

**Ujaczki Éva: Vörösiszap talajra gyakorolt hatásának vizsgálata
mikrokoszmosz kísérletekben
Diplomamunka összefoglaló
Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Alkalmazott
Biotechnológia és Élelmiszertudományi Tanszék, Budapest, 2012**

Az ajkai katasztrófa méretét és súlyosságát tekintve világszerte példátlan, első ízben kellett szembenézni a vörösiszap által okozott, nagy területet érintő talajszennyezéssel, a kármentesítés hatalmas feladatával, és mindezek következményeivel. A katasztrófa, az azt követő gyorsintézkedések és az első kárenyhítési feladatok tanulságai egy hasonló katasztrófa esetén máshol is hasznosak bizonyulhatnak. Hátra van még a terület teljes rehabilitációja, mely minden bizonnyal további értékes tapasztalatok szerzésére ad módot.

A 2010 októberében elárasztott területen a kárenyhítés a vörösiszap felületekről történő eltávolítását jelentette. Ezt az eltávolítást olyan gépekkel oldották meg, melyek 10–15 cm-nél vékonyabb réteget nem tudtak finoman eltávolítani, ez pedig a termőréteg legértékesebb részének eltávolítását jelentette. Emiatt született meg az a döntés, hogy ahol 1–2 cm-nél nem vastagabb a vörösiszapréteg ott a vörösiszap talajba szántása jelenti a kárenyhítést. Ahol leszedték a vastagabb vörösiszapréteget, ott is van kevés maradék, tehát a vörösiszap bizonyos mértékű talajba keveredésével mindenütt kell számolni. A kismennyiségű vörösiszap talajba keverését a szakemberek véleménye alapján engedélyezték, amit részben az én diplomamunkán eredményeire alapoztak.

Diplomamunkámban két mikrokoszmosz kísérletsorozatot indítottam a talajba bekevert vörösiszap talajra, talaj élővilágára gyakorolt hatásának vizsgálatára. Egyik célom az volt, hogy meghatározzam azt a károsan még nem ható vörösiszap arányt, amely bekeverhető a talajba, legfőképpen a vörösiszap toxicitására helyezve a hangsúlyt. Mezőgazdasági talajokról lévén szó a toxicitást és a növénynövekedés-gátlást helyzetem a munkám középpontjába. Az első, **rövidtávú** kísérletben 0–100% között egyre növekvő arányú vörösiszap–talaj keverékeket készítettem, és egy hét elteltével vizsgáltam a vörösiszapnak a talaj fizikai-kémiai illetve biológiai jellemzőire gyakorolt hatását biológiai és környezettoxikológiai tesztmódszerekkel. Az alkalmazott módszerek a következők voltak: aerob heterotróf telepképző sejtek számának meghatározása húslé és maláta tartalmú táptalajon, aerob és anaerob sejtek meghatározása határhígításos eljárással, *Vibrio fischeri* lumineszcencia gátlási teszt, *Sinapis alba* gyökér- és szárnövekedés gátlási teszt, *Folsomia candida* mortalitási teszt.

Az első sorozat tapasztalatai alapján terveztem meg és állítottam össze a **hosszútávú** kísérletsorozatot, amelyben 0–40%-os vörösiszap-tartalmú mikrokozmoszokat készítettem, melyeket 7 hónapon át gondoztam és négy időpontban vizsgáltam a mikrokozmoszokat biológiai aktivitás és toxicitás szempontjából. A kísérletet integrált metodikával követtem, a fizikai-kémiai analitikai módszereket (melyeket a MTA-TAKI-ban végeztek el) integráltam a biológiai állapot és a toxicitás vizsgálatával és az eredményeket egymással összefüggésben értékeltem ki.

A vörösiszap toxikus fémtartalma ugyanakkor nagyobb, mint a talajé és ez a fémtartalom természetesen megjelent a vörösiszappal mesterségesen szennyezett talajokban is, néhány fém (Cr, As, Ni) tekintetében talajhatárérték feletti koncentrációt okozva. Ugyanakkor a vörösiszap toxikus fémtartalma nem haladja meg a talajra hordható szennyvíziszapra megengedett határt, tehát nem jelent elfogadhatatlanul nagy kockázatot. A nátrium, melyre nincs környezetvédelmi határérték, mezőgazdasági szempontból igen nagy kockázatot jelent, mert megnöveli a szikesedés valószínűségét. A talajvizsgálati eredmények alapján azonban az is megállapítható, hogy összesség-tartalom 5% vörösiszap-koncentrációig még elfogadható értéken belül marad, tehát várhatóan nem vezet szikesedéshez.

A NaOH eredetű lúgosság hatása teljesen ismeretlen fogalom a talajtanban, nem hasonlítható a természetes vagy akár a szokásos talajromlási folyamatok miatti lúgossághoz. Hatását tekintve akár hasznos is lehet savanyodó talajoknál, de a Torna-völgyi talajok nem ilyenek, mert azok már eleve lúgosak, így itt a pH hatásai nehezen jelezhetőek előre. A lúgosítás egyik hatása, hogy olyan fémek mobilizálódnak, melyek különben immobilis, stabil formában vannak jelen, ilyen a z arzén, a molibdén, a nikkell, a szelén. Ezek a fémek jelenleg mobilis formában vannak jelen, emiatt a talajból kimosódhatnak, eltávozhatnak. Legérdekesebb a szelén esete, mely nem a vörösiszapból került a talajra, de a lúgosság mobilizálta a talajból. A kísérleteim 7. hónapjának végére a 10%-ban vörösiszappal kevert talajokban minden toxikus fém koncentrációja határérték alá csökkent és a nátrium is csökkenést mutatott.

A lúgosság másik következménye a savasan kioldódó növényi tápanyagok hozzáférhetőségének csökkenése lehet, illetve ezzel ellentétes hatás, a foszfor mobilizálódása, mely egy gyakori limitáló tényező kiiktatását jelenheti a talajokban. Attól függően, hogy az elárasztott talaj milyen ellátottsággal bírt például a foszfort illetően, nagyobb mértékű tápanyagellátás-javulásra is lehet számítani hosszútávon a foszfor felvehetőségének javulása

miatt. A vörösiszap-szennyezés hatására a talajokban kialakult lúgos pH a hígulásnak és a talaj pufferkapacitásának köszönhetően szintén csökkenésnek indult és kísérleteimben mindvégig csökkenést mutatott. A hosszú távú kísérletben 7 hónap alatt 0,5-tel csökkent a pH minden vörösiszappal szennyezett talajban, míg a szennyezetlen mikrokozmoszokban kismértékű növekedést tapasztaltunk, mígnem beállt a klímakamrai körülményekhez igazodó egyensúlyi állapot. A mikrobiológiai aktivitás, és a sejtszámok értékelésekor több szempontot vettem figyelembe. A vörösiszap három fontos tényezőn keresztül befolyásolja a sejtszámot. a.) vörösiszap makro- és mikrotápelem-tartalmán keresztül (P, Fe, Mn, B, Mo, Cu, Zn, Cr), amely kedvező hatást jelent a mikroflórára, b.) a mobilizálódó toxikusfém-tartalmán keresztül és c.) az általa okozott lúgos pH közvetítésével, mely gátló tényezőként jelentkezik. A mikrokozmoszban és környezetében uralkodó körülmények változása (nedvesség, hőmérséklet) is befolyásolja a mikrobióta mennyiségi és minőségi jellemzőit. Azt is megfigyeltük (Feigl 2011), és ez az én kísérletemben sem volt másképp, hogy a mikrokozmoszokban idővel magától is csökken a sejtszám, feltehetően a mikrokozmoszok kis térfogatával összefüggésben lehetséges diverzitásvesztés. A sejtszámok egyértelmű és tendenciózus változása, több kísérletsorozatban is (a baktériumok, a gombák, az areob, a fakultatív anaerob baktériumok) száma megnő az 5% és 10% vörösiszapot tartalmazó talajokban. Van egy kis eltolódás az aerob és fakultatív anaerobok maximuma között: amíg az aerobok 5% vörösiszap-tartalom mellett mutatnak egy maximumot, utána kissé visszaesnek, a fakultatívok 10% vörösiszapnál mutatnak maximumot. Tehát a vörösiszap kis mennyiségben nem gátolja mikroorganizmusokat, azok szaporodnak, lélegzenek. A fakultatív anaerobok a vörösiszap pórusokat elzáró hatása miatt levegőellátás-csökkenés miatt dúsulhatnak fel, hiszen ők anyagcseréjüket át tudják állítani az anoxikus körülményekre.

A rövidtávú kísérletben azt tapasztaltam, hogy az 5% és 10% vörösiszap serkentő hatással van a talaj mikroflórájára. A növekmény egyrészt a tápanyagok, elsősorban a foszfor megnövekedett mennyiségének, másodsorban a kötött talajban a fakultatív anaerob mikrobák elszaporodásának köszönhető. A mikrokozmosz-kísérletben kezdetben minden vörösiszapos talajban nagyobb a mikrobiális aktivitás, mint a szennyezetlen kontrollnál, ezt talán szintén a megnövekedett foszfortartalom magyarázza. Hosszú távon a vörösiszap kis koncentrációban nem befolyásolja, nagy koncentrációknál károsan hat a mikroflórára.

A toxicitás-adatok is egyértelmű trendeket mutattak. Mind a megnövekedett pH, mind a vörösiszap textúra-rontó hatása egyre növekvő gátló hatás mutat a növényi és az állati toxicitási teszteknel. Az általánosan (mindenre) érzékeny *Vibrio fischeri* (baktérium) 5% vörösiszappal szennyezett talaj enyhén toxikusnak bizonyult, (ED₂₀=10 mg szennyezett talaj)

és a toxicitás időben csökkenő tendenciát mutatott (ED₂₀=13–20 mg szennyezett talaj). Időbeni javulást mértem még 10% vörösiszap-tartalom mellett is, míg a nagyobb koncentrációknál tartós toxicitást tapasztaltam.

A *Sinapis albára* (fehér mustármag) vonatkozóan 24% ED₅₀-es értéket mértem a rövid távú kísérletben. Ennek alapján a 10%-os maximális bekeverési arányt javasoltuk, mint maximumot. Ennek helyessége beigazolódott, amikor a hosszú távú kísérletben kimértem, hogy 10% vörösiszap-koncentrációig a csírázás megfelelő, de 10% felett a csírázási arány 30% alatt maradt. A 10%-os és az alatti vörösiszap-tartalom esetén a kezdeti 60–40%-os csírázási arány 70% fölé növekedett a kísérlet végére. A szár- és gyökérhossz, a növényeszt végpontja is javuló tendenciát mutatott. A *Folsomia candida* (állati tesztorganizmus) fémekre kevésbé érzékeny, az ő esetében a pH hatása az elsődleges gátló tényező. Ez abból is látszik, hogy míg a rövid távú kísérletben 40% vörösiszap már szinte 100%-os pusztulást okozott, a hosszú távú kísérlet 7. hónapjára még a 40% vörösiszapot tartalmazó talaj gátló hatása is 30% alá csökkent, 5% és 10% mellett pedig minden tesztorganizmus életben maradt.

Az eredmények alapján tehát azt mondhatjuk, hogy 5% alatti vörösiszap-bekeverés tartósan nem jelent kockázatot a talajra nézve. 10% bekeverés rövidtávon némileg káros lehet, hosszabb távon azonban ez a hatás mérséklődik. 10% feletti vörösiszap-bekeverés után viszont a talajnál már hosszabb távú károsodások jelentkeznek, melyeknél 30% alatt még van remény a javulásra, de 30% felett már nem tekinthető talajnak ez a vörösiszapos keverék.

Diplomamunkám végkövetkeztetéseként megállapíthatom, hogy **5 és 10%-os koncentrációban indokolható** a vörösiszap bekeverése a katasztrófa által érintett mezőgazdasági talajokba, mivel lehetővé teszi a talaj felső, termékeny rétegének megőrzését anélkül, hogy a talaj környezeti kockázatát számottevően növelné, a mikroorganizmusokat és a növényeket nem befolyásolja károsan, esetenként a foszforra és más tápanyagokra gyakorolt mobilizáló hatása, ugyanakkor ionos toxikus fémekre gyakorolt stabilizáló hatása miatt kedvező is lehet a talajra. Az elárasztott terület rehabilitálása során jelentős energia- és költségmegtakarítás érhető el ezáltal. Következtetéseink helyességét az eddig rendelkezésre álló szabadföldi adatok is igazolják, ám a továbbiakban is javasolható a gyorsintézkedések által érintett területen a talajok és a talajon nőtt növények környezeti monitoringjának folytatása.