

VÁLASZ

Prof. Dr. Vasas Gábor 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 bírálata

Mindenekelőtt szeretném megköszönni Prof. Dr. Vasas Gábor egyetemi tanárnak, a HUN-REN Balatoni Limnológiai Kutatóintézet főigazgatójának, hogy elvállalta értekezésem bírálatát. Köszönöm a pozitív hozzáállását a téma felvetéséhez és az eredmények megítéléséhez.

A bíráló kérdéseire adott válaszaim:

1. Milyen mértékben tekinthető általánosíthatónak az APTI index különböző klimatikus régiókban?

Válasz: Az APTI-hoz használt paramétereket (klorofill és aszkorbinsav-tartalom, a levélszuspenzió pH-ja, a levél relatív nedvesség-tartalma) az adott terület klimatikus viszonyai is befolyásolhatják, nemcsak a légszennyezettség vagy más antropogén tevékenység. Az index fentiek alapján azonos vagy hasonló környezeti feltételek mellett, ie ugyanazon faj különböző szennyezettségi viszonyok közötti összehasonlítására alkalmas. Azaz nem általánosíthatók az APTI értékek különböző klimatikus viszonyok között, a kapott értékek helyspecifikusak, melyet korábbi publikációk is igazoltak (Enitan et al. 2022, Kour & Adak 2023). Ugyanazon növényfaj APTI-értéke különböző földrajzi régiókban is eltérhet (Sharma et al. 2017).

Felhasznál irodalom:

- Enitan, I.T., Durowoju, O.S., Edokpayi, J.N., & Odiyo, J.O. (2022). A Review of air pollution mitigation approach using Air Pollution Tolerance Index (APTI) and Anticipated Performance Index (API). *Atmosphere* 13, 374. <https://doi.org/10.3390/atmos13030374>
- Kour, N., Adak, P. (2023). Role of air pollution tolerance index (APTI) method for green belt development: a review. *Environmental Monitoring and Assessment* 195, 856. <https://doi.org/10.1007/s10661-023-11424-1>
- Sharma, B., Sharma S.S., Bhardwaj, S.K., Kaur, L., Sharma, A. (2017). Evaluation of Air Pollution Tolerance Index (APTI) as a tool to monitor pollution and green belt development: A review. *Journal of Applied and Natural Science* 9, 1637–1643. <https://doi.org/10.31018/jans.v9i3.1414>

2. Hogyan befolyásolhatja a levélfelszíni mikrobiom a pormegkötést és az elemakkumulációt?

Válasz: Becslések szerint átlagosan 10^6 – 10^7 baktérium található a levélfelületen négyzetcentiméterenként, filloszférában jelen lévő baktériumok globális populációja akár 10^{26} sejtből is állhat. A filloszféra gombapopulációjának teljes méretét mindeddig nem becsülték, de kevesebb lehet, mint a baktériumoké (Vorholt 2012). A levélfelületi mikrobiom közösség termelhet extracelluláris polimer anyagokat (EPS), amelyek ragadós biofilmet képeznek a levél felületén és ez elősegítheti a légköri porszemcsék megtapadását, ezáltal növelheti a levél pormegkötő képességét (Flemming & Wingender 2010, Lindow & Brandl 2003), illetve a porral szembeni stressztűrésben is jelentős szerepük lehet (Dang et al. 2024). A mikrobiom közösségek által termelt vegyületek képesek lehetnek különböző fémionok megkötésére vagy

komplexbiztosítására, ami befolyásolhatja az elemek levélfelszíni felhalmozódását és mobilitását (Bashir et al. 2022, Ossola & Farmer 2024, Remus-Emsermann & Schlechter 2018).

Felhasznált irodalom:

- Bashir, I., War, A.F., Rafiq, I., Reshi, Z.A., Rashid, I., Shouche, Y.S. (2022). Phyllosphere microbiome: Diversity and functions. *Microbiological Research* 254, 126888. <https://doi.org/10.1016/j.micres.2021.126888>
- Dang, N., Xing, W., Gai, X., Chen, G. (2024). Modulating phyllosphere microbiome structure and function in *Loropetalum chinense* and *Osmanthus fragrans*: The impact of foliar dust and heavy metals. *Science of The Total Environment* 916, 170250. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2024.170250>
- Flemming, H.C., Wingender, J. (2010). The biofilm matrix. *Nature Reviews Microbiology* 8, 623–633. <https://doi.org/10.1038/nrmicro2415>
- Lindow, S.E., Brandl, M.T. (2003). Microbiology of the phyllosphere. *applied and environmental microbiology* 69, <https://doi.org/10.1128/AEM.69.4.1875-1883.2003>.
- Ossola, R., Farmer, D. (2024). The chemical landscape of leaf surfaces and its interaction with the atmosphere. *Chemical Reviews* 124, 5764–5794. <https://doi.org/10.1021/acs.chemrev.3c00763>
- Remus-Emsermann, M.N.P., Schlechter, R.O. (2018). Phyllosphere microbiology: at the interface between microbial individuals and the plant host. *New Phytologist* 218, 1327-1333. <https://doi.org/10.1111/nph.15054>
- Vorholt, J. Microbial life in the phyllosphere. *Nat Rev Microbiol* 10, 828–840 (2012). <https://doi.org/10.1038/nrmicro2910>

3. Milyen lehetőségek vannak a módszer automatizálására (pl. távérzékeléssel kombinálva)?

Válasz: A távérzékelési módszerekkel kombinálva a doktori értekezésben bemutatott módszerek alkalmasak annak becslésére, hogy mekkora mennyiségű porral kell számolnunk egy városban a fák levelein faj szinten osztályozott kép alapján, a fajspecifikus pormegkötés és a származtatott levélfelületi index alapján. A multispektrális űrfelvételek használata idő- és költséghatékony alternatívát jelent a terepi felmérésekkel szemben, és elfogadható pontossággal tudtak dolgozni multispektrális adat felhasználásával városi fák fajszintű osztályozásakor (Immitzer et al. 2016, Jombo et al. 2020). A városszintű pormegkötés becsléséhez szükség lehet a terepen meghatározható levélfelületi indexre (Leaf Area Index, LAI) vagy a távérzékelési adatokból származtatható normalizált vegetációs index (Normalized Difference Vegetation Index, NDVI) értékeire (Kokubu et al. 2020, Tian et al. 2017). A bemutatott laboratóriumi módszereket kiegészítve távérzékelési módszerekkel kombinálva történt már porbecslés Debrecenre vonatkozóan. Debreceni fás zöldfelületre vonatkoztatva a pormegkötés átlagos értéke 6,78 kg/ha között volt, mely során a LAI értéke a WorldView–2 felvétel adataiból számított NDVI alapján lett megbecsülve (Molnár 2022).

Felhasznált irodalom:

- Immitzer, M., Vuolo, F., Atzberger, C. (2016). First Experience with Sentinel-2 Data for Crop and Tree Species Classifications in Central Europe. *Remote Sensing* 8, 166. <https://doi.org/10.3390/rs8030166>
- Jombo, S., Adam, E., Byrne, M. J., Newete, S.W. (2020). Evaluating the capability of WorldView–2 imagery for mapping alien tree species in a heterogeneous urban environment. *Cogent Social Sciences* 6, 1754146. <https://doi.org/10.1080/23311886.2020.1754146>
- Kokubu, Y., Hara, S., Tani, A. (2020). Mapping seasonal tree canopy cover and leaf area using WorldView–2/3 Satellite Imagery: A megacity-scale case study in Tokyo urban area. *Remote Sensing* 12, 1505. <https://doi.org/10.3390/rs12091505>
- Molnár, V.É. (2022). A pormegkötés mennyiségi és térbeli eloszlásának becslése városi fák levelein Debrecenben. Doktori disszertáció. Debreceni Egyetem, Földtudományok Doktori Iskola.
- Tian, J., Wang, L., Li, X., Gong, H., Shi, C., Zhong, R., Liu, X. (2017). Comparison of UAV and WorldView–2 imagery for mapping leaf area index of mangrove forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 61, 22-31. [10.1016/j.jag.2017.05.002](https://doi.org/10.1016/j.jag.2017.05.002)

4. Hogyan integrálhatóak az eredmények városi zöldinfrastruktúra-tervezési modellekbe?

Válasz: Mindenképpen irányt szeretnénk mutatni a bioindikációs alapú vizsgálatainkkal, hogy melyek azok a fajok, melyek a szennyező anyagok akkumulációjára képesek, azaz a szennyezésre kevésbé érzékeny, toleráns fajok, így ipari területeken, ipari körzetekben 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 részét képezik, akkor természetvédelmi, természetmegőrzési szempontból is hasznos információkat tudunk szolgáltatni a város vezetői felé.

Még egyszer köszönöm Prof. Dr. Vasas 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