

Debreceni Egyetem
Műszaki Kar
Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék



A talaj vörösiszap szennyezésének értékelése növényélettani szempontból

Készítette: **Tóth Ilona** környezetmérnök hallgató
Ozsváth Gábor környezetmérnök hallgató

Belső konzulens: Dr. Godó Zoltán Attila

Debrecen
2011.

Tartalom

1. Bevezetés	2
2. Célkitűzéseink	5
3. A vörösiszapról általában	6
4. A vörösiszap veszélyessége	7
5. Kísérleteink	8
5.1. Mit vizsgáltunk?	8
5.2. A kezdetek	8
5.3. Vörösiszap egyes alkotóinak vizsgálata	9
5.4. Csíratesztek	9
5.5. Tévtutak	10
5.6. Eredmények	14
5.7. A növények nehézfém-felvétele	19
5.7.1. Kadmium (Cd)	20
5.7.2. Króm (Cr)	21
5.7.3. Nikkel (Ni)	22
5.7.4. Ólom (Pb)	24
6. Konklúzió	26
7. Összefoglalás	28
8. A vizsgálatok folytatása	30
9. Felhasznált irodalom	32
10. Ábrajegyzék	35

1. Bevezetés

Témaválasztásunk okát egy 2010. október 4-én 12:30-kor¹ bekövetkezett ipari katasztrófa adta. [16] Magyarország talán legnagyobb ökológiai tragédiáját okozó balesete történt ekkor.

A katasztrófa a Magyar Alumínium Zrt. Ajkai Timföldgyárának X. iszaptároló kazettájának északnyugati gátszakadásával indult. [17] Ennek következtében kiömlött körülbelül 1 millió m³ iszapos lúgoldat, 13 körüli pH értékkel és körülbelül 100.000 tonna vörösiszap. A zagy áramlására jellemző, hogy nagyjából 1000 m³/s sebességgel terjedt. Ez esetben, mivel nagy tömegű, magas pH értékű oldat zúdult ki, viszonylag nagy energiával, így gyakorlatban egy lúgos árvíz vonult le a területen, nagy veszélynek téve ki a környező településeket. Hiszen Kolontárt mintegy 2 perc alatt, Devecsert pedig 10 perc alatt el is érte. [2]



1. ábra A gátszakadás helye [<http://image.turizmusonline.hu/original/74345.jpg>]

¹ A MAL közleménye szerint, a katasztrófa 12:10-kor következett be, vagyis 20 perccel korábban.



2. ábra Elöntött területek a távlatból [<http://www.megujulofutes.hu/wp-content/uploads/2010/11/kolontar.jpg>]



3. ábra A katasztrófa sújtotta lakóövezet részlete [<http://www.katasztofak.abbcenter.com/weboldal/katasztofak/cikkek/iszap1017.jpg>]

A katasztrófa következményei lesújtóak. Sajnos 10 ember életét veszítette, mintegy 150 ember megsérült, lakóingatlanokat és mezőgazdasági területeket tett tönkre, összesen 1017 hektárt.



4. ábra A Nasa felvétele az elöntött területekről 2010.10.12.
[http://static.koos.hu/2011/05/Devecser_%C3%A9s_Kolont%C3%A1r_t%C3%A9rs%C3%A9ge_a_v%C3%B6r%C3%B6s_siszap_katasztr%C3%B3fa_ut%C3%A1n.jpg]



5. ábra Emlékoszlop Kolontáron² [http://www.rizlevente.hu/item/get_item.php?id_embed=11271]

² Felirat: „Az emberi hanyagság és kapzsiság természeti és emberi áldozataiért 2010.október 4.”

2. Célkitűzéseink

Az előntött területek legnagyobb része, több mint 1000 hektár, mezőgazdasági művelés alá tartozó terület. Ezen területek esetében kármentesítést³ kell végezni. Ez két módon működik, egyik esetben talajelhordás és annak termőfölddel való helyettesítése történik, másik esetben, ahol nem haladja meg a vörösiszap vastagsága a 3 cm-t, ott az iszapréteget a talajon hagyják és semlegesítő anyagot alkalmazva beszántják. [8]

Az említett szennyezés következtében számos szennyezőanyag került a talajba és elpusztultak a talaj egy részében az élőlények, mikroorganizmusok és talajlakó állatok. A későbbiekben fontos szerepet játszhat a vörösiszap által okozott szennyeződés hatásának részletes megismerése.

A vörösiszapban található anyagok, szennyezők hatását vizsgáljuk növényekre nézve, azok növekedésének, fejlődésének, életképességének megfigyelésével. Laboratóriumi vizsgálatokkal ellenőrizzük, hogy a talajban található káros anyagok milyen mennyiségben kerülnek a növényi szervezetbe.



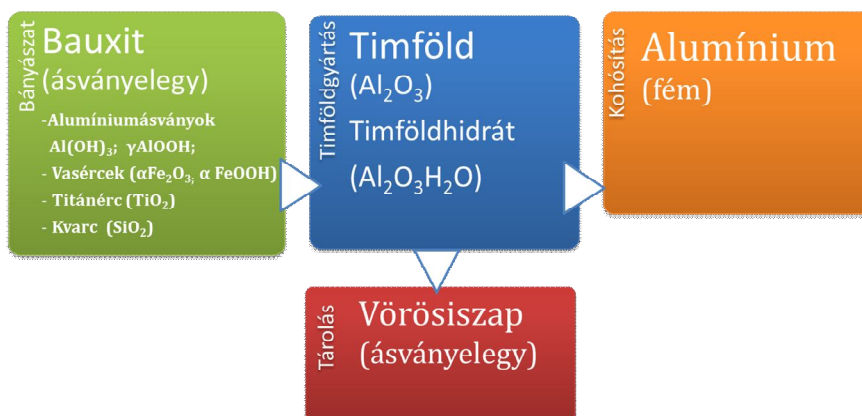
6. ábra Kármentesítés [<http://kklub.elte.hu/sites/default/files/images/v%C3%B6r%C3%B6s%C3%B6siszap.jpg>]

³ A kármegelőzés és kárfelszámolás fogalmát is magában foglalja, célja a kár megelőzése, ill. a már bekövetkezett kár felszámolása.

3. A vörösiszapról általában

Mi is ez az anyag, mely dolgozatunk középpontjában áll?

Röviden szólva az alumíniumgyártás mellékterméke. A kiinduló anyag a bauxit, melyet az úgynevezett Bayer technológia⁴ (7. ábra) szerint dolgoznak fel.



7. ábra Bayer technológia [Dr. Rédey Ákos: Az ajkai vörösiszap katasztrófa környezeti hatásai, Debrecen, 2011.09.22.]

A nyersanyag főleg alumínium tartalmú ásványokból áll, de tartalmaz egyéb alkotókat, például vas- és szilícium vegyületekből álló ásványi anyagokat is. [18] Az alumíniumot nátrium-hidroxiddal, magas pH mellett választják le a többi alkotótól. Ekkor a keletkező timföld mellett melléktermékként jelentkezik egy magas vastartalma miatt jellegzetes színű anyag, a vörösiszap. Ezen melléktermék magas pH értékét a technológia következtében a feltárás során használt nátrium-hidroxid visszamaradása okozza. Ez az erősen lúgos kémhatás jellemzően 12-14 között alakul. A vörösiszap keletkezési mennyiségére jellemző, hogy 1 tonna timföld gyártásakor 1,5 tonna vörösiszap keletkezik. Az ajkai üzemben 0,3-0,5 millió tonna keletkezik évente. Iszap állagát a nedves tárolás következtében a 30% szárazanyag és 70% lúgoldat adja. [7]

Ezek fő alkotói: Al_2O_3 , SiO_2 , Na_2O , CaO , TiO_2 , Fe_2O_3 .

Ezek mellett potenciónáisan toxikus elemeket is tartalmaz, melyek főleg a nehézfémek: As, Cd, Cr, Hg, Ni, Pb, Zn.

⁴ A bauxitból az alumíniumot kétféle technológiával állítják elő:

- A folyamat első fázisában a sok összetevőből álló bauxitból iparilag tiszta alumíniumoxidot, timföldet állítanak elő.
- A második menetben a timföldből elektrolitikus kohósítással állítják elő a fémalumíniumot.

4. A vörösiszap veszélyessége

Veszélyes-e ez az anyag?

E kérdésre adott válasz, bár egyértelműnek tűnik, különböző hivatalos meglátások alapján mégis vannak ellentmondások. A hatályos Európai Unió szabályozás szerint, mely a 94/904/EC irányelv, a vörösiszap nem minősül veszélyes anyagnak. Az Európai Unió hulladéklista, a European Waste Catalogue and Hazardous Waste List szerinti kódszáma a 01 03 09.

Hazai viszonylatban a vörösiszap nem minősül veszélyes hulladéknak, ezért nincs is rá vonatkozóan külön határérték táblázat készítve, így e két rendeletet vehetjük alapul a veszélyesség kérdéskörének vizsgálatához:

- 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM⁵ együttes rendelet, a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről,
- 50/2001 (IV. 3.) Kormányrendelet, a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól.

Ezek alapján, e rendeletekben meghatározott határértékek szerint ez az anyag nem minősül környezetre veszélyesnek. [14] [15]

Azonban a jelenlegi szabályozás csak 2001-től nem tekinti veszélyes hulladéknak a vörösiszapot, a korábban hatályos 102/1996 (VII. 12.) Kormányrendelet a vörösiszapot II. osztályú veszélyes hulladéknak sorolta be, melynek ártalmatlanítása különleges kezelést igényel.

Az 1988-as Bázeli Egyezmény alapján szintén veszélyes anyagnak tekintjük, hiszen pH értéke 11,5 feletti.

A Greenpeace⁶ közleményben bírálta a magyar hatóságokat, mivel a vörösiszapot mérgezőbbnek találták a hivatalosan állítottnál. Finompor méréseik során 300 µg/m³ értéket is mértek, szélcsendben! (A határérték 50 µg/m³.)

Végző soron kijelenthetjük, hogy a vörösiszap környezetre és emberi egészségre káros és veszélyes!

⁵ Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium - Egészségügyi Minisztérium - Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium

⁶ A világ egyik legnagyobb független természetvédelmi és környezetvédelmi szervezete.

5. Kísérleteink

5.1. Mit vizsgáltunk?

Kísérleteink során vizsgáltuk:

- a vörösiszap toxikus fémtartalmát (itt egyes elemeket kiemelve)
- különböző vörösiszap koncentrációjú talajokon:
 - a növények csírázási képességét
 - a növények növekedési erélyét
 - neutrális⁷ öntözővíz mellett a növények toxikus anyag felvételét

5.2. A kezdetek

A kísérleteinkhez felhasznált vörösiszapot a katasztrófa helyszínéről kaptuk. A minta tiszta, termőfölddel nem keveredett iszapminta, légmentesen zárt edényzetben tárolva. Továbbá neutrális öntözővízként normál csapvizet, illetve a földdel való keveréshez egy átlagos összetételű, boltban kapható virágföldet használtunk. A csíratesztekhez, étkezési célra kapható mustármagot használtuk. (8. ábra) Az atomabszorpciós méréseket⁸ (9. ábra) a Nemzeti Adó- és Vámhivatal Szakértői Intézetében végeztük, míg az egyéb tesztek, kísérleteket a Debreceni Egyetem, Műszaki Kar, Környezet- és Vegyészmérnöki Tanszék, Bionformatika Kutatólaboratóriumában.



8. ábra Mustármag csíráztatásra [Saját kép]

⁷ semleges

⁸ műszeres analitikai kémiai eljárás

5.3. Vörösiszap egyes alkotóinak vizsgálata

Bár a vörösiszap ezen elemeire számtalan mérési eredmény született már, mégis szükségesnek éreztük, hogy az általunk a kísérletekben felhasznált anyagról legyen konkrét, saját eredményünk.



9. ábra Varian SpectraAA 800 atomabszorpciós spektrofotométer [Saját kép]

A vizsgált elemek és mennyiségük:

- Kadmium (Cd), 232 mg/kg
- Króm (Cr), 550 mg/kg
- Nikkel (Ni), 275 mg/kg
- Ólom (Pb), 185 mg/kg

5.4. Csíratesztek

A csírateszt alapja, hogy a vizsgálandó anyaggal kezelt talajba ültetett magok csírázása egy kontroll csíráztatás mellett folyik, melyben azonos körülmények állnak fent, kivéve a vizsgálandó anyagunkat. [13] Esetünkben a vörösiszapot a talajhoz kevertük. Tesztünk érvényesnek tekinthető, hiszen eleget tett a feltételeknek, miszerint a magok több, mint 70%-a kicsírázott, a kontrollcsírák átlagos túlélése a 90%-ot meghaladta, a környezeti körülmények minden esetben megegyeztek, mindig ugyanolyan minőségű talajt és ugyanolyan minőségű vörösiszapot tartalmaztak. Tesztfajnak a korábban említett mustármagot használtuk, mert azok laboratóriumi körülmények között is

megfelelően fejlődnek és a csírázás kezdeti szakaszában nem fényérzékenyek. A csíratesztek jegyzőkönyveit rendszeresen vezettük. A megfigyeléseket 7-14 napon keresztül végeztük napi rendszerességgel.

5.5. Tévutak

Az elméletben jól működő kísérletek, a gyakorlatban sokszor hoznak nem várt körülményeket, melyek befolyással lehetnek az eredményre. Itt szeretnénk bemutatni pár „tévutat”, amelyre tévedtünk.

1. A kezdeti szakaszban oldatmintákkal próbálkoztunk. Erlenmeyer lombikba kimértünk 100 g vörösiszapot eredeti állapotban (10. ábra), ezt 100 ml-re hígítottuk vízzel, majd 10 perc kioldódási időt hagyva, folyamatos keverés mellett 2 mm-es szűrőn átszűrtük.

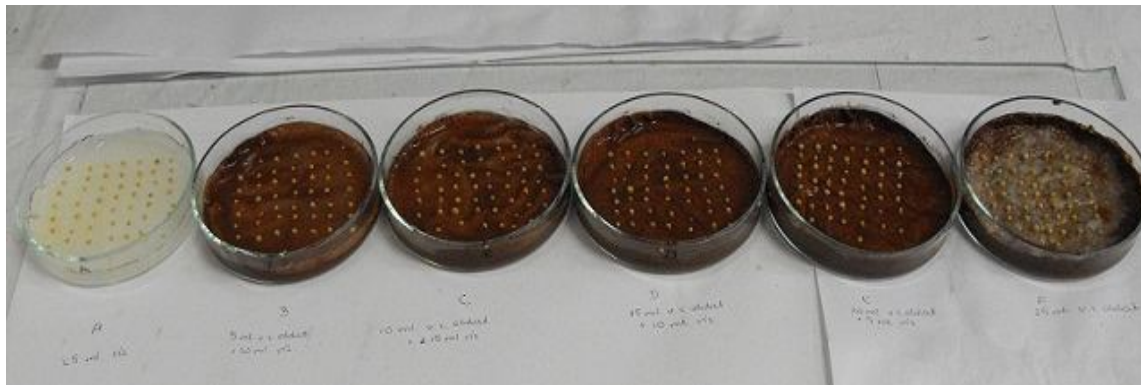


10. ábra Vörösiszap kimérése analitikai mérlegen [Saját kép]

6 db mintát készítettünk.

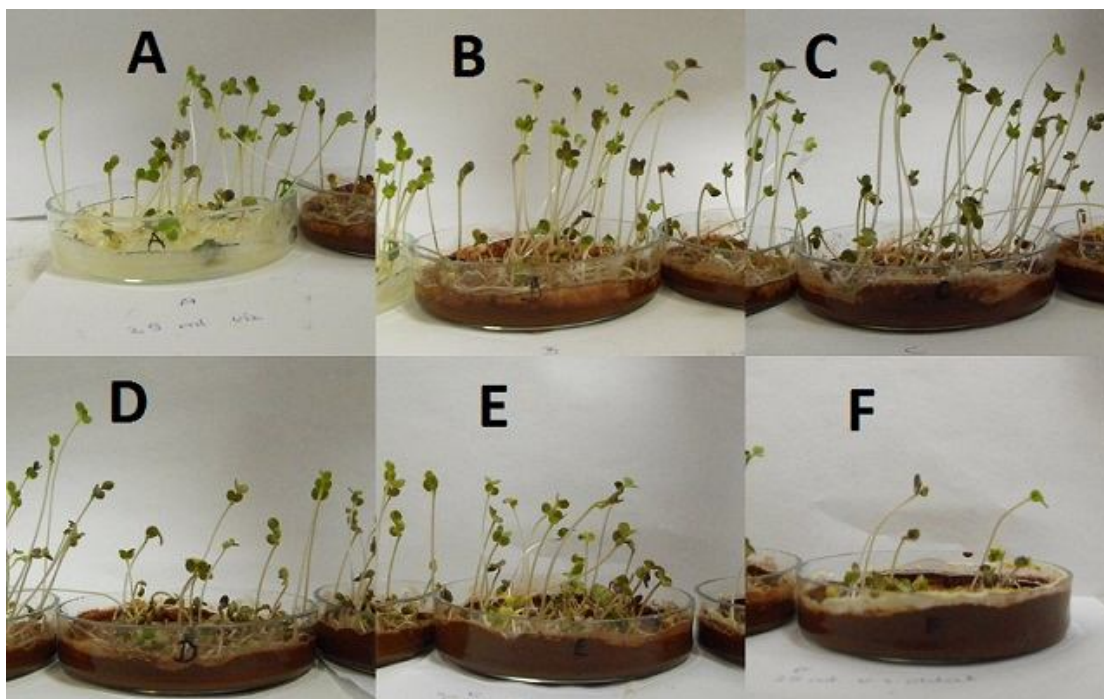
- „A” minta, kontroll minta, 25 ml víz
- „B” minta, 5 ml vörösiszap oldat + 20 ml víz
- „C” minta, 10 ml vörösiszap oldat + 15 ml víz
- „D” minta, 15 ml vörösiszap oldat + 10 ml víz
- „E” minta, 20 ml vörösiszap oldat + 5 ml víz
- „F” minta, 25 ml vörösiszap oldat

Mindegyik petricsészében elhelyeztük az oldatkombinációkat, majd a táptalajul szolgáló szűrőpapírt. Ezekre kiszámoltuk a mintánkénti 50 darab mustármagot. Az előkészített mustármagokat a 11. ábrán láthatjuk.



11. ábra Csíráztatás előkészítve az oldatban [Saját kép]

Az első szembetűnő problémánk az eljárásban az „F” mintánál jelentkezett. Mint a képeken látható, ebben a mintában már annyival több szilárd részecske volt, hogy a szűrőpapíron már nem tudott megfelelően átitatódni. Másik problémánk az öntözésnél volt. Az azonos körülmények érdekében egyforma mennyiségű öntözővizet kapott minden minta az öntözés időszakában. Azonban ezzel a módszerrel probléma adódott. Mint kiderült, a vörös iszap koncentráció növekedése egyenes arányban volt a kiszáradás mértékével. Tehát amíg a kontroll mintánkban már annyi víz volt, hogy ezzel már szinte a csírázást gátoltuk, addig az „F” mintában szinte kiszáradtak a csírák, hiába azonos mennyiségű vizet kaptak. Ez utóbbi tapasztalat akár eredménynek is nevezhető. Megfigyelhető volt egy bizonyos növekedési tendencia is, ami azonban nem egyértelmű, hogy a vörösiszap hatása vagy pedig a különböző nedvességtartalmaknak köszönhető. Ennek eredményét a 12. ábra szemlélteti.



12. ábra Növekedés az oldatmintákban [Saját kép]

2. Az oldatminták sikertelensége után a szűrőpapírt, mint táptalajt elvetettük, helyette tiszta vörösiszap és virágföld keverékéből készítettünk termőtalajt a csírák számára. Előkészületeket tekintve szobahőmérsékleten kiszárítottuk a mintákhoz szükséges virágföldet és vörösiszapot. Amikor ezek kiszáradtak porcelán mozsárban összekevertük (13. ábra) a száraz anyagokat és ezután 2 mm átmérőjű szűrőn átszittaltuk (14. ábra).



13. ábra Az előkészületekhez szükséges a védőfelszerelés [Saját kép]



14. ábra Mozsárban összezúzott, majd leszitált minták [Saját kép]

Végül ezekből a pormintákból analitikai mérleggel kimértük a megfelelő mennyiségeket és azokat alaposan összekeverve petricsészében helyeztük el (15. ábra).



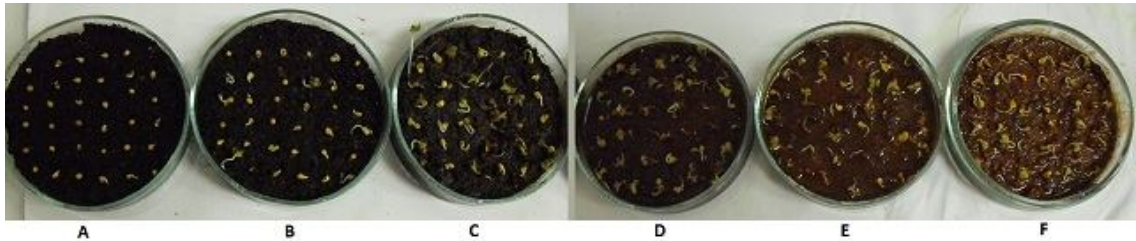
15. ábra Kimért és összekevert porminták [Saját kép]

Ezek alapján a 6 mintánk:

- „A” minta, kontroll, 60 g föld (0% vörösiszap)
- „B” minta, 48 g föld, 12 g vörösiszap (20%)
- „C” minta, 36 g föld, 24 g vörösiszap (40%)
- „D” minta, 24 g föld, 36 g vörösiszap (60%)
- „E” minta, 12 g föld, 48 g vörösiszap (80%)
- „F” minta, 60 g vörösiszap (100%)

Mindegyik táptalajra 36-36 darab mustármagot helyeztünk el.

A probléma itt is az öntözéssel volt. Azonban pont a fordítottja mutatkozott, mint az első esetben, vagyis itt a vörösiszap koncentrációval fordított arányban volt észlelhető a kiszáradás (16. ábra).



16. ábra A csírázás kezdeti fázisában [Saját kép]

Ennek oka már a tömegek kimérésekor sejthető volt. A virágföld könnyebb, mint a vörösiszap, így ugyanakkora súly mellett sokkal nagyobb térfogatot képvisel. Emiatt a petricsészében a „talajszint” magassága a vörösiszap koncentráció növekedésével egyre csökkent. Azzal a mennyiségű vízzel, mellyel az „A” minta már nem száradt ki, az „F” minta már teljesen víz alatt volt, így gátolva volt a csíranövekedés.

5.6. Eredmények

Ahogy az előzőekből érzékelhető volt, az öntözés mikéntje okozta a problémákat, így ezen változtattunk.

Az előzőekhez hasonlóan szintén légszáraz, majd összezúzott és leszűrt pormintákkal dolgoztunk. A petricsészéket műanyag, alul apró lyukakkal ellátott edényekre cseréltük (17. ábra) és ezekben helyeztük el a táptalajt (18. ábra).



17. ábra Műanyag edények apró lyukakkal [Saját kép]



18. ábra Talajok bekeverve, előkészítve [Saját kép]

Célunk ezzel az eddig felülről való locsolás leváltása a természetes, talajban is lejátszódó kapilláris vízemelkedés jelenségére. Így a talaj a műanyag edények alá helyezett tálcákban található vízből, az edények alján található apró lyukak segítségével fel tudja szívni a számára megfelelő mennyiségű nedvességet.

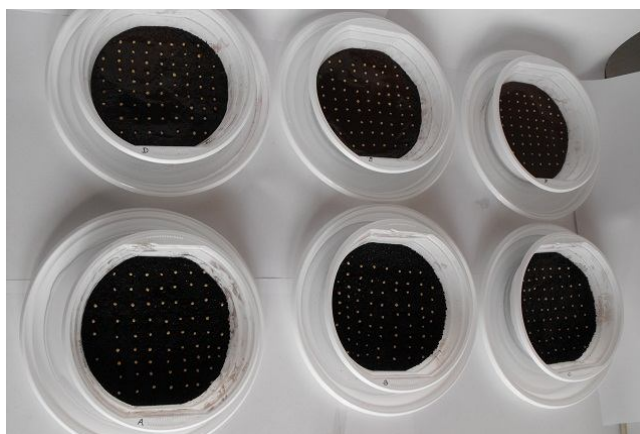
Ezek alapján a mintáink:

- „A” minta: kontroll, 100 g föld (0% vörösiszap)
- „B” minta, 80g föld, 20 g vörösiszap (20%)
- „C” minta, 60 g föld, 40 g vörösiszap (40%)
- „D” minta, 40 g föld, 60 g vörösiszap (60%)
- „E” minta, 20 g föld, 80 g vörösiszap (80%)
- „F” minta, 100 g vörösiszap (100%)

Mindegyikre 73 darab mustármag lett elhelyezve (19-20. ábra).



19. ábra Az aprólékos és időigényes munka, a magok elhelyezése [Saját kép]



20. ábra Minden kész a csírázáshoz [Saját kép]

A locsolást tekintve ügyeltünk arra, hogy a tálcákban mindig legyen víz, de sose túl sok, különösen figyelve arra, hogy a vízszint mindig a legalacsonyabb talajszint alatt legyen kevéssel. Így a különböző arányú táptalajok ugyanolyan mértékben nedvesedtek. Ezzel sikerült azonos körülményeket teremteni és így már reprezentatív eredményeket kaphattunk a növények csírázási képességéről és növekedési erélyéről. A következő fotó a növekedésről mutat jellemző képet (21. ábra).



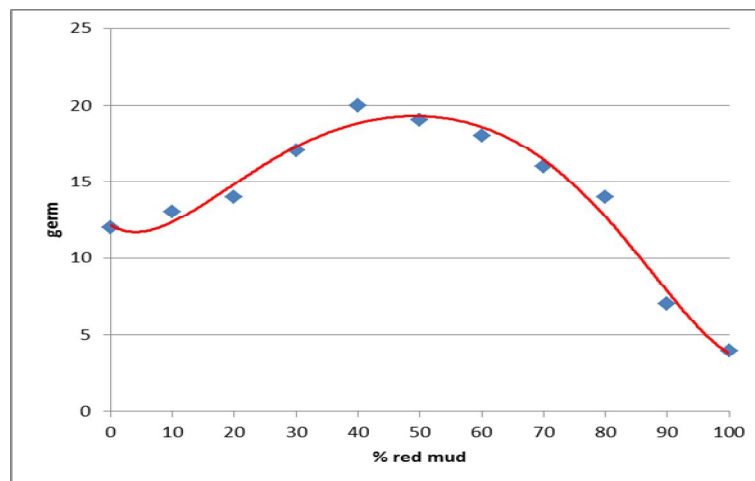
21. ábra Csíranövekedés [Saját kép]

Ezt a kísérletet számos alkalommal megismételtük (22. ábra) - esetenként több koncentrációval is (0-10-20-...-90-100%) - a minél pontosabb eredmény eléréséhez valamint, hogy a későbbi vizsgálatokhoz elegendő számú növényi mintával rendelkezünk.

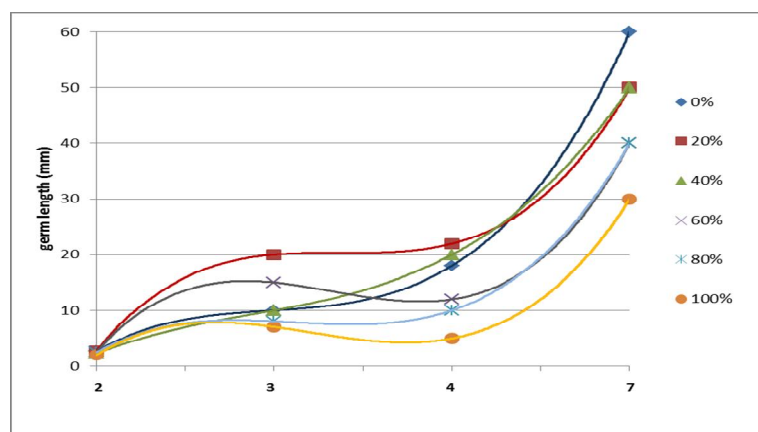


22. ábra A tömegtermelés [Saját kép]

A következő két ábra (23-24. ábra) mutatja, mit tapasztaltunk. A kapott adatokra polinomiális trendvonalakat illesztve látszik a tendencia.



23. ábra Kicsírázott magok száma a koncentráció függvényében



24. ábra Csírahossz változása az idő függvényében

Jól látható, hogy a csírázást fokozta a talajban a vörösiszap kisebb koncentrációban való jelenléte. A mezőgazdasági szennyvíziszapok is hasonló hatásúak. Viszont az is megfigyelhető, hogy a nagyobb koncentráció drasztikusan rontotta a csírázást. A hajtásnövekedést ezzel ellentétben a legkisebb vörösiszap szennyezés is rontotta. A hajtással, gyökérrel rendelkező növénykéek már érzékenyebbek voltak a toxikus anyagokkal terhelt környezetre.

5.7. A növények nehézfém-felvétele

Számos korábbi irodalmi- és kutatási adat alapján ismert, hogy a talajra kikerült anyag nehézfém-tartalma abban az esetben jelent komoly környezeti veszélyforrást, ha abból a nehézfémek ki is tudnak oldódni. Amennyiben ezek az anyagok mobilizálhatók, akkor a növényi élő szervezetek számára könnyen felvehetővé válnak. [9]

Több in vitro⁹ kísérlet történt már a nehézfémek kioldására. Ezek mind szabványos módszer szerint (MSZE 21420-31), kiszárított iszapmintákban, desztillált vizes vagy ammónium- acetátos puffer oldatban történtek 4,5-ös pH-ra beállítva. A következő táblázat (25. ábra) szerint kapott mérési adataikból azt a következtetést vonták le, hogy a vörösiszapból a vizsgált feltételek mellett nem oldódnak ki ezek a fémek. [1]

Minták	Oldatok fémtartalma (µg/l)						
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
MTA KK AKI 2010.10.05 ¹ desztillált víz	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	190	60	k.h.a
MTA KK AKI 2010.10.05 ¹ ammónium-acetát puffer	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a
Mérés kimutatási határa	20	3	1	4	0,7	8	0,8
Határértékek szennyvízre	200	20	2500	10	1000	1000	5000

k.h.a. - kimutatási határ alatt

¹ Az MTA KK AKI munkatársai által 2010.10.05-én a gátszakadás helyének közeléből és Kolontár külterületén vett 2 minta adatai

25. ábra A vörösiszapból kioldható fémtartalom,

[http://mta.hu/data/cikk/12/57/61/cikk_125761/Osszefoglalas_AKI_eredmenyek.doc, letöltve: 2011.szept.10.]

Mi in vivo¹⁰ kísérletekben, a szennyezett talajon termesztett növények tényleges nehézfém-tartalmát vizsgáltuk, ebből egyértelmű képet kaphattunk, hogy mennyire felvehetőek ezek számukra. [12] Egyes elemekre, kadmiumra, krómra, nikkelle, ólomra vizsgáltuk őket a már korábban említett atomabszorpciós készülékkel. A növényi minta előre kiszárított petricsészében lett lemérve és szárítószekrényben 105 °C-on 2 órán át száradt. A 2 óra leteltével exszikkátorba¹¹ került, ahol kihűlt szobahőmérsékletűre. A kihűlés után visszamérve lehetett szárazanyagot számolni. Ezután a szárított minta

⁹ a kísérleti folyamat nem az élő szervezetben, hanem azon kívül, ellenőrzött körülmények közt zajlik le

¹⁰ az élő szervezetben végzett vizsgálati eljárás

¹¹ egy laboratóriumi edény, melyben szárítószer van

roncsolócsőbe került, ahol HNO_3 , H_2SO_4 , H_2O_2 oldatok hozzáadásával történt a roncsolás 180°C -on, fülke alatt, folyamatos elszívással, blokkroncsolóval. Ezután addig kellett forralni, míg víztiszta folyadék nem maradt vissza. 100 ml-es mérőlombikba átmosva, desztillált vízzel jelre töltve készen állt az oldat a vizsgálatra. Az adott elemek méréséhez külön vájtkatódlámpa állt rendelkezésre. Az eredmények szárazanyagra számítva vannak feltüntetve.

A következőkben bemutatjuk a mérésből kapott eredményeket, illetve hogy ezek táplálékláncba és emberbe kerülve, milyen veszélyeket hordoznak.

5.7.1. Kadmium (Cd)

Legjelentősebb kadmium szennyező forrásnak a légköri ülepedést és a foszfor műtrágyázást tekinthetjük. [9] Kifejezetten mobilis anyagról beszélhetünk. A növényi szervezeten már 5-20 mg/kg kadmium jelenléte mérgezési tüneteket mutat. Ekkor a növény növekedése lassul vagy megáll, károsodik a gyökér és levélszövet, később ezek elhalnak. [10] Táplálékláncba kerülve bejuthatnak állati és emberi szervezetekbe, melyekre nézve szintén erősen toxikus hatású. Vesekárosodást, kalcium és foszfor anyagcserezavarokat, csonttritkulást, csontlágylást, prosztatrákót, illetve a Japánban gyakori „Itai-itai” betegséget okozza. [4] Az IARC¹² a kadmiumot és vegyületeit egyértelműen humán karcinogénnek¹³ minősítette. [3]

A következőkben egy összefoglaló táblázat (26. ábra) látható a határértékekről és szennyezettségi értékekről.

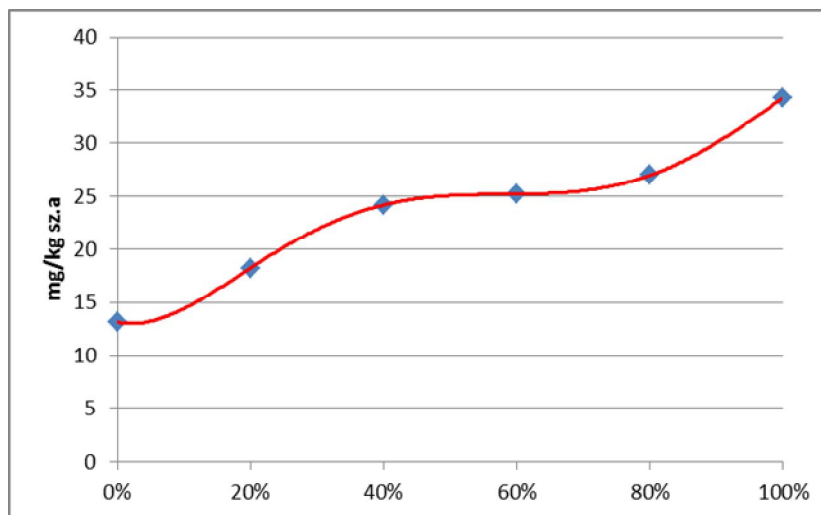
Felszín alatti vizek		Talaj		Mg.szennyvíziszap	Vörösiszap
határérték	szennyezettség	határérték	szennyezettség	határérték	mérési eredmény
0,4 µg/liter	5 µg/liter	0,5 mg/kg	1 mg/kg	10 mg/kg	2,32 mg/kg

26. ábra Határérték táblázat kadmiumra

A következő diagram (27. ábra) bemutatja, hogyan változott a különböző vörösiszap koncentrációjú talajokon termesztett növények kadmium felvétele.

¹² Nemzetközi Rákkutató Központ

¹³ rákkeltő



27. ábra A növény által felvett kadmium mennyisége a talaj vörösiszap koncentrációjának függvényében

A vörösiszapban a kadmium mennyisége jóval alul maradt a szennyvíziszapok határértékénél. Ehhez járul az a tény, hogy a kioldódás savas közegben fokozódik, lúgosban elhanyagolható. De lám, a természet nem úgy működik, ahogy azt elképzeljük. A növények kadmium felvétele a lúgos közegben is a talaj szennyezettsége szerint fokozódott. Sőt a 35 mg/kg arra utal, hogy jelentősen fel is halmozta azt a talajból.

5.7.2. Króm (Cr)

Krómszennyezés a talajba leginkább az ipari termelés (pl.: galvánipar, festékgyártás), légköri ülepedés során kerülhet, de jelentős mennyiségű szennyezést okozhatnak a szennyvíziszapok és a foszfát műtrágyázás. [9] A talajban 150 mg/kg krómtartalom fitotoxikus¹⁴ hatású. De a növényben már 1-10 mg/kg krómtartalom is toxicitási tüneteket okoz. A kadmium mérgezéshez hasonló tüneteket okoz. [10] Az emberi szervezetbe bejutva is komoly problémákat okozhat. Gyomor, légzőszerv, máj és vese károsító hatása van, allergiás tüneteket válthat ki. [4] A Cr(VI) vegyületei már kisebb koncentrációnál is mérgezőek és rákkeltőek. Az IARC értékelése szerint szintén egyértelműen humán karcinogénnek minősül. Cr^{6+} a talajokban igen instabil, könnyen Cr^{3+} ionná redukálódik, erősen savanyú és lúgos körülmények között pedig könnyen mobilizálódik. [3]

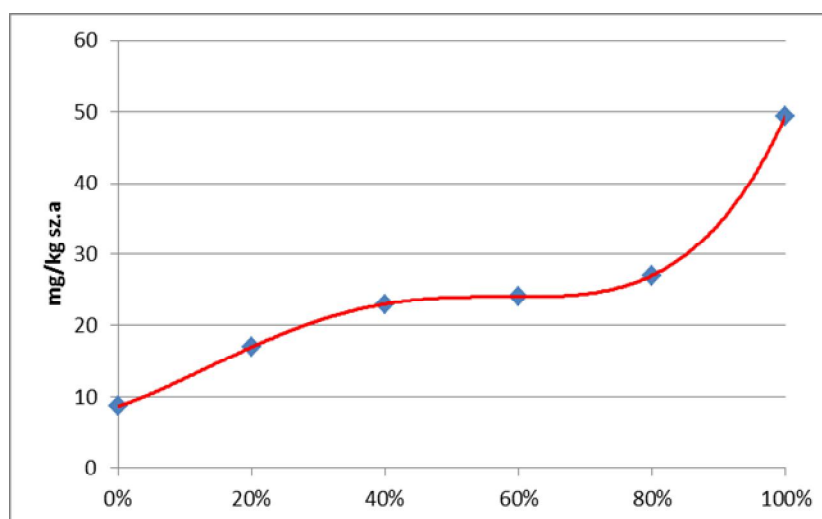
¹⁴ növényre mérgező

A következőkben egy összefoglaló táblázat (28. ábra) látható a határértékekről és szennyezettségi értékekről.

Felszín alatti vizek		Talaj		Mg.szennyvíziszap	Vörösiszap
határérték	szennyezettség	határérték	szennyezettség	határérték	mérési eredmény
1 µg/liter	50 µg/liter	30 mg/kg	100 mg/kg	1000 mg/kg	550 mg/kg

28. ábra Határérték táblázat krómra

A következő diagram (29. ábra) bemutatja, hogyan változott a különböző vörösiszap koncentrációjú talajokon termesztett növények króm felvétele.



29. ábra A növény által felvett króm mennyisége a talaj vörösiszap koncentrációjának függvényében

A króm mennyisége is alulmaradt a határértéknek. Itt egy könnyebben mobilizálódó anyagról van szó. A talaj szennyezettsége azonban szorosan meghatározta a növényekbe jutó koncentrációt is.

5.7.3. Nikkel (Ni)

Nikkelszennyezés a talajba szintén az ipari termelés következtében, bányászat, kohászat során, illetve a szennyvíziszapokkal is kerülhet. De nem elhanyagolható a forgalmasabb utak mentén bekerülő szennyeződés sem, mely a dízelolaj elégetés során keletkezik. [9] 10-100 mg/kg nikkelkoncentráció jelenléte a növényben már mérgezési tüneteket okoz, melyek teljesen hasonlóak a kadmium mérgezés tüneteivel, kiegészülve a fotoszintézis képességének csökkenésével, továbbá csökken a nitrogénmegkötő képesség is. [10]

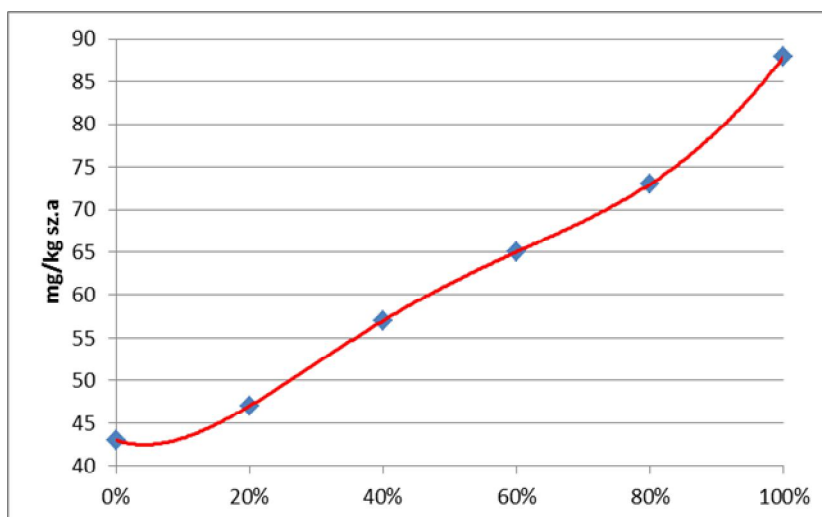
Embereknél allergén, érzékenyebbeknél asztmatikus tüneteket okoz, gyomor- és vesekárosító hatása van. [4] Szintén humán karcinogénnek minősül. [3]

A következőkben egy összefoglaló táblázat (30. ábra) látható a határértékekről és szennyezettségi értékekről.

Felszín alatti vizek		Talaj		Mg.szennyvíziszap	vörösiszap
határérték	szennyezettség	határérték	szennyezettség	határérték	mérési eredmény
5 µg/liter	20 µg/liter	25 mg/kg	40 mg/kg	200 mg/kg	275 mg/kg

30. ábra Határérték táblázat nikkelle

A következő diagram (31. ábra) bemutatja, hogyan változott a különböző vörösiszap koncentrációjú talajokon termesztett növények nikkelle felvétele.



31. ábra A növény által felvett nikkelle mennyisége a talaj vörösiszap koncentrációjának függvényében

A vörösiszap nikkelle tartalma meghaladta még a szennyvíziszapok határértékét is. Erre a nemzetközi szervezetek is felhívták a figyelmet. A Ni^{2+} ionnak mind a mobilis és mind a nem mobilis formája is jelen van a talajban. Arányukat a talaj pH értéke határozza meg. Amennyiben alacsonyabb a pH, mint 6, nagymértékben növekszik az oldat Ni^{2+} mennyisége. Ha a pH érték meghaladja a 8-at, akkor már hidroxó-komplexe képződik, mely stabil. Ami érdekes, hogy lúgos közegben az elemnek immobilisnak kellene lennie az előzőek alapján. Ezzel szemben a növény nem osztja ezt a véleményt és gond nélkül felveszi a talajból.

5.7.4. Ólom (Pb)

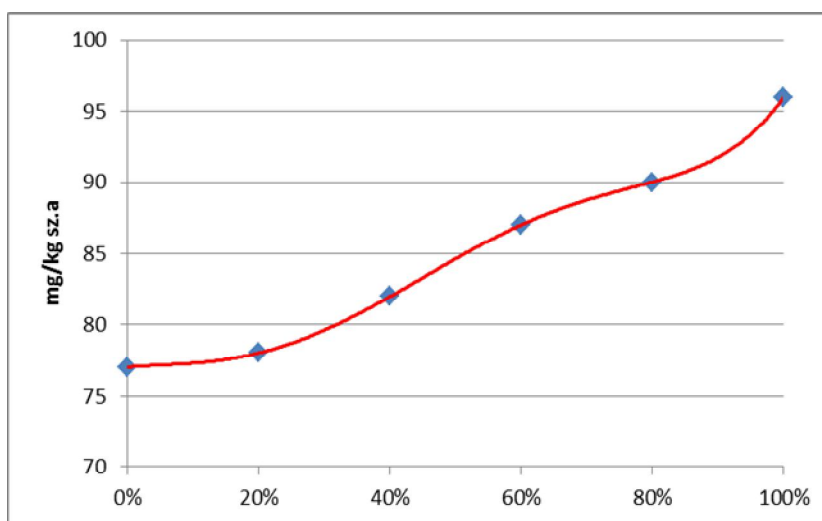
Az ólomszennyezés korábban legfőképp a közlekedésből származott, de ez jelentősen csökkent az ólmozatlan benzin használatával. Manapság legnagyobb ólomforrás az ipar, azon belül gumigyárak, ólomtartalmú festékek és ólomakkumulátorok gyártása és ezek elhasználódása. [9] A növényben 30-300 mg/kg-os ólomtartalom már mérgezési tüneteket okoz. Gátolja a növényi szervezet fejlődését, a fotoszintézist, lehetetlenné teszi a növény számára a vízfelvételt. A levélzet és gyökérzet visszafejlődik, veszít funkcióképességéből. [10] Az emberi szervezetre gyakorolt hatása is igen jelentős. Egy erős mérge, mely képes felhalmozódni. Ezáltal intellektuális retardációt, izomgyengeséget, személyiségváltozást, perifériás idegbénulást okoz. [4] Terratogén hatású, érdaganatot, ujjösszenövést, koraszülést válthat ki. Állatkísérletekben rákkeltő, emberben még nem bizonyított. De az IARC lehetséges humán karcinogénnek minősítette az ólmot és vegyületeit. [3]

A következőkben egy összefoglaló táblázat (32. ábra) látható a határértékekről és szennyezettségi értékekről.

Felszín alatti vizek		Talaj		Mg.szennyvíziszap	vörösiszap
határérték	szennyezettség	határérték	szennyezettség	határérték	mérési eredmény
3 µg/liter	10 µg/liter	25 mg/kg	100 mg/kg	750 mg/kg	185 mg/kg

32. ábra Határérték táblázat ólomra

A következő diagram (33. ábra) bemutatja, hogyan változott a különböző vörösiszap koncentrációjú talajokon termesztett növények nikkel felvétele.



33. ábra A növény által felvett ólom mennyisége a talaj vörösiszap koncentrációjának függvényében

Az ólom oldhatósága is erősen pH függő. Ha 5 feletti pH-értékkel rendelkezik a talaj, elenyészően csekélyé válik a felvétel. Ha ez alatt van a pH, akkor bár még mindig túlsúlyban vannak a nem mobilis formák (fém-szerves komplexek), de már jelentősen növekszik a kicserélhető és az oldható ólom mennyisége.

6. Konklúzió

Vizsgálataink jelentős és látványos eredményeket hoztak.

A gyakorlatban is megtapasztalhattuk a vörösiszap jellemzőbb hatásait. Már kis mennyiségben is kellemetlen szaghatást bocsát ki, érzékelhető a lúgos kémhatása és az előkészítési műveletek során történő kiszáritás és porkészítés kapcsán beigazolódott, hogy tényleg jelentős szállópor¹⁵ keletkezik (34. ábra), mely szükségessé teszi a megfelelő védőfelszerelések alkalmazását. [1]



34. ábra A fehér háttéren látható sötétebb folt a kiporzás eredménye [Saját kép]

A kísérletekből egyértelműen kiderül, hogy a talaj 40%-os vörösiszap szennyezettsége javítja a csíraszámot, a fölött viszont drasztikusan rontja. Ez magyarázható a magas ásványi anyag szinttel, illetve ekkor még a mag rendelkezik saját tápanyagkészlettel is.

A hajtásnövekedést már a legkisebb vörösiszap szennyeződés is gátolja. Ennek oka, hogy a toxikus anyagok már felszívódnak és károsítják a sejtfolyamatokat. Ez a kísérleteinkben is utolérhető volt. A növényi fejlődés későbbi szakaszaiban a magasabb iszapkoncentrációval rendelkező talajokon termesztett növények hajtásai satnyák, gyengébbek voltak és hamar pusztulásnak indultak (35. ábra).

¹⁵ a levegőben 10 µm átmérő alatti szemcse frakció



35. ábra A 100% földben és 100% vörösiszapban termesztett növények összehasonlítása [Saját kép]

A toxikus nehézfém kioldódás in vitro nem volt jelentős, mint ahogy láthattuk az MTA AKI szakembereinek kísérleti eredményeiben. [1] Az általunk végzett in vivo kísérletben a növények mégis jelentős mértékben felvették az egyes nehézfémeket, a talajkoncentráció függvényében!

Ezek alapján el lehetne felejteni végre azt a természettől elrugaszkodott hozzáállást, hogy in vitro kémiai kísérletekből ökológiai következményekre tegyenek jóslatokat.

7. Összefoglalás

Több mint egy év távlatából nézve mindenképpen elmondhatjuk, még mindig nem tudjuk teljes mértékben meghatározni, mekkora ökológiai pusztítást végzett ez a nagy mennyiségben kiömlő, mérgező anyag. Annyi bizonyos, hogy meglehetősen nagy termőterületeket semmisített meg. Az adott területen szinte teljesen felszámolta az ökoszisztémát. Tönkretette az természetes és épített környezetet, ezzel sok ott lakó élete munkáját rombolta le. A környező vízfolyásokba eljutva a Torna patak és Marcal folyó élővilágát pusztította el.

A természet sok mindent eltűr és képes magát megújítani, akár teljesen, de sajnos közel nem emberi léptékben. Ez azonban nem jelenti azt, hogy nekünk, embereknek nem kötelességünk minél inkább megóvni a környezetünket, a természetet és segíteni azt a mielőbbi gyógyulásban, hiszen saját érdekünk is. A katasztrófa eddig 10 emberéletet követelt, s számtalan sérülést okozott. Azonban ezzel még nincs vége, a jövőre nézve számtalan negatív hatása lehet növényekre, állatokra és emberekre nézve is. Emellett nem felejtkezhetünk el arról, hogy mi történik ezzel az anyaggal, ha változó időjárási körülmények érik. Ha kiszárad újabb veszélyforrás keletkezik (36-37. ábra). A vörösiszap kiporzásának következményeként egy füstszerű anyag szabadul fel, mely durva és finom szállópor részecskékből áll. Ez okozhat komoly gondokat a légzőszervekben, hiszen kiülepedve magas pH értékű váladék jelenhet meg, melynek komoly irritáló és egészségkárosító hatása lehet.



36. ábra A kiszáradt vörösiszap

[http://upload.wikimedia.org/wikipedia/hu/c/c9/Kisz%C3%A1rad%C3%B3_v%C3%B6r%C3%B6siszap.jpg]



37. ábra Kiszáradt vörösiszap a településen [Robin des Bois: A vörösiszap katasztrófa, Magyarország, 2010. december]

Az élő rendszerek, talaj edafon¹⁶, növényélettan stb. felfoghatatlanul összetett rendszerek. A szennyezés mindenképpen bekerül(t) az ökológiai körforgásba! Ezért kell nagy jelentőséget kapnia annak, hogy megismerjük az élő szervezetek pontos reakcióját erre a szennyeződésre nézve.

¹⁶ a talaj élővilágának összessége

8. A vizsgálatok folytatása

Eddigi vizsgálataink sikerességén felbuzdulva és a téma kiemelt fontosságát tekintve kutatásainkat folytatjuk.

A téma folytatásaként vizsgáljuk még az eddigiekhez hasonló körülmények között termesztett növények sejtméregtelenítési folyamatait. Továbbá a természetben előforduló savas eső hatását modellezve, hogy az milyen befolyással van a vörösiszap által szennyezett növényekre, azok csírázási képességére, hajtásnövekedésére és toxikus fém felvételére. A kísérletek ezzel kapcsolatban már folyamatban vannak.

Szeretnénk még megvizsgálni, hogy milyen következményekkel lehet a katasztrófa a vízben élő állatvilágra. A katasztrófa után lesújtó képek tárulhattak eléünk (38-39-40. ábra).



38. ábra A szabályozott Torna patak Devecsernél [Robin des Bois: A vörösiszap katasztrófa, Magyarország, 2010. december]



39. ábra Elpusztult vízi élet [http://www.hebmesz.hu/userdata/photogallery/or_995.jpg]



40. ábra A vízi környezetben a vízfolyások medrében szennyezett üledékréteg rakódott le, a növényekre és sziklákra is.
[Robin des Bois: A vörösiszap katasztrófa, Magyarország, 2010. december]

Az érintett vizekben a teljes élővilág elpusztult, azonban az élet itt gyorsabban regenerálódik, így rövid időn belül nagy részben helyreáll. Egyes kijelentések szerint bár a vörös színű anyag jelenléte a vízben riasztó hatású lehet, az már nem jelent kockázatot a vízi élővilágra, mert anyagai vízben nem oldódnak, főként vízben oldhatatlan fém-oxidokat tartalmaz. Az elméletek szerint nem fognak felhalmozódni az élőlények testében, sőt ezek az élőlények, akár emberi fogyasztásra, nagy valószínűséggel alkalmasak lesznek. [11] Ezekkel az állításokkal nem feltétlenül értünk egyet, ezért szeretnénk ezt halteszteken keresztül vizsgálni, s a növényi tesztekhez hasonlóan sejtméregtelenítést vizsgálni és a nehézfém felvételt mérni.

9. Felhasznált irodalom

- [1] Az ajkai vörösiszap-ömléssel kapcsolatban 2010. október 12-ig végzett vizsgálatok eredményeinek összefoglalása, MTA KK AKI, (http://mta.hu/data/cikk/12/57/61/cikk_125761/Osszefoglalas_AKI_eredmenyek.doc, letöltve: 2011.09.10.)
- [2] Az ajkai vörösiszap katasztrófa környezeti hatásai. Szerzők: Dr. Rédey Ákos, Fejes Lászlóné, Utsi Anett, Dr. Horváth Erzsébet, Dr. Domokos Endre, Dr. Kurdi Róbert, Kovács Zsófia, Dr. Tatiana Yuzhakova, Dr. Somlai János, Somogyi Viola, Bui Pál, Lakó János, Csom Vera, Katona Csaba. Debrecen, 2011.09.22.
- [3] ÁNTSZ Országos Tisztiorvosi Hivatal 2010.12.04-i összefoglalója a 2010.10.04-én, Kolontár külterületén bekövetkezett vörösiszap tároló gátszakadással kapcsolatos ÁNTSZ tevékenységről, 2010.12.04. (http://www.katasztrofavedelem.hu/letoltes/lakossag/antsz_tajekozto_20101204.pdf, letöltve: 2011.08.06.)
- [4] A WHO Európai Regionális Irodájának Magyarországra Küldött Szakértői csoportjának főbb megállapításai és javaslatai (http://www.greenfo.hu/hirek/hirek_item.php?hir=25994, letöltve 2011.08.05.)
- [5] Kolontár-jelentés, A vörösiszap-baleset okai és tanulságai. Szerk.: Jávor Benedek, Hargitai Miklós. Budapest, 2011. március
- [6] Kolontári ipari katasztrófa - 2010.10.04, A vörösiszap-szennyezés hatásai MTA, (http://www.katasztrofavedelem.hu/index2.php?pageid=lakossag_kolontar_vorosizsap_hatasai, letöltve 2011.08.05.)
- [7] Red mud pollution recultivation possibilities. Szerzők: Godó Zoltán Attila, Tóth Ilona, Ozsváth Gábor, Kocsis Dénes, Igaz Titusz. Debrecen, 2011.10.14.
- [8] Robin des Bois: A vörösiszap katasztrófa, Magyarország, 2010. december

- [9] Simon László: Toxikus elemek akkumulációja, fitoindikációja és fitoremediációja a talaj-növény rendszerben, Nyíregyháza, 2006., Magyar Tudományos Akadémia Doktori Értekezés
- [10] Talajszennyeződés, talajtisztítás. Szerk.: Dr. Simon László. Budapest, Környezetgazdálkodási Intézet, 1999.
- [11] Vágföldi Zoltán: A vörösiszap katasztrófa környezeti hatásai, kárelhárítási folyamata, alkalmazott módszerei. In: Hadmérnök. VI.évfolyam, 1 szám (2011. március).
- [12] Vörösiszap szennyezés. Szerzők: Godó Zoltán Attila, Tóth Ilona, Ozsváth Gábor, Kocsis Dénes. Debrecen, 2011.10.14.
- [13] Wágner Dorottya: Szárazföldi növény teszt: csírázás és csíra növekedés teszt. OECD208. (<http://enfo.agt.bme.hu/drupal/sites/default/files/OECD208.ppt>, letöltve: 2011.03.15.)
- [14] 6/2009. (IV. 14.) KvVM-EüM-FVM együttes rendelet, a földtani közeg és a felszín alatti víz szennyezéssel szembeni védelméhez szükséges határértékekről és a szennyezések méréséről (http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0900006.KVV, letöltve: 2011.09.10.)
- [15] 50/2001 (IV. 3.) Kormányrendelet, a szennyvizek és szennyvíziszapok mezőgazdasági felhasználásának és kezelésének szabályairól (http://net.jogtar.hu/jr/gen/hjegy_doc.cgi?docid=A0100050.KOR, letöltve: 2011.09.10.)
- [16] <http://redsludge.bm.hu> (letöltve: 2011.08.05.)
- [17] http://hu.wikipedia.org/wiki/Ajkai_vörösiszap-katasztrófa (letöltve: 2011.09.10.)
- [18] <http://hu.wikipedia.org/wiki/Vörösiszap> (letöltve: 2011.09.10.)

[19] <http://vorosiszap.info/2011/05/vorosiszap-mire-kepes-a-fold>

(letöltve: 2011.10.08.)

[20] <http://www.phylazonit.hu/donation.html> (letöltve: 2011.10.08.)

[21] <http://www.origo.hu/itthon/20101004-lugos-iszap-ontotte-el-devecsert-es-kolontart-kepek.html> (letöltve: 2011.10.08.)

10. **Ábrajegyzék**

1. ábra A gátszakadás helye [http://image.turizmusonline.hu/original/74345.jpg]	2
2. ábra Elöntött területek a távlatból [http://www.megujulofutes.hu/wp-content/uploads/2010/11/kolontar.jpg]	3
3. ábra A katasztrófa sújtotta lakóövezet részlete [http://www.katasztrofak.abbcenter.com/weboldal/katasztrofak/cikkek/iszap1017.jpg]	3
4. ábra A Nasa felvétele az elöntött területekről 2010.10.12. [http://static.koos.hu/2011/05/Devecser_%C3%A9s_Kolont%C3%A1r_t%C3%A9rs%C3%A9ge_a_v%C3%B6r%C3%B6siszap_katasztr%C3%B3fa_ut%C3%A1n.jpg]	4
5. ábra Emlékoszlop Kolontáron [http://www.rizlevente.hu/item/get_item.php?id_embed=11271]	4
6. ábra Kármentesítés [http://kklub.elte.hu/sites/default/files/images/v%C3%B6r%C3%B6siszap.jpg]	5
7. ábra Bayer technológia [Dr. Rédey Ákos: Az ajkai vörösiszap katasztrófa környezeti hatásai, Debrecen, 2011.09.22.].....	6
8. ábra Mustármag csíráztatásra [Saját kép].....	8
9. ábra Varian SpectrAA 800 atomabszorpciós spektrofotométer [Saját kép]....	9
10. ábra Vörösiszap kimérése analitikai mérlegen [Saját kép].....	10
11. ábra Csíráztatás előkészítve az oldatban [Saját kép].....	11
12. ábra Növekedés az oldatmintákban [Saját kép]	12
13. ábra Az előkészületekhez szükséges a védőfelszerelés [Saját kép].....	12
14. ábra Mozsárban összezúzott, majd leszítált minták [Saját kép]	13
15. ábra Kimért és összekevert porminták [Saját kép]	13
16. ábra A csírázás kezdeti fázisában [Saját kép].....	14
17. ábra Műanyag edények apró lyukakkal [Saját kép]	14
18. ábra Talajok bekeverve, előkészítve [Saját kép]	15
19. ábra Az aprólékos és időigényes munka, a magok elhelyezése [Saját kép]	16
20. ábra Minden kész a csírázáshoz [Saját kép].....	16
21. ábra Csíranövekedés [Saját kép]	17

22. ábra A tömegtermelés [Saját kép]	17
23. ábra Kicsírázott magok száma a koncentráció függvényében	18
24. ábra Csírahossz változása az idő függvényében	18
25. ábra A vörösiszapból kioldható fémtartalom, [http://mta.hu/data/cikk/12/57/61/cikk_125761/Osszefoglalas_AKI_eredmenyek.doc , letöltve: 2011.szept.10.].....	19
26. ábra Határérték táblázat kadmiumra	20
27. ábra A növény által felvett kadmium mennyisége a talaj vörösiszap koncentrációjának függvényében.....	21
28. ábra Határérték táblázat krómra.....	22
29. ábra A növény által felvett króm mennyisége a talaj vörösiszap koncentrációjának függvényében.....	22
30. ábra Határérték táblázat nikkelre	23
31. ábra A növény által felvett nikkel mennyisége a talaj vörösiszap koncentrációjának függvényében.....	23
32. ábra Határérték táblázat ólomra.....	24
33. ábra A növény által felvett ólom mennyisége a talaj vörösiszap koncentrációjának függvényében.....	24
34. ábra A fehér háttéren látható sötétebb folt a kiporzás eredménye [Saját kép]	26
35. ábra A 100% földben és 100% vörösiszapban termesztett növények összehasonlítása [Saját kép].....	27
36. ábra A kiszáradt vörösiszap [http://upload.wikimedia.org/wikipedia/hu/c/c9/Kisz%C3%A1rad%C3%B3_v%C3%B6r%C3%B6siszap.jpg]	28
37. ábra Kiszáradt vörösiszap a településen [Robin des Bois: A vörösiszap katasztrófa, Magyarország, 2010. december]	29
38. ábra A szabályozott Torna patak Devecsernél [Robin des Bois: A vörösiszap katasztrófa, Magyarország, 2010. december]	30
39. ábra Elpusztult vízi élet [http://www.hebmesz.hu/userdata/photogallery/or_995.jpg].....	30
40. ábra A vízi környezetben a vízfolyások medrében szennyezett üledékréteg rakódott le, a növényekre és sziklára is. [Robin des Bois: A vörösiszap katasztrófa, Magyarország, 2010. december]	31