

Válasz dr. Takács Erzsébet, az MTA kémia tudományok doktorának bírálói véleményére

Szeretném köszönetemet kifejezni dr. Takács Erzsébet professzorasszonynak a dolgozatom átolvasására és bírálatára fordított időért és munkáért.

Köszönöm a Bíráló általános, formai és tartalmi kritikai észrevételeit. A jelzett hiányosságokra (táblázatok és ábrák hiányos feliratozása, esetenként nem megfelelő szóhasználat) vonatkozó észrevételei jogosak és megalapozottak.

Az 'Észrevételekre' a következőképpen szeretnék reflektálni:

Megjegyzés

Az Irodalmi áttekintés (összesen 20 oldal) első fejezete a levegőszennyeződés részletes leírása, a következő két fejezetben kitér a szennyezett levegő egészségügyi, illetve ökológiai hatásaival foglalkozó közlemények legfontosabb eredményeinek ismertetésére. Az irodalmi áttekintés legnagyobb részében, 16 oldalon az ökotoxikológiai vizsgálatokkal kapcsolatos közlemények eredményeit foglalja össze. Először áttekintést ad a különböző ökotoxikológiai vizsgálatokról, majd 11 oldalon - a jelölt által is alkalmazott - *Vibrio fischeri* biolumineszcencia gátláson alapuló teszt alkalmazásával kapott közlemények legfontosabb eredményeit írja le.

Kritikai értékelés azonban nagyon kevés helyen található. Felsorolja a szerzőket, a méréseket és az eredményeiket. Kitér az általa is alkalmazott kinetikus teszt leírására is, amelyet a 2000-es évek elején kezdtek alkalmazni, majd 2010-ben készült hozzá szabvány is. Hiányolok egy összefoglalást az Irodalmi áttekintés végéről, amiben Kovács Nóra kifejthette volna, hogy milyen rést pótol be az általa kifejlesztett módszer.

Kísérletek főcím alá kerültek a disszertáció további fejezetei, összesen 78 oldalon. A cím alapján azt vártam, hogy az eredmények bemutatása következik ebben a fejezetben, azonban nem azzal kezd. Az első néhány oldal, az első alfejezet inkább az Irodalmi összefoglalásba illett volna és ez így van a többi esetben is, amikor új témát kezd. Ezekben a bevezető részekben írja le, ami az Irodalmi összefoglalóból hiányzik. Az első ilyen bevezetésben azokat az alkalmazásokat tekinti át, ahol a *Vibrio Fischeri* biolumineszcens baktériumokat fémek, illetve szerves szennyezők toxicitásának jellemzésére használták. Ezen a néhány oldalon kritikai összefoglalásban mutatja be a különböző alkalmazásokat, megemlítve azok hiányosságait és megindokolva az általa kidolgozott, direkt kontakt teszt létjogosultságát.

Válasz

Az Irodalmi áttekintésben megemlített, a konvencionális módszert alkalmazó szerzők inkább a *Vibrio* teszt előnyeit emelik ki (pl. korreláció egyes szennyezőkkel vagy a szennyezés térbeli eloszlásának kimutatása). A konvencionális protokoll jelentette hiányosságokat, bizonytalanságokat elsősorban már a Flash rendszer beüzemelése után, saját tapasztalataim alapján tudtam értékelni és megfelelő kritikával szemlélni. 'A Flash tesztprotokoll

továbbfejlesztése PM minták ökotoxikus hatásának becslésére’ c. fejezetben a protokoll kidolgozásának szükségességét indoklom, kitérve azokra a bizonytalanságokra, amelyekkel a konvencionális *Vibrio* teszt alkalmazása jár (konvencionális alatt folyadékfázisból, azaz értelemszerűen valamilyen extraktumból végzett mérést értek).

A ’Kísérletek’ fejezetben a direkt kontakt teszt általam megvalósított alkalmazásait tárgyalom. Ezek az alkalmazások nagyon sok olyan különböző területet ölelnek fel, ahol a levegőszennyezés minősítése, a kibocsátó források és az általuk jelentette terhelés vizsgálata fontos lehet. Jellegüket tekintve ezek az alkalmazások rendkívül eltérőek, a közlekedés jelentette emissziótól a konyhai tevékenység során keletkező kibocsátásokig. Ezért szerepel a probléma rövid leírása az adott vizsgálat tárgyalása során.

Megjegyzés

A direkt kontakt teszt „összevetésével” két helyen is foglalkozik a Kísérletek fejezetben. Először a 33. oldalon, ahol az alfejezet címe: A Flash tesztprotokoll továbbfejlesztése PM-minták ökotoxikus hatásának becslésére. Másodszor a 37. oldalon, ahol az alcím: A direkt kontakt teszt összevetése. Az első megfogalmazás kissé zavaros, ebből számomra nem derült ki, hogy valójában mit csinált. A második megfogalmazásból már megértettem, hogy összehasonlított két szabványt. Az egyik, amely alapján kifejlesztette a direkt kontakt tesztet, ez a Flash rendszer, a másik pedig ToxAlert 100 rendszer, amelynél az ökototoxicitást extraktumokon vizsgálják. Nem világos számomra, hogy mi a különbség a Flash rendszer és az ez alapján kifejlesztett direkt teszt között. Erre szeretnék választ kapni!

Válasz

A Lappalainen et al. (1999, 2001) által kifejlesztett módszer valamennyi olyan minta vizsgálatára alkalmas, amely színes és/vagy turbid, azaz szemcséket tartalmaz. Ezt a gyakorlatban elsősorban talaj- és üledékminták (pl. Pöllumaa et al. 2000, 2004), valamint szennyvíz vizsgálatára alkalmazták (pl. Drenkova-Tuhtan et al. 2024). A szilárd mintából szuszpenzió készül, amelyhez hozzáadva a baktériumokat ezek közvetlen kontaktusban lesznek a potenciálisan toxikus szemcsékkel. Ezt a módszert adaptáltuk olyan szilárd minta vizsgálatára, ahol a közeg a kvarcszálalás filter és a rajta megkötött szálló por. Az angol szakirodalomban a specifikusabb ’whole aerosol test’ elnevezést használjuk. Ezt az elnevezést a ’whole sediment test’ (Liß és Ahlf 1997; Traunspurger et al. 1997) mintájára alkottam meg.

Hivatkozások

- Drenkova-Tuhtan, A., Sihtmäe, M., Uke, K., Vija, H., Oppmann, M., Prieschl, J., ... & Kahru, A. (2024). Synthesis and ecotoxicity screening of reusable, magnetically harvestable metal oxide/hydroxide nanocomposites for safe and sustainable removal and recovery of phosphorus from wastewater. *Journal of Cleaner Production*, 444, 141287.
- Liß, W., & Ahlf, W. (1997). Evidence from whole-sediment, porewater, and elutriate testing in toxicity assessment of contaminated sediments. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 36(2), 140-147.

- Pöllumaa, L., Kahru, A., Eisenträger, A., Reiman, R., Maloveryan, A., & Rätsep, A. (2000). Toxicological investigation of soils with the solid-phase Flash assay: comparison with other ecotoxicological tests. *Alternatives to Laboratory Animals*, 28(3), 461-472.
- Pöllumaa, L., Kahru, A., & Manusadzianas, L. (2004). Biotest—And chemistry-based hazard assessment of soils, sediments and solid wastes. *Journal of Soils and Sediments*, 4(4), 267-275.
- Traunspurger, W., Haitzer, M., Höss, S., Beier, S., Ahlf, W., & Steinberg, C. (1997). Ecotoxicological assessment of aquatic sediments with *Caenorhabditis elegans* (Nematoda)—A method for testing liquid medium and whole-sediment samples. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(2), 245-250.

Megjegyzés

Azonos módszerrel vett mintákon összehasonlította a direkt teszttel kapott ökotoxicitás értékeket a különböző oldószerekkel (víz és 4 szerves oldószer) extrahált mintákkal mért értékekkel. A legkisebb toxicitást a vizes extraktumok mutattak, a direkt teszttel kapott értékek a metanolos extraktumokéhoz hasonló, elég nagy toxicitást mutattak, a másik három szerves oldószerekkel extrahált minta toxicitása még nagyobb volt.

Az összehasonlító mérésekből a jelölt azt a következtetést vonja le, hogy a kontakt teszt relevancia szempontjából lényegesen korrektebb, mint az extrakciót alkalmazó tesztek, hiszen a természetben a hatásviselő szervezetek nem metanolos vagy diklórmétános extraktum formájában találkoznak a szálló por jellegű szennyezéssel. Ezzel a következtetéssel egyetértek. Nem értelmezi azonban, hogy miért a metanolos extraktummal kapott értékekhez állnak legközelebb a direkt kontakt teszttel kapott eredmények.

Válasz

A DMSO, a DCM és a metanol közül a metanol képes legkevésbé kioldani a PAH-okat, feltehetően a DMSO-val és DCM-el készült kivonatokhoz képest kisebb a kioldott mennyiség. Ez okozhatja az alacsonyabb, direkt kontakt teszthez hasonló értéket.

Megjegyzés

Budapesten vett, városi aeroszol mintákon téli és nyári ökotoxicitás értékeket hasonlították össze, télen jóval toxikusabbnak találták a mintákat, mint nyáron. Szegeden és Budapesten gyűjtött mintákon városi aeroszol toxicitásának napszakos mintázatát elemezte. Szegeden 69, Budapesten 34 mintát gyűjtöttek. Ebből az adathalmazból annyi következtetést vont le, hogy Budapesten napközben 11 és 17 óra között a legalacsonyabb az aeroszol ökotoxicitása, a többi napszakokban magasabb. Ez különösen azért érdekes, mert Budapesten olyan helyen vettek mintát, ahol a közlekedésből a lakások fűtéséből és ipari kibocsátásból is származott a levegő szennyeződés. Az adatokra magyarázatot az irodalomban keresett, de nem talált, egyéb összefüggéseket nem keresett, az eredményeket nem nagyon értelmezte.

Válasz

Az irodalomban hasonló felbontású adatokat, ill. magyarázatot az európai városi népesség napszakos aktivitásával összeköthető levegőszennyezési mintázatra valóban nem találtam, sem a dolgozat megírásának az idején, sem most. Közelítő magyarázat lehet Tsekeri et al. 2025-ben megjelent cikke, mely szerint a városi levegőszennyezés összeköthető a közlekedés, ezen belül is az ingázás/munkába járás időszakos mintázatával. Józan ésszel megfontolva, valóban magyarázhatta a Budapesten napközben 11 és 17 óra között mért legalacsonyabb ökototoxicitást az a tény, hogy feltehetően ez az az időszak, amit a lakosság zárt helyen (iskola, munkahely) tölt. Pusztán csak a józan észre alapozott magyarázatot, megfelelő irodalmi alátámasztás nélkül, nem tartottam indokoltnak a dolgozatba beilleszteni.

Hivatkozás

Tsekeri, E., Lilli, A., Lazaridis, M., & Kolokotsa, D. (2025). Air pollution in the urban built environment: A comprehensive evaluation. *Atmospheric Pollution Research*, 102797.

Megjegyzés

A levegő optikai tulajdonságain alapuló mérőműszer kalibrálása címmel néhány sorosra sikerült fejezet került a disszertációba, amelyben leírja, hogy a direkt kontakt teszt szolgáltatotta az alapot egy új, a levegő optikai tulajdonságain alapuló mérőműszer kalibrálásához. Ennek alapján, first screening jelleggel indikálhatják a levegő ökototoxicitását. Az idézett közleményből (Pintér et al., 2017) legalább az 1. ábrát be lehetett volna illeszteni a szövegbe, de jobb lett volna ezt a fejezetet elhagyni.

Válasz

Az ábra, amely az AAE és ökototoxicitás napszakos változását mutatja be, valóban informatív lehetett volna, ugyanakkor nem képezi a szellemi tulajdonomat. Az elvégzett mérésorozatra alapozott következtetések bemutatását azért tartottam ugyanakkor fontosnak, mivel ez egy olyan úttörő munkának bizonyult, amely szerint az AAE, azaz a levegő optikai tulajdonságai összefüggésbe hozhatók az ökototoxicitással.

Megjegyzés

Az Ökototoxicitás vizsgálata városi környezetben című fejezetben további két alfejezet foglalkozik városi aeroszolokkal. Ez különbözik az előző, hasonló témájú fejezetektől egyrészt a helyszínen, mert az utóbbi fejezetekhez külföldön készültek a mérések, másrészt abban is, hogy a mintákat több módszerrel jellemezték, mint a Magyarországon vett mintákat.

A Városi PM morfológiai, kémiai és ökotoxikológiai jellemzése című fejezetben, ahol a Coimbra városában végzett méréseket mutatja be, az értékelés sokkal részletesebb, mint a magyarországi mérések esetében, próbál összefüggéseket keresni. Ez az előző fejezetből majdnem teljesen hiányzik. A toxicitás mellett ebben a részben analízis, illetve elemanalízis eredmények is vannak, ezek hiányát is érezni az előző fejezetben. Ebből a fejezetből viszont hiányolom az adatokat, sem ábra, sem táblázat nem került ide.

Hasonló gond van a következő alfejezettel is. A Téli minták napszakos mintázatának elemzése című fejezetben, amely ugyancsak Portugáliában készült mérésekről szól, ismét csak értékelés található, az adatokat sem ábrán, sem táblázatban nem mutatja be. Az értékelés azonban itt is alaposabb, mint a Magyarországon végzett mérések esetében. Részletezi, hogy mi állhatott az adatok hátterében.

A PM_{2,5} toxicitásának vizsgálata ipari területen című fejezethez a mérések Brazíliában készültek. Eredményeket, adatokat, ábrákat, vagy táblázatokat itt sem találunk, csak az eredményekből levont következtetéseket.

Válasz

A kérdéses publikációk jelentős nemzetközi együttműködésben készültek. Az Aveiroi Egyetem Környezettudományi Tanszékén létrejött kutatócsoport (Centre for Environmental and Marine Studies (CESAM)) olyan mérési kapacitással rendelkezik, ami lehetővé tette az általunk jellemzően nem mért paramétereken túl további összetevők analitikai vizsgálatát. Így lehetségessé vált a bonyolultabb összefüggések feltárása.

Ugyanakkor, mivel a közös mérésekből készült táblázatoknak kis szegmensét teszik ki a *Vibrio* teszt eredményei, nem éreztem etikusnak a teljes táblázat szerepeltetését.

Megjegyzés

A Hulladékégetéssel foglalkozó fejezet az ebből származó aeroszlok toxicitásával foglalkozik. Különféle polimer hulladékot, rongyot, autógumit és bútorlapot égettek ellenőrzött körülmények között. A PVC égetésekor erősen toxikus gáz képződött. Az akrilnitril az ABS (akrilnitril-butadién-sztirol) és egyik bútorlap égetésekor is toxikus gázok fejlődtek. Ezeknek az anyagoknak a toxicitás és PAH értékei is nagyok voltak, a PP és PS minták esetében a nagy PAH értékek ellenére kicsik voltak a toxicitás értékek. Erre nem ad magyarázatot a pályázó.

Válasz

Az irodalomban fellelhető tanulmányok nem adnak egyértelmű magyarázatot a *Vibrio fischeri* tesztorganizmnek PAH-okra mutatott érzékenységére. A dolgozatban hivatkozott tanulmányok (El-Alawi et al. 2002; Hirmann et al. 2007) szerint a tesztorganizm általánosságban érzékeny ezekre a szerves komponensekre. Az egyedi PAH-okra viszont rendkívül eltérő *Vibrio* EC₅₀-értékeket közöltek le. Wang et al. (2016) szerint fenantrénre, a levegőben egyik leggyakrabban előforduló (England et al. 2024) PAH-ra az EC₅₀ 1,46 µM, míg a benzapirén, az egyik legtoxikusabb és bizonyítottan karcinogén PAH nem váltott ki mérhető ökototoxicitást.

Az ABS, PP, és PS minták PAH tartalma eltérő mintázatot mutat, éppen a fenantrén tartalomban van jelentős különbség. A PS mintához viszonyítva az ABS minta egy, míg a PP mintához képest két nagyságrenddel nagyobb emissziós faktorral rendelkezik (Hoffer et al. 2020). Ez hozzájárulhatott a mért toxicitáshoz.

Hivatkozások

- El-Alawi, Y. S., McConkey, B. J., Dixon, D. G., & Greenberg, B. M. (2002). Measurement of short-and long-term toxicity of polycyclic aromatic hydrocarbons using luminescent bacteria. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, 51(1), 12-21.
- England, E., Morris, J. W., Bussy, C., Hancox, J. C., & Shiels, H. A. (2024). The key characteristics of cardiotoxicity for the pervasive pollutant phenanthrene. *Journal of Hazardous Materials*, 469, 133853.
- Hirrmann, D., Loibner, A. P., Braun, R., & Szolar, O. H. (2007). Applicability of the bioluminescence inhibition test in the 96-well microplate format for PAH-solutions and elutriates of PAH-contaminated soils. *Chemosphere*, 67(6), 1236-1242.
- Hoffer, A., Jancsek-Turóczy, B., Tóth, Á., Kiss, G., Naghiu, A., Levei, E. A., ... & Gelencsér, A. (2020). Emission factors for PM 10 and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from illegal burning of different types of municipal waste in households. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(24), 16135-16144.
- Wang, Y., Yang, X., Wang, J., Cong, Y., Mu, J., & Jin, F. (2016). A DFT-based toxicity QSAR study of aromatic hydrocarbons to *Vibrio fischeri*: Consideration of aqueous freely dissolved concentration. *Journal of Hazardous Materials*, 308, 149-156

Megjegyzés

Érdemes lett volna például a polimerek kémiai szerkezetét megnézni, a PVC és az akrilnitril esetében esetleg találhatott volna a toxicitásukra magyarázatot. Erősen toxikus gázokat azonosítottak PET palackok égetésekor. Érdekes, hogy amikor kétkomponensű mintákat égettek, a PET, PP keverék toxicitása nem volt nagy. Magyarázatot itt sem talált.

Válasz

Polietilén tereftalát (PET), polisztiirén (PS), polipropilén (PP), polietilén (PE), poliuretán (PU), polivinil-klorid (PVC), rongy (RAG), akrilonitril butadién sztíren (ABS), autógumi (Tyre, TR), ill. bútortapok (Oriented Strand Board, OSB és low-density fiberboard, LDF) minták ellenőrzött körülmények között történő égetése során az ABS minta PAH tartalma volt a legmagasabb (257 mg ΣPAHs/kg), továbbá ez az emisszió fenantrénre kiugróan magas emissziós faktorral rendelkezett. A fenantrén a *Vibrio* tesztszervezetre bizonyítottan ökotoxikus hatással bír (Wang et al. 2016). Az általunk kapott ΣPAH értékhez igen hasonló kibocsátást mért Wu et al. (2021).

ABS égetése során jellemzően keletkező, toxikus gáz a hidrogén-cianid (Hermouet et al. 2021). Giorio et al. (2017) szerint a HCN a PM2.5 frakcióban is megtalálható. Irodalmi adatok szerint ABS égetésekor jelentős mennyiségű, részben PM-hez kötött polibrómozott-difenil (bifenil)-éterek (PBDE, PBBE) szabadulnak fel (Ni et al. 2016).

Ezen vegyületek mérésére nem volt lehetőségünk. Nem ismert a PBDE *Vibrio* tesztszervezetre gyakorolt ökotoxicitása.

PVC minta égetésekor jelentős Zn és Cd tartalmat azonosítottunk az emisszióban. A kalcium-cink stabilizátorok a PVC-feldolgozásban használt hőstabilizátorok, amelyek fenntartják, sőt

javítják a PVC térfogati ellenállását. A kadmiumot korábban stabilizátorként alkalmazták, az EU-ban a REACH rendelet értelmében PVC-ben való alkalmazása jelenleg nem engedélyezett. Európán kívül ugyanakkor lehet találkozni Cd-tartalmú PVC-vel, így például Alam et al. (2018) kínai műanyagzacskókban jelentős Cd koncentrációt mért. A hasznosított (újrahasznosított) PVC-termékek Cd tartalma is mérhető környezeti kockázattal jár (Han et al. 2024). Ezen nehézfémek szinergista hatása véleményem szerint nagymértékben hozzájárult a kapott ökototoxicitás értékéhez. Fontosnak tartanám ugyanakkor kiemelni, hogy a PVC jellege meghatározhatja a minta várható toxicitását: Valavanidis et al. (2008) pl. PVC ellenőrzött égetése során az emisszióban kadmiumot nem mutatott ki.

Klórtartalma miatt a PVC égetésekor bizonyítottan toxikus poliklórozott dibenzo-p-dioxinok and dibenzofuránok (PCDD/F) keletkeznek (Sanchez-Hervas et al. 2005, Zhang et al. 2021). Ezen vegyületek mérésére nem volt lehetőségünk.

A PET palackok égetésekor saját mintavételi és égetési protokollunkat követtük, mely szerint adott mennyiségű hulladékot égetünk el kontrollált körülmények között, Servant S114, 5kW típusú vaskályhában. A Mentés et al. (2022) cikkben vizsgált PET + PP minta égetéséhez Hőker Cső 350/900 elektromos kályhát alkalmaztak, a mi gyakorlatunktól eltérő égetési körülmények között. A mintaelőkészítési és mintavételi eljárások különbözősége eltérő mennyiségű szálló por részecskét eredményezhetett.

Hivatkozások

- Alam, O., Billah, M., & Yajie, D. (2018). Characteristics of plastic bags and their potential environmental hazards. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 121-129.
- Giorio, C., Marton, D., Formenton, G., & Tapparo, A. (2017). Formation of metal–cyanide complexes in deliquescent airborne particles: a new possible sink for HCN in urban environments. *Environmental Science & Technology*, 51(24), 14107-14113.
- Han, X., Gao, Y., Yang, L., Wei, J., Li, X., Wang, L., & Zhang, X. (2024). Are recyclable plastics eco-friendly? Recycled PVC microplastics show higher toxicity than pristine PVC on *Vallisneria natans*, regardless of Cadmium. *Aquatic Toxicology*, 273, 107024.
- Hoffer, A., Jancsek-Turóczy, B., Tóth, Á., Kiss, G., Naghiu, A., Levei, E. A., ... & Gelencsér, A. (2020). Emission factors for PM 10 and polycyclic aromatic hydrocarbons (PAHs) from illegal burning of different types of municipal waste in households. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 20(24), 16135-16144.
- Ni, H. G., Lu, S. Y., Mo, T., & Zeng, H. (2016). Brominated flame retardant emissions from the open burning of five plastic wastes and implications for environmental exposure in China. *Environmental Pollution*, 214, 70-76.
- Sanchez-Hervas, J. M., Armesto, L., Ruiz-Martinez, E., Otero-Ruiz, J., Pandelova, M., & KW, S. (2005). PCDD/PCDF emissions from co-combustion of coal and PVC in a bubbling fluidised bed boiler. *Fuel*, 84(17), 2149-2157.
- Valavanidis, A., Iliopoulos, N., Gotsis, G., & Fiotakis, K. (2008). Persistent free radicals, heavy metals and PAHs generated in particulate soot emissions and residue ash from controlled

- combustion of common types of plastic. *Journal of Hazardous Materials*, 156(1-3), 277-284.
- Wang, Y., Yang, X., Wang, J., Cong, Y., Mu, J., & Jin, F. (2016). A DFT-based toxicity QSAR study of aromatic hydrocarbons to *Vibrio fischeri*: Consideration of aqueous freely dissolved concentration. *Journal of Hazardous Materials*, 308, 149-156
- Wu, D., Li, Q., Shang, X., Liang, Y., Ding, X., Sun, H., ... & Chen, J. (2021). Commodity plastic burning as a source of inhaled toxic aerosols. *Journal of Hazardous Materials*, 416, 125820.
- Zhang, M., Fujimori, T., Shiota, K., Li, X., & Takaoka, M. (2021). Formation pathways of polychlorinated dibenzo-p-dioxins and dibenzofurans from burning simulated PVC-coated cable wires. *Chemosphere*, 264, 128542.

Megjegyzés

Beltéri levegőminőség jellemzése a címe a következő fejezetnek, amelyhez a Fűtés és a Főzés alfejezetek tartoznak. A fűtés alfejezethez tartozó kísérletek egy részét (tüzelés biomasszával) Portugáliában végezték. Vaskályhából (zárt tüzelés) és kandallóból (nyílt tüzelés) vettek mintát és citotoxicitást, valamint *Vibrio Fischeri* tesztet alkalmaztak a minősítésre. Adatokat nem, csak a két mérés eredményeire kapott korrelációs koefficienseket közölnek. Később toxicitás értékek is vannak, amikor pellettek égetésekor keletkezett füstöt minősítették. Az akáciából készült pellet rendkívül nagy toxicitását sajnos nem értelmezi Kováts Nóra.

Válasz

A szóban forgó faj az *Acacia longifolia* (Andrews) Willd., egy Ausztráliában őshonos, Portugáliában megtelepedett és invazív faj. Az *Acacia* nemzetség tagjai Magyarországon nem honosodtak meg, tehát ilyen jellegű kockázatot nem fognak jelenteni. A probléma elsősorban Portugáliában lehet kiemelt, hiszen az akácia erdők területe egy 2023-as adat szerint 16 600 hektár (Colaço et al. 2023), ahol jelentős az erdőtüzek veszélye, továbbá fűtésre is gyakran alkalmazott fafajta.

Bár több tanulmány is igazolja az égése során keletkező emisszió magas toxicitását, így például egy 2025-ben megjelent cikkünkben azt mutattuk ki, hogy az akácia erdők égése során is igen toxikus emisszió keletkezik (Vicente et al. 2025), az irodalomban nincs teljesen megfelelő magyarázat ennek okára. Egyes szerzők a nehézfém-tartalom mérésével próbálták magyarázni (pl. Flener et al. 2022), ám sikertelenül. Vicente et al. (2019) egy korábbi, kifejezetten az akácia pelletek égetésekor keletkezett emisszió szerves frakciójának elemzése során a más fafajokhoz képest jóval magasabb retén tartalommal indokolja a magas toxicitást.

Hivatkozások

- Colaço, M. C., Sequeira, A. C., & Skulska, I. (2023). Genus *Acacia* in mainland Portugal: Knowledge and experience of stakeholders in their management. *Land*, 12(11), 2026.
- Flener, U., Hrbek, J., & Hofbauer, H. (2022). Emission characteristics from the combustion of *Acacia Mangium* in the automatic feeding pellet stove. *Renewable Energy*, 186, 183-194.

- Vicente, E. D., Vicente, A. M., Evtyugina, M., Carvalho, R., Tarelho, L. A. C., Paniagua, S., ... & Alves, C. (2019). Emissions from residential pellet combustion of an invasive acacia species. *Renewable Energy*, 140, 319-329.
- Vicente, E. D., Figueiredo, D., Gonçalves, C., Kováts, N., Hubai, K., Sainnokhoi, T. A., ... & Alves, C. (2025). Toxicological screening of PM_{2.5} from wildfires involving different biomass fuels. *Environmental Pollution*, 370, 125887.

Megjegyzés

Hiányolok egy összefoglalást az Irodalmi áttekintés végéről, amiben Kováts Nóra kifejtette volna, hogy milyen rést pótol be az általa kifejlesztett módszer.

Válasz

Köszönöm a felvetést. Ki lehetett volna jobban hangsúlyozni, elsősorban az Irodalmi áttekintésben leírt különböző protokollokkal összevetve, hogy a Flash rendszer bevezetése előtt nem létezett olyan megbízható eljárás, amely szilárd fázisú minta – légköri szálló por – minősítésére alkalmas.

Megjegyzés

A rövidítések jegyzéke nem teljes, hiányzik pl. az SOS magyarázata.

Válasz

Quillardet eredeti cikkében (Quillardet et al. 1982), amelyben először leírja az SOS Chromotest elvét, bevezetését, utal Radman 1975-ben megjelent munkájára, amelyben a DNS kijavítását szolgáló bakteriális mechanizmust SOS mechanizmusként említi. Az SOS a közismert ‘Save Our Souls’ vészjelzésből származik. Ezek után sem a hivatkozott Quillardet et al. cikk, sem az SOS Chromotest-el foglalkozó többi publikáció sem ad magyarázatot a betűszóra, feltehetőleg annyira általánosan ismertnek tételezvé fel.

Hivatkozások

- Quillardet, P., Huisman, O., D'ari, R., & Hofnung, M. (1982). SOS chromotest, a direct assay of induction of an SOS function in *Escherichia coli* K-12 to measure genotoxicity. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 79(19), 5971-5975.
- Radman, M. (1975). SOS Repair Hypothesis: Phenomenology of an Inducible DNA Repair Which is Accompanied by Mutagenesis. In: Hanawalt, P.C., Setlow, R.B. (eds) *Molecular Mechanisms for Repair of DNA*. Basic Life Sciences. Springer, Boston, MA.

Megjegyzés

Az idegen szavak magyarázatát jó lett volna első említésükkor megmagyarázni, pl. szesszilis, sztóma (növények esetén). Mivel elég nagy számban használt idegen szavakat és azokat többször is említette, megkönnyítette volna az olvasó dolgát, ha készít egy összeállítást az idegen szavak értelmezéséből.

Válasz

A felvetéssel részben értek egyet. Véleményem szerint az alkalmazott szakkifejezések a természettudományos háttérrel rendelkező szakemberek számára egyértelműek.

Megjegyzés

42. oldal, a 8. ábra alatt írja: A vizes extraktumban nemcsak az ökototoxicitás értéke, hanem az analitikailag kimutatott PAH-ok koncentrációja is a legalacsonyabb volt. Az ökototoxicitás valóban a vizes extraktumban a legkisebb, a 4. táblázat eredményei alapján. A naftalinok nélkül mért PAH koncentráció is a legkisebb, azonban az összes PAH koncentráció a DMSO extraktumban mért érték után a második legnagyobb.

Válasz

A vizes extraktumban nemcsak az ökototoxicitás értéke, hanem az analitikailag kimutatott, naftalinokat nem tartalmazó PAH-ok koncentrációja is a legalacsonyabb volt.

Megjegyzés

A 8. ábra nehezen értelmezhető számomra, mivel nem derül ki, mi a különbség a C1, C2....C12, D1, D2 stb. minták között.

Válasz

A betű/szám kombináció a mikropléten elfoglalt helyet jelzi; a szám a hígítási sorban elfoglalt helyre utal (pl. C1 kontrol, C2-C12 csökkenő koncentráció).

Megjegyzés

A 9. és 10. ábra esetén az ábrákon két adatsor van és 2 y tengely. Az ábra érthetőségét megkönnyítette volna, ha nyilakkal jelzi, melyik adatsor melyik tengelyhez tartozik. A 10. ábra esetén az ábra és a szöveg között ellentmondás van. Az ábra szerint mintavételt augusztus 31-ig végeztek, míg a szöveg azt állítja, hogy augusztus 14-ig.

Válasz

A könnyebb értelmezhetőséget segítette volna, ha feltüntetem, hogy a fentről lefelé csökkenő értékek (az ábra bal oldala) az EC_{50} , míg a lentől felfelé növekvő értékek (az ábra jobb oldala) a PM10 koncentráció adatokra vonatkoznak. A mintavételi kampány záró dátuma augusztus 31. volt.

Megjegyzés

54. oldal, 7. táblázat: A Spearman korrelációs koefficiens értékek jelentése számomra ismeretlen, magyarázatra szorult volna.

Válasz

A táblázat címében ill. magyarázatában a megjelent publikációinkban megszokott formát követtem. A Spearman-korrelációs koefficiens értékek magyarázata: Szignifikáns korreláció a

választott $p < 0.01$ szignifikanciaszint esetében és szignifikáns korreláció a választott $p < 0.05$ szignifikanciaszint esetében.

Megjegyzés

A 15. táblázatban hiányzik a címsor, ezért nem világos, hogy a 3 oszlop értékei mit jelentenek. Sajnos a szövegben sincsen rá magyarázat.

18. ábra: Egyik tengelyen sincsen tengelyfelirat, sem mértékegység. A sok kis ábra valami tendenciát mutat, de jobb helye lett volna mellékletben, mert nem igazán informatív.

A 96. oldalon lévő táblázatnak száma és címe sincsen.

Válasz

Bár a szövegben történik utalás a P1-P3 mintavételi pontokra, ezt a táblázatban ki kellett volna emelnem.

A 18. ábra különböző hulladékok égetésből származó minták ökotoxicitásának elemzésekor kapott kinetikus diagramok összesítését adja meg. Hasonlóan az 8. ábrához, az egyes diagramok az adott koncentrációnál mutatott fénykibocsátás lefutását jelzik. Az ábrán feltüntettem az adott hulladék fajtáját.

A 96. oldal adatsorára vonatkozó felvetéssel részben egyetértek. Felsorolás helyett szerencsésebb lett volna táblázatként hivatkozni az adatokra.

Megjegyzés

A doktori disszertációktól abban tér el leginkább, és ez nagy hiányossága a dolgozatnak, hogy sem a dolgozat, sem a téziszfüzet nem tartalmaz téziseket. Az MTA Kémiai

Tudományok Osztályának doktori követelményrendszere előírja: „A doktori mű és a tömör pontokba szedett tézisek bemutatják a pályázónak a tudomány továbbfejlődéséhez hozzájáruló eredményeit, egyértelműen megadva, hogy a disszertációban és a munkákhoz kapcsolódó közleményekben mi volt a pályázó részvétele.”

A saját tudományos eredményekre épülő tézispontokhoz meg kell adni a kapcsolódó közlemény(ek)e)t. A disszertációban nem csak tézisek nincsenek, nincs a közleményeinek listája sem.

Válasz

Az MTA Kémiai Tudományok Osztályának 2020. szeptember 25-től 2025. október 31-ig érvényben lévő doktori minimumkövetelményei szerint:

Tézisek: az új tudományos eredmények rövid, tömör, tézispontokba szedett összefoglalása. Az irodalmi áttekintés, a kísérletes módszerek leírása nem részletes, az értékelési eljárások bemutatása vázlatos.... Terjedelme maximum 10 A4-es oldal, kb. 15 – 20 ezer karakter.

Téziszfüzetem elkészítésekor ezt a tartalmi megkötést, ill. terjedelmi korlátot tartottam szem előtt. A 2025. november 1-től hatályos követelményrendszer rendelkezik arról, hogy ‘Az egyes tézispontokhoz meg kell adni a kapcsolódó közlemény(ek)e)t...’.

A tézispontok megfogalmazásánál arra törekedtem, hogy a tételek önmagukban is elegendő információt közvetítsenek, a dolgozat egészének elolvasása nélkül.

Megjegyzés

A pályázó a részvételét a disszertációban és a hozzá tartozó közleményekben az összefoglalásban adja meg: az értekezés alapjául szolgáló közlemények az általa kidolgozott mérési protokollon alapulnak. A tudomány továbbfejlődéséhez hozzájáruló eredményeiből annyit tudtam megállapítani, hogy kifejlesztett egy mérési protokollt, bár a dolgozat témája nem a protokoll kifejlesztése, hanem annak validálása. Mivel a közlemények zömének sok szerzője van és többségükben nem első (és nem utolsó) szerző Kováts Nóra, ezért szükség lenne annak bővebb kifejtésére, hogy mi volt az ő részvétele, szerepe a cikkekben.

Válasz:

A 'Célkitűzések' c. fejezetben a következő szerepel:

'Laboratóriumunkban olyan teszteljárást dolgoztam ki, amely lehetővé teszi a légköri szennyezők közül a szálló por elemzését, figyelembe véve az említett mintaelőkészítési nehézségeket.

A bemutatott munka egyik alapvető célkitűzése magának a teszteljárásnak a validálása.

Figyelembe véve a levegőszennyezés globális jellegét, további céloom olyan alkalmazási területeknek az ismertetése és diszkutálása, amelyek esetében a teszteljárás valóban új lehetőséget biztosított az adott területen jelentkező problémák feltárására és elemzésére.

Az értekezés ennek megfelelően a fentebb megfogalmazott témakörökhöz kapcsolódó, 22 db referált nemzetközi publikáció eredményein alapul. A kutatások, tanulmányok abból a szempontból közősek, hogy valamennyi a kidolgozott teszteljárást alkalmazza, ugyanakkor a mintavétel körülményei esetenként eltértek. '

Véleményem szerint ebből, az adott publikáció dolgozatban történő bemutatásából, ill. magukból a publikációkból egyértelműen kiderül, hogy személyes kontribúcióm az ökotoxikológiai módszer biztosítása, ill. az ökotoxicitás jellemzése. Ez természetesen részfeladat, a publikációk zömében kiegészítő, bár fontos információ, ezért ezekben a publikációkban nem első vagy utolsó szerzőként vagyok feltüntetve.

Megjegyzés

A munka alapvető célkitűzése is kissé szokatlan, a teszteljárás validálása. Gondom van továbbá az eredmények elemző tárgyalásával. Nem mindenhol keresi a jelenségek okát, magyarázatát. Az adatok értékelése, értelmezése sok helyen nagyon rövid, vagy teljesen hiányzik. Szükséges lett volna egyéb adatokkal, pl. naptári (munkanap – munkaszüneti nap), meteorológiai adatokkal összevetni az eredményeket, így keresve magyarázatot a változásokra, tendenciákra.

Válasz

A felvetéssel részben egyetértek. Ugyanakkor szeretném hangsúlyozni, hogy az egyes munkáknál leírt konklúzió mindig a megjelent, jellemzően magas impaktú folyóiratban leközölt összesített értékelés szellemében született.

Megjegyzés

További kutatási ajánlásokat nem tett a pályázó.

Válasz

A dolgozatban valóban nem szerepelnek további kutatásra vonatkozó ajánlások. Mivel az ökotoxikológiai mérések jellemzően anyagi forrástól függenek, ezek predikciója nehéz, legfeljebb a szándékot lehet megfogalmazni.

A gyakorlatban tovább folytattuk a Mongol Élettudományi Egyetemmel (Mongolian University of Life Sciences) megalapozott együttműködésünket (Sainnokhoi et al. 2024, 2025) illetve az Aveirói Egyetem kutatócsoportjával jól működő kooperációt (Cipoli et al. 2024, 2025, Pereira et al. 2025, Vicente et al. 2025).

Intézményünkön belül az illegális hulladékégetés okozta problémákkal foglalkozom továbbra is, a szennyezések környezettoxikológiai aspektusát vizsgálva (Kakasi et al. 2026).

Kutatásaim másik irányvonala a szálló por fitotoxicitásának, elsősorban magasabbrendű növényekre gyakorolt hatásának vizsgálata, a 227 OECD Guideline for the Testing of Chemicals: Terrestrial Plant Test protokollt adaptálva. Ezt a protokollt eredetileg növényvédőszeres fitotoxicitásának vizsgálatára dolgozták ki (Boutin et al. 2012, Carpenter et al. 2013), a teszt során a mintát permetezéssel juttatják ki a növények hajtására, majd 21-28 napos expozíció után növekedésgátlás, esetleges mortalitás, ill. látható elváltozások alapján értékeli a fitotoxikus hatást. Az általam kidolgozott adaptáció szerint a kezelésre alkalmazott minta PM vizes kivonata, ilyen módon a szálló poron megkötött potenciálisan fitotoxikus komponensek nedves kiülepedését lehet szimulálni (Kováts et al. 2017). Az érzékenység növelésére új végpontok (fotoszintetikus pigmentek ill. peroxidáz stresszszim) mérését vezettem be (Kováts et al. 2020).

A tesztet alkalmaztuk többek között útmenti növénytársulást alkotó fajok érzékenységének összehasonlítására (Kováts et al. 2021) és hulladékégetésből származó emisszió fitotoxicitásának vizsgálatára (Hubai et al. 2022). Jelenleg azt vizsgáljuk, hogy a levegőszennyezés és egyes környezeti faktorok (pl. vízhiány) milyen együttes hatással bírnak.

Hivatkozások

Boutin, C., Aya, K. L., Carpenter, D., Thomas, P. J., & Rowland, O. (2012). Phytotoxicity testing for herbicide regulation: shortcomings in relation to biodiversity and ecosystem services in agrarian systems. *Science of the Total Environment*, 415, 79-92.

Carpenter, D., Boutin, C., & Allison, J. E. (2013). Effects of chlorimuron ethyl on terrestrial and wetland plants: Levels of, and time to recovery following sublethal exposure. *Environmental Pollution*, 172, 275-282.

Cipoli, Y. A., Rienda, I. C., de la Campa, A. M. S., Kováts, N., Nunes, T., Feliciano, M., ... & Alves, C. (2024). Emission factors, chemical composition and ecotoxicity of PM10 from road dust resuspension in a small inland city. *Water, Air, & Soil Pollution*, 235(11), 748.

- Cipoli, Y. A., Vicente, E. D., Charres, I., Evtyugina, M., Alfosea-Simón, M., Lucarelli, F., Kováts, N.,... & Alves, C. (2025). Comprehensive assessment of PM₁₀ from home heating using different appliances and biomass fuels: Chemical composition, oxidative potential, and ecotoxicity. *Atmospheric Environment*, 121700.
- Hubai, K., Kováts, N., Sainnokhoi, T. A., Eck-Varanka, B., Hoffer, A., Tóth, Á., & Teke, G. (2022). Phytotoxicity of particulate matter from controlled burning of different plastic waste types. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 109(5), 852-858.
- Kakasi, B., Varga, F. J., Tóth, Á., Jancsek-Turóczi, B., Hoffer, A., Nagy, S. T., Kováts, N.,... & Gelencsér, A. (2026). Toxicological characterization of flue gases from closed combustion of conventional solid fuels and co-burned plastic wastes. *Science of the Total Environment*, 1014, 181356.
- Kováts, N., Horváth, E., Eck-Varanka, B., Csajbók, E., & Hoffer, A. (2017). Adapting the vegetative vigour terrestrial plant test for assessing ecotoxicity of aerosol samples. *Environmental Science and Pollution Research*, 24(18), 15291-15298.
- Kováts, N., Fábián, V. A., Hubai, K., Diósi, D., Sainnokhoi, T. A., Békéssy, Z., & Teke, G. (2020). Seasonal differences in rural particulate matter ecotoxicity. *Aerosol Science and Engineering*, 4(3), 169-177.
- Kováts, N., Hubai, K., Diósi, D., Sainnokhoi, T. A., Hoffer, A., Tóth, Á., & Teke, G. (2021). Sensitivity of typical European roadside plants to atmospheric particulate matter. *Ecological Indicators*, 124, 107428.
- Pereira, G. M., Yoshiaki Kamigauti, L., Pereira, R. F., Monteiro dos Santos, D., da Silva Santos, T., Martins, J. V., ... Kováts, N., ... & de Fatima Andrade, M. (2025). Source apportionment and ecotoxicity of PM_{2.5} pollution events in a major Southern Hemisphere megacity: influence of a biofuel-impacted fleet and biomass burning. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 25(8), 4587-4616.
- Sainnokhoi, T. A., Kováts, N., Pelden, B., Tuvshinbayar, Y., Bat-Ochir, M., Eck-Varanka, B., ... & Hubai, K. (2024). Winter indoor air quality in traditional Mongolian yurts, in a Ger district of Ulaanbaatar. *Environmental Toxicology and Pharmacology*, 110, 104538.
- Sainnokhoi, T. A., Tuvshinbayar, Y., Bat-Ochir, M., Eck-Varanka, B., Hubai, K., Teke, G., ... & Kováts, N. (2025). Indoor environments: Evaluating air quality in Ulaanbaatar's traditional gers. *Chemosphere*, 377, 144338.
- Vicente, E. D., Figueiredo, D., Gonçalves, C., Kováts, N., Hubai, K., Sainnokhoi, T. A., ... & Alves, C. (2025). Toxicological screening of PM_{2.5} from wildfires involving different biomass fuels. *Environmental Pollution*, 370, 125887.