

## **Válaszok Posta József professor emeritus MTA doktori értekezésem opponensi véleményére**

Köszönettel tartozom Posta József professor emeritusnak a dolgozatom egészével kapcsolatban kifejezett pozitív véleményéért, illetve az alapos bírálatáért.

Először is engedje meg, hogy az értekezés szerkesztésére vonatkozó észrevételeire reflektáljak. Valóban helytakarékosági okokból választottam az 1., 2., 3. és 4. pontokban Ön által említett megoldásokat. Véleményem szerint ezek a megoldások nem nehezítik meg a dolgozat érthetőségét. Így például az 1. pontban a Nemzeti Népegészségügyi Központtól átvett ábrákon azt a tendenciát szerettem volna feltüntetni, hogy az elmúlt 30 évben jelentősen csökkent az As-nel szennyezett ivóvízzel rendelkező kutak száma.

Elnézését kérem a 10. és 12. pontban felfedezett elírásért, illetve pontatlanságért. A 37. táblázatban nem tüntettem fel a szűrőtípust, mert véleményem szerint az nem befolyásolja a tömegkoncentráció értékét. A 11. pontban tett megjegyzésére vonatkozóan, tudomásom szerint zöldborsópörkölt esetén nem határoztak meg koncentrációhatárértéket As-re, ezért nem jelöltem semmit a 22. táblázat megfelelő sorában, de valóban szerencsésebb lett volna, ha alkalmazom az n.a. jelölést. Az 5. pont esetén mind a tej, mind a tojás esetén az előállításukhoz használt víz alatt itatóvizet értettem.

13. pont: A szerzők boxplot módban ábrázolták a toxikus elemek koncentrációját a szoptatás négy szakaszának függvényében. Ezt követően a mediánértéket vették, és a szórás számításához a kiugró adatokat is figyelembe vették. Köszönöm, hogy felhívta a figyelmemet, hogy az átvett szakirodalmi hivatkozások esetén alaposabban kell eljárni.

A továbbiakban a konkrét kérdésekre szeretnék válaszolni.

6. pont: A növényeken végzett kísérletek esetén a növénynevelési tápoldatokban kisebb mértékben hidrolizáló Fe(III)-citrátot és Fe(III)-EDTA-t alkalmaztam. Korábbi kutatásaim során Fe(III)-kloriddal is végeztem kísérleteket, de az Fe felvételét és transzlokációját sokkal kevésbé lehetett kontrollálni, és ez a tény egyben nehezítette a növényfiziológiai folyamatok értelmezését.

7. pont: Az uborka és nyárfanövények vaseloszlására vonatkozó adatokat a jelen értekezés 33. és 34. ábráin közöltem, de helytakarékosági okokból kifolyólag a szövegben csak a lényegét foglaltam össze.

8. Milyen technológiával történik a PET-palackok újrahasznosítása? Miért növekszik meg az újrahasznosított palack falából az Sb és ftalát kioldódott koncentrációja?

Egy, a közelmúltban közzétett átfogó tanulmány szerint jelenleg a műanyagból készített árucikkek, így a PET-palackok újrahasznosítását is négyféleképpen végzik el [1]:

- elsődleges újrahasznosítás: a gyártóüzemen belül minőségvesztés nélkül;
- másodlagos újrahasznosítás: mechanikai újrahasznosítás, ide tartoznak az oldószerekkel végrehajtott a szelektív oldási, majd elválasztást követő csapadékleválasztási eljárások. Ez utóbbi alkalmazhatósága megkérdőjelezhető, költsége miatt, illetve akkor is, ha az oldószer nem környezetbarát.
- harmadlagos újrahasznosítás: kemolízis, pirolízis és szingáz előállítás eljárássok;
- negyedleges újrahasznosítás: energiatermelés (égetés).

A mechanikai újrahasznosítás esetén a szelektíven gyűjtött, préselt, szétválasztott és tisztított bálázott palackokat megömlesztik, szűrik, majd extrudálják. A tisztítást 2 m/m% NaOH-koncentrációjú mosószeroldattal végzik. Az újrahasznosítással nemcsak PET-palackokat állítanak elő, hanem fóliákat, pántokat vagy szálakat. A kémiai újrahasznosítást főleg akkor alkalmazzák, amikor a hulladék nem tisztítható meg megfelelően. A kemolízis válfajai: hidrolízis, metanolízis és részleges vagy teljes glikolízis. E reakciók során rendre a monomerek, potenciális monomerek és polialkoholok keletkeznek. A hidrolízis esetén kidolgoztak sav- vagy lúgkatalizált, illetve enzimatis eljárássokat is. Noha a kemolízisen alapuló eljárások elsőre költségesnek tűnnek, nagy előnyük, hogy viszonylag könnyen kinyerhetők a PET-gyártás monomerjei. Ennek a folyamatnak a során a pelyheket részben vagy teljesen depolimerizálják. A kapott oligomereket vagy monomereket újrapolimerizálják. A metanolízis során dimetil-tereftalát (DMT), teljes glikolízis esetén bisz(2-hidroxi-etil)-tereftalát (BHET) keletkezik [2]. A termokémiai eljárások (pl. pirolízis) PET esetén nem javasoltak, mivel a keletkező elegy komponensei nem választhatók el könnyen. A PET kb. 280 °C-os olvadási hőmérséklete reaktív bomlástermékek felszabadulásának kedvez, így a polimerlánc hibáinak száma jelentősen megnő. Ilyen például a láncvégi COOH csoportok dekarboxileződése, az OH-csoportok oxidációja. A keletkező monokarbonsavak vagy alkoholok csökkentik a polikondenzáció reakciósebességét, a molekulatömeg-eloszlás kiszélesedik. Szintén komoly gondot okozhat a poliészterből készült termékek felületén levegő (oxigén) és páratartalom hatására keletkező peroxidcsoportok felhalmozódása. Ezt a folyamatot az ultraibolya fény felgyorsítja. A hidroperoxidok oxigényökök forrásai, amelyek oxidatív bomlást idéznek elő. Csökkentésük megfelelő adalékokkal, például antioxidánsokkal érhető el. Jelenleg az összegyűjtött PET-palackoknak csak körülbelül 15%-át hasznosították új palackok gyártására [3]. Véleményem szerint a változó minőségű alapanyagok ömlesztése során megnövekedett polimerlánc hibák okozzák az Sb és ftalát nagyobb mértékű beoldódását az újrahasznosított termékekben.

[1] Siddiqui, M.N.; Redhwi, H.H.; Al-Arfaj, A.A.; Achilias, D.S. Chemical Recycling of PET in the Presence of the Bio-Based Polymers, PLA, PHB and PEF: A Review. Sustainability 2021, 13, 10528. <https://doi.org/10.3390/su131910528>.

[2] Das, S.K., Eshkalak, S.K., Chinnappan, A. et al. Plastic Recycling of Polyethylene Terephthalate (PET) and Polyhydroxybutyrate (PHB)—a Comprehensive Review. Mater Circ Econ 3, 9 (2021). <https://doi.org/10.1007/s42824-021-00025-3>

[3] <https://napcor.com/wp-content/uploads/2021/07/Postconsumer-PET-Recycling-Activity-in-2018.pdf> (utolsó hozzáférés: 2022. április 25.)

9. pont: A szakirodalom megosztott e kérdést illetően. A hőmérséklet emelésével valószínűleg két, egymással ellentétes hatás érvényesül: a hőmérséklet növekedésével nő a ftalátok oldódási sebessége, ugyanakkor a bomlási sebességük is. Az oldódási sebesség függ a diffúziótól, amelynek mértéke szintén a palack polimer szerkezetének függvénye. A ftalátok vizekben történő abiotikus lebomlása hosszabb tárolási idő alatt fotólízis útján mehet végbe. Ez utóbbi függ a tárolási időtől is. A vízminták pH-értéke is fontos tényező. Az észterhidrolízis ugyanis sav- vagy lúgkatalizált folyamat. A bomlási termékek polárosak, nehezen extrahálhatók apoláros oldószerekbe (pl. diklór-metán). Az én mérési eredményeim alapján sem tudtam egyértelmű tendenciát meghatározni.

14. pont: Véleményem szerint savas talajokra lehet sikeresen alkalmazni a kidolgozott eljárást, a lignit adagolási szintje megfelel az érvényes magyar jogszabályoknak. A mezőgazdasági talajok kb. kétharmada savas. A kidolgozott eljárás egyetlen korlátja, hogy As-nel csak enyhén szennyezett talajokra működik megfelelően.

15. pont. A magyarországi ivóvizekre Fe(III)-sókkal végzett koagulációt, ülepítést és szűrést alkalmazó eljárást tartom a leghatékonyabbnak és gazdaságosnak, még akkor is, ha az As(III) uralkodó speciesz esetén  $\text{KMnO}_4$ -os előoxidációt kell alkalmazni.

Még egyszer köszönöm az értekezésemről alkotott pozitív véleményét és elismerő szavait.

Kelt: Budapest, 2022. április 25.



Mihucz Viktor Gábor

MTA doktorjelölt