a légszennyezettséget, mint környezeti stresszt, mennyire érzékeny biokémiai paraméternek tekinthetők. A metaanalízis alapján megállapítottuk, hogy a klorofilltartalom esetén rózsafajták eredményeit tekintve szignifikáns volt a stressz hatása, azaz a kontrollterületen a rózsák klorofilltartalma nagyobb volt, mint a szennyezett területen. Az aszkorbinsav esetén az összes fajt együttesen kezelve a környezeti stressz hatása nem volt szignifikáns. Fentiek is alátámasztják azon megállítást, miszerint a légszennyezettséggel szemben a klorofill-koncentráció érzékenyebb indikátornak tekinthető, mint az aszkorbinsav-koncentráció.

8. Nyolc faj levelein kiülepedett por, két szemnagyságú frakcióit hasonlította össze. Minden faj esetében kevesebb finom, mint durva frakciójú port talált a leveleken (25. ábra). Mi lehetett ennek az oka, hiszen korábban megállapította, hogy a fajoknak szignifikáns hatása van az összes kiülepedett por mennyiségére (29. o.)?

Válasz: Korábbi vizsgálatok eredményei is azt bizonyítják, hogy a durvább szemcsék gravitációs ülepedése hatékonyabb, ezért ezek nagyobb valószínűséggel rakódnak le a levélfelületen (Beckett et al. 2000). Az olyan levélfelszíni morfológiai jelegek, mint a

viaszréteg, vagy a trichómák segítik a durva szemcsék levélfelszínen történő maradását (Sæbø, et al. 2012). Ezzel szemben a finom frakciójú részecskék hosszabb ideig maradnak a légkörben lebegő állapotban, mozgásukat elsősorban a turbulencia és a Brown-mozgás befolyásolja (Liu et al. 2026). Bár ezek a részecskék is lerakódhatnak a levélfelületen, kisebb méretük miatt könnyebben újra felfüggesztődhetnek a légáramlás hatására, illetve csapadék vagy erősebb szél következtében könnyebben eltávolíthatók a levél felszínéről.

Felhasznált irodalom:

- Beckett, K.P., Freer-Smith, P.H., Taylor, G. (2000). Urban woodlands: their role in reducing the effects of particulate pollution. *Environmental Pollution* 99, 347-360. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(98\)00016-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(98)00016-5)
- Liu, Y., Hassan, F.H., Zhou, K. (2023). A graph-integrated latent ensemble random vector functional link without direct links framework for drift-resilient online multi-step fine particulate matter forecasting. *Applied Soft Computing* 200, 115470. <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2026.115470>
- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H., Gawronski, S.W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. *Science of The Total Environment* 427-428, 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084>

9. Van-e valamelyik fafajnak kitüntetett szerepe a vizsgált (egy vagy több) elem indikálásában? Ha igen, melyik fajnak és milyen érvek alapján?

Válasz: *Tilia europaea* és a *Celtis occidentalis* különösen alkalmasnak bizonyult a légköri porterhelés és a porterheléshez kapcsolódó elemek biomonitorozására. Mindkét faj levelei jelentős mennyiségű port halmoztak fel, és több elem esetében szoros kapcsolat mutatkozott a levélfelületen lerakódott por és az elemkoncentrációk között (Simon et al., 2014; Molnár et al., 2020). Az *Acer pseudoplatanus* ezzel szemben elsősorban a levélszövet elemtartalmának vizsgálata során bizonyult érzékeny indikátornak, mivel több elem esetében jól kimutatható különbségeket mutatott az eltérő környezeti terhelésű mintaterületek között (Simon et al., 2011). A kutatásaim egyik legfontosabb eredménye azonban hogy a porterhelés, a levél elemtartalma és az élettani válaszok együttes értékelése lényegesen megbízhatóbb környezeti indikációt biztosít, mint egyetlen faj vagy egyetlen paraméter alkalmazása.

10. Azt írja, hogy „A falevelek és a falevéltre ülepedett por elemösszetétele használható indikátor a légszennyezettség jelenlegi becslésére,...” (68. o.). Mennyire védhető ez az állítás, tekintettel arra, hogy a levelekbe nem csak a levegőből, hanem a talajból is juthatnak szennyező elemek.

Válasz: A falevelek elemtartalma önmagában nem tekinthető a légköri szennyezettség indikátorának, mivel az elemek a gyökéren keresztül, a talajból történő felvétel útján is bekerülhetnek a növényi szövetekbe (Kabata-Pendias 2011). A levelekben mért elemkoncentráció, a légköri terhelés mellett a talaj elemtartalmát, ezeknek az elemeknek biológiai hozzáférhetőségét, valamint a fajspecifikus felvételi és transzlokációs folyamatokat is magába foglalja (Markert et al. 2003). Ezzel szemben a levélfelszínen ülepedett por elemösszetétele közvetlenebb információt szolgáltat a légköri részecskék összetételéről és az aktuális légköri terhelésről (Rai et al. 2016, Sæbø et al. 2012). Kutatásaink során ezért a levélszövet elemtartalmát és a levélfelszínen ülepedett por elemösszetételét együttesen vizsgáltuk. A két vizsgálat kombinációja lehetővé teszi a légköri ülepedés és a növény által felvett elemek részleges elkülönítését, ezáltal megbízhatóbb képet adhat a légköri környezeti fémterhelésről.

Felhasznált irodalom:

- Kabata-Pendias, A. (2010). Trace Elements in Soils and Plants (4th ed.). CRC Press.
<https://doi.org/10.1201/b10158>
- Markert, B.A., Breure, A.M., Zechmeister, H.G. (2003). Bioindicators and Biomonitors. 1st Edition, Volume 6.
eBook ISBN: 9780080527970
- Rai, P.K. (2016). Impacts of particulate matter pollution on plants: Implications for environmental biomonitoring. Ecotoxicology and Environmental Safety 129, 120-136. <https://doi.org/10.1016/j.ecoenv.2016.03.012>
- Sæbø, A., Popek, R., Nawrot, B., Hanslin, H.M., Gawronska, H., Gawronski, S.W. (2012). Plant species differences in particulate matter accumulation on leaf surfaces. Science of The Total Environment 427-428, 347-354. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2012.03.084>

Még egyszer köszönöm Prof. Dr. Bakonyi Gábor 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. Kundrát-Simon Edina