

TENYÉSZEDÉNY KÍSÉRLETEK VÖRÖS ISZAPPAL

PLANT CHAMBER INVESTIGATION OF RED SLUDGE

TDK DOLGOZAT

KÖRNYEZETMÉRNÖK ALAPSZAK

Készítette: Kónya Anikó

Tanszéki konzulens: Dr. Kovács Gábor

Nyugat-Magyarországi Egyetem
Erdőmérnöki Kar

Környezet- és Földtudományi Intézet
Termőhelyismerettani Intézeti Tanszék

Sopron, 2011

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	4
2. A vörös iszap tulajdonságai és talajra gyakorolt hatása.....	6
2. 1. A vörös iszap tulajdonságai	6
2.1.1. A vörös iszap létrejötte	6
2.1.2. Összetétele	7
2. 2. A vörös iszap talajra gyakorolt hatása	8
2.2.1. Környezetre gyakorolt hatása	8
2.2.2. Talajra gyakorolt vélhető hatása	9
3. A vörös iszap talajtermékenységet befolyásoló szerepe irodalmi adatok alapján	10
3.1. A Bakony-vidék talajtípusai.....	11
3.1.1. Kolontár és Devecser környéki talajjellemzők.....	11
3.1.1.1. Csernozjom talajok jellemzése	12
3.1.1.2. Szikes talajok jellemzése	14
3.1.1.3. Réti talajok jellemzése.....	17
3.2. A talaj termékenysége	19
3.2.1. Talajadottságok.....	19
3.2.1.1. Morfológiai tulajdonságok és talajjavítási lehetőségek	20
3.2.1.2. Fizikai, kémiai és genetikai tulajdonságok	21
3.2.2. Talajtermékenység	22
3.3. A vörös iszap talajtermékenységet befolyásoló szerepe	24
4. A tenyészedény kísérlet során felhasznált fafajok	37
4.1. Akác (<i>Robinia pseudoacacia</i>).....	37
4.2. Fehér fűz (<i>Salix alba</i>).....	39
4.3. Nemes nyár (<i>Populus x euramericana</i>)	42
4.3.1. AF2 nyár (<i>Populus x euramericana AF-2</i>)	43

5. Tenyészedény kísérletek vörös iszappal.....	43
6. A kapott eredmények értékelése.....	46
6.1. A talajminták analízise	46
6.2. A növényminták analízise	55
6.3. Az elültetett fafajok növekedése	58
7. Következtetések és javaslatok.....	64
8. Összefoglalás.....	65
Irodalmi jegyzék	67
Melléklet	

1. Bevezetés

Tavaly október 4-én bekövetkezett Magyarország eddigi legnagyobb környezetszennyezéssel járó ipari katasztrófája: az ajkai timföldgyár vörösiszap-katasztrófája. Az akkoriban magántulajdonban lévő Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. (MAL) területén lévő zagytározó X. számú kazettájának nyugati gátja 12: 10-kor átszakadt, ezzel hatalmas mennyiségű vörös iszapot zúdítva a környező településekre és mezőgazdasági területekre. A történetek után számos vizsgálatot indítottak a kár felmérésére és helyreállítása érdekében. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010 ; WWW.MAL.HU, 2010) Szakdolgozatom megírása során tenyészedény kísérleteket folytattam Devecserről, az egyik katasztrófa sújtotta településről hozott talajmintákkal.

A kiömlő vörös iszap és víz elegye mintegy 4000 hektáron öntötte el Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely mélyebben fekvő részeit. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010) Ezenkívül a Torna patakba is bekerült, kipusztítva annak teljes élővilágát, majd elérte a Marcal folyó középső és alsó részét, ahol szintén teljes körű pusztítást végzett. A katasztrófa bekövetkezése után szakemberek próbálták megmenteni a Marcal élővilágát, és megakadályozni az ipari hulladék továbbterjedését. Több helyen is gipszet és ecetsavat öntöttek a folyóba, ezzel próbálva csökkenteni az erősen lúgos kémhatást. Ez idő folyamán további méréseket végeztek a folyószakaszokon. 2010. október 7-én hajnali 3: 00 óra körül jutott el a vörös iszap a Rábába, pH értéke ekkor már 10 alá csökkent. Még ezen a napon délelőtt elérte a Mosoni-Dunát, ahol 9, 3-as pH értéket mutatott. (WWW.DIVERZITI.HU, 2010)

A katasztrófa bekövetkezése után két nappal a Kormány veszélyhelyzetet hirdetett ki, amit később meg is hosszabbítottak. A legsürgetőbb feladatnak az emberi életek megmentését, és az emberek biztonságba helyezését tartották, ezt követte a települések biztonságának garantálása és a gát megerősítése. A vörösiszap-katasztrófában 10 ember vesztette életét, 406-an szorultak egészségügyi ellátásra, közülük 120-an súlyosan megsérültek. 363 ingatlan jelentősen megrongálódott, ennek a többsége lakóház volt. A sérült ingatlanok nagy része Devecserben található, 306 db-ot le kellett bontani. 731 lakónak megsemmisült vagy lakhatatlanná vált az otthona. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010)

A legnagyobb problémát azonban a száradó vörös iszap okozta. A száradást követő hetekben nagy mértékben megnőtt a szállópor koncentrációja, ezért több helyen integrált szállópor-mérési rendszert állítottak fel. A mérési adatok kimutatták, hogy az elmúlt hónapokban a levegő minősége, a szállóporral telített napokon, a zsúfoltabb főváros

levegőjével mutatott hasonlóságot. A levegő és a folyóvizek vizsgálatán kívül az ivóvizet is ellenőrzik. Különböző mérések során megállapították, hogy a katasztrófa sújtotta térségben az ivóvíz nem szennyeződött, továbbra is biztonságosan fogyasztható. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010)

A környezeti kár helyreállítása érdekében teljes körű tájrehabilitációt végeznek. Mintegy 1036 hektár mezőgazdasági területet borított be vörös iszap. A megtisztított földterületeken energiacélú növények termesztése folyik. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010)

Dolgozatomban célom ismertetni a vörös iszap tulajdonságait, talajra gyakorolt vélhető hatását, és termékenységét befolyásoló szerepét. Az elméleti alapok után bemutatom tenyészedény kísérletem folyamatát, és értékelem a kapott eredményeket.

2. A vörös iszap tulajdonságai és talajra gyakorolt hatása

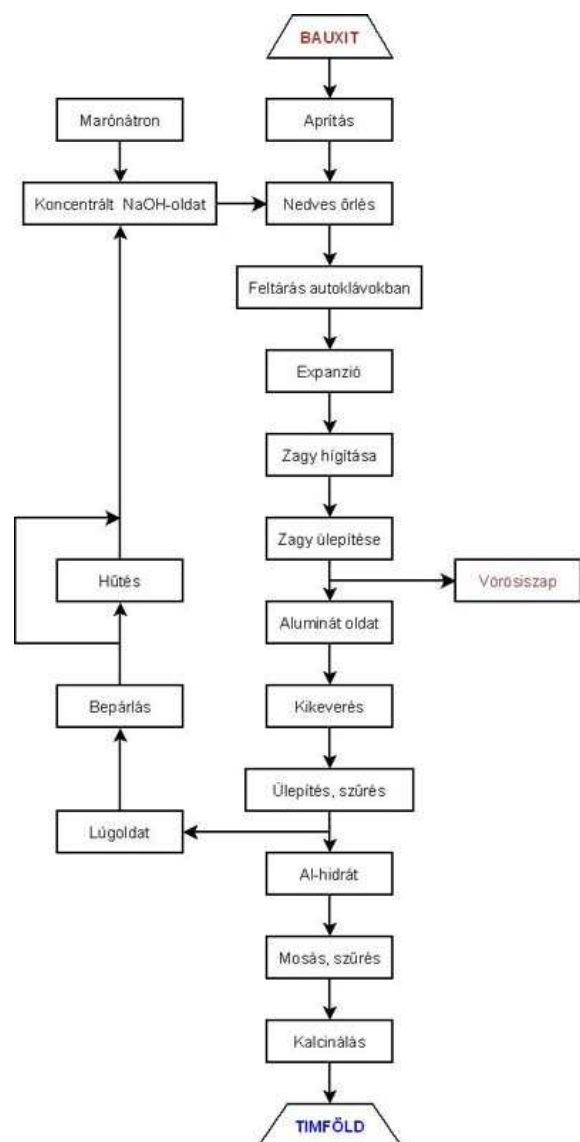
2.1. A vörös iszap tulajdonságai

A második fejezetben bemutatom a vörös iszap tulajdonságait, annak létrejöttét, és környezetre gyakorolt hatását, valamint kitérek talajra gyakorolt vélhető hatására. Mivel TDK dolgozatom témája a tenyészedény kísérletek, ezért a vörös iszap talajra gyakorolt hatására, és termékenységet befolyásoló szerepére fogom fektetni a hangsúlyt.

2.1.1. A vörös iszap létrejötte

A vörös iszap a timföld (alumínium-oxid) gyártásának melléktermékeként jön létre. (WWW.VOROSISZAP.COM, 2010) A timföldgyárakban az ún. Bayer-féle körfolyamat vagy más néven Bayer-eljárás alkalmazása a legelterjedtebb. (1. ábra) A folyamat Karl Joseph Bayer nevéhez fűzhető, aki 1892-ben szabadalmaztatta a bauxit nátronlúgos felhasználását. Innentől kezdve napjainkig a Bayer-eljárást alkalmazzák a timföldtermelés során. Az eljárásban a felhasznált lúgot körfolyamat-szerűen alkalmazzák, hogy a lehető leggazdaságosabb műveletvégzést elérjék.

A timföldgyártás fontos alapanyaga a bauxit. A bauxitból timföldet, majd alumíniumot gyártanak. Az eljárás során a nyersanyagot porrá őrlik, majd nagy nyomáson és magas hőmérsékleten (150-180 °C-on) erős lúggal (nátrium-hidroxiddal) reagáltatják, hogy kinyerjék annak alumíniumtartalmát. A Bayer-körfolyamat



1. ábra: Bayer-eljárás [1]

révén a bauxitércben lévő alumínium-oxid oldhatósága, magas hőmérsékleten és erős lúgkoncentrációban, nagymértékben megváltozik. Az eljárás során gőz keletkezik. A gőz

elvezetése után a visszamaradt vizes szuszpenziót vízzel a kétszeresére hígítják, majd üleptetőbe kerül. Ezek után a vizes oldat a kikeverő medencébe kerül, ahol a vízóldható nátrium-aluminátot vízzel elhidrolizálják alumínium-hidroxiddá, és a keletkező marónátront újra felhasználják. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010)

A szétválasztás során megmaradt, fel nem oldódott, nagy vastartalmú zagyot nevezzük vörös iszapnak. Egy tonna timföld előállításakor 1,5-2 tonna vörös iszap keletkezik. Mivel a benne lévő vas-oxid erősen színező anyag, ez adja jellegzetes vörösesbarna színét. Ezt az anyagot az üleptetőben választják le és távolítják el. Mosóvízzel a lehető legtöbb marónátront próbálják kiöblíteni belőle, hogy a visszanyert lúgot újra felhasználhassák. Azonban a visszamaradó vörös iszap még így is erősen lúgos kémhatású állapotban kerül a tározó medencékbe, az ún. kazettákba. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010)

2.1.2. Összetétele

A keletkező vörös iszap eredeti nedvességtartalma kb. 40-45 %. Ilyen állapotban még szivattyúzható, és a kazettákba könnyen elhelyezhető. Víztartalmát hosszú ideig megtartja, folyósodásra hajlamos. Ez tette lehetővé Ajkán, hogy a meggyengült gátszakaszon csuszamlások és rogyások következtében, az esővízzel feldúsított zagy nagy távolságra kifolyt a tárolótérből. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010)

Az egyes lelőhelyekről származó vörös iszap összetétele eltérő értékeket mutathat, mivel a bauxit összetétele is meglehetősen változékony. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010) A Magyar Alumínium Termelő és Kereskedelmi Zrt. közvéleménye szerint az Ajkai Timföldgyár vörös iszapjának az összetétele a következők: (WWW.MAL.HU, 2010)

- izzítási vesztesége: 10 %,
- vas-oxid (Fe_2O_3) tartalma 40-45 %,
- alumínium-oxid (Al_2O_3) tartalma 10-15%,
- titán-dioxid (TiO_2) tartalma 4-5 %,
- szilícium-dioxid (SiO_2) tartalma 10-15 %,
- nátrium-oxid (Na_2O) tartalma 5-6 %,
- és kalcium-oxid (CaO) tartalma 6-10%.

Ezenkívül 1% alatti mennyiségben gallium-, vanádium- és ritkaföldfém-oxidokat is tartalmaz. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010) Mindezek mellett lehetnek benne toxikus fémek, mint például ólom (Pb) és cink (Zn), de ezeknek a katasztrófa bekövetkezése után talajba jutott

koncentrációja, az Országos Katasztrófavédelmi Főigazgatóság tájékoztatója szerint határérték alatt van. Radioaktivitása pedig mintegy 10-20-szorosa a talajok átlagának, ezért alacsony aktivitása miatt a sugárzás veszélye is elhanyagolható (maga a bauxit is radioaktív anyag). Azonban az ÁNTSZ Kolontárnál végzett mérései alapján a vörös iszap veszélyessége kémhatásában rejlik, ugyanis az iszap pH-ja 13, ami a tömény hipó pH-jának a tízszerese. (WWW.VOROSISZAP.COM, 2010)

2.2. A vörös iszap talajra gyakorolt hatása

Az MTA Kémiai Kutatóközpont munkatársai vizsgálatok során megerősítették, hogy *„a kiömlött nehézsavas szenny nehézfém tartalma nem közelíti meg a megengedett egészségügyi határértéket, ólom tartalma kevesebb, mint a normál talajoké”* (SZÉPVÖLGYI, 2010). A legnagyobb környezeti problémát az erősen lúgos kémhatása jelenti. Az első eredmények alapján azt állapították meg, hogy a talaj könnyebben át fogja vészelni a katasztrófát, mint a környékbeli élővizek. (INDEX.HU, 2010)

2.2.1. Környezetre gyakorolt hatása

Megállapították, hogy a vörös iszap tulajdonságai közül, erősen lúgos kémhatása miatt válik fokozottan veszélyes hulladékká. Ezen okból adódóan káros mind az élővilágra, mind az épített környezetre. (WWW.EGESZSEGKALAUZ.HU, 2010) A környezetvédelmi szakemberek magas pH értéke és a környezetre gyakorolt hatása miatt a II. veszélyességi kategóriába sorolták. Magyarországon az évente termelt veszélyes hulladék 25-35 százaléka az alumínium gyártása során keletkező vörös iszaptól származik.

Magas nátrium-hidroxid (NaOH) tartalma miatt erősen lúgos kémhatású. A természetbe kerülve rövidtávon kipusztítja a növény- és állatvilágot, hosszú távon azonban önmagában a lúgnak nincsen egyéb környezet-károsító hatása, mivel a víz felhígítja. A felszíni és a felszín alatti vizekbe kerülve nagyobb mennyiségben tömeges halpusztulást okoz. Példa rá, hogy 1972-ben Korzika partjánál lévő vegyipari üzem a festékanyagokhoz használt titán-oxid (TiO₂) gyártása során keletkező vörös iszapot éveken keresztül beleengedte a Földközi-tengerbe. Ennek hatására jelentős élővilág pusztulás következett be. A gyár az eset nyilvánosságra hozása után még két hónapon keresztül engedte bele a tengerbe a veszélyes

hulladékot, míg végül 1974-ben a cég öt vezetőjét felfüggesztett börtönre és nagy összegű pénzbírságra ítélték.

Szakemberek megállapították, hogy a vörös iszapban, kis koncentrációban és kis mennyiségben vannak jelen nehézfémek, ezért nem mérgező. Egy vizsgálat igazolta, hogy a vörös iszap csökkentette a bányászati és nehézipari hulladékkal szennyezett talajok nehézfém-felvehetőségét, képes stabilizálni őket. Radioaktív hatása pedig mérsékelt, a talajokra nézve szinte veszélytelen. (HU.WIKIPEDIA.ORG, 2010)

A katasztrófa bekövetkezése után kilenc hónappal később, 2011. július 12-ig 329 625 m³ szennyezett hulladékot szállítottak el a belterületekről, ebből 125 929 m³ bontási törmelék volt. A külterületekről 786 997 m³, azaz 52 545 teherautónyi szennyezett hulladékot vittek el a kijelölt kazettákba. (VOROSISZAP.BM.HU, 2010)

Jó hír az emberiség számára, hogy feladatunk közé tartozik a már meglévő környezeti kár helyreállítása, ami a vörös iszappal szennyezett területekre is vonatkozik. Ugyanis „*a nagy tömegű és nagy kiterjedésű veszélyes ipari hulladékok környezetkárosításának lehetséges csökkentésére a gyakorlatban hasznosítható sikeres módszerek kidolgozása évtizedek óta és napjainkban is időszerű.*” (HORVÁTH, 2002)

A Magyar Közlöny 155. számában megjelent, hogy a környezetkárosodás felszámolásával összefüggő feladatokat a vidékfejlesztési miniszter látja el, a rá vonatkozó jogszabályok szerint. Ez a rendelet 2010. október 6-án 15:00 órakor lépett hatályba. (DR. BORÓKAINÉ, 2010)

2.2.2. Talajra gyakorolt vélhető hatása

A vörös iszap nagy részét elszállították a szennyezett területekről, de mivel félő volt, hogy a folyékony szennyezés a talajba beszivárog, szükségét érezték a felső talajréteg eltávolítására. (WWW.EGESZSEGKALAUZ.HU, 2010) Az erősen lúgos, maró kémhatású anyag a termőtalajt tönkretette, az ott élő növény- és állatvilágot, valamint a talaj mikroflóráját is kipusztította. Megállapították, hogy a talajt a következő években nem lehet élelmiszer és egyéb haszonnövények előállítására használni. (WWW.GREENMAN.HU, 2010)

Már korábban is megemlítettem a vörös iszap kémhatásának veszélyességét, ami nemcsak a környezetet és az élővizeket károsítja, hanem a talajt is. Ezenkívül nehézfémtartalmát és radioaktivitását is megmérték, hogy milyen befolyással lehet a talajokra. „*A vörös iszap radon-emanáló képessége mintegy kétszerese a sokkal szárazabb talajokénak.*

Ez a mintaszerkezetek (porozitás, szemcseméret, nedvességtartalom) különbözőségével magyarázható.” (GYÖRFI, 2011.)

Dr. Horváth Gyula „Veszélyes ipari hulladékok rekultivációja erdősítéssel” című cikkében leírja, hogy a zagytározó körül már korábban is problémák merültek fel a zagy tárolásával kapcsolatban. A tározók ugyanis fedetlenek, aminek a következménye, hogy az erőműi hulladék szürke porral, a vörös iszap pedig vörös porral szennyezi a környék levegőjét, vizeit és talaját. Ezen kívül nem utolsó sorban tájképrontó hatásuk is van a zagytározóknak.

A vörös iszap, ha kiszárad, felületén néhány cm vastagságú por képződik. Tapasztalatom azt mutatta, hogy a tenyészedényekben lévő vörös iszappal keveredett talaj, két öntözési időszak között „betonszerűvé” keményedett. Dr. Horváth Gyula által végzett fásítási kísérletei után, az 1970-es évek végén arra a megállapításra jutott, hogy az eljárás alkalmas a vörös iszapterek erdősítésére. Vizsgálatai alapján az ajkai hulladékfajták anyagának átlagos összetétele a következő volt (HORVÁTH, 2002):

Név	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O	TiO ₂	Egyéb
	%									
Szénsalak	12,-	18,-	6,-	39,7,-	3,5	18,8	0,6	0,5	–	0,9
Vörösiszap	10–15	13–18	35–40	10–15	0,5–1	V ₂ O ₅ 0,2	5–8	P ₂ O ₅ 0,4	3–4	

*Megj.: – A vörösiszapban még jelen van Cr. 500 ppm, Co. 50–60 ppm és Mo. 50 ppm mennyiségű nehézfém.
– A hulladékfajták anyagának átlagos összetétele a gazdálkodó szervezetek laboratóriumai által kimutatott értékek.*

1. táblázat: Az ajkai hulladékfajták anyagának átlagos összetétele [2]

3. A vörös iszap talajtermékenységet befolyásoló szerepe irodalmi adatok alapján

Ebben a fejezetben a vörös iszap talaj-termékenységet befolyásoló szerepével foglalkozom. A felhasznált irodalmi adatok alapján feladatom megfogalmazni saját véleményemet a vörös iszap talajra gyakorolt hatásáról, és a termékenységet befolyásoló szerepéről. Ezen kívül ismertetem a szennyezett területek talajjellemzőit (elméleti háttér bemutatása), és leírom pár korábbi hasonló kísérlet eredményeit.

3.1. A Bakony-vidék talajtípusai

A katasztrófa a Bakony-vidék környéken következett be, ezért első lépésként bemutatom a vidék jellemzőit és talajtípusait.

A Dunántúli-középhegység három középtájai közül az egyik a Bakony-vidék. Ez a vidék öt kistáj-csoportból áll, amelynek részei a Keszthelyi-hegység, a Balaton-felvidék, a Déli-Bakony, az Északi-Bakony és a Bakonyalja.

Ezek közül a Déli-Bakony erősen tagolt, változatos felépítésű. Résztaujaihoz tartozik a Veszprém–Nagyvázsonyi-medence, a Kab-hegy Agártető csoport, a Sümeg–Tapolcai-hát, és a Devecseri-Bakonyalja. A táj hegyvonulatokból, fennsíkokból és medencékből épül fel. Talaja jellemzően kavicsos vagy erősen kavicsos.

A talajok nagy része savanyú, agyagbemosódásos barna erdőtalaj. A harmadkori agyagos üledékeken találhatunk barnaföldeket, amelyek néhol vörösesbarna színűek. A mészköves-dolomitos területeken vörös bauxitos, kaolinites vörös agyakok találhatók. „A völgytalpakon és a medencék legmélyebb részén réti talajok képződtek, amelyeket kaszálóként, rétként hasznosítanak.” (STEFANOVITS ET ALL, 1999)

Az Északi-Bakony résztaujai az Öreg-Bakony, a Bakonyi-kismedencék, a Keleti-Bakony, és a Veszprém–Devecseri-árok, amelyek a középhegység legmagasabb térszintjei közé tartoznak.

A Keleti-Bakonyt többségében karbonátos üledékes kőzet építi fel. A Veszprém–Devecseri-árok kis medencék sorozatából áll, melyek dolomit- és mészkőtörmelékeket, valamint harmadkori üledékeket és kevés löszet tartalmaz.

A Bakonyalja kistáj-csoport főként dombvidékekből áll. A hordalékanyag egyik része kavics, másik homok és lejtőlösz. Az idősebb vagy homokosabb felszíneken az agyagbemosódásos barna erdőtalajok erősen elsavanyodott változata jellemző. A fiatal vagy löszös, karbonátos felszíneken a barnaföld, a csernozjom barna erdőtalaj, a humuszkarbonát talajok és a karbonátos lejtőhordalék található. (STEFANOVITS ET ALL, 1999)

3.1.1. Kolontár és Devecser környéki talajjellemzők

Mintavételi vizsgálatokat végeztünk a katasztrófa helyszínén. Három helyről vettünk talajmintákat: az első mintavétel helye a X-es számú tározó mellett volt (2. ábra), ahonnan kiindult a vörös iszap ár, a második egy mezőgazdasági területen történt (3. ábra), a harmadik

pedig csemetekertben. Ezekre a területekre főként csernozjom, szikes és réti talajtípusok jellemzőek. A következő fejezetekben bemutatom ezeknek a talajtípusoknak a jellemzőit.



2. ábra: Az ajkai timföldgyár X. számú kazettája, műholdas felvétel [3]

3.1.1.1. Csernozjom talajok jellemzése



3. ábra: A 2. mintavétel helyének szelvénye, mezőgazdasági terület (fotó: Kovács G., 2010)

Ebben a fejezetben említést teszek az öntéscsernozjomok és réti csernozjom talajtípusokról. A tenyésztedény kísérlet során felhasznált talajtípus réti csernozjom volt, ami Devecser és Kolontár közötti (a vörös iszappal elöntött) területen jellemző, innen is lett elhozva a tenyésztedény vizsgálat során felhasznált talajminta.

A csernozjom talajokra jellemző a humuszanyagok felhalmozódása, a kedvező, morzsalékos szerkezet kialakulása, valamint a kalciummal telített talajoldat kétirányú mozgása. Ezeket a tulajdonságait az ősi füves növénytakaró alatt bekövetkezett talajképződési folyamatok eredményezték.

Az öntéscsernozjomok típusnál jellemző, hogy a szerves anyag felhalmozódása társul a talaj öntésjellegéből származó tulajdonságokhoz. A talaj szelvényében tovább fennmaradnak az öntésanyag lerakódásának körülményeiből származó különbségek, viszont a humuszosodás elfedi őket. Amikor talajszelvényt

készítünk, láthatjuk, hogy a morzsalékos, barna humuszos szint alatt (olyakor ezen belül is) rétegzett, több vagy kevesebb homokot, iszapot és agyagot tartalmazó talajképző kőzet található. Az öntés jellegétől függően tartalmazhat több-kevesebb szénsavas meszet, a karbonátok eloszlása pedig nem olyan jellegzetes, mint a többi csernozjomtípusnál. A morzsás szerkezet kevésbé jó, a feltalaj humusztartalma 3-4 %, és lefelé fokozatosan csökken. Előfordulhatnak apró rozsdafoltok.

A fizikai talajféleségtől függően vízgazdálkodásuk különböző lehet, de általában víztartó és vízvezető képessége közepes. Sok nyers ásványi tápanyagot tartalmaznak, tápanyag-gazdálkodásuk a szerves anyag formában felhalmozódott nitrogén mennyiségtől és ásványosodásának ütemétől függ.

Altípusai is léteznek, amelyeket karbonáttartalomuk alapján különböztetünk meg. Ezért lehetnek karbonátos és nem karbonátos típusok. A többi csernozjomtípustól a humuszcsernozjom tulajdonságai, a karbonáttartalom, valamint a kultúrállapot alapján választjuk el.

A réti csernozjomok kialakulására és tulajdonságaira jellemző, hogy a csernozjom jellegű humusz-felhalmozódást gyenge vízhatás kíséri. Ez lehet a talajvíz közelségének vagy a mélyedésekben összefutó belvíz eredménye. Tapasztalható, hogy a talajszelvény vízbőssége és az annak következményeként fellépő levegőtlenessége a talaj agyagtartalmának függvénye. Ez a fajta talajtípus abban különbözik a többi csernozjom-típustól, hogy bennük a vasmozgás nyomai is észlelhetők (rozsdás foltok, vasszeplők, és erek alakjában). A humuszos szintek barnásfekete, fekete színűek. Szemcsés szerkezet jellemző rájuk.

A réti csernozjomokra jellemző a szénsavas mészfelhalmozódás egyik formája, az ún. göbecs. Ásványi anyagok közül nagyobb arányban dolomit és szmektit fordul elő benne. Szerves anyag tartalma kevesebb, mint a felszínen. A szerves anyag minőségét a vízhatás is befolyásolja, mert a talaj szerves anyagának egy része vashoz kötött huminsav alakjában található. A kilúgozott szelvényekben a telítettség 70 % körüli, ami a szénsavamész-tartalomtól függ. A kicserélhető kationok közül a kalcium az uralkodó, de a magnézium mennyisége sem elhanyagolható.

A talajvíz a réti csernozjomok alatt általában 4 m körüli mélységben vagy valamivel feljebb található. Ezért a vízgazdálkodása az év egy részében a talajvíz felszín felé áramlásával jellemezhető. Az egyes szintek vízáteresztő képessége jó, víztartó képessége pedig megfelelő. Ha sok a csapadék vagy az olvadási víz (például kora tavasszal), akkor hajlamos a túlnedvesedésre.

A nitrogén-, foszfor- és káliellátás miatt kedvező a tápanyag-szolgáltató képessége. Befolyásolhatja az időszakos levegőtlenység a nitrogénfeltáródás késleltetésével, valamint a foszfátok megkötődésével.

Négy altípusa létezik: karbonátos, nem karbonátos, mélyben sós és szolonyeces réti csernozjom. Változatait a kőzet és a talajféleség mellett a humuszcsernozjom tulajdonsága, a sófelhalmozódás jellege és erőssége, a szolonyecesség foka, valamint a kultúrállapot alapján különböztetjük meg.

A humuszcsernozjom vastagsága szerint megkülönböztetünk sekély, közepes és mély humuszcsernozjomú szelvényeket. Humusztartalom alapján pedig van közepesen humuszos (2-3,5 % szerves anyag tartalmú) és humuszgazdag (3,5 %-nál több szerves anyag tartalmú) változat. Sótartalma szerint létezik gyengén, közepesen és erősen sós változata (0,1–0,1–0,4 és 0,4 %-os határértékekkel). Szolonyeces jellegének mértéke szerint megkülönböztetünk közepesen és erősen szolonyeces réti csernozjomot az alapján, hogy a szikesedés által befolyásolt talajsíntben a kicserélhető nátrium az S-érték 5-15 %-s, ill. meghaladja-e a 15 %-át. A kultúrállapot szerint is két változatot határolunk el egymástól: az eketalpréteg megjelenése, ill. a szántott réteg szerkezetleromlása, elporosodása, és a meszezéses talajjavítás szerint. (STEFANOVITS ET ALL, 1999)

3.1.1.2. Szikes talajok jellemzése

A tenyészedény kísérletek során minden héten sókiválást tapasztaltam a talajminták felszínén. A talaj megrepedezett, és betonszerűvé keményedett. Az elszikesedéshez hasonló folyamatokat tapasztaltam.

A szikes talajok kialakulásában és tulajdonságaiban a vízben oldható sók döntő szerepet játszanak. A talaj tulajdonságainak alakításában elsősorban a nátriumsók van nagy szerepe. Ezek a nátriumsók részben oldott állapotban, részben pedig szilárd fázisban, kristályos sók formájában vannak jelen. A nátrium ionos formában a kolloidok felületén adszorbeálva is megtalálható.

Ezek alapján megállapítható, hogy a nátrium bármely formájának mennyisége, minősége és aránya határozza meg a szikes folyamatok jellegét és a szikes talaj tulajdonságait. „A szikesedés mértékének növekedésével párhuzamosan csökken a talaj termékenysége, mert romlanak a fizikai és kémiai tulajdonságok és a növények termesztésének feltételei. A szikes

talajok fő típusába tartozó típusokat a bennük lejátszódó folyamatok alapján különböztetjük meg.” (STEFANOVITS P. ET ALL, 1999)

A sófelhalmozódásnak általában két oka van: a száraz éghajlat befolyásolja, vagy a közeli talajvízszint. Magyarországon azonban a talajvíz közelsége és sótartalma az alapvető oka a felhalmozódásnak. A párologtató vízgazdálkodás következménye, hogy a talajszelvény sókészlete a talajvíz sótartalmából pótlódik, mivel az erőteljes párologás és a növények párologtatása a gyökérszónába eső kapilláris övből nedvességet von el. Ennek hatására újabb vízáramlás indul meg a talajvíz felől, amely betöményedik. A fölfelé áramló talajnedvesség víztartalma elpárolog, a vízben oldott sók a talajban visszamaradnak. A nehezen oldódó kalcium- és magnézium sók egy része pedig kicsapódik.

A talajnak sódinamikája van, mivel a talaj különböző rétegeiben található sók időszakosan változnak, a párologás és a csapadék viszonyoknak megfelelően. Ez egyben megszabja a talajszelvény sóprofilját is, azaz hogy az egyes talajszintekben mennyi és milyen só halmozódik fel. A sófelhalmozódás maximuma szerint két típust különböztetünk meg: amikor a felhalmozódás maximuma a feltalajban van (ez a szolocsák típusú sófelhalmozódás), és amikor a legnagyobb sótartalom a mélyebben fekvő agyag-felhalmozódási szintben található (ez a szolonyec típusú sófelhalmozódás).

A sófelhalmozódás jellege nem minden szikes talajban egyforma. A felhalmozódott sókat a kationok és anionok aránya és minősége határozza meg. Ezáltal lehetnek nátrium-, kalcium- és magnéziumsók, ill. ezen belül karbonátok, szulfátok és kloridok. Ezek közül a nátriumos és karbonátos sófelhalmozódás a legkárosabb, a kémiai és fizikai hatásokat figyelembe véve.

Fontos ismernünk a sófelhalmozódás jellegét a kationok megoszlása alapján, mivel a vízben oldható sók kationjai nem egyformán hatnak a talaj tulajdonságaira. A kationok megoszlását az egymáshoz viszonyított arányával fejezhetjük ki:

- ha a nátrium kalcium és magnézium aránya > 2 , akkor nátriumos,
- ha 1-2 közé esik és magnézium-kalcium aránya > 1 , akkor magnéziumos-nátriumos,
- ha magnézium és kalcium aránya < 1 , akkor kalciumos-nátriumos,
- ha nátrium kalcium és magnézium aránya < 1 , és magnézium-kalcium aránya < 1 , akkor kalciumos-magnéziumos,
- ha nátrium kalcium és magnézium aránya < 1 , de magnézium-kalcium aránya > 1 , akkor magnéziumos-kalciumos.

Az anionok sem egyformán rontják a talaj tulajdonságait: ha a sófelhalmozódás jellege

- karbonátos, akkor a CO_3^{2-} az anionok összegének több mint 20%-a,
- karbonát-szulfátos, ha a karbonátok mellett több mint 50% SO_4^{2-} található,
- karbonátos-kloridos, ha a karbonát mellett több mint 30% Cl^- található,
- karbonát-szulfátos-kloridos, ha az előbb említett anionok mennyisége 20-50-30%-a az anionok összegének a vizes kivonatban.

A nátriumsók (elsősorban a karbonátok) maximuma magasabban található a talajszelvényben, mint a nehezebben oldódó magnézium- és kalciumsóké, vagy az anionok közül szulfátoké és kloridoké. Ez a vízben való oldhatóságuk következménye.

Csoportosíthatjuk a sófelhalmozódást a vízben oldható sók mennyisége szerint is:

- <0,05% -nyomok, amelyre a termesztett növények még nem érzékenyek,
- 0,05–0,15%-gyengén szoloncsákos, amelyben sóérzékeny növények nem termesztethetők,
- 0,15–0,40% -szoloncsákos, amelyben csak kevés sótűrő növény él meg,
- >0,40% -erősen szoloncsákos, amelyben kultúrnövények nem termesztethetők.

Az adszorbeált kationok összetétele is megváltozik a sófelhalmozódás hatására. Ha megnő a nátrium viszonylagos mennyisége a vízben oldható sók közül, akkor a kicserélhető kationok között is nagyobb arányban foglal majd helyet a kolloidok felületén. Már kevés kicserélhető nátriumion is nagyon lerontja a talaj fizikai tulajdonságait, és ez alapján is lehet csoportosítani a szikesedés fokozatait, a következők szerint: ha a kicserélhető nátrium mennyisége:

- <5 S%, akkor nem szikes,
- 5-15 S%, akkor gyengén szolonyeces,
- 15-25 S%, akkor erősen szolonyeces,
- > 25 S%, akkor erősen szolonyec.

Általában a szikesedés és a sófelhalmozódás előfeltétele a hidromorf talajképződés, a dókban gazdag talajképző kőzet és esetenként a sok sót tartalmazó, nem túl mélyen fekvő talajvíz. Ezen kívül a nyári hosszantartó szárazság is szükséges keletkezéséhez, mely a talajoldatok elpárolgását idézi elő. Ennek következménye a lúgos kémhatás (ami adott volt a vörösiszap-katasztrófánál), valamint a rossz vízgazdálkodás.

A szikes talajok egyik típusa a másodlagos elszikesedett talajok. Ennek a talajtípusnak az a jellemzője, hogy az eredeti talajtípus (pl. csernozjom, réti vagy öntéstalaj) morfológiai

bélyegei mellett a szikes talajokra jellemző vízben oldható sók és kicserélhető nátrium is megtalálható bennük. A másodlagos elszikesedett talajok keletkezésében döntő szerepet játszanak az emberi beavatkozások. Általában ott alakulnak ki, ahol a talajvíz szintje megemelkedik, vagy a területre nátriumsókat tartalmazó öntöző- vagy csurgalékvíz jut (ez előfordulhat helytelenül megtervezett öntözőrendszerek, vagy hibás öntözés következtében). Mindezek következtében az eredeti talajtípus elszikesedik, de a kialakulása során kialakult bélyegei még megmaradnak.

Víz- és tápanyag-gazdálkodása az elsődleges talajtípus jellemző vonásait mutatja, de lényegesen kedvezőtlenebb formában. Víznyelő és víztartó képessége a szikesedés előrehaladtával romlik. Megváltozik a nitrogénszolgáltató képessége is, amelyet a foszfátok megkötődésének növekvő mértéke is kísér.

Altípusait az alapján tudjuk meghatározni, hogy milyen típusból keletkezett a talaj. Ez alapján lehet másodlagosan elszikesedett csernozjomról vagy réti talajról beszélni. Változatait csoportosíthatjuk a vízben oldható sók, valamint a karbonát-tartalma alapján. A szoloncsákosodás mértéke szerint lehetnek szoloncsákos és nem szoloncsákos szelvények. A sók minősége szerint megkülönböztetünk karbonát-szulfátos, karbonát-hidrogén-karbonátos, valamint karbonát-kloridos változatokat. A karbonát-tartalom alapján a két változat (a felszínhez közel karbonátos és a mélyben karbonátos) elválasztását a szénsavas mészes megjelenésének helye alapján tudjuk behatárolni. (STEFANOVITS ET ALL, 1999)

3.1.1.3. Réti talajok jellemzése

A réti talajok keletkezésében az időszakos túlnedvesedés játszott nagy szerepet, ami lehet az időszakos felületi vízborítás vagy a közeli talajvíz következménye. Jellegzetes szervesanyag-képződést és az ásványi részek redukcióját válthatja ki a vízhatásra beálló levegőtlenség.

A réti talajok humuszanyaga mindig fekete színű amiatt, hogy a humuszanyag nagyrészt levegőtlen viszonyok között képződött és vassal kapcsolódott. A humuszos szint vastagsága változó lehet. Szerves anyag tartalma általában több mint a környező területeké, de kevesebb, mint az a színéből következne.

A hosszabb ideig tartó vízborításos időszak nagyobb szervesanyag-felhalmozódáshoz, láposodáshoz vezet. Ennek az a feltétele, hogy az év egy részében a talaj teljesen vízzel telített legyen. A fekete színű humuszanyag tapadós és nehezen művelhető felszínt képez.

A sófelhalmozódás jellemzően az A szintben olyan feltételek között játszódik le, mint a szikes talajoknál (enyhébb formában), de csak a szoloncsákos réti talajokban jelenik meg. Itt inkább a szulfátok felhalmozódása a gyakori. Minden sófelhalmozódási forma sokkal gyengébb, mint a szikes talajokban, de még így is termékenység-csökkentő hatásuk van.

A réti talajokban a kicserélhető nátrium-tartalom növekedése rendszerint követi vagy megelőzi a kicserélhető magnéziumok szaporodását, és értékük meghaladja a 30 S%-ot. Hatásuk kevésbé kedvezőtlen a talajok fizikai tulajdonságaira, mint a kicserélhető nátriumé.

A réti talajok tulajdonságainak jellemzésénél figyelembe vesszük a tapadós humuszanyagokat, a nehéz művelhetőséget, a foszfor erős megkötődését, és a nitrogén tavaszi nehéz feltáródását. Ezek a talajtípusok nedves években a termés különösen csekély, száraz években viszont jó. Ásványi anyag összetétele a szelvényen belül alig változik (különösen az agyagos részeken). Agyagásványaira általában a montmorillonit jellemző, ezen kívül sok amorf kavasav és alumínium-oxihidrát is előfordul. A következőkben a réti talajtípusok közül csak az öntés réti talajtípust jellemzem, mivel ilyen talaj fordul elő a 3. mintavételi helyen, a csemetekertben.

Az öntés réti talajokban fellelhetők a talajok öntésjellegének nyomai és a réti folyamatok egyaránt. Ebből következik, hogy egymás mellett jelenik meg az öntésterületek hordalékanyagának rétegzettsége és kialakulatlansága, valamint a réti talajokra jellemző humuszképződés. A szelvények humuszos szintje elmarad a többi réti talajtípusétól, de jól kivehető, általában 2-3 % szerves anyagot tartalmaz és 30-40 cm vastag a humuszos szintje.

Az öntés réti talajok szerkezete is kevésbé kialakult, legtöbbször gyengén szemcsés szerkezetű. Hiányoznak a 2-3 mm-nél nagyobb mészgöbcecsek és vasborsók, amik az erőteljes dinamikát mutatják. Az öntés rétegzettségét szolgáló talajképző kőzetek azonban fennmaradtak, a homokos, az iszapos és az agyagos rétegek az üledékképződés változó viszonyait követik. A talajszelvényben apró rozsdafoltok és mészsavak fordulnak elő a vasmozgás és kalciumdinamikának köszönhetően. Savanyúsági viszonyait és kémhatásukat ugyanúgy az öntés jellege szabja meg, mint a kicserélhető kationok eloszlását és az agyagtartalom változását.



4. ábra: A 3. mintavételi helyének szelvénye, csemetekert (fotó: Kovács G., 2010)

Területük az állandó vagy az időszakos vízborítástól mentesült, az ártér magasabban fekvő részeire terjed ki, ahol lehetőség van a folyamatos talajképződésre. A megtelepedő növénytakaró alatt elsősorban humuszosodás indul meg olyan feltételek mellett, amelyek a réti talajok képződését határozzák meg.

Általában kedvező a vízgazdálkodásuk, ha a talajvíz nincs túl közel a felszínhez, és a tavaszi nedves időszak sem tart sokáig. A talajvíz hasznosan befolyásolja a nyári időszakot a növények számára.

Tápanyag-ellátottságuk is kedvező, de a nitrogénfeltáródás, valamint a nitrogénszolgáltató képességük gyenge a kisebb szervesanyag-tartalom és a talajok lassú tavaszi felmelegedése miatt.

Altípusai is léteznek, amelyek karbonátos és nem karbonátosak lehetnek, a szelvény felső szintjének karbonáttartalma alapján. Változatait a humuszréteg vastagsága és szervesanyag-tartalma alapján különböztetjük meg. Ugyanazok a hátértékek vonatkoznak rájuk, mint a többi réti talajtípusokra: a karbonátok eloszlása, a glejesedés, a talajvíz mélysége, valamint az eltemetett talajréteg. (STEFANOVITS ET ALL, 1999)

3.2. A talaj termékenysége

Napjainkban a rohamosan növekvő technikai fejlődés mindig is világméretű problémákhoz vezetett, ezért szükségszerű küzdeni a környezeti problémák ellen, amik felmerülnek a fejlődés következtében. A mezőgazdasági termelés fejlesztése során vizsgálni kell a talajok állapotát, és minőségét, ismernünk kell a talaj termékenységét (főként a humusz- és szén-savmész-tartalmat), és törekednünk kell a megőrzésére.

Termőtalajaink a nemzeti vagyon jelentős hányadát képezik, ezért is gondoskodnunk kell átmentésükről, állaguk tartós védelmükről és tervszerű javításukról. A javítási lehetőségeket, a javítási módszereket, az anyagi erőforrásokat és a szervezeti adottságokat úgy lehet hasznosítani, ha a talajadottságokat pontosan ismerjük. (DÖMSÖDI, 1984)

3.2.1. Talajadottságok

Számos talajadottság szoros kapcsolatban áll egymással. Meghatározásuknál fontos ismernünk a talaj szerkezetét, fizikai és kémiai tulajdonságait, valamint genetikai

tulajdonságait (osztályozásukat). Mindezek befolyásolják a talaj termékenységét és a talajjavítás lehetőségeit. (FEKETE ET ALL, 1967)

3.2.1.1. Morfológiai tulajdonságok és talajjavítási lehetőségek

A talaj szerkezetkialakító hatásában fontos szerepe van a szerves anyagokból keletkező kolloidális humuszanyagoknak, továbbá a talaj élőlényeknek, baktériumoknak, növényzetnek. *„A szerves és az ásványi érsz között erősebb vagy lazább kapcsolat alakul ki aszerint, hogy a szerves anyagnak a kevésbé humifikálódott (az ásványi részhez kevésbé kapcsolódó) része vagy a szerves elemekkel szorosabb kapcsolatban álló humuszanyagai vannak-e túlsúlyban.”* (DÖMSÖDI, 1984) A talajban lévő ásványi szemcsék és a humusz szilárd halmazállapotúak, valamint kolloidális tulajdonságúak. A szerves anyagnak vagy humusznak rendkívül fontos szerepe van a talajszerkezet-kialakításban, ugyanis a jó szerkezet nagymértékben elősegíti a talaj tápanyag-és vízgazdálkodását. A talaj szerves anyaga azonban elhasználódhat, vagy bármilyen havária esetén (pl. vörös iszap katasztrófa) megromolhat, ezért folyamatos pótlásáról vagy javításáról mindenképpen gondoskodni kell.

Többféle lehetőség született a megfelelő talajszerkezet, ill. a talajállag fenntartására. Általában a jó szerkezetű talajok szerkezetének fenntartására a talajművelési eljárások a legcélravezetőbbek. A rossz szerkezetű vagy radikálisabb javításra szoruló talajok (pl. vörös iszappal szennyezett talajok) esetében már kémiai anyagok, ásványi kolloidok (agyag, márga), szerves anyagok (tőzeg, lápföld, istállótrágyák, zöldtrágyák, stb.) és mészbevitel szükséges. (DÖMSÖDI, 1984)

Tavaly október 25-én megjelent az építésügyi portálon egy cikk a vörös iszappal szennyezett talajok javításáról, miszerint létezik egy nagyon egyszerű és hatékony megoldás a szennyezett területek újjáélesztésére, ráadásul természetes alapanyagú szerekkel. Dr. Csicsor János vegyész által fejlesztett szer számos helyen alkalmazzák növénytermesztésben, növény- és állategészségügyi termékek előállításában, környezetvédelemben, az intenzív állattartásban, az állatgyógyászatban és takarmányozásban, valamint a humán egészségügyi termékek területén. A kifejlesztett szer a „Dudarit” elnevezést kapta, amely egy természetes huminsav tartalmú talajjavító készítmény. A devecseri vörös iszappal szennyezett parkban kísérletet hajtottak végre, ahol meglepő eredményt kaptak: a vörös iszappal szennyezett 13 pH kémhatású talajkeverék fél óra alatt 7 pH-ra csökkent a Dudarittal beszórt területen.

Ezután a kísérlet után, amit 2010. október 7-én hajtottak végre, elkezdtek a kertek és csatornák beszórását, hogy a patakba bemosott ipari szenny ne károsítson tovább.

A Dударit a világon egyedülállóan magas huminsav hatóanyagú természetes szer, amely faszén és tőzeg alapanyagú, engedélyezett magyar termék. A szakemberek a mintaterületen elvégzett kísérlet alapján, számításokat és becsléseket végeztek, melyek szerint az erősen katasztrófa-sújtott helyekre (Kolontár, Devecser és Somlóvásárhely) kb. 5 tonna/ha mennyiségre lenne szükség az élőhely helyreállításához.

Ezt a huminsav hatóanyagú és koncentrált humusz tartalmú szert évente exportálják több ezer tonnányi mennyiségben, pl. Spanyolországba, Oroszországba és Egyiptomba a silány, lepusztult talajok javítására. Hazánkban elsősorban az állategészségügyben és takarmányozásban alkalmazzák.

A Dударit hatásai bizonyítottak: képes extrém savas vagy lúgos körülményeket pufferálni; megköti a nehézfémeket, növények számára felvehetetlen formájú vegyületeket kialakítva; a talaj és az élőlények regenerálódását teszi lehetővé; természetes anyag révén könnyen és 100%-osan beépül a szervezetbe; és nincs mellékhatása. Mindezek mellett a huminsavak a talajban, a növény-és állatvilágban, sőt az emberben is mindenütt természetesen jelen vannak, ráadásul a dударit olcsóbb, mint a műtrágya és kis mennyiségben is azonnal hatásos. (EPITESZFORUM.HU, 2010)

3.2.1.2. Fizikai, kémiai és genetikai tulajdonságok

Visszatérve a talajadottságokhoz, a fizikai és kémiai tulajdonságokból például következtetni tudunk a talaj víz-, hő-, levegő- valamint tápanyag-gazdálkodására, és ezzel együtt a talajhibákra.

Például a sós talajok egyik legszembetűnőbb jellegzetessége a felületi sókivirágzás (amit én is tapasztaltam a tenyészedény kísérlet során). Ez azért fordul elő, mert a talajban lévő vízmozgás a sós talajvizet a felszínre, vagy a felszínközelbe hozza, és a sók kiválnak a talajrétegben, ill. a talaj felületén. A talajtípusok közül, a szikes talajoknál is előforduló jelenség, ami legfőképpen a sós talajvíz, és a felszín száraz (párolgásos) klímaviszonyai miatt keletkezik (szikesedés).

A talajadottságok rendszerezéséhez és a talajjavítás megítéléséhez, genetikai, rendszertani ismeretek is szükségesek.

A csernozjomokra jellemző, hogy főként löszből és öntésanyagból keletkeztek. Termőképességüket a humuszos réteg vastagsága befolyásolja. Hibáik általában az altalajban lehetnek, mint például nátriumakkumulációs szintek, magnézium- és mésztartalom kedvezőtlen aránya, márgás és glejes rétegek fordulnak elő.

Az öntéstalajok meszes kifejlődésekor helyenként tömődött, mészkőpados réteg alakulhat ki, közel a felszínhez, ami sekély termőrétegűséget, rossz vízgazdálkodási adottságokat okoz. A talajvíz is közel van, ami lehet kedvező vagy kedvezőtlen.

A réti talajok pedig legtöbb esetben túlságosan agyagosak. Ezek is lehetnek meszes vagy savanyú kifejlődésűek, kedvezőtlen szerkezetűek. A kedvezőtlen talajszerkezet kialakulását a rossz humuszminőség pedig még inkább fokozza. (DÖMSÖDI, 1984)

3.2.2. Talajtermékenység

A talaj termékenysége állandóan változik a talaj képződése folyamán. A talajképződési folyamatok hatására a terméketlen kőzetből alakulnak ki azok a talajtulajdonságok, amelyek a termékenységet biztosítják. Ezek közül a tulajdonságok közül a legfontosabbak elsősorban a talaj víz- és tápanyag-gazdálkodása.

A talajpusztulás is egyfajta talajképződési folyamat, ami azonban a talajtermékenység ellen hat. Ebből következően a talajképződési és a talajpusztulási folyamatokat tekinthetjük a talajtermékenység két eredőjének.

Megkülönböztetünk különféle termékenységi szinteket abból a szempontból, hogy az emberi tevékenység különböző mértékű és irányú hatásának eredményeként alakultak-e ki. Van természetes termékenység, alaptermékenység, aktuális vagy tényleges termékenység, optimális termékenység, potenciális termékenység és maximális termékenység.

A természetes termékenység (F_n) egyrészt a biomasszát (a természetes növénytakaró által produkált szervesanyag-tömeg) jelenti, ami kifejezhető g/m^2 -ben egy évre vonatkoztatva, másrészt a mezőgazdasági számításokban az első szántóföldi növény által elért termést vagy terméseket. Mivel hazánkban nincs már ősi növénytakaró, és nincs olyan terület, amelyet most vonnának először szántóföldi művelésbe, ezért ennek a fogalomnak csak elméleti jelentősége van.

Az alaptermékenység (F_f) istállótrágyázással, mint tápanyag-utánpótlással és sekély vagy közép mély fogatos szántással nyert termeléssel jellemezhető, vetésforgós gazdálkodás keretében. Ez az állapot az 1930-as évekig jellemezte a talajok termékenységét, két

évszázadon keresztül. Az alaptermékenység kifejezhető az adott helyen általánosan termesztett növények többéves termésátlagára is.

A jelenleg általánosan használt műtrágyaféleségek mindenkori adagjait, a talajviszonyok által megkívánt talajművelést és az esetleges talajjavítás alkalmazásával elért tényleges termések többéves átlagát, az aktuális vagy tényleges termékenységgel (F_a) fejezhető ki, mind szárazgazdálkodás, mind öntözött viszonyok esetén is.

Az optimális termékenység (F_o) az összes gazdaságosan alkalmazható átlagtermést jelenti, és a területen indokolt melioráció alkalmazásával érhető el.

Többéves termésátlagot jelent a potenciális termékenység (F_p), amely az adott viszonyok között eredményesen alkalmazható melioratív eljárások összességének bevezetésével érhető el.

Az elérhető legnagyobb termésátlag elméletileg a maximális termékenység (F_m), amelyet csak az időjárás és a termesztett növényfajták tulajdonságai határolnak be.

A meliorációs számot (M) úgy kapjuk meg, hogy az aktuális termékenységből kivonjuk az alaptermékenységet ($M = F_a - F_f$). Ez a szám az előálló terméstöbbletet adja meg gabonaegységben.

A reagálási számot (R) pedig megkapjuk a potenciális és az alaptermékenység különbségéből ($R = F_p - F_f$). Az agrotechnika és a melioráció összes, jelenlegi ismeretei szerint hatásos eljárások alkalmazásával érhető el az adott talajon, ez a gabonaegységben előállítható terméstöbblet.

A meliorációs szám és a reagálási szám százalékban kifejezett értéke a meliorációs hatásfok ($M\%$), amit úgy kapunk meg, hogy:

$$M\% = \frac{M \cdot 100}{R}$$

Ez a hatásfok megadja a meliorációs lehetőségek kihasználásának mértékét. A legjobban ezzel az értékkel tudjuk jellemezni a gazdálkodás színvonalát és eredményességét. Emellett ez szolgál alapul az agrotechnikai és meliorációs beruházások leghatékonyabb felhasználásának eldöntéséhez. (STEFANOVITS ET ALL, 1999)

A talajban a humuszanyagok meglehetősen állandó vegyületeket képeznek. Ezért a talaj szervesanyag-utánpótlására szükség van, ami pótolható természetes vagy mesterséges úton. Természetes források lehetnek a gyökér-, szár- és levélmaradványok, amelyek a talajba jutnak, valamint az erdőségekben az avarból származó szerves anyagok. A mesterséges utánpótlást a különböző szerves trágyák és komposztok adják, de a műtrágyák is nagyszerepet

játszanak a talaj szervesanyag-utánpótlásában. Ha nem pótoljuk szerves anyaggal a talaj humuszkészletét, az jelentős mértékben csökkenhet, és ez a talaj termékenységének rovására mehet. (FEKETE ET ALL, 1967)

Devecser környékén különböző talajtermékenységek jellemzőek. Noszlop, Oroszi, Somlósőzlős, Devecser és Káptalanfa környékén a humuszos réteg 30-50 cm, a termőréteg 50-100 cm vastag lehet. A legtöbb helyen kavicsos, vályogos homok jellemzi a feltalajt, meszet nem tartalmaz, a pH értéke 6 körüli. Az altalajban lévő homok gyakran agyagos vagy sóderes, a szelvény alsó részében. A löszös rétegekre jellemző, hogy kb. 1 m mélyen, és nem összefüggő rétegekben települnek.

Bodorfa és Devecser környékén a humusztalaj réteg 20-40 cm, a termőréteg pedig 40-70 cm vastag körüli. A feltalajt mindenütt mésztelen kavicsos homok jellemzi, amelynek a pH értéke 6-6,5 körüli, és néhol löszös vagy agyagos homokra települ. Az altalajra homok, legalul sóderes, köves réteg jellemző.

Meszes, humuszos homoktalajok Noszlop, Ganna, Magyarpolány, Bakonygyepes, Kislőd és Devecser környékére jellemzőek. A humuszos réteg 30-60 cm, a termőréteg 40-100 cm vastag lehet. A feltalaja igen kis mésztartalmú és semleges kémhatású, nagyjából kavicsos, de kisebb részt agyagos homok. A pH értéke 6,5 körüli, de elérheti a 7-8 értéket is. Az altalajára agyagos, glejes, kavicsos réteg jellemző, legalul kavicsos márga vagy mészkiválásos finom homokos lösz.

Kuptól délre, Noszloptól északra, Somlóvecstől északra és délre, Devecsertől pedig nyugatra meszes, humuszszegény homoktalajokat találunk, ahol a humusztalaj réteg 30-40 cm, a termőréteg 50-60 cm vastag. Feltalajára kevés meszet tartalmazó kavicsos homok és homok jellemző, amelynek pH értéke 6,6-7,6 körüli. Az altalaja agyagos, kavicsos homok, legalul pedig helyenként márgás. A nagyobb mésztartalom az 50-100 cm mélyen lévő rétegeket jellemzi. (DÖMSÖDI, 1984)

3.3. A vörös iszap talajtermékenységet befolyásoló szerepe

Az előző fejezetben szó volt általánosan a talajadottságokról és a talaj termékenységéről, valamint Devecser és környékére jellemző talajtermékenységről. Most feladatom bemutatni néhány korábban, szakemberek által végzett vizsgálatok eredményeit.

A Greenman Kft. 2010. október 11-én a devecseri Kastélyparkban végzett helyszíni kísérleteket. Az ősfás növényzet megóvása céljából a helyszínen az iszapból mintát vettek, és

speciálisan erre a helyzetre módosított összetételű Greenman Purus mikrobiológiai készítménnyel kezelték a szennyezett területet. A kezeletlen vörös iszapminta pH értéke 12-13 volt, míg a kezelés után 7-8 pH-ra csökkent. Az iszapréteg eltávolítása után is mintát vettek a talajfelszínről, amelynek a pH értéke továbbra is 12-13-as maradt. A 20 cm mélyről vett talajminta már csak 8 pH értéket mutatott. A Greenman Kft. biztosítja, hogy készítményük alkalmas különféle eredetű szagok viaszorítására, és emberre, állatra, környezetre nézve veszélytelen, ennél fogva alkalmas kültéri és beltéri használatra. (WWW.GREENMAN.HU, 2010)

Számos kutatócsoport ment ki a katasztrófa helyszínére, és végeztek mind helyszíni, mind laboratóriumi vizsgálatokat. A Magyar Tudományos Akadémia Kémiai Kutatóközpont Anyag-és Környezettudományi Intézet (továbbiakban: MTA KK AKI) és az MTA Talajtani Kutatóközpont (továbbiakban: MTA TAKI) vizsgálatainak eredményeit közzétették az mta.hu oldalán. Az MTA kutatóiból álló csoportjához számos további szakértő csatlakozott.

A Katasztrófavédelmi Főigazgatóság kérte fel a Magyar Tudományos Akadémia segítségét, a vörösiszap-katasztrófa másnapján. A vegyészekből, ökológusokból, biológusokból és környezetvédelmi szakemberekből álló csoport Devecser környékén végeztek vizsgálatokat, és a Koordinációs Bizottság ülésére elkészítették gyors jelentésüket a helyzetről, és javaslatukat a további szükséges teendőkről.

Az MTA KK AKI vizsgálatainak eredményei a következők voltak: megállapították, hogy a vörös iszap erősen lúgos kémhatású, pH értéke jellemzően 12-14 érték között változik. Az EU szabályozás 94/904/EC direktíva szerint a vörös iszap nem veszélyes anyag. A European Waste Catalogue (hulladékokra vonatkozó európai uniós lista) szerinti kódszáma a 01 03 09.

Ennek ellenére a környezetbe kikerülő vörös iszap potenciális veszélyforrás, amely veszélyezteti a vele érintkező lakosságot, élővilágot és környezetet (levegőt szállópor formájában, vizet, talajt) egyaránt. Elsősorban erősen lúgos kémhatása miatt lehet veszélyforrás. Az elmúlt idők folyamán mintegy 30 millió tonna mennyiségű vörös iszap halmozódott fel Ajkán, tíz tározóban.

A vörös iszap összetételét, tulajdonságait, kezelési és hasznosítási lehetőségeit már korábban is vizsgálták számos hazai intézetben és egyetemen. Szerencsére ennek köszönhetően sok anyag- és technológia ismerete halmozódott fel az évek folyamán, amik segítséget nyújtottak a tavalyi katasztrófa következményeinek felszámolásában.

A kifolyt vörös iszap kémiai összetételét is vizsgálta az MTA, a MÁFI és a Bálint Analitika munkatársai húsz, Kolontár és Devecser térségéből összegyűjtött mintából. A vizsgálat során megállapították, hogy az ipari szenny heterogén anyag, összetétele helyről-helyre bizonyos határok között változik. A környezetre legkárosabb hatást gyakorló fémeket vizsgálták, amelyek eredményit a következő táblázat mutatja:

Minták	Vörös iszap fémtartalma (mg/kg)						
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
MTA KK AKI 2010.10.05 ^{1a}	135-144	n.d.	632-677	1,64-8,59	192-219	189-195	47,9 56,7
MTA KK AKI 2010.10.05 ^{1b}	33,4-35,7	n.d.	83,4-85,8	n.d.	64,3-73,1	43,2-53,9	36,8-43,6
Bálint Analitika 2010.10.05 ²	43,6-44,5	2,30-2,42	689-721	0,54-0,67	281-289	80,9-83,2	142-155
Bálint Analitika 2010.10.05 ³	27,9-32,3	0,24-0,34	57,6-74,5	0,18-0,28	26,3-36,4	7,52-11,8	64,2-77,9
MÁFI 2010.10.06 ⁴	81,6-131	0,82-1,44	360-694	0,61-2,83	143-322	96,2-177	108-172
Határértékek szennyvíziszapra⁶	75	10	1000	10	200	750	2500

n.d. nem mérhető

^{1a,b} Az MTA KK AKI által 2010.10.05-én a gátszakadástól 100 méterre, illetve Kolontártól 1 km-re nyugatra vett minta adatai;

² A Bálint Analitika által 2010.10.05-én a gátszakadástól mintegy 30, illetve 50 méterre vett 2 iszapminta adatai (határértékek);

³ A Bálint Analitika által 2010.10.05-én Kolontár belterületén vett 2 iszapminta adatai (határértékek);

⁴ A MÁFI által 2010.10.06-án Kolontár és Devecser térségében vett 10 iszapminta adatai (határértékek);

⁵ Az 50/2001 (IV. 3) Korm. rendelet szerint a mezőgazdaságban felhasználásra kerülő szennyvíziszapra megadott határértékek

2. táblázat: A környezeti szempontból legfontosabb fémekre vonatkozó eredmények [4]

Mivel a vörös iszap összetételére nincsenek előírások, ezért viszonyítási alapnak a mezőgazdaságban, talajjavításra alkalmazott szennyvíziszapokra (amelynek az EU lista szerint kódszáma 20 03 06) megengedett határértékeket vették figyelembe a vizsgálatok során.

A mérési eredményekből kiderült, hogy a vörös iszap határértéke a megengedett szennyvíziszapokéhoz képest kisebb, kevesebb kadmiumot (Cd), krómot (Cr), higanyt (Hg), nikkelt (Ni), ólmot (Pb), cinket (Zn) és arzént (As) tartalmaz.

A fenti eredmények alapján fémtartalma akkor jelent veszélyt, ha a fémek kioldódnak a vörös iszaptól, mert mobilizálódhatnak, és az élő szervezetek így könnyebben fel tudják venni. Száraz vörös iszap mintákon figyelték a fémek kioldódását, amiket desztillált vízzel és az MSZ 21420-31 szabvány szerinti pH=4,5-s ammónium-acetátos pufferrel kezeltek. Az eredmények a következők lettek:

Minták	Oldatok fémtartalma (µg/l)						
	As	Cd	Cr	Hg	Ni	Pb	Zn
MTA KK AKI 2010.10.05 ¹	k.h.a	k.h.a	k.h.a	k.h.a	190	60	k.h.a

desztillált víz							
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 szennyvízre¹²	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

3. táblázat: A vörös iszap kioldható fémtartalma [4]

Megállapították, hogy a vizsgált fémek nem oldódnak ki adott feltételek mellett.

A Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézetének (MTA TAKI) szakemberei 2010. október 8-án egy méter mélységű talajszelvényt ástak, Kolontáron és Devecserben annak megállapítására, hogy a felszínt borító vörös iszap beszivárgott-e a mélyebb rétegekbe. A vizsgálati eredmények az elsődleges kockázatbecslések alapjául szolgálnak, ezen kívül a lakosságot és az élővilágot érintő későbbi következményeket méri fel. A laboratóriumi vizsgálatok célja tehát az volt, hogy adatokat szolgáltasson a mielőbb elvégzendő kockázatértékeléshez.

Az eredmények előtt felvázolták Kolontár és Devecser térségének környezeti jellemzőit. Ezek közül, ami nekem volt fontos, hogy a mélyebb térszíneken hidromorf jellegű öntés és réti öntés talajok jellemzőek, kisebb foltokban réti csernozjom talajok találhatók. Jellemzően a felszín alatti talajvíz mélysége 2-4 méter, a mélyebben fekvő területeken 1-1,5 méter, ami évszakos ingadozást mutat. A talajvízre jellemző, hogy kalcium-magnézium hidrogénkarbonátos.

Az öntés jellegből adódóan a talajszelvények felépítése a mélyebb szintekben rétegzett, magas szervesanyag-tartalmú rétegek, amely vályog, iszap, valamint agyag szinteket is tartalmaz. A felszíni réteg karbonátos, pH értéke 8,2 alatti (tehát gyengén lúgos), a mélyebb rétegek pH értéke a 8,5-t is elérheti (ez már lúgos). Az öntésanyag rétegzettségének függvényében változik karbonáttartalma, ami átlagosan 10 % körüli. Talajvíz kb. egy méteren belül fordul elő a térségben. A kiemelt, gyengén vízhatású sík jelentős része szántóföldi művelés alatt állt.

Az MTA TAKI kutatócsoportja mintavételi tervet készített, majd az akkreditált Megaterra Kft. közreműködésével mintavételezést végeztek két, vörös iszap által elöntött családi házban. Az egyik Kolontáron, a Kossuth utca 20. szám alatt, a másik Devecseren, a Vadvirág utca 5. szám alatt vételezték, a kertjükben. Gépi fúróval egy méter mélységű talpfúrást készítettek, és a következő rétegenként mintáztak: 0-5, 5-10, 10-20, 20-30, 30-40,

40-50 és 50-100 cm. A gépi fúrások környezetében átlagmintákat képeztek botfúróval, 20-20 részmintából a 0-5, 5-10, 10-20 és 20-30 cm talajrétegekből. Kolontáron és Devecserben is történt felszín alatti vízmintavétel.

A mintavételezést, a minták szállítását és tárolását az MSZ 21470-1:1998 (talaj), MSZ 21464:1998 (felszín alatti vizek) és MSZ 21420-17:2004 (hulladék) szabványok szerint hajtották végre. A talajmintákat az MTA TAKI laboratóriumába, valamint a Bálint Analitika Kft-be szállították. A mintavételi helyek koordinátáit (meghatározása az EOVS rendszerben történt), a minták kódjait a következő táblázat szemlélteti:

Mintavételezési helyszín	Koordináta	Minta kód	Mintavételi eljárás	Mintázott réteg cm	Mintázott környezeti elem
Kolontár, Kossuth u. 20.		V2-MF1A/1	átlagminta	0-5	talaj
		V2-MF1A/2		5-10	talaj
		V2-MF1A/3		10-20	talaj
		V2-MF1A/4		20-30	talaj
	Y530691 X194872	V2-MF1/1	pontminta	0-5	talaj
		V2-MF1/2		5-10	talaj
		V2-MF1/3		10-20	talaj
		V2-MF1/4		20-30	talaj
		V2-MF1/5		30-40	talaj
		V2-MF1/6		40-50	talaj
		V2-MF1/7		50-100	talaj
Kolontár, Kossuth u. 20.		V2-MF2A/1	átlagminta	0-5	talaj
		V2-MF2A/2		5-10	talaj
		V2-MF2A/3		10-20	talaj
		V2-MF2A/4		20-30	talaj
	Y530689 X194894	V2-MF2/1	pontminta	0-5	talaj
		V2-MF2/2		5-10	talaj
		V2-MF2/3		10-20	talaj
		V2-MF2/4		20-30	talaj
		V2-MF2/5		30-40	talaj
		V2-MF2/6		40-50	talaj
		V2-MF2/7		50-100	talaj
Kolontár, Kossuth u. 20.	Y 530 691 X 194 872		ásott kút vízmintája	talpmélység 6 m	felszín alatti víz
Devecser Vadvirág u. 8.		V3-MF1A/1	átlagminta	0-5	talaj
		V3-MF1A/2		5-10	talaj
		V3-MF1A/3		10-20	talaj
		V3-MF1A/4		20-30	talaj
	Y527200 X197179	V3-MF1/1	pontminta	0-5	talaj
		V3-MF1/2		5-10	talaj
		V3-MF1/3		10-20	talaj
		V3-MF1/4		20-30	talaj
		V3-MF1/5		30-40	talaj
		V3-MF1/6		40-50	talaj

		V3-MF1/7		50-100	talaj
Devecser Vadvirág u. 5.	Y527164 X197241	V3-MF2A/1	átlagminta	0-5	talaj
		V3-MF2A/2		5-10	talaj
		V3-MF2A/3		10-20	talaj
		V3-MF2A/4		20-30	talaj
		V3-MF2/1	pontminta	0-5	talaj
		V3-MF2/2		5-10	talaj
		V3-MF2/3		10-20	talaj
		V3-MF2/4		20-30	talaj
		V3-MF2/5		30-40	talaj
		V3-MF2/6		40-50	talaj
		V3-MF2/7		50-100	talaj
Devecser, Esze Tamás u. 11.	Y 527 125 X 197 116		ásott kút vízmintája		felszín alatti víz

4. táblázat: A mintavételi helyek koordinátái, MTA TAKI kutatócsoport eredményei [5]

A következő tényezőket vizsgálták: általános talajkémiai, ami magába foglalja a pH, mésztartalom, humusz %, só %, sóösszetétel és kötöttség mérést; valamint tizenhárom nehézfém vizsgálatot végeztek királyvíz, víz, acetát-puffer, és LE oldható frakciók segítségével.

A vizsgálati eredmények értékelése után megállapították, hogy a vörös iszapban található legkockázatosabb, legmobilisabb nehézfémek sem jutottak 10 cm-nél mélyebbre a talajban, és ott sem haladták meg a szennyezettségi határértéket. Megállapították, hogy a mélyebb talajrétegek és az első vízáradó talajréteg közvetlenül nem veszélyeztetett.

A Károly Róbert Főiskola munkatársai a helyszíni mintavételezésen kívül, légi felmérést is végeztek. Hőkamerás felvételek segítségével megfigyelték, hogy a tározó falain sehol sem található meg a gát szerkezeti átázásai, csurgásai miatt fellépő hűtőhatás következményeként megjelenő hideg foltok. Azonban észrevették, hogy a gát lábának környezetében a talajon fokozott nedvességre utaló hideg foltokat lehet látni, amely arra enged következtetni, hogy a talaj nedvesebb és puhább.

További vizsgálatokat végző intézmények: MTA kutatóintézetek és támogatott kutatócsoportjai, NYME, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Vidékfejlesztési Minisztérium MMI, MÁFI, VITUKI, ÁNTSZ, MGSZH, KKB TT, és nemzetközi szervezetek szakértői is érkeztek a katasztrófa helyszínére: EU, WHO és a Greenpeace. A mérési adatokat és elemzéseket bizalmas információként kezelik. (MTA.HU, 2010)

A katasztrófavédelem honlapján közzétették az Országos Közegészségügyi Intézet (továbbiakban: OKI) 1987-es vizsgálatait, az Ajkán keletkezett vörös iszap jellemzőiről:

Vizsgált komponens	Vörösiszap
Nedvességtartalom, %	30,2
Izzítási veszteség, %	8,9
C %	0,11
<i>HNO₃-as kivonatból</i>	
Cu mg/kg	23
Cr mg/kg	8,0
Ni mg/kg	29
Pb mg/kg	13
Cd mg/kg	0,0
Zn mg/kg	11
As mg/kg	4,3
<i>Vizes kivonatból</i>	
pH	11,8
Vezetőképeség $\mu\text{S}/\text{cm}$	1075
F ⁻ mg/kg	19,5

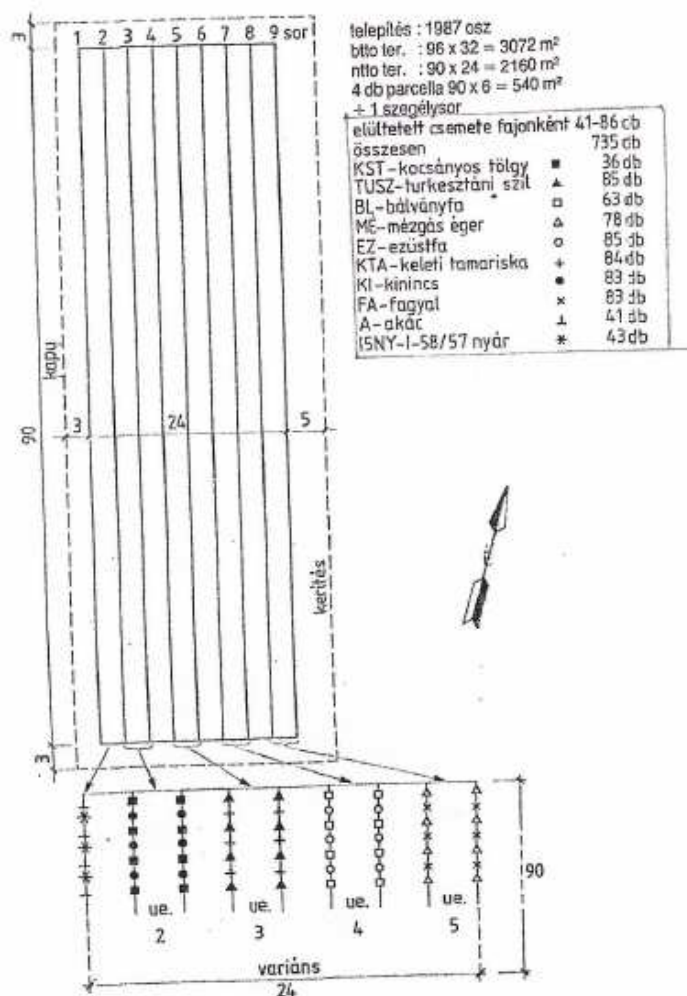
5. táblázat: Az országos közegészségügyi intézet 1987-es vizsgálata az ajkai vörös iszapról [6]

Alkalmazott teszt	Vizes	DMSO-s
	1:10-es kivonat negatív hígítás mértéke	
Daphnia	5	50
Hal	3	20
Csíránövény	10	50
Alga	10	10

6. táblázat: Ökotoxikológiai vizsgálatok eredményei [6]

Az OKI vizsgálati eredményei is azt mutatták, hogy nincsen jelentős fémszennyezettség, a toxikus fémek koncentrációja a jelenleg érvényes talaj határértékek (6/2009.(IV.14.) KvVM-EüM-VM együttes rendelet) alatt vannak.

A vörös iszap vizes kivonatának 11,8-as pH értéket mértek, ami még mindig erősen maró hatást jelez. A fluortartalom koncentrációja nem volt magas. A vizes kivonatokban az ökotoxikológiai vizsgálatok eredményei alacsonyabb, míg a dimetil-szulfidos (DMSO) kivonatokban magasabb mértékű ökotoxicitást mutatott. Ők is megállapították, hogy mind humán, mind környezetre gyakorolt veszélyessége erősen maró tulajdonságából ered. (WWW.KATASZTROFAVEDELEM.HU, 2010)



5. ábra: Kispárcellás telepítési kísérlet vázlata nyers vörös iszaplahányon [7]

erőteljes csemetére, ill. félsuhángra esett.

A három méteres tengelytávolsággal, árokásával kiképzett 50 cm széles és 60 cm mély árkos talaj-előkészítést tartották a legcélravezetőbbnek. Az árkokat legalább 2 % humusztartalmú erdőtalajjal töltötték meg. A sorközökben vörös iszapot halmozta fel, hogy domború felületet képezzen. Ennek azért volt jelentősége, mert a csapadékvíz az árkokba folyt, amely alulról, a vörös iszap mélyebb rétegeiben még meglévő vízből is kapott nedvesség-utánpótlást.

A kitűzést és az árkos talaj-előkészítést 1987. október elején elvégezték, a telepítést pedig jó minőségű gödrös ültetéssel. Ezután a területet drótkerítéssel bekerítették, vad és egyéb károsító ellen.

1988. tenyészidejében a vizsgált terület két alkalommal (májusban és augusztusban) kézi sorápolást kapott. A sorközökben lévő vörös iszapot nem bolygatták, hogy a gyomnövények mielőbb befedjék.

Még ebben az évben ősszel elvégezték a pótlást. A kipusztult mézgás éger és turkesztáni szil helyére ugyanaz a fafaj került, a kocsányos tölgyek helyére fehér nyárat ültettek, a cserjéket pedig saját fajukkal pótolták. 1989. kora tavaszán a 3-4 cm töltésmérőjű bálványfákat tőtől kb. 10 cm magasságban visszametszették, valamint a keleti tamariska tövek minden szálát kb. 5 cm-re visszavágták.

Méréseket is végeztek a következő két évben: 1988-ban négy, 1989-ben három alkalommal magasság- és töltésmérést cm, ill. mm pontossággal. A károsítás és egészségi állapotot minden esetben figyelték. A tenyészidő elején a fehér nyárat rozsdagomba támadta meg, de a csemeték hamar kiheverték.

Ezek után a talajban és a vörös iszapban bekövetkezett változásokat figyelték. A talaj minőségének időbeli változásait táblázatban tüntették fel (7. táblázat). A hozott talaj majdnem humuszmentes, erősen meszes, kissé sós réti talaj.

1. táblázat. A hozott homoktalaj változása az idő függvényében Mosonmagyaróváron

Vizsgálat neve	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
pH (KCl)	7,67	7,74	7,67	8,65	8,63	7,60	8,82	7,51	7,85	7,76	7,70
Kötöttség	37	37	36	33	35	36	29	33	36	36	33
Összes só %	0,02	0,02	0,02	0	0	0	0	0	0	0,06	0,02
CaCO ₃ %	24	23	25	20	20	19	21	27	25	29	30
Humusz %	0,22	0,43	0,54	0,95	0,61	0,91	0,85	0,96	0,94	1,03	0,49
NO ₃ +NO ₂ ppm	8,5	4,3	11,6	3,8	1,5	3,0	1,4	0,1	0,1	0,1	0,7
P ₂ O ₅ ppm	115	66	90	162	84	105	103	85	195	88	36
K ₂ O ppm	141	170	54	63	47	73	34	38	49	37	22
Mg ppm	303	237	229	257	205	159	135	203	184	379	333
Na ppm	400	665	278	1261	1059	337	1069	303	1260	737	332
Zn ppm	1,7	2,0	2,6	2,3	2,1	2,5	1,3	1,8	2,0	3,0	1,8
Cu ppm	2,6	3,3	3,3	3,2	2,4	2,5	2,1	2,4	1,7	2,7	1,5
Mn ppm	17,5	19,7	18,5	72,1	31,4	8,3	7,0	57,8	41,8	58,7	40,9
SO ₄ ppm	13,4	10,7	9,8	3,1	1,8	2,8	3,8	0,5	0,5	0,2	0,3
Fenolft. lug. %								0,058	0,069	0,037	0,040

1., 2., 3. = eredeti állapotban 1987. 11. 10.

4., 5. = egy tél után 1988. 04. 28. a talajtöltés vastagsága 35—42 cm

6., 7. = 11 hónap után 1988. 10. 19. a talajtöltés vastagsága 35—45 cm

8., 9. = 24 hónap után 1988. 10. 16. a talajtöltés vastagsága 32—45 cm
a talajréteg felső feléből

10. 11. = 24 hónap után, talajréteg alsó feléből.

7. táblázat: A hozott talaj eredeti minősége és a minőség időbeli változásai [7]

A pH mérés során megállapították, hogy értéke nem változott jelentősen, lényegében azonos maradt. A kötöttség sem változott, a homokos vályog fizikai talajféléseget mutat.

A talaj eredeti állapotában az összes só 0,02 % volt, ami 11 hónap eltelte után 0,0 %-ra csökkent, mivel kimosódott. Egy év után az alsó rétegben (19-45 cm között) újra megemelkedett 0,02 %-0,06%-ra. Ennek oka a vörös iszaptól kiszivárgó csapadékvíz volt. Az

össze sót vizes kioldással vizsgálták, a nátriumot pedig ammóniumlaktátos feltárással. Az összes só-vizsgálat után megállapították, hogy a talajborítás alsó rétege I. osztályú szikes talajnak felelne meg.

Kezdetben és két év múlva is a CaCO_3 értéke túlságosan nagy, 20-25 % felett volt, mert nem tudott kilúgozódni. Ez szárazzá és cementálttá tette a homokot, ami nehezítette a növények foszforfelvételét is.

Szervestrágyázás hatására a humusztartalom kb. kétszeresére nőtt, de még így is 1 % alatt volt, és a nitrogénellátottság tekintetében is gyengének minősült. Ezért a szerzők feltétlenül javasolnak egy nitrogénműtrágyázást tavasszal, a talajba beledolgozva.

A szervestrágyázás ellenére is igen nagy mértékben csökkentek az NO_3 és NO_2 értékei, ezt jelezte sok fafaj sápadt és apró levele. A felvehető nitrogén általában NO_3 formában van jelen a talajban, és értéke 0,1 ppm. Itt a szerzők szintén megemlítik, hogy nitrogéntrágyázni kell minden évben.

A P_2O_5 mennyisége sem változott lényegesen. A felvehető foszforellátottság is közepesnek volt mondható, ezért szükséges 17,5 %-os szuperfoszfát kiszórása a területre. Ezt ősszel érdemes beledolgozni a talajba.

A mérési időszak alatt a K_2O erősen felhalmozódott, majd kimosódott a talajból. Átlagos értéke 36 ppm volt, ami igen gyenge felvehető káliumellátottságot jelent. A megfelelő szintre való felhozáshoz a szerzők 40 %-os kálisóműtrágyát javasolnak.

A nátrium értéke nőtt, és már az induláskor is sok volt a talaj Na-tartalma. A fenoltalein lúgosság mérése után megállapították, hogy szikesnek még nem nevezhető, de értéke 0,05% körül mozgott. A rossz minőségű homok ellenére a kiválasztott fajok növekedése megfelelő volt.

Az erősen lúgos kémhatású vörös iszap vizsgálati eredményei közül a talajborítást a 13. ábra mutatja, ezen kívül a fasorok között lévő bakhátak felső rétegéből az eredmények a 14. ábrán láthatók, a depónia vizsgálati eredményeit a 15. ábrán tüntették fel. Ezek a vizsgálati eredmények nem adtak meglepetésszerű eredményeket, változásokat. A vizsgálati időszak alatt (két év alatt) semmiféle változást nem figyeltek meg a felszínről, és a talaj alól vett vörös iszapban.

2. táblázat. A vörösiszap vizsgálati eredményei a talajborítás alól Mosonmagyaróváron

Vizsgálat neve	1	2	3	4	5	6
pH (KCl)	9,79	9,70	9,50	9,47	8,47	9,47
Kötöttség	43	42	52	47	67	62
Összes só %	0	0	0,082	0,070	0,43	0
CaCO ₃ %	5,0	7,0	8,0	8,0	15,0	8,0
Humusz %	0,40	0,45	0,41	0,39	0,80	0,53
NO ₃ +NO ₂ ppm	4,2	4,2	6,4	1,3	42,6	1,5
P ₂ O ₅ ppm	1155	1073	1008	954	515	676
K ₂ O ppm	206	188	189	171	419	192
Mg ppm	39	39	48	28	113	71
Na ppm	1260	1260	1257	1257	1260	1260
Zn ppm	2,2	2,3	1,7	2,3	5,2	2,5
Cu ppm	5,9	5,2	4,3	4,5	3,7	5,5
Mn ppm	84,3	28,1	5,1	2,0	12,0	9,3
SO ₄ ppm	4,0	4,0	4,6	0,6	12,1	0,8
Fenolft. lug. %			0,512	0,521	0,045	0,053

1., 2. = 35–42 cm mélység alól 1988. 04. 28.

3., 4. = 35–45 cm mélység alól 1988. 10. 19.

5., 6. = 32–45 cm mélység alól 1989. 10. 16.

8. táblázat: A vörös iszap vizsgálati eredményei a talajborítás alól Mosonmagyaróváron [7]

3. táblázat. A vörösiszap vizsgálati eredményei a fasorok között levő bakhátak felső rétegéből Mosonmagyaróváron

Vizsgálat neve	1	2	3	4
pH (KCl)	8,54	8,52	8,60	8,63
Kötöttség	62	55	62	53
Összes só %	0,089	0,086	0,114	0,640
CaCO ₃ %	16,0	16,0	16,0	15,0
Humusz %	0,40	0,48	0,43	0,37
NO ₃ +NO ₂ ppm	14,1	7,8	11,5	14,4
P ₂ O ₅ ppm	865	850	571	588
K ₂ O ppm	154	141	196	178
Mg ppm	34	35	43	41
Na ppm	1257	1258	1260	1260
Zn ppm	2,9	1,3	2,0	1,7
Cu ppm	2,3	3,5	1,0	2,5
Mn ppm	1,3	1,7	15,5	11,1
SO ₄ ppm	7,8	3,4	7,2	6,3
Fenolft. lug. %	0,326	0,341	0,045	0,053

1., 2. = 1988. 10. 19.

3., 4. = 1989. 10. 16.

9. táblázat: A vörös iszap eredményei a fasorok között levő bakhátak felső rétegéből Mosonmagyaróváron [7]

4. táblázat. Az eredeti vörösiszap depónia vizsgálati eredményei Mosonmagyaróváron

Vizsgálat neve	1	2	3	4
pH (KCl)	8,43	7,98	8,39	9,61
Kötöttség	52	30	54	68
Összes só %	0,042	0	0,64	0,43
CaCO ₃ %	18,0	18,0	15,0	5,7
Humusz %	0,44	0,51	0,77	0,32
NO ₃ + NO ₂ ppm	4,9	2,9	4,9	4,9
P ₂ O ₅ ppm	861	816	532	696
K ₂ O ppm	181	178	426	168
Mg ppm	235	489	63	13
Na ppm	1260	1260	1260	1260
Zn ppm	2,1	2,0	4,2	2,5
Cu ppm	2,2	2,0	2,0	5,6
Mn ppm	65,1	30,4	12,4	9,8
SO ₄ ppm	4,6	3,0	10,3	3,1
Fenolft. lug. %	0,042		0,032	0,034

1., 2. = a felső 10 cm rétegből 1988. 04. 28.

3., 4. = a felső 10 cm rétegből 1989. 10. 16.

10. táblázat: Az eredeti vörös iszap depónia vizsgálati eredményei Mosonmagyaróváron [7]

A vörös iszap felvehető nitrogén ellátottsága nagyon gyenge, felvehető magnéziumban gyengén ellátott, viszont felvehető káliumban, mangánban, cinkben részben jó, és felvehető foszforban igen jó. CaCO₃ tartalma nem káros mennyiségű, 10 % körül mozog.

A vörös iszap vízvezető képességének megállapítására 1988 nyarán bolygatatlan mintákat vettek a vörös iszap felszínéből, és egy ásónyom mélységéből. A vízzel telített vörös iszap hidraulikus vezetőképessége a felső pár cm porhanyós rétegben 20-10-16 cm/ nap, az alsó kenődő rétegben 6-7 cm/ nap. Ez a kapott érték az agyagos vályog értékeinek felel meg. Figyelembe véve a legkisebb értéket (5 cm/nap), egy 50 mm-es csapadék egy nap alatt kell, hogy beszívárogjon. Ez azt jelenti, hogy hosszú évtizedek során a nátrium nagy része ki fog lúgozódni a vörös iszap felső rétegeből. A lúgos víz részben folyamatosan le fog kerülni a talajvízbe, részben folyamatosan átszivárog a depónia salaktöltéseiben.

Ezért lettek lúgosak a vizsgált területen belül található ipari vízműutak vizei, és a fenolftalein-lúgosságuk is eléri a 0,5-0,6%-ot. A tározók melletti figyelőutakban még ennél is rosszabb volt a helyzet. A csurgalékvíz minőségét sem találták jobb állapotban, elképesztően rossz minőségű volt. A szerzők megemlítik, hogy ilyen rossz értékekkel még a szennyvízvizsgálatok során sem találkoztak. A következő értékek nagyobbak voltak a megengedettnél: pH, fenolftalein-lúgosság, Na, karbonát, Na %, és a SAR értékek. A csurgalékvíz egyszerűen értékelhetetlen volt.

1989. októberében 697 db csemete maradt életben (735-ből), az elültetett fajok 95 %-a. Ennek az évnek a tenyészidejében egyetlen csemete sem pusztult ki. Két év után csupán a kocsányos tölgy növénysszázaléka volt rossz, elsősorban levélrágás miatt. A növekedésvizsgálatok alapján a fa- és cserjefajok sorrendje a következő:

Növekedésvizsgálatok

Az első két évi növekedés alapján a fa- és cserjefajok sorrendje:

Magasság (cm)		Tőátmérő (mm)	
1. FNY	219	1—2. EZ	34
2. EZ	192	3. FRNY	30
3. A	188	4—6. TUSZ, MÉ,	
4. TUSZ	126	.KI	22
5. BL	117	7. BL	14
6. KI	114	8. FA	11
7. MÉ	103	9—10. KTA, KST	10
8. KTA	92		
9. FA	89		
10. KST	51		

11. táblázat: Az első kétévi növekedés alapján a fa- és cserjefajok sorrendje [7]

A szerzők összefoglalva megállapították, hogy fák növekedése és gyökérképződése meglepően jó volt a talajviszonyokhoz képest. A hozott termőföld megválasztását technikai okok miatt nem tartották megfelelőnek. Egyszer szükségesnek látták a szerves trágya használatát. 1989. nyarán végre is hajtották, de nem voltak megelégedve a komposzt elhelyezésével, mivel csak a felszínre terítették, és alig dolgozták be a talajba.

A kipróbált fa- és cserjefajok közül a következőket ajánlják telepítésre: fehér nyár, ezüstfa, akác, turkesztáni szil, kinincs, mézgás éger, fagyal, bálványfa, keleti tamariska és kocsányos tölgy. Nem ajánlják a nyírt, a nyugati ostorfát és a feketefenyőt. Megállapították, hogy a fák számára jobb volt a morzsalékos és levegős, jobb vízgazdálkodású vörös iszap, ebbe bele is tudtak nőni a fák gyökerei, de a levegőtlen, kenődő vörös iszap alsóbb rétegeibe a gyökerek nem tudtak behatolni. Ezért feltételezik, hogy a vörös iszapot talaj vagy más anyag bekeverésével morzsalékossá lehet tenni, és akkor megélnek benne a fák. „A vörös iszap rekultiváció, illetve talajráhordás nélkül nem fásítható” (GENCSI, 1990)

Belgiumból is érkeztek szakemberek, akik szintén talajvizsgálatokat végeztek a katasztrófa sújtotta helyszínről hozott talajmintákból. 2010. október 15-én vörös iszap mintákat gyűjtöttek Devecserben (É. sz. 17°6'13", K. h. 17°26'56"), és szennyezetlen talajmintákat (0-30 cm-ig) a közelben (É. sz. 17°6'25", K. h. 17°25'00"). További mintákat gyűjtöttek Somlóvásárhelyen. A vörös iszap és talajmintákat zárt, műanyag edényekben tárolták. A kísérleteket 4 nappal a mintavételezés után kezdték el.

A szennyezetlen talajmintát átszitálták (<8 mm-nél kisebb lyukú szitán), hogy eltávolítsák belőle a kő- és növényi maradványokat, és kiszáradni hagyták őket.

A devecséri vörös iszap zagyos volt (44%-os száraz tömegű), és összekeverték talajjal, hogy a végső frakció: 0; 0,3; 1; 3; 10 lett. A 30% nedves vörös iszapot légszáraz talajjal keverték össze, ami: 0; 0,1; 0,5; 1,4; 4,9 lett és 16,5%-os sütő-száraz tömegű frakciónak felel meg. A továbbiakban csak a száraz frakciókkal foglalkoztak.

A kísérletet két részre osztották: egy lúgmentes és ez lúgos részre, amit három pórusterfogató, mesterséges esővízzel öntöztek. A talajmintákat műanyag tálakba helyezték, aminek az alja lyukas volt és egy rongy volt rajta (hálómérete: 140-150 µm). Ezeket a tálakat egy mesterséges esővízzel teli edényekbe tették (a mesterséges esővíz jellemzői: 5×10^{-4} M $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$, 5×10^{-4} M $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 5×10^{-4} M MgCl_2 , 10^{-4} M Na_2SO_4 , 10^{-4} M KCl ; pH 5.9), és addig öntözték, míg a vízszint el nem érte kb. az 1 cm magasságot a talaj felszínén. A vízzel telített talajt egy éjszakára állni hagyták, majd kiszámították a pórusterfogatot a száraz és a vízzel telített talaj súlykülönbségéből. Megfelelő mennyiségű mesterséges esővizet öntöttek le a talajról, így volt lehetősége kiszáradni. A kilúgozás mennyiségét figyelték és egy 0,45 µm-es membránon megszűrték, majd savasították (100 µL HNO_3 5 M per 5 mL minta), mielőtt egy plazma-optikus, emissziós spektroszkóppal analizálták volna (ICP-OES; Perkin-Elmer Optima 3300 DV).

Ezen kívül vizsgálták még a NaOH referenciát, a talaj tápanyagtartalmát, a vörös iszap tulajdonságait, a talaj kémhatását és a vörös iszap hatását a növényekre (pl. árpára). (RUYTERS ET ALL, 2010)

4. A tenyészedény kísérlet során felhasznált fajok

Tenyészedény kísérletem megkezdése előtt három fajra esett a választás: akác, fehér fűz és nemes nyár. 2010. novemberében el is ültettük a kiválasztott dugványokat. Kísérletem bemutatása előtt kitérek az elültetett fajok általános jellemzésére.

4.1. Akác (*Robinia pseudoacacia*)

Az akác a Hüvelyesek (*Fabaceae*) családjába, azon belül *Robinia* nemzetségbe tartozik. A nemzetségen belül a négy fa alakú faj közül egyedül a fehér akácnak van erdőgazdasági jelentősége. (KERESZTESI, 1984)

Lombhullató fákat sorolunk közéjük. Leveleik jellemzően szórt állásúak és páratlanul szárnyaltak, átellenesen álló levélkékkal. Hajtásait átalakult pálhalevelekből képződött tövisek fedik, rügyei pedig a levélripacsok alá rejtettek. Virágai csüngő levélhóonalji fürtökben nyílnak, fehérek és illatosak. A csésze harang alakú és öt fogú, a vitorlája nagy, felálló és visszahajló. Észak-Amerikában őshonos fafaj. (VANCSURA, 1960) Európába az 1600-as évek elején került be, hazánkba 1710-1720 között hozták be, és azóta az ország erdőterületének több mint az egyötödét, közel egynegyedét foglalja el. (BARTHA, 2000)

A fehér akác (*Robinia pseudoacacia*) 25 m magasra is megnőhet. Törzse zárt állású, kedvező termőhelyen egyenes, nyúlánk, valamint meglehetősen ágiszta. Koronája szabálytalan alakú, általában sudaras, szabad állásban elterebélyesedik, zárt állásban viszont felszorul, sátorozóvá válik. Kezdetben több lefelé törekvő, mélyreható szívgyökérből álló gyökérrendszere van. Később megvastagodik, és különösen a laza (homokos) talajon nagyon messzefutó, szétágazó, horizontális gyökérzetet fejleszt.

Levelei általában 10-35 cm hosszúak, a levélkéék száma 7-19, ezek tojásdadok vagy elliptikusak, kb. 2,5-4,5 cm hosszúak, ép szélűek, a csúcsok lekerekítettek vagy levágottak, gyakran rövid szálkában végződnek, vékonyak, felső lapjukon világos, fonákjukon kékes-zöldek, és rövid nyelecskén ülnek. Az akác levélkéi változtatni tudják a helyzetüket, a megvilágítás mértéke szerint. Lombozatára jellemző, hogy laza és általában későn zöldül. Virágai fehérek, kb. 10-20 cm hosszú, lelógó, és meglehetősen laza levélhóonalji fürtökben nyílnak, illatosak és mézben gazdagok. A virág csészéje harang alakú, zöldesbarna, a párta fehér és zöldes árnyalatú a tövén. Először májusban virágzik, de előfordul szeptemberben a második virágzás is. (VANCSURA, 1960)

A melegebb éghajlatot kedveli, klímaigényeinek legjobban a szőlőtermő vidékek felelnek meg. Rendkívül nagy a termőhely iránti alkalmazkodó képessége. A tápdús, jól szellőzött homoktalajokat kedveli. Különösen igényes a talaj szellőzöttsége tekintetében, ezért kötött talajra nem ajánlják. Nagy igényeket támaszt a talaj ásványi tápanyagaival szemben, ugyanis növekedése során jelentős mennyiségű ásványi anyagot von el a talajból.

Az akác nitrogénben gazdagítja a talajt (gyökerén nitrogénygyűjtő baktériumok (*Rhizobium leguminosarum*) élnek (BARTHA, 2000)), ezért az akácállományok alatt nitrofil flóra telepszik meg. Kedveli a meleg talajokat. Annyiban hat kedvezően a mérsékelt, nem túlságosan magas mésztartalom fejlődésére, amennyiben a talaj fizikai tulajdonságait előnyösen befolyásolja. Szárazságtűrő faj, de meglehetősen nagy a jó növekedéshez szükséges optimális vízigénye. A legfényigényesebb fajokaink egyike, mind a korai, mind a késői fagyok iránt érzékeny.

Gyökérdugványokról szaporítják. Gyorsan növény faj, különösen fiatal korában nő gyorsan. Még közepes termőhelyen is eléri, vagy megközelíti 10-12 éves koráig, az évi magassági gyarapodása az egy métert. Csemetenevelése könnyű, az átültetést is bírja, de jól megművelt talajt kíván. Tuskóról és gyökérről egyaránt jól sarjadzik, mivel sarjadzóképesége rendkívül nagy. A gyökérsarjakról könnyebben felújíthat. Nagyon szívós fa, mivel a nagy sebekkel is sokáig él. A tápanyagokban szegényebb talajokkal is megelégszik.

Célszerű az akácosokat más fafajokkal elegyíteni, a jobb növekedés és az állomány korai leromlásának csökkentése érdekében. A termőhely minőségétől függően erre a célra az erdei és fekete fenyő, ezüst hárs, hazai és nemes nyár fajok a legalkalmasabbak.

Felhasználhatósága igen nagy: vezetékoszlop, bányafa, vasúti talpfa, parketta is készülhet belőle, és kiváló tűzifa. Ezen kívül sokat felhasznál a bognár-, kádáripár, és általában a mezőgazdaság. (VANCSURA, 1960)

Hazánkban a legjobban elterjedt, gyorsan növény faj az akác. A '80-as években az összes erdőterület 18%-át foglalta el. Gyorsan növény fajnak azokat tartják, amelyek évi növedéke meghaladja a 10 m³/ha-t, célszerűnek ítélik azonban száraz anyagban számolni. Magyarországon gyorsan növény fajnak számít az akác és a nemes nyárak. (KERESZTESI, 1984)

Hazánkban az akácot kultúrerdőkben állományszerűen ültetik, de agresszív módon képes behatolni a természet szerű erdőkbe, fasorokba, erdősávokba is. Ahol megtelepedett, ott szinte kiirthatatlanul válik. Ezen kívül özőnfaj, nagyon sok problémát okoz pl. a védett területeken. (BARTHA, 2000)

4.2. Fehér fűz (*Salix alba*)

A fehér fűz a Fűzfélék (*Salicaceae*) családjába tartozó, lombhullató faj, sima hengeres hajtásokkal. Erre a családra jellemző, hogy leveleik szórt állásúak, egyszerűek, lándzsásak vagy elliptikusak, ép szélűek vagy fűrészesek, rövid nyelűek. Rügyeiket két párhalevél összenövéséből keletkezett, rügpikkely fedi. Az egész vegetáció ideje alatt a hajtások növekedésüket megtartják, végük elsatnyul és a valódi csúcsrügy hiányzik. Barka virágzatuk van. Ezek az előző évi hajtások hónalj rügyeiből származnak, a lombfakadás előtt vagy azzal egy időben jelennek meg, és kétlakiak, viszont ritkán kétivarúak.

A fűzekre jellemző még: a porzósálak, és a termő tövében elhelyezkedő, pikkelyszerű képletből álló egy-két mézfajtó. Barkavirágzatuk rovarbeporzók, mivel a pollenszemcsék

ragacsosak, és azokat a szél nem tudja kifújni. A porzós barkák általában színesebbel, feltűnőbbek, mint a termős füzérek. A magja kicsi, sötétzöld vagy barna, tövén hosszú, repülésre szolgáló szőrüstökkel van ellátva. A magok csírákéességüket csak néhány napig tartják meg. Gyökérszörkoszorúval csíráznak a nyárákhoz hasonlóan. Szikleveleik jellemzően kerekdedek, és a nyél felé keskenyednek.

Főleg patak- és folyópartokon fordulnak elő, és más nedves termőhelyeket kedvelnek. Fája szórt likacsú, lágy és könnyű, ezért lágy lombfák. A füzék ipari felhasználhatósága sokoldalú, a nyárákhoz hasonlóan. Vesszőik hajlékonyak, emiatt kötözésre és kosárfonásra kiválóan alkalmasak. Faháncsuk pedig jelentős mennyiségű salicint és 6-16 %-os csersavat tartalmaz.

A füzék is gyors növekedésűek, ezért a fahiány gyors pótlására alkalmasak. Hazánk fafajai közül ezek bírják a legjobban a nedves talajokat. Jó a sarjadzó képességük, és dugványról könnyen szaporíthatók. Fényigényességük hasonló a nyárákéhoz, viszont a mély termőhelyek előnyösebben hasznosíthatók füzekkel, mint nyárakkal.

A fehér fűz 30 m magasra is megnövő fa. Jellemző rá, hogy zárt állásban nyúlánk, hengeres törzse és ernyőszerűen feltolódott koronája van. A gyökere messzeterjedő és többnyire a felszínhez közel szétágazó. Ha elárasztásnak kitett helyen fordul elő, a törzse az alsó részén sűrű, vékony légző gyökereket növeszt.

Hajtása vékony, zöldessárga vagy vöröses, és a rügyekkel együtt selymesen szőrös. A rügyek aránylag kicsik, megnyúltak, vörössárgák, hajtáshoz simulók és erősen lapítottak, szárnyyszerű széllel. Levelei jellemzően keskenyek vagy szálas-lándzsásak, ötször vagy hatszor olyan hosszúak, mint szélesek, 6-10 cm hosszúak, kihegyezettek, finoman fűrészesek, fiatalon mind a két oldalon selymesen szőrösök, teljesen kifejlett korban pedig felül zöldek vagy szürkészöldek, kopaszodók, fonákukon legtöbbször végig megmarad az ezüstös, selymes szőrzet. Ezért a fehér fűz már a lombzat ezüstszürke színéről már távolabbról is felismerhető. A levélnyel rövid, kb. 6-12 mm hosszú és mirigyes. Barkái kb. 4-5 cm hosszúak, nyúlánkak, és az előző évi hajtások leveles oldalágacskáin ülnek.

Fája puha, könnyű, minden tekintetben nagyon hasonlít a nyárhoz. Lemez és papír ipari célokra ugyanúgy alkalmas, mint a nyár, száraz helyen pedig tartós, így építkezési anyagnak is megfelelő.

Elterjedt Európában Skandinávia déli részéig, illetve Nyugat- és Közép Ázsiában, és Kisázsiaiban. Magyarországon síkvidéken fordul elő, gyakori a folyók partján. A törékeny fűzzel együtt állományokat képez. Gyakoribb a Duna árterében, és nagyobb mennyiségben

található meg, mint a Tisza árterében. Ritkább domb- és hegyvidéki patakok mentén, csak szórványosan fordul elő.

Termőhely igényei közül a jó vízellátású homok, vályog vagy nem túl kötött agyagtalajon érzi jól magát. Ha gyökerei a vizet az egész vegetációs idő alatt elérik, akkor jó növekedést várhatunk tőle. Az elárasztásokat nagyon jól tűri, azokra fokozott növekedéssel reagál, meghálálja. Rövid ideig tűri azonban a stagnáló vizet. Mészkedvelő, de a száraz termőhelyeket elkerüli.

Erősen fényigényes faj, csak akkor van erőteljes vastagsági növekedése, ha koronáját szabadon éri a napfény. Melegkedvelő is, de a fagyok iránt nem érzékeny.

Mivel rendkívül gyors növekedésű fajokhoz tartozik, 40 éves korára elérheti az 1 m-es átmérőt, és a 30 m-es magasságot.

Évről évre sok magot terem, ennek ellenére magról való szaporítása igen körülményes, mert nehezen gyűjthető és csírákéességét is csak rövid ideig tartja meg, állandó nedvesség igénye van. A fehér fűz a fűzek között is a leggyorsabb növekedésű faj, így a többi fűzet pár év alatt maga mögé utasítja, és rövid idő alatt szép állománnyá fejlődik.

Mesterséges telepítését gyökerező dugványokkal vagy a természetes újulatból szedett csemetékkel végzik. Ajánlatos a nyárákhoz hasonló anyatelepet létesíteni, a megfelelő minőségű erdősítési anyag előállítására céljából.

Jó a sarjadzókéessége, gyökérről kevésbé, tuskóról viszont igen jól sarjad, de ezeknek az állományoknak a növése rendszerint görbe lesz. Nagy a visszaszerző-kéessége, vessző, illetve rúd alakjában egyaránt dugványozható. Ez a képessége teszi lehetővé az ún. fejesfa művelési módot, amely ma már nem igen elterjedt. (VANCSURA, 1960) Mérsékelt hosszú életű (100-120 év (BARTHA, 2000)) faj, de az öreg fűzek belül rendszerint odvasak, vagy teljesen üregesek.

Magyarországon a fehér fűznek van a legnagyobb jelentősége a honos fűzfajok közül. Ipari szempontból ez a faj adja a legtöbb faanyagot, ezért fatermesztés célját szolgáló állományok létesítéséről mindig ehhez a fajhoz szükséges nyúlni. Ezen kívül jó mézelő, és fiatal vesszői kosárfonásra is alkalmasak. (VANCSURA, 1960)

Élőhelyére jellemző még, hogy kedveli a mozgóvízes területeket: puhafás ligeterdők állományalkotó faja. Elcserjésedve bokorfűzesekben is előfordul, és pionír voltánál fogva más nedves területen is megjelenhet. Az alapfaja visszaszorulóban van, mivel ma már a szelektált kultúrváltozatát ültetik, és gyakran hibridizálódik a törékeny fűzzel. (BARTHA, 2000)

4.3. Nemes nyár (*Populus x euramericana*)

A nemes nyárok a Fűzfélék (*Salicaceae*) családjába tartoznak, és lombhullató fák. Leveleik jellemzően szórt állásúak, és általában a rövid hajtásokon állók alakjukban és nagyságukban eltérnek a hosszú hajtásokon állóktól. Levele lándzsás-tojásdad, rombusz vagy háromszög alakú, ép, ritkábban tenyeresen karéjos, épszélű és fogas. A levélnyel hosszú, többnyire oldalról összenyomott. A dugványokból származó fiatal egyedeknek a normálisnál nagyobb leveleik vannak. Hajtása sok fajnál bordás és a bél ötszögletű, valamint a hajtások valódi csúcsrügyben végződnek. Rügyeiket több rügypikkely fedi, amelyek gyakran gyantások, és a virágrügyük duzzadtabbak. Barka virágban jelennek meg a porzós virágok, amik kocsányosak és többnyire lelógók.

Barka virágzata miatt szélbeporzó, termésük pedig leginkább tojásdad alakú tok, amely 2-4 kopáccsal nyílik. A benne lévő magvak aprók, és fehér szőrökből álló repítő készülékük van, általában fedetlen talajon és rendkívül gyorsan csíráznak, ezért nagyon érzékenyek.

Az Északi-félgömb mérsékelt és szubtrópusi övében terjedtek el, igen sok hibridjük és változatuk ismert. A kereszteződés lehetőségét az segíti elő, hogy különféle földrajzilag távol álló nyárfajokat mesterséges telepítéssel összehoznak. A célszerűen végrehajtott mesterséges keresztezésekkel a hibridfajták nagy számát állították, és állítják ma is elő. Ennek a fafajnak az egyik fokozója a visszakereszteződés lehetősége.

A nemes nyár hibridek többségükben heterózisos hibridek, ami annyit jelent, hogy a hibridek nagyobb termetűek, és gyorsabb növekedésűek az őket létrehozó fajoknál. Ivaros szaporításuk pedig nem célszerű, mivel az utódok túlnyomó többségénél eltűnne a heterózis. Besorolásukat az anyanövény alapján végzik. (VANCSURA, 1960)

Biológiai jellemzőjük, hogy nagyon gyors növekedésű fajták, és rövid vágásfordulóval (15-30 év) lehet őket kezelni. Ökológiai igényük pedig, hogy kiegyenlített hőigényük van, és fényigényesek. Hazánkban főleg a sík vidékeken ültetik őket állományszerűen, faültetvény formájában. Főként a homok-, láp- és öntésterületek kultúrerdői, faültetvényei, illetve fasorokat és erdősávokat alkot.

Elsősorban az amerikai nyár (*Populus deltoides*) és a fekete nyár (*Populus nigra*) korábban spontán, később keresztezés útján létrejött hibridjei a nemes nyárok, melyek szelekciós nemesítésen estek át. Magyarországon közel 20 fajtájukat termesztik. Vagy hímivarú, vagy nőivarú fajtáik vannak, mivel monoklónok. Biológiai-ökológiai szempontból

állományaik egyhangúak, sivárak, mivel intenzív agrotechnikai művelést igényelnek. (BARTHA, 2000)

4.3.1. AF2 nyár (*Populus x euramericana* AF-2)

Az AF2 nemes nyár olasz származású klón (ALASIA New Clones). Jellemző rá az egyenes, hengeres törzsforma, ágai hegyes szögben állnak hozzá. Április elejére esik a vegetációs időszaka, viszonylag későn hullatja le teljesen a leveleit. Alacsony a talaj fizikai féleségével szembeni igénye, a homoktalajoktól az agyagig mindenhol jól nő. Kezdeti növekedése különösen gyors, ezért elsősorban energiaültetvények létesítésére a legalkalmasabb, 2 vagy 4-5 éves vágásfordulóval.

Néhány betegséggel szemben, mint a rozsdásodás és barna levélfoltosodás, ellenállóképessége kielégítő, jó pedig a *Marssonina* okozta levélfoltossággal és a *Dothichiza populea* okozta kéreg-fekéllyel szemben. Egyáltalán nem érzékeny a levél mozaikvírusra, és kiváló a szélállósága is.

5. Tenyészedény kísérletek vörös iszappal

A tenyészedények előkészítése során (6. ábra), a Devecserről elhozott talajmintákban, élő közösséges földigilisztát (*Lumbricus terrestris*) és hangyákat (*Formicidae*) találtunk. 2010. november 15-én 15 db Mitscherlich-féle 8 literes tenyészedénybe (7. ábra) Devecserről elhozott, vörös iszappal szennyezett talajt tettünk úgy, hogy szántást utánózva a vörös iszappal szennyezett réteg 9 db tenyészedény aljára került. A maradék 6 db



6. ábra: A tenyészedények előkészítése a dugványozáshoz (fotó: Kovács G., 2010)

tenyészedénybe olyan talajt tettünk, amelybe különböző koncentrációkban bekevertünk vörös iszapot, a devecserről elhozott szennyezett talajba. Ezen belül kettő tenyészedény a szennyezett talajon kívül még plusz 2 cm vastagságnak megfelelő (egy 600 ml-es mérőpohárral mértük ki, 1 cm ~300 ml) vörös iszapot tartalmazott, kettő plusz 5 cm vastagságnak, utolsó kettő pedig 8 cm vastagságnak megfelelőt.

Az így bekevert talajmintákat elhelyeztük a tenyészedényekbe, majd megszámoztam, feliratoztam őket. A rövidítések a következők:



7. ábra: A 15 db Mitscherlich-féle 8 literes tenyészedény (fotó: saját készítésű, 2011)

- A= Akác (*Robinia pseudoacacia*)
- F= Fehér fűz (*Salix alba*)
- Ny= AF2 nyár (*Populus x euramericana AF-2*)
- GyD=gyökérdugvány
- VKD= vékony, kis dugvány
- KöD=közepes dugvány
- VD=vastag dugvány.

Miután elkészültek a tenyészedények, akác (*Robinia pseudoacacia*), AF2 nyár (*Populus x euramericana AF-2*) és Fehér fűz (*Salix alba*) dugványokat ültettünk bele (8. ábra). Még aznap meg is öntöztem őket 300 ml desztillált vízzel (1 cm csapadékvíz ~10 ml), és azt tapasztaltam, hogy azokban a tenyészedényekben, amelyeknek a felszínén sok vörös iszap volt, a víz nem szivárgott át könnyen, egy darabig a felszínen maradt. A 8 cm vörös iszappal bekevert edényekben, miután beszivárgott a víz, egyből átfolyt, nem tartotta meg a nedvességet, a tenyészedények aljába került. Minden héten 300 ml desztillált vízzel öntöztem, és megbolygattam a talajfelszínt, hogy levegőhöz jusson. A további öntözések során nem tapasztaltam azt, amit az első során, később mindegyik tenyészedény szépen elnyelte a vizet.



8. ábra: A kiválasztott dugványok (fotó: Kovács G., 2010)

Az előkészítés során volt olyan nyár dugvány, ami már megeredt. Az öntözésen és bolygatáson kívül figyeltem a fajok növekedését, lemértem őket, figyeltem a változásokat és feljegyeztem az észrevételeket. Az első héten vékony penészfőteg jelent meg mindegyik edény felszínén. Sókiválás is jelentős volt, ezt minden héten tapasztaltam, főleg a plusz vörös iszappal bekevert talajmintáknál volt erőteljesebb. A növények növekedéséről diagramot készítettem.

Decemberben megmértem a talaj nedvességtartalmát. Három mérést végeztem, ezeket átlagoltam, majd táblázatba foglaltam. Azt tapasztaltam, hogy az utolsó 6 db tenyészedény (amelyek a plusz vörös iszapot tartalmazták) alján víz maradt, ezeket összegyűjtöttem, lemértem a mennyiségüket, és megmértük a pH értéküket. Az eredményeket táblázatba foglaltam. Ezeknek a vízmintáknak a felszínén, mikroszkóp alatt, ugróvillásokat találtunk.

Sajnos 2010. december 8-án felfedeztem, hogy az akác (egyedül a 10-es számú tenyészedényben az akác nem indult meg) kivételével az összes fűz és nyár dugvány elszáradt. Így első kísérletem véget is ért, de 2011. február 22-én újraültettem őket. A régi akác dugványokat békén hagytam, a fűz és régi nyárok helyére új nyár dugvány került. A második kísérletem már sikeresebbnek mondható volt. A fajok növekedését táblázat és diagram szemlélteti.

A kísérlet során feljegyeztem melyik tenyészedényben melyik fafaj mikor pusztult el. Az elszáradt leveleket összegyűjtöttem, és megcímkézett papírzacskóba helyeztem. Három akác maradt életben, de mivel 2011. június 24-én be kellett fejeznem a kísérletem, ezek is szétbontásra kerültek, egyébként tovább életben maradtak volna.

A szétbontás során két részre osztottam a talajmintákat: 0-10 cm és 10-20 cm-ig különválasztottam, majd zacskóba tettem őket. Így a 15 db tenyészedényből 30 db talajminta keletkezett.

A talajminták vizsgálatát 2011. szeptember 8-án kezdtük meg, Magyar Szabvány szerint, az NYME Termőhelyismerettani Intézeti Tanszék laboratóriumában. Első nap mindegyik talajmintából vettem egy kevés mennyiséget, ezt nyújtófával szétnyomkodtam, a növénymaradványokat és pici kavicsokat kiszedtem belőle (alig vagy nem volt benne), majd ledaráltam, átszitáltam, és mindegyikből 10 g kimértem, ezeket megcímkézett papírzacskóba tettem. A pH méréshez szintén 2*10 g talajt átszitáltam, és végül Schachtschabel-csőbe került.

Minden mintánál a következő vizsgálatokat végeztük: talajkémhatás (pH H₂O, pH KCL), összes só %, CaCO₃ %, savanyúság (hy), kötöttség (KA), agyag %, iszap %, finomhomok %, durvahomok %, humusztartalom, T érték és kicserélhető Na tartalom. A vizes és savas pH mérését (egy napig állni kellett hagyni) elektrometriásan végeztük MSZ-08-0206/2-1987 szabvány szerint.

A levélmintákat szintén ledaráltam, és a vizsgálatához megfelelő mennyiségben kimértem őket. A növénymintákat is Magyar Szabvány szerint vizsgáltuk. Ennél a vizsgálatnál tápanyag-ellátottságot mértünk, és megnéztük a Na koncentrációját a levelekben. A mérési eredményeket táblázatban és diagramokon tüntetem fel.

6. A kapott eredmények értékelése

A következőkben ismertetem a talajminták és növényminták analízisét, és a kapott eredményeket. Ezen kívül bemutatom, hogy a tenyészedény kísérlet során milyen mértékben változott a fajok növekedése. Végül a kapott eredményeket értékelem.

6.1. A talajminták analízise

A tenyészedényekbe került talajminták laboratóriumi körülmények között szimulálták azt az esetet, amikor a talaj felszínén elterülő vörös iszapot egy sekély szántással a felszínről kb. 20 cm-es mélységbe forgatjuk. A terepről behozott talajmintákat ennek megfelelően helyeztük el a tenyészedényekbe. Az alsó felébe került a vörös iszappal szennyezett, de lefordított talajrész, míg a felszínre a mélyebben, korábban az iszapömlés előtt 10-20 cm mélyen elhelyezkedő talaj.

A tenyészedény vizsgálatok során 9 ismételtsben vizsgáltuk a talajt a tenyészedény kísérlet lebontása után (20. ábra). A talajokban a legfontosabb talajparamétereket vizsgáltuk. A kilenc minta kémhatásának átlaga 8,1 (vizes pH) volt, a minimum 8,0, a maximum 8,3, ami egy szűk pH-tartománynak is mondható. Ebben a tartományban a kémhatás alapján a vörös iszap ill. az azt kísérő lúg nem okozott növekedést a pH-ban. A 10-20 cm közötti mélységben a kémhatás átlaga 8,4, míg a tartomány 8,2-8,5 közötti. A pH-értékeknél az átlagot a H^+ -koncentráció alapján számoltuk, mivel a pH-val számtani átlagot képezni nem lehet.

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
pH H ₂ O	0-10 cm	9	8,1	0,1	0,0	8,0	8,2	8,0	8,3
	10-20 cm	9	8,4	0,1	0,0	8,3	8,5	8,2	8,5
	Total	18	8,3	0,2	0,0	8,2	8,3	8,0	8,5
összes-só %	0-10 cm	1	0,07	.	.	.	.	0,07	0,07
	10-20 cm	8	0,07	0,01	0,00	0,06	0,07	0,05	0,08
	Total	9	0,07	0,01	0,00	0,06	0,07	0,05	0,08
CaCO ₃ %	0-10 cm	9	16	1	0	16	17	14	17
	10-20 cm	9	15	2	1	13	17	11	18
	Total	18	16	2	0	15	16	11	18
hy %	0-10 cm	9	2,33	0,09	0,03	2,26	2,40	2,22	2,41
	10-20 cm	9	2,60	1,17	0,39	1,70	3,49	2,06	5,69
	Total	18	2,46	0,81	0,19	2,06	2,87	2,06	5,69
Arany-féle kötöttség	0-10 cm	9	50	1	0	50	51	50	53
	10-20 cm	9	50	1	0	49	51	49	53
	Total	18	50	1	0	50	51	49	53

T érték	0-10 cm	9	36,5	0,9	0,3	35,8	37,2	35,2	37,6
	10-20 cm	9	31,7	1,9	0,6	30,3	33,2	28,7	35,6
	Total	18	34,1	2,8	0,7	32,7	35,5	28,7	37,6
Kics. Na	0-10 cm	9	2,42	0,40	0,13	2,11	2,73	1,80	3,10
	10-20 cm	9	4,76	1,14	0,38	3,89	5,64	3,30	6,60
	Total	18	3,59	1,46	0,34	2,86	4,32	1,80	6,60
Na_százalék	0-10 cm	9	6,6	1,1	0,4	5,8	7,5	5,0	8,4
	10-20 cm	9	15,1	3,8	1,3	12,2	18,0	9,2	21,3
	Total	18	10,9	5,1	1,2	8,3	13,4	5,0	21,3

12. táblázat: A tenyészedény kísérlet talajmintáinak alapstatisztikái

Az egyes fajok hatása a talajtulajdonságokra, így a kémhatásra sem mutatható ki, mivel térben is időben még ezek a hatásmechanizmusok nem alakulhattak ki. A 13. táblázatban adjuk meg a vizsgálati eredményeket a fajok bontásában.

		cm									
		0-10 cm					10-20 cm				
		Mean	Range	Minimum	Maximum	Count	Mean	Range	Minimum	Maximum	Count
akác	ph H₂O	8,1	0,2	8	8,2	2	8,5	0,1	8,4	8,5	2
	összes-só %	.	.	.	.	2	0,08	0,01	0,07	0,08	2
	CaCO₃ %	15	2	14	16	2	13	2	11	14	2
	Arany-féle kötöttség	50	0	50	50	2	50	1	49	50	2
	T érték	35,3	0,3	35,2	35,5	2	30,2	3,1	28,7	31,8	2
	Na-százalék	6,9	1	6,4	7,4	2	18,1	5,4	15,4	20,8	2
AF-2	ph H₂O	8,1	0,3	8	8,3	7	8,4	0,3	8,2	8,5	7
	összes-só %	0,07	0	0,07	0,07	7	0,06	0,02	0,05	0,07	7
	CaCO₃ %	16	2	15	17	7	15	7	11	18	7
	Arany-féle kötöttség	50	3	50	53	7	50	3	50	53	7
	T érték	36,8	2	35,6	37,6	7	32,2	5,4	30,2	35,6	7
	Na-százalék	6,6	3,4	5	8,4	7	14,2	12,1	9,2	21,3	7

13. táblázat: A tenyészedény kísérlet talajmintáinak alapstatisztikája a növényzet szerint

A 14. táblázatban közöljük a variancia-analízis eredményeit. A pH-értékek F-értéke nagy, így szignifikáns különbség adódott a két mélység mintái között.

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ph H₂O	Between Groups	0,344	1	0,344	39,592	0
	Within Groups	0,139	16	0,009		
	Total	0,484	17			

összes-só %	Between Groups	0	1	0	0,205	0,665
	Within Groups	0,001	7	0		
	Total	0,001	8			
CaCO ₃ %	Between Groups	8,575	1	8,575	2,432	0,138
	Within Groups	56,416	16	3,526		
	Total	64,991	17			
hy %	Between Groups	0,324	1	0,324	0,473	0,501
	Within Groups	10,937	16	0,684		
	Total	11,261	17			
Arany-féle kötöttség	Between Groups	0,056	1	0,056	0,051	0,825
	Within Groups	17,556	16	1,097		
	Total	17,611	17			
T érték	Between Groups	101,081	1	101,081	45,928	0
	Within Groups	35,214	16	2,201		
	Total	136,295	17			
Kics. Na	Between Groups	24,712	1	24,712	33,967	0
	Within Groups	11,641	16	0,728		
	Total	36,353	17			
Na_százalék	Between Groups	322,179	1	322,179	40,83	0
	Within Groups	126,253	16	7,891		
	Total	448,432	17			

14. táblázat: Variancia-táblázat a talajvizsgálati eredmények alapján 0-10 cm és 10-20 cm-es rétegű talajminták vonatkozásában

Az összes-sótartalom százalék a felső 0-10 cm-ben 0,07% és csupán egy talajmintában volt mérhető mennyiségben. A mélyebb, 10-20 cm közötti minták esetében már 8 talajmintában volt mérhető mennyiség, nagysága 0,05-0,08%. Ez a sótartalom természetesen előforduló talajok esetében gyenge szikességet mutat. A 14. táblázatban látható, hogy az összes-sótartalom szignifikáns különbséget nem mutat az egyes mélységek között, átlagértékei is megegyeznek.

A talaj szénsavas mésztartalma átlagosan a felső 0-10 cm-ben 16 % volt, alatta pedig 15 %. A szórása is kicsi, a legkisebb szénsavas mésztartalom 11%, míg a legmagasabb 18%. A talajra gyakorolt hatásuk, valamint a növényekre gyakorolt növényélettani hatásuk is

csupán kis mértékben térhet el egymástól. A variancia-analízis alapján szignifikáns különbség nem adódott, azonban a 10-20 cm-es mélységben nagyobb volt a szénsavas mészes terjedelme.

A talajok fizikai tulajdonságait, a fizikai talajféleséget a higroszkópos nedvesség százalékkal (hy%) és az Arany-féle kötöttséggel vizsgáltuk. A hy% a felső 0-10 cm-ben 2,33%-ot, míg a 10-20 cm-es rétegben 2,60%-ot mutatott, ami részben magyarázható azzal is, hogy a vörös iszap leforgatásával nagyobb mennyiségű adszorbens került a talajba. A legkisebb érték 2,06%, ami alapján a talaj homokos vályog – vályog határán van, míg a legmagasabb érték 5,69%, ami már agyag fizikai féleségre utal. Ez a jelentős eltérés már magyarázható a vörös iszap nagyobb adszorpciós képességével. A statisztikai elemzés alapján azonban a nagy szórás miatt szignifikáns eltérést nem találtunk a két mélység között, függetlenül attól, hogy a leforgatott szintben valóban nagyobb mennyiségben volt adszorbens.

Az Arany-féle kötöttség szinte azonos értékeket mutat, a vizsgálati eredmények közül szinte a legkisebb szórással. Ez a módszer viszonylag durva megközelítést ad, ezért a finomabb mértékű változásokra nem „reagál”.

A talajszennyezés és elhárítás szempontjából fontos mutató a talajok adszorpciós képessége. A Mehlich-módszerrel meghatározott potenciális adszorpciós képesség a talajmintákban jó adszorpciót mutat. Abszolút értéke 28,7-37,6 1/z mmol/100 g talaj. Az egyes vizsgálati eredmények azt mutatják, hogy a feltalaj adszorpciós képessége szignifikánsan nagyobb, mint a 10-20 cm közötti talajréteg adszorpciós képessége, azonban hatásában a különbség nem kimutatható. A felső 0-10 cm magasabb adszorpciós képessége inkább a humusztartalomra vezethető vissza, miszerint a feltalajban legerősebb a mineralizáció és a szántás következtében ez a réteg került a mélyebb rétegbe. A humusztartalom méréseink hiányában azonban ezt csak feltételezhetjük.

Kicserélhető Na-tartalmat vizsgáltuk a talajban, vizsgálva azt, hogy egy átlagos talajkeverék, amelyben a normál talaj mellett megjelenik a vörös iszap is, milyen átlagos tulajdonságot kölcsönöz a talajnak kolloidikai szempontból.

A kicserélhető Na-tartalom a 0-10 cm-ben átlagosan 2,73 mmol/100 g 1,80-3,10 mmol/100 g közötti tartományban. 10-20 cm között az átlagérték mintegy kétszeres a felső 0-10 cm-es értéknek, nevezetesen 5,64 mmol/100 g-ra, 3,30 – 6,60 mmol/100 g közötti tartományban. A statisztikai vizsgálatok alapján egyértelmű szignifikáns különbség van a két mélység kicserélhető-Na-tartalma között, ami a vörös iszap jelenlétével magyarázható. Ugyanez az eset látható a T-érték százalékában kifejezett Na-tartalom esetén is. A felső szintben a kicserélhető Na-tartalom átlagosan 6,6 %, 5,0 – 8,4 % közötti tartományban, jelezvén a többlet-Na-jelenlétét a talajban. Vörös iszappal nem szennyezett talajok esetében

ekkora Na-telítettségi százalék csak valamilyen formában a szikességgel rendelkező talajokon fordul elő. 10-20 cm között az átlagos százalék 15,1 %, 9,2 – 21,3 % közötti értékkel. A maximális értékek már azt mutatják, hogy jelentős a kicserélhető Na-tartalom a talajban, hosszútávon a Na-ionok kedvezőtlen hatása megjelenne, ha a folyamatok nem lennének reverzibilisek. A statisztikai vizsgálatok is egyértelműen mutatják a szignifikáns eltérést a két mélység között a Na-telítettségi százalék vonatkozásában.

Tenyészedény kísérletünk második részében különböző iszaprétegek bekeverését és az így létrehozott homogenizált „talaj-vörösiszap” keverékbe ültettük növényeinket. Az eltérő mennyiség jelölésére a 2 cm, 5, cm és 8 cm vörös iszap réteg megnevezést használtuk, mivel ennek megfelelően történt a keverék létrehozása a vörös iszappal.

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ph H2O	0-10 cm	6	8,8	0,2	0,1	8,6	9,0	8,5	9,0
	10-20 cm	6	9,0	0,2	0,1	8,8	9,2	8,7	9,2
	Total	12	8,9	0,2	0,1	8,8	9,0	8,5	9,2
összes-só %	0-10 cm	6	0,15	0,03	0,01	0,12	0,18	0,11	0,17
	10-20 cm	6	0,07	0,01	0,00	0,06	0,08	0,06	0,09
	Total	12	0,11	0,05	0,01	0,08	0,14	0,06	0,17
CaCO3 %	0-10 cm	6	17	2	1	15	19	15	20
	10-20 cm	6	17	2	1	15	19	14	19
	Total	12	17	2	0	16	18	14	20
hy %	0-10 cm	6	2,18	0,14	0,06	2,02	2,33	2,03	2,37
	10-20 cm	6	2,21	0,09	0,04	2,11	2,31	2,10	2,32
	Total	12	2,19	0,12	0,03	2,12	2,27	2,03	2,37
Arany-féle kötöttség	0-10 cm	6	54	3	1	50	57	50	57
	10-20 cm	6	53	3	1	50	55	50	56
	Total	12	53	3	1	51	55	50	57
T érték	0-10 cm	6	33,0	2,1	0,9	30,8	35,2	29,5	35,5
	10-20 cm	6	32,0	1,3	0,5	30,7	33,4	30,3	33,4
	Total	12	32,5	1,7	0,5	31,4	33,6	29,5	35,5
Kics. Na	0-10 cm	6	13,74	3,73	1,52	9,83	17,65	8,60	17,70
	10-20 cm	6	10,88	1,87	0,76	8,92	12,83	7,90	12,70
	Total	12	12,31	3,18	0,92	10,29	14,33	7,90	17,70
Na_százalék	0-10 cm	6	42,2	13,0	5,3	28,5	55,8	24,8	54,4
	10-20 cm	6	34,1	6,8	2,8	27,0	41,2	23,8	41,9
	Total	12	38,1	10,7	3,1	31,3	45,0	23,8	54,4

15. táblázat: A különböző mennyiségű vörös iszap hatása a tenyészedények talajtulajdonságaira 240 napos öntözés után a felső 0-10 és 10-20 cm-es rétegek vonatkozásában

A vörös iszap térfogat százaléka kb. 2 g/cm³, a talajé 1 g/cm³. Ezáltal ki tudtuk számolni a különböző arányban bekevert vörös iszap tömegszázalékát. Úgy számoltuk ki,

hogy a talaj kb. 89%, a vörös iszap kb. 11% volt. Az átlagos térfogattömeg a következőképpen számítható ki:

$$\frac{2,0g * 11\% + 1,0g * 89\%}{100} = 1,1$$

Ekkor megkaptuk azt az eredményt, hogy $1g/cm^3 * r^2 * \pi * x_2 = 16$ g a talaj mennyisége (ahol az x_2 a talajt), a vörös iszapé pedig $2g/cm^3 * r^2 * \pi * x_1 = 4$ g (ahol az x_1 a vörös iszapot jelöli). Így 2 cm vörös iszappal bekevert talajminta esetén 25 tömegszázaléknak, 5 cm esetén 33 tömegszázaléknak és 8 cm esetén 50 tömegszázaléknak felelt meg a vörös iszap tömegaránya.

A 15. táblázatban látható, hogy a folyamatos öntözés hatására a kémhatás átlagosan 8,8 (pH-vizes) az alatta található 9 pH-értékkel szemben. A vörös iszap hatása azonban mindkét mélységben látható, azonban a kilúgozás már érezteti hatását a pH-értékek alakulásában.

Az összes-sótartalom változása meglepő. A felső 0-10 cm-es réteg 0,15 % összes só mennyisége kétszerese az alatta található 10-20 cm 0,07 % sótartalmának. Ugyanez igaz a minimális ill. maximális sótartalmi értékekre is. Ez a folyamat a kilúgozással ellentétben azt mutatja, hogy a sók a felső szintekben halmozódtak fel inkább, azaz az öntözés utáni nedvesedési-száradási folyamatokban meghatározó volt a vízdoldható sók felső szintek felé történő áramlása (9. ábra). Ezt láttuk a talajok felületén, amikor az öntözést követő napokban a száradás hatására jelentős sókivirágzás indult el (10. ábra). A 6. táblázat statisztikai adatai alapján azonban a kis elemszám, ennek következtében a nagy szórás miatt szignifikáns különbség még sincs a sótartalomban.



9. ábra: Só-kiválás a felszínen (15. számú tenyészedényben, fotó: saját készítésű, 2010)



10. ábra: Sókivirágzás mikroszkóp alatt (fotó: Kovács G., 2010)

A szénsavas mésztartalom átlagosan 16-17 %, mennyisége nem nagyon változik. Ez a változás is az eredeti talajbeli különbségek alapján már fennállhatott. Szignifikáns különbséget ugyancsak nem mutatnak.

A $hy\%$ értékek statisztikája alapján 95 %-os valószínűséggel nem, de 90 %-os valószínűséggel mondható különbség az eltérő mennyiségű vörös

iszapos talajok között. Hasonló eredményeket mutat az Arany-féle kötöttség is. Ezzel ellentétben azonban a 17. táblázat alapján, a T-érték, a kicserélhető-Na-tartalom valamint a Na-telítettségi százalék alapján is van szignifikáns különbség az egyes kezelések között. Azt, hogy melyik kezelések között van szignifikáns eltérés a Duncan-tesztel vizsgáltuk. A 7. táblázatban a 2 cm-es vörös iszapos kezelés szignifikánsan kisebb pH-értékeket mutatott a 8,7-es pH-értékkel, mint az 5 cm-es, vagy 8 cm vastag kezelés. A pH-érték mindkét esetben átlagosan 9,0 volt.

		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum	Maximum
						Lower Bound	Upper Bound		
ph H ₂ O	2 cm vörös iszap	4	8,7	0,1	0,1	8,5	8,9	8,5	8,8
	5 cm vörös iszap	4	9,0	0,1	0,1	8,8	9,2	8,9	9,2
	8 cm vörös iszap	4	9,0	0,1	0,0	8,9	9,1	9,0	9,1
	Total	12	8,9	0,2	0,1	8,8	9,0	8,5	9,2
összes-só %	2 cm vörös iszap	4	0,09	0,03	0,01	0,05	0,14	0,06	0,12
	5 cm vörös iszap	4	0,11	0,06	0,03	0,02	0,20	0,06	0,17
	8 cm vörös iszap	4	0,12	0,06	0,03	0,03	0,22	0,07	0,17
	Total	12	0,11	0,05	0,01	0,08	0,14	0,06	0,17
CaCO ₃ %	2 cm vörös iszap	4	18	2	1	15	20	16	20
	5 cm vörös iszap	4	16	1	0	15	17	15	17
	8 cm vörös iszap	4	17	2	1	14	20	14	19
	Total	12	17	2	0	16	18	14	20
hy %	2 cm vörös iszap	4	2,26	0,13	0,07	2,05	2,47	2,06	2,33
	5 cm vörös iszap	4	2,23	0,09	0,05	2,08	2,37	2,17	2,37
	8 cm vörös iszap	4	2,09	0,05	0,03	2,01	2,17	2,03	2,15
	Total	12	2,19	0,12	0,03	2,12	2,27	2,03	2,37
Arany-féle kötöttség	2 cm vörös iszap	4	52	2	1	48	55	50	55
	5 cm vörös iszap	4	52	3	1	48	57	50	56
	8 cm vörös iszap	4	56	2	1	53	58	54	57
	Total	12	53	3	1	51	55	50	57
T érték	2 cm vörös iszap	4	34,0	1,2	0,6	32,1	36,0	32,7	35,5
	5 cm vörös iszap	4	32,6	1,2	0,6	30,6	34,5	30,8	33,4
	8 cm vörös iszap	4	31,0	1,3	0,7	28,8	33,1	29,5	32,5

	Total	12	32,5	1,7	0,5	31,4	33,6	29,5	35,5
Kics. Na	2 cm vörös iszap	4	8,95	0,88	0,44	7,54	10,35	7,90	10,00
	5 cm vörös iszap	4	13,37	2,46	1,23	9,45	17,28	11,30	16,80
	8 cm vörös iszap	4	14,61	2,59	1,30	10,48	18,74	12,20	17,70
	Total	12	12,31	3,18	0,92	10,29	14,33	7,90	17,70
Na_százalék	2 cm vörös iszap	4	26,3	2,3	1,2	22,6	30,0	23,8	28,4
	5 cm vörös iszap	4	41,0	6,7	3,4	30,3	51,6	35,3	50,1
	8 cm vörös iszap	4	47,2	8,1	4,0	34,3	60,0	38,7	54,4
	Total	12	38,1	10,7	3,1	31,3	45,0	23,8	54,4

16. táblázat: A különböző mennyiségű vörös iszap hatása a talajtulajdonságokra

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
ph H2O	Between Groups	0,305	2	0,153	11,935	0,003
	Within Groups	0,115	9	0,013		
	Total	0,42	11			
összes-só %	Between Groups	0,002	2	0,001	0,31	0,741
	Within Groups	0,022	9	0,002		
	Total	0,024	11			
CaCO3 %	Between Groups	6,052	2	3,026	1,307	0,317
	Within Groups	20,834	9	2,315		
	Total	26,886	11			
hy %	Between Groups	0,065	2	0,032	3,325	0,083
	Within Groups	0,087	9	0,01		
	Total	0,152	11			
Arany-féle kötöttség	Between Groups	43,167	2	21,583	4,068	0,055
	Within Groups	47,75	9	5,306		
	Total	90,917	11			
T érték	Between Groups	18,697	2	9,348	5,817	0,024
	Within Groups	14,463	9	1,607		
	Total	33,16	11			
Kics. Na	Between Groups	70,844	2	35,422	7,837	0,011
	Within Groups	40,676	9	4,52		
	Total	111,52	11			
Na_százalék	Between Groups	920,716	2	460,358	11,94	0,003
	Within Groups	347	9	38,556		
	Total	1267,716	11			

17. táblázat: – A különböző mennyiségű vörös iszap hatásának statisztikája a talajtulajdonságok alapján

kezelés	N	Subset for alpha = .1	
		1,0	2,0
2 cm vörös iszap	4	8,7	
5 cm vörös iszap	4		9,0
8 cm vörös iszap	4		9,0
Sig.		1,0	0,8

18. táblázat: Duncan-teszt a pH-értékek vizsgálatára

Az összes-só és a szénsavas mésztartalom vonatkozásában nem adódott szignifikáns eltérés. Határozott elkülönülést csak a Na-tartalom és a Na-telítettségi százalék hozott.

Kezelés	N	Subset for alpha = .1	
		1	2
2 cm vörös iszap	4	8,95	
5 cm vörös iszap	4		13,37
8 cm vörös iszap	4		14,61
Sig.		1,00	0,43

19. táblázat: Duncan-teszt a kicserélhető-Na-tartalom vizsgálatára

A pH-val igen jól korrelálva hasonló eredményeket hozott a kicserélhető Na-tartalom is. A legkevesebb mennyiségű vörös iszap mellett átlagosan 8,95 mmol/100 g volt a Na mennyisége, míg az 5 cm-es kezelés esetén 13,4 mmol/100 g, és a 8 cm-es kezelés esetén 14,6 mmol/100g.

Kezelés	N	Subset for alpha = .1	
		1	2
2 cm vörös iszap	4	26,3	
5 cm vörös iszap	4		41,0
8 cm vörös iszap	4		47,2
Sig.		1,0	0,2

20. táblázat: Duncan-teszt a Na-telítettségi százalék vizsgálatára

A kicserélhető-Na-százalék a 2 cm-es vastagságnál 26,3 % nátrium-telítettséget mutatott, míg az 5 cm-es kezelésnél már 41 %-ot és a 8 cm-es kezelésnél pedig 47,2 %-ot. Ezek az értékek az erősen szikes talajokra jellemzőek, amelyet a pH is jelez.

A kísérlet során az tapasztalható, hogy a talajtípus megváltozott, a tenyészvényben lévő talajok elszikesedtek. Tóth Béla könyvében olvasható néhány gondolat a szikesek fásításáról.

Erdészeti és mezőgazdasági hasznosítás szempontjából fontosnak tartja az altalajvíz mélységi elhelyezkedését és sótartalmát, továbbá a talaj kolloidkémiai helyzetét és lúgossági fokát. Minél nagyobb fokú a talaj adszorpciós komplexusának nátriumtelítettsége, a talaj káros sótartalma, szódalúgossága, annál rosszabbak a szikes talaj fizikai és kémiai tulajdonságai. Így romlanak a fatenyészet lehetőségei is. Viszont ha a talaj szikessége olyan, hogy a gyökerek talajvízhez való lejutását nem akadályozza, akkor a megfelelő fafajokkal és megfelelő agrotechnikával sikeresen fásítható.

A szikesek fásításánál a talajvíznek akkor van fontos szerepe, ha a gyökerek által elérhető, illetve a mozgásával a gyökérzet fejlődési lehetőségeit közvetlenül is befolyásolja. Viszont ha a talajvíz sótartalma jelentős, akkor akadályozza az erdőtelepítést. Ugyan ez a

helyzet, ha nem az altalajvíz, hanem a mélyebben fekvő talajréteg sótartalma nagymértékű. Ilyenkor mindaddig kielégítő a fák növekedése, amíg a gyökereik a felső, csekélyebb sótartalmú talajrétegben helyezkednek el. Ha azonban a növekedés során a gyökérzet a mélyebben elhelyezkedő, nagyobb sótartalmú talajrétegekbe ér, a fák növekedése lelassul, és a növény el is pusztulhat. Az ilyen szikesek fásításának növekedési viszonyai tükörképet mutatnak az altalajrétegben uralkodó szikesedési helyzetnek.

A sós talajvizek, és a mélyebben elhelyezkedő szikes talajrétegek akadályai a területek erdő- és mezőgazdasági hasznosításának, illetve a velük kapcsolatos folyamatok az alapvető okai a szikes talajok kialakulásának is. Az öntözés jelentős mértékben megváltoztatja a talajok víz- és sóforgalmát, és ez másodlagos szikesedést okoz. Ebben az esetben a talajvizek szintje megemelkedik, ezzel párhuzamosan pedig a káros sók elmozdulnak a mélyebb rétegekből a talajfelszín irányába.

A szikesek fásításának helyes megtervezése és végrehajtása során figyelembe kell venni a talajok tulajdonságait és a fák ökológiai igényét. Ahol a szikesség alapvető oka a talajokban található nagy sótartalom, mindenekelőtt sótűrő fás növényzet telepítésére törekednek.

A szikes talajok erdészeti hasznosításával kapcsolatban jóval kevesebb ismeret és tapasztalat áll rendelkezésre, mint a mezőgazdasági hasznosítást illetően. Hazánk azokhoz az országokhoz tartozik, ahol a legkorábban, a legnagyobb intenzitással kezdtek el foglalkozni a szikesek fásításával, és ahol ezen a téren a legtöbb eredményt érték el.

A szikfásításban a megállapítások és eredmények lassabban, több munka és fáradtság árán szűrhetők le. Szükségszerű tehát, hogy az ilyen jellegű kutatások jól megalapozott és megfontolt tervek és előtanulmányok után, hosszú évekig, évtizedekig folyjanak. (TÓTH, 1972)

6.2. A növényminták analízis

A 21. táblázatban a növényminták eredményeit tüntettük fel. A makrotápelemek közül vizsgáltuk a nitrogént, foszfort és a káliumot, a mezoelemek közül a kalciumot és a magnéziumot, míg a nyomelemből a vas-, mangán-, réz-, cinktartalom meghatározására került sor. A nátriumtartalom volt vizsgálatunk fő tárgya, miszerint a vörös iszappal szennyezett talajokból a növény mennyi nátriumot épített be a sejtjeibe, és ez hogyan befolyásolta a többi tápelem felvételét, jelentkezhetett-e ennek következtében tápelem-ellátottsági zavar.

Helység	N%	P (g/kg)	K (g/kg)	Ca (g/kg)	Mg (g/kg)	Fe (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Cu (mg/kg)	Zn (mg/kg)	Na mg/kg
optimális ellátottság (Ulrich 1990/91, Lyr et al.)	3,5	18	5-10	4-7	1-2	50-500	50-500	5-12	13-50	-
Devecser Akác leforgatott átlag	-	18,3	27,8	10,6	2,4	379	171	8,9	45,9	462
Nyár leforgatott átlag	-	23,8	43,5	6,7	2,8	245	123	18,8	122,7	1 071
Akác+2cm vöi	-	-	20,9	14,6	3,1	388	201	6,7	31,1	392
Akác +5 cm vöi	-	-	28,9	15,0	4,1	642	122	9,1	33,6	1 987
Akác +8cm vöi	-	-	40,5	6,4	3,2	355	79	11,6	52,0	983
Devecser1	3,20	3,3	8,3	9,3	4,1	208	91	9,9	25,8	299
Devecser 2	0,99	4,7	4,0	8,2	4,3	319	156	13,2	23,0	219

21. táblázat: A növényminták tápelem-tartalmi értékei tenyészedény kísérletben

Mivel nem volt elegendő mintánk valamennyi tápelem meghatározására, ezért valamennyi tápelemet nem tudtunk megmérni minden minta esetében. Az elmaradt elemzés a nitrogénre, ill. foszforra vonatkozott.

A szántást imitáló tenyészedényekben mintegy 1-2 cm-es vörös iszap réteg a tenyészedények alján helyezkedett el, a növekedés során a gyökérzet részben kapcsolatba is kerülhetett ezzel a talajréteggel. Az akác ill. a nemes nyár minták közötti különbség a cink, valamint a nátriumtartalomban jelentkezett.

Általánosan megállapítható azonban, hogy a szakirodalomban közölt irodalmi határértékekhez viszonyítva a minták tápelem-tartalma mind az akác, mind pedig a nemes nyár esetében az optimális szintet elérte.

A foszfor esetében a nyárak tartalmaztak kicsit több foszfort, 23,8 g/kg-ot, szemben az akáccal, amelyben 18,3 g/kg volt a foszfor mennyisége. A káliumellátottság ugyancsak optimálisnak nevezhető, mivel a határértéket jelentő 5-10 g/kg-os értéket messze

meghaladóan 43,5 g/kg-ot ill. 27,8 g/kg-ot mértünk a nyárok ill. az akác esetében. A magnézium-ellátottság ugyancsak optimálisnak tekinthető, 2,8 és 2,4 g/kg-os értékkel az optimálisnak tartott 1-2 g/kg-hoz képest. Annak ellenére, hogy a talajminták lúgos kémhatásúak voltak, a növénymintákban sem a vas, sem a mangán esetében nem alakult ki tápelem-hiány. Mindkét növényfajnál az optimális ellátottsági értékeket mutatták a növényminták eredményei.

A rézre ugyancsak elmondható, hogy az optimális ellátottságot elérte a réztartalom, azonban a nyárakban található réz mennyisége 18,8 mg/kg-os koncentrációt, míg az akác esetén 8,9 mg/kg-os koncentrációt ért el. Hasonló mondható el a cinktartalomról is, miszerint az optimális határértéket a nyárok cinktartalma jóval meg is haladta, értéke 122,7 mg/kg volt, míg az akác esetén az optimális tartományba esett a mennyisége.

A nátrium nem tartozik a szorosan vett növényi tápelemek közé, azonban a vörös iszap nagy nátrium-telítettsége miatt érdemes vizsgálni, hogy a növények mennyire képesek diszkriminálni a nátrium felvételét egy ilyen közegből. A két fafaj közötti különbség jelentős, annak ellenére, hogy mindkét fafaj jelentős mértékben halmozta fel a nátriumot. Az akácnál 462 mg/kg-os koncentrációt mértünk, míg a nyárok esetén ez az érték 1071 mg/kg. A nyárok ebben a tekintetben hasonlóan viselkednek, mint a nehézfémek esetén, ahol az egyes kutatások szerint más fafajokhoz vagy növényfajokhoz képes lényegesen nagyobb mennyiséget tudnak felvenni anélkül, hogy az élettani folyamataikat az hátrányosan befolyásolná. Ezért is javasolják a nyárakat többek között a bioremedáció egyik jól alkalmazható eszközének (VOLKHARD, 2005).

A vörös iszappal kevert talajok esetén, ahol jelentős mennyiségben, a legnagyobb kezelésnél már 50 tömegszázalékban hozzákevert vörös iszapban a fűz- és a nyárdugványok egy idő után elpusztultak. Az akác csemeték azonban tovább növekedtek, és a tenyészedeények lebontásakor vett növényminták elemtartalmát tekintve a káliumtartalomban van jelentős különbség, nevezetesen a legnagyobb kezelést kapott tenyészedeényekben kaptuk a legnagyobb káliumtartalmat 40,5 g/kg értékkel. A kalcium ezzel szemben itt volt a legalacsonyabb, a 15,0 g/kg-mal szemben csak 6,4 g/kg-ot mutatott, azonban ez is még az optimális ellátottsági szinten belül mozgott. A kálium-kalcium ionantagonizmusát azonban a mérési eredmények jól mutatják. A magnézium esetén nincs látható különbség a vizsgálati eredmények között. A nyomelemek mennyisége nem mutat tendenciát, a kezeléseket figyelembe véve. Eltérő a vas-, mangán-, réz-, és cink mennyisége, azonban az optimális ellátottsági szinthez tartoznak.

A nátriumtartalomban azonban van jelentős különbség az egyes növényminták között. Míg a 2 cm-es vastagságú vörös iszapos mintában a nátriumtartalom 392 mg/kg, addig a

növekvő vörös iszap mennyiséggel 1987 mg/kg-ra, ill. 983 mg/kg-ra emelkedik. Végeredményben azonban ez a koncentráció sem okoz mérgezési tüneteket az akácnál. A nátrium mennyisége 1-2 %, eléri a makroelemekre vonatkozó értékeket.

Tudósok felfedezték, hogy a Na kis mennyiségben nélkülözhetetlen a növények számára. A sejt kiválasztja a nátriumot, enzimaktiváló, vízháztartásban van fontos szerepe és szabályozó szerepet is betölt. Egyes növényeknél a Na felvétele nagyon eltérő lehet, mint ahogy a nátrium többletének hatása is. (WWW.KERTESZEKARUHAZA.COM)

A Devecser 1-, és 2 minták a vörös iszappal szennyezett területen, de attól megtisztított talajon nőtt nyákról származnak. Ami feltűnő, hogy a humuszos feltalaj elhordása következtében a növényekben jóval kisebb a foszfor- és a káliumtartalom, mint a vörös iszappal szennyezett mintákban. A foszfor 3,3-4,7 g/kg értéke jóval alatta marad az optimális ellátottságnak. Hasonló látható a kálium esetében is, ahol a minták káliumtartalma 4,0-8,3 g/kg közötti, ami már latens hiányt is mutat.

Ugyanakkor jól látszik, hogy a nátriumtartalom is jóval alacsonyabb, csupán 219-299 mg/kg, mint a vörös iszappal szennyezett növényeknél, ahol a nyár esetén a nátrium 1071 mg/kg-ot mutatott.

6.3. Az elültetett fajok növekedése

2010. november 15-én ültettük el a fajok az elkészített tenyészedényekbe, innentől kezdve figyeltem heti rendszerességgel a fajok növekedési ütemét (megmértem a levelek hosszát és a fajok magasságát), ezen kívül feljegyeztem, ha bármiféle változást láttam rajtuk. Ebben az évben november 16-ától kezdve mindegyik tenyészedényt 300 ml (1 cm csapadékmennyiség~10 ml→ kb. 30 cm víz) desztillált vízzel öntöztem meg.

Az első hét elteltével vékony penészfórt fedeztem fel a legtöbb tenyészedény felszínén, és mindegyikben megjelentek a sókristályok. Először a nyár és a fű dugványok indultak meg, az akácokra kis időt várni kellett. Kis növények is nőttek ki a vörös iszappal szennyezett talajból. Az öntözésen és feljegyzésen kívül, egy kis kézi gereblye segítségével megbolygattam a tenyészedényben található kezeletlen és „kezelt” (plusz vörös iszappal szennyezett) talajok felszínét, majd fénykép is készült róluk.

A dugványok heti növekedését átlagoltam tenyészedényenként, mivel egy tenyészedényben 5 dugvány volt. Erről táblázatot és diagramokat készítettem fajonként, amik a következőképpen alakultak:

Akác (<i>Robinia pseudoacacia</i>) növekedése								
tenyészedény	2010.11.23	2010.11.30	2010.12.08	2010.12.16	2011.01.04	2011.01.19	2011.02.01	2011.02.08
1. számú	0,00	0,00	0,00	12,00	60,00	75,00	84,00	86,10
2. számú	0,00	0,00	6,30	34,00	50,00	65,00	80,00	81,50
10. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
12. számú	0,00	0,00	0,00	5,50	18,00	27,00	33,20	42,33
14. számú	0,00	0,00	0,00	6,17	45,00	60,00	63,50	64,10

magasság (cm)

22. táblázat: Az akác növekedési üteme (1. kísérlet)

Fehér fűz (<i>Salix alba</i>) növekedése								
tenyészedény	2010.11.23	2010.11.30	2010.12.08	2010.12.16	2011.01.04	2011.01.19	2011.02.01	2011.02.08
3. számú	0,00	1,00	3,20	4,00	2,50	2,50	0,00	0,00
4. számú	0,50	3,00	9,10	16,00	14,10	14,10	0,00	0,00
5. számú	0,00	2,00	3,80	4,60	3,00	3,00	0,00	0,00
6. számú	0,00	5,00	5,98	13,00	10,00	10,00	0,00	0,00
7. számú	0,20	4,00	4,80	6,00	4,60	4,60	0,00	0,00
8. számú	0,00	3,00	4,58	7,00	4,30	4,30	0,00	0,00
9. számú	0,00	3,00	5,30	7,80	5,00	5,00	0,00	0,00
11. számú	0,40	5,00	6,14	8,20	5,00	5,00	0,00	0,00
13. számú	0,00	0,00	0,40	4,80	11,00	11,00	0,00	0,00
15. számú	0,20	6,40	13,00	14,30	15,00	15,00	0,00	0,00

magasság (cm)

23. táblázat: A fehér fűz növekedési üteme (1. kísérlet)

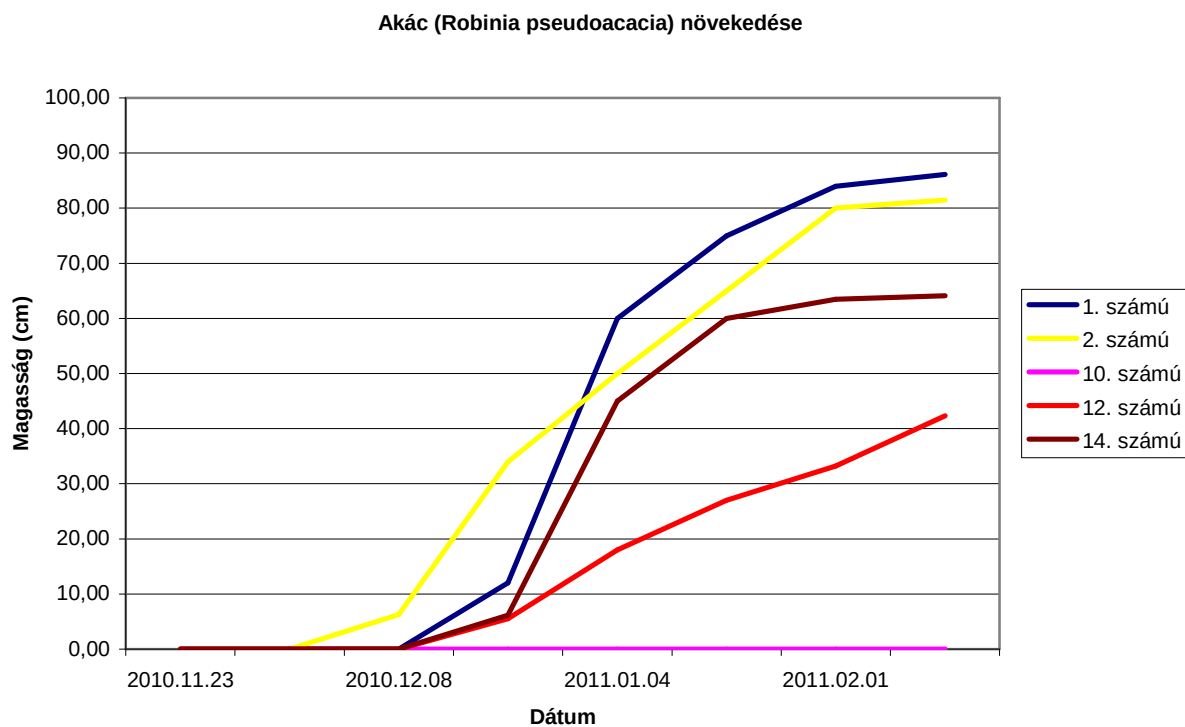
AF2 nyár (<i>Populus x euramericana AF-2</i>) növekedése								
tenyészedény	2010.11.23	2010.11.30	2010.12.08	2010.12.16	2011.01.04	2011.01.19	2011.02.01	2011.02.08
3. számú	0,50	5,00	10,20	11,30	11,30	11,00	0,00	0,00
4. számú	0,00	0,00	3,50	9,30	9,30	9,00	4,00	5,00
5. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
6. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,50	0,80
7. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
8. szám	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
9. számú	0,00	0,30	13,70	17,60	17,60	17,00	0,00	0,00
11. számú	0,20	5,00	21,60	22,00	10,00	10,00	0,00	0,00
13. számú	0,30	3,00	16,70	19,20	20,00	20,00	0,00	0,00
15. számú	0,00	0,00	6,90	15,80	15,00	15,00	0,00	0,00

magasság (cm)

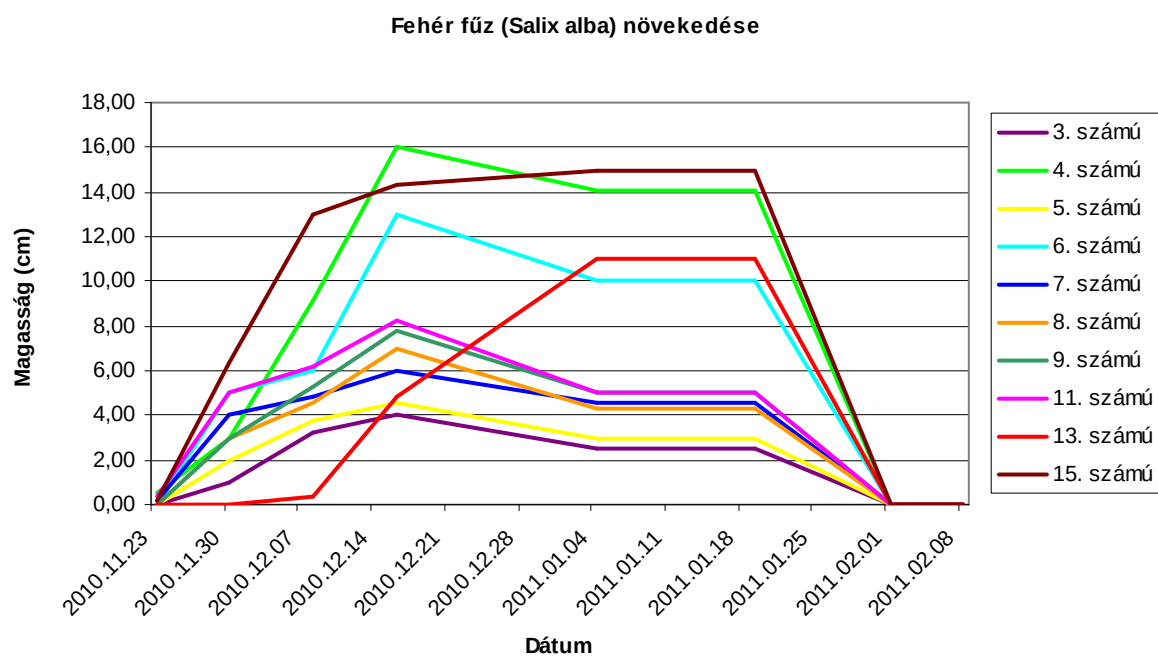
24. táblázat: Az AF2 nyár növekedési üteme (1. kísérlet)

Az első kísérletem 2011. február 8-ig tartott, mivel január közepén kezdtek elszáradni, míg végül a fehér fűz teljesen elpusztult, a nyár dugványok nagy része is erre sorsa jutott, a 10. számú tenyészedényben lévő akác pedig még mindig nem akart megindulni. Ezért került sor egy második kísérletre, ekkor már csak nyár és akác dugványokkal folytattuk. Az összes nyár dugványt kicseréltem új közepes, és nagy dugványokra, az akácokat hagytuk tovább élni.

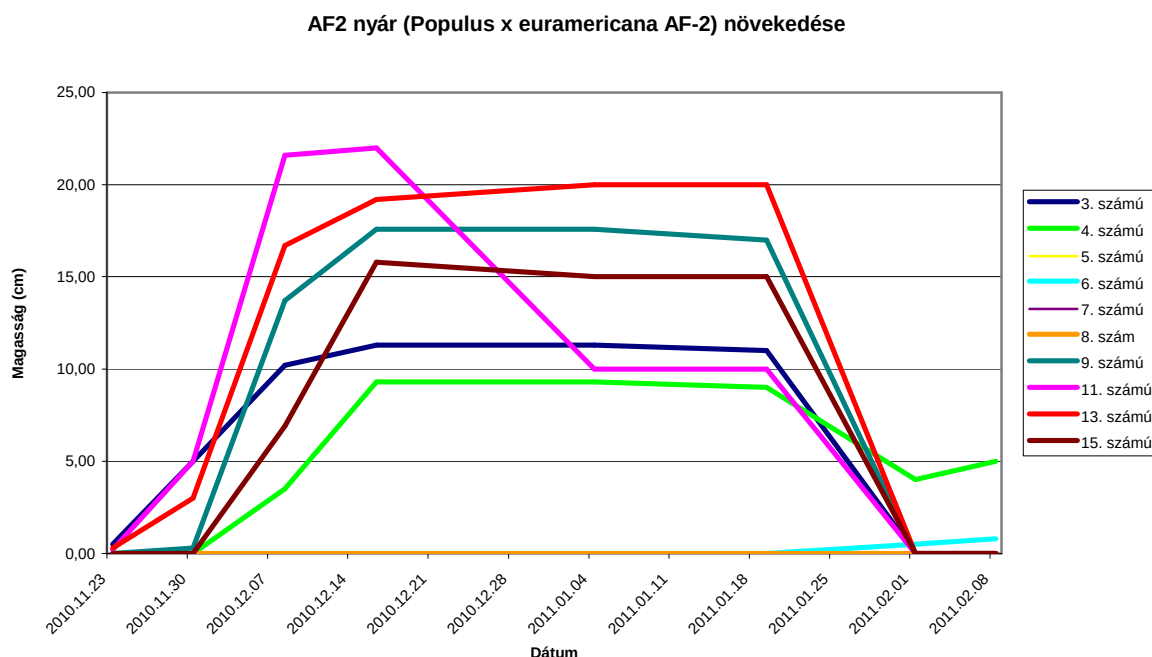
Az első kísérlet fafajainak növekedési ütemét a 11-es, 12-es és 13-as ábra szemlélteti:



11. ábra: Az akác növekedési üteme (1. kísérlet)



12. ábra: A fehér fűz növekedési üteme (1. kísérlet)



13. ábra: A nyár növekedési üteme (1. kísérlet)

2011. február 1-jén megmértük a tenyészedényekben lévő talaj nedvességtartalmát. Egy tenyészedényben három mérést végeztünk, majd a kapott értékeket átlagoltuk. Felfedeztük, hogy a plusz vörös iszappal bekevert („kezelt”) edények alján (10. számútól-15. számúig) víz maradt, amiből vízmintákat készítettünk. Először megmértük a mennyiségüket, majd 10 ml-t kimértünk, és egy műanyag flakonba tettük. Ezeknek a mintáknak megmértük a pH értékét. Mikroszkóp alatt megvizsgálva a vízmintákat, kis élőlényeket (ugróvillásokat, collembola-kat) fedeztünk fel (14. ábra). A mérési eredményeket az alábbi táblázatok szemléltetik:

Nedvességtartalom mérése %-ban (2011.02.01)				
tenyészedény	1. mérés	2. mérés	3. mérés	átlag
1. számú	63	57	66	62
2. számú	67	68	62	66
3. számú	68	66	66	67
4. számú	62	54	70	62
5. számú	64	51	65	60
6. számú	68	76	66	70
7. számú	61	63	59	61
8. számú	66	67	62	65
9. számú	61	58	60	60
10. számú	59	70	80	70
11. számú	71	50	69	63
12. számú	58	55	68	60
13. számú	71	87	74	77
14. számú	67	65	50	61
15. számú	68	30	31	43

25. táblázat: A tenyészedényekben lévő talaj nedvességtartalmának eredményei

Vízminták és pH értékük (2011.02.01)		
tenyészedény	vízmennyiség (ml)	pH értéke
10. számú	205	8,4
11. számú	145	8,6
12. számú	520	8,3
13. számú	275	8,3
14. számú	590	8,3
15. számú	620	8,0

26. táblázat: A megmért víz mennyisége, és a vízminták pH értéke



14. ábra: Élőlények a vízmintában, mikroszkóp alatt (fotó: Kovács G., 2011)

Miután befejeztük az első kísérletet, és belekezdünk a másodikba, a tenyészedényekben lévő talaj nagyon száraz volt, ezért egy héten kétszer kellett megöntöznöm 300 ml desztillált vízzel.

Az első tenyészedényben lévő akác elkezdett száradni, a száraz leveleket összegyűjtöttem egy kis papírzacskóba. A másodikban lévő egyik akác teljesen elszáradt, de a másik egészségesnek tűnt. Végül az összes akác levelét összegyűjtöttem, ami elszáradt. Eközben a 10. számú akác még mindig

nem akart megindulni. Egyáltalán nem fejlődött ki.

A második kísérlet megkezdésénél (2011. február) talajmintákat vettünk, hogy megmérhessük a talaj kémhatását, az azonos „kezelésű” és azonos fafajjal beültetett talajokat összekevertük, így kerültek le a laborba.

Az elkövetkező időszakban is nagyon száraz volt a talaj, kirepedezett (mint a szikes talajok) a felszíne. Közben továbbra is sókristályok jelentek meg, főleg a „kezelt” talajokra volt jellemző, azokon jelentős mennyiségű volt. Szinte az egész felszínt beborította, míg a többi tenyészedényben inkább csak szórványosan jelentek meg.

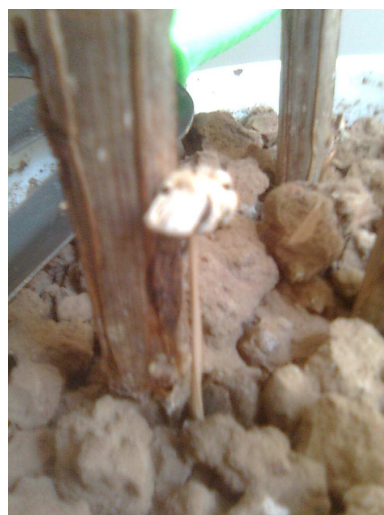
Márciusban felfedeztem, hogy egy-két nyárnak a levele besárgult, és a levél formája is megváltozott. Volt olyan is, ahol még zölden (látszólag épen és egészségesen) lehullottak a levelek. A hónap végén örömmel vettem észre, hogy a 10. számú tenyészedényben az akác megindult, pedig már nem fűztünk hozzá reményt, hogy növekedni fog. Kb. egy 2 cm-es rügyet növesztett, amin pici levélkék is voltak. A talaj felszínét továbbra is sókristály borította.

Április elején az elszáradt akácokat metszőollóval visszavágtam. A talaj felszínén ismét sókiválás volt tapasztalható, ezen kívül az elszáradt, lehullott levelek bepenészesedtek. A nyárok úgy tűntek, nem fogják sokáig bírni, egyre több száradt el, és a leveleik is fodrosodtak. A hónap végén észrevettem, hogy a nyárok levelei (ami még nem potyogott le)

és a kéreg is megfeketedett. A 10-es számú akác szépen nőtt, elérte a 33 cm-t, és a levelei szép nagyok, kb. 2,7-4,3 cm közöttiek voltak. A talajt egyre nehezebben tudtam megbolygatni, mivel betonkemény-szerűvé változott, a rendszeres öntözés ellenére.

Májusban a 10. számú akác már elérte a 40 cm-t, levelei azonban besárgultak, nagyon világos zöldes-sárgás színűvé változtak, és a levél erezte is erősen kirajzolódott. Volt olyan levél, ami annyira világos volt, hogy szinte fehérnek (átlátszóságnak) látszott. A sókristályok az akácot körbevéve jelentek meg.

Június elején több tenyészedenyben egyfajta gombát véltem felfedezni (15. ábra). Június 7-én szétbontottam a tenyészedenyeket. Kétfelé osztottam a talajt, egy tenyészedenyből két talajmintám lett: 0-10 cm-ig, és 10-20 cm-ig. Ezeket zacskóba tettem és megcímkéztem. A 4. számú tenyészedenytől a 11. számúig a nyár dugványok alja, ami a vörös iszapos talajban volt teljesen megfeketedett. Azokat a tenyészedenyeket is szétszedtem, amiben még egészséges volt az akác. A kísérletet egyedül három akác élte túl. A fajok elpusztulásáról táblázatot készítettem. (A második kísérlet fajáinak növekedési ütemét szemléltető táblázatok és diagramok a mellékletben megtalálhatók.)



15. ábra: Gomba nőtt a tenyészedenyekben (saját fotó)

Fajok elpusztulása					
Faj	Ültetés napja	Növekedés megállt	Elpusztult	Élethossz [nap]	Max. magasság [cm]
1. Akác	2010.11.15	2011.02.22	2011.03.01	106	86,10
2. Akác	2010.11.15	-	2011.06.24*	221	81,50
3. Nyár	2011.02.22.	2011.04.12	2011.04.28	65	9,90
4. Nyár	2011.02.22.	2011.04.05	2011.04.12	49	9,00
5. Nyár	2011.02.22	2011.04.12	2011.05.17	84	11,05
6. Nyár	2011.02.22	2011.03.22	2011.05.17	84	12,23
7. Nyár	2011.02.22	2011.03.22	2011.05.17	84	6,80
8. Nyár	2011.02.22	2011.04.28	2011.05.17	84	9,46
9. Nyár	2011.02.22	2011.04.28	2011.05.17	84	9,21
10. Akác	2010.11.15	-	2011.06.24*	221	46,90
12. Akác	2010.11.15	-	2011.06.24*	221	42,33
14. Akác	2010.11.15	2011.02.08	2011.02.22	99	64,10
11. Nyár	2011.02.22	2011.03.22	2011.04.05	42	10,23
13. Nyár	2011.02.22	2011.03.22	2011.04.28	65	6,33
15. Nyár	2011.02.22	2011.04.05	2011.04.28	65	9,33

27. táblázat: A fajok elpusztulása (Megjegyzés: A * -gal megjelölt dátumok a tenyészedenyek szétbontásának napját mutatják, a növények tovább éltek volna.)

7. Következtetések és javaslatok

A talajvizsgálati eredményekből a következők állapíthatók meg:

- a vörös iszap hatása a szántás szimulálásával kimutatható. Szignifikáns különbség adódott a pH-értékekben, a kicserélhető-Na-tartalom valamint Na-telítettségi százalék között. Az alsó 10-20 cm értékei voltak a magasabbak (ahol a vörös iszap nagyobb mennyiségben volt jelen).
- laboratóriumi körülmények között a sókiválás a felszín közelében jelentkezett, a sók távozásának, kimosódásának a feltétele a kilúgozási vízháztartás. A felszíni sókiválás a laboratóriumi körülményeknek köszönhető (magas hőmérséklet, alacsony páratartalom, megnövekedett párolgás).
- Mind a felső 0-10 cm-ben, mind pedig a 10-20 cm-ben a vörös iszap hatása kimutatható volt, még ha eltérő mértékben is.
- a különböző mennyiségben bekevert vörös iszap 2 cm esetén 25 tömegszázaléknak, 5 cm esetén 33 tömegszázaléknak és 8 cm esetén 50 tömegszázaléknak felelt meg. Az egyes kezelések közötti különbségek a pH-, kicserélhető Na-, és kicserélhető-kationok százalékában megadott értékek szignifikánsan eltértek egymástól, leginkább a 2 cm-es vastagságú vörös iszap bekeverés volt szignifikánsan kisebb.
- A talajok szénsavas mésztartalmára, fizikai tulajdonságokat mutató értékekre a kezeléseknek nem volt alapvető hatásuk.
- a talajok tulajdonságai a szikes talajok tulajdonságait hordozzák bizonyos mértékben, mivel reverzibilis folyamatokról van szó, ezért kérdés és a továbbiakban vizsgálendő, hogy ez a kedvezőtlen talajtulajdonság meddig tart.

A növényvizsgálati eredményekből a következők állapíthatók meg:

- a három fafaj közül az akác még a legnagyobb, 50 tömegszázalékos szennyezés mellett sem mutatott növekedés-gátló tüneteket laboratóriumi körülmények között, heti 10 mm csapadék mellett.
- a fűzek és a nyárok mintegy 220 nap után elpusztultak.

- a növényminták tápelem-ellátottsága valamennyi tenyészedenyből származó mintánál kielégítő volt, ami azt mutatta, hogy a tápanyag-ellátottsággal összefüggő növekedésük kezdetben a vörös iszap jelenléte mellett is zavartalan volt.
- a nemes nyár jóval nagyobb mértékben akkumulálta a számára nem releváns nátriumot, mint az akác.
- a rekultivált területen üzemi méretekben létrehozott ültetvény tápelem vizsgálati elsőnek azt mutatják, hogy a szennyezett humuszos feltalaj elhordása után legalább is a makrotápelemek vonatkozásában tápelem hiánnyal számolhatunk.

A növények növekedési üteméből a következők állapíthatók meg:

- a fehér fűz (*Salix alba*) kevésbé bírta a kísérlet kimenetelét, mint a többi fafaj. Ez pusztult ki a legelőször, ezért ezt a fafajt nem ajánlanám a vörös iszapos területek fásítására.
- Az AF2 nemes nyár (*Populus x euramericana AF-2*) már jóval tovább élt, mint a fűz, ennek ellenére tapasztaltam elváltozásokat a fafaj növekedése során (levelek színe, és formája, a kéreg megfeketedett, ahol vörös iszappal érintkezett).
- A kísérlet során telepített fafajok közül egyértelműen az akác (*Robinia pseudoacacia*) telepítése javasolható a vörös iszap által szennyezett területeken. Ez a fafaj számított a három közül a legszívósabbnak.
- a növények növekedés menete egyben mutatja a három fafaj szikes tulajdonságokat hordozó talajokkal szembeni alkalmazkodóképességet is.

8. Összefoglalás

TDK dolgozatomban a vörös iszap hatását vizsgáltam tenyészedenyekben, szakirodalom és egyszerű adatelemző módszerek segítségével. 15 db tenyészedenyben vizsgáltunk három fafaj- akác (*Robinia pseudoacacia*), fehér fűz (*Salix alba*) és AF2 nyár

(*Populus x earamericana* AF-2)- növekedésének heti ütemét, az elszáradt levelek és a vörös iszapos talaj– „kezelt és kezeletlen” talajminták– analízisét. Az elemzés során azt vizsgáltuk, hogy a vörös iszap milyen hatással van a talajra és a növényzetre.

A talajminták analízise során kimutatható volt, hogy ahol vörös iszap volt a talajban, a talaj kémhatása szignifikánsan eltért a szennyezetlen talajrétegtől, ezen kívül magas volt a kicserélhető Na-tartalom és Na-telítettségi százalék. A talaj felszínén erőteljes sókiválást tapasztaltunk, aminek a feltétele a felfelé áramló párolgás volt. A vörös iszappal szennyezett talaj gyorsan kiszáradt, részben elszikesedett talajtulajdonságokat vett föl.

A növényminták analízise során kiderült, hogy az elültetett fafajok közül az akác növekedett jól, a fűzek és a nemes nyárok egy idő után elpusztultak. A növényminták tápelem-ellátottsága kielégítő volt, valamennyi mintánál. A kísérlet során elmondható, hogy a szennyezett humuszos feltalaj elhordása után a makrotápelemek vonatkozásában tápelem hiánnyal számolhatunk majd.

A növények növekedési ütemét figyelve arra következtettünk, hogy a vörös iszapos területek fásítására az akác lenne a legalkalmasabb. Ez a fafaj élt a legtovább, a fűz pusztult ki legelőször, majd őt követte a nemes nyár.

Irodalmi jegyzék

- BARTHA, D. (2000): Növényrendszertan I. Dendrológia. Mezőgazda Kiadó, Sopron.
- BORÓKAINÉ, V. É. (2010): Kormányrendeletek. Magyar Közlöny, Budapest. 155. szám, 23308
- DÖMSÖDI, J. (1984): Talajjavítási útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 5. o, 25. o., 30. o., 32. o., 60. o.
- FEKETE, Z.- HARGITAI, L.- ZSOLDOS, L. (1967): Talajtan és agrokémia. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 33. o., 117. o.
- GENCSI, L. (1990): Erdészeti és faipari tudományos közlemények Erdészet-Faipari-Geodézia. Mezőgazdasági Kiadó, Szeged. 1989. év 2. sz., 59-60. o., 63-68. o., 75-76. o.
- KERESZTESI, B. (1984): Az akác. Akadémiai Kiadó, Budapest. 9. o., 15. o.
- LYR, H.- FIEDLER, H.J.-TRANQUILLINI, W. (1992): Physiologie und Ökologie der Gehölze. Gustav Fischer Verlag Jena, Stuttgart.
- RUYTERS, S.-MERTENS, J.- VASSILIEVA, E.- DEHANDSCHUTTER, B.- POFFIJN, A.- SMOLDERS, E. (2010): The Red Mud Accident in Ajka (Hungary) Plant Toxicity and Trace Metal Bioavailability in Red Mud Contaminated Soil. Environmental Science & Technology (Article). 2.o.
- STEFANOVITS, P.- FILEP, GY.- FÜLEKY, GY. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 279-282. o., 287-293. o., 301-303. o., 308-309. o., 424-426.o., 439.o., 441. o.
- TÓTH, B. ET ALL (1972): Szikesek fásítása, Szikes fásítási kutatás és gyakorlat Magyarországon. Akadémiai Kiadó, Budapest. 23-24. o.
- ULRICH, B. (1990): Stoffhaushalt von Wald-Ökosystem Bioelement-haushalt. Vorlesungsskript Institut für Bodenkunde und Waldernährung der Universität, Göttingen.
- VANCSURA, R. (1960): Lombos fák és cserjék. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 199. o., 226. o., 304-311. o., 321-329. o.
- EPITESZFORUM.HU/node/17127
- ERDESZETILAPOK.OSZK.HU/00273/pdf/09horvath.pdf (Horváth, Gy. (2002): Veszélyes ipari hulladékok rekultivációja erdősítéssel, Erdészeti Lapok CXXXVII. évf. 1. szám
- HDL.HANDLE.NET/2437/109239 (Győrfi Tamás, 2011. jún. 14: Atommagfizika az oktatásban, Környezeti radioaktivitás vizsgálata és szemléltetése)
- HU.WIKIPEDIA.ORG/wiki/Vörösiszap
- HU.WIKIPEDIA.ORG/wiki/Ajkai-vorosziszap-katasztrofa

INDEX.HU/tudomany/kornyezet/2010/10/07/mi_lesz_most_a_talajjal/(dr.Szépvolgyi János (2010))

MTA.HU/mta-hirei/tajekoztato-a-kolontari-vorosiszap-tarozo-kornyezetben-vegzett-vizsgalatairol-125761

VOROSISZAP.BM.HU

WWW.DIVERZITI.HU/2359/a_marcal_teljes_elovilaga_kipusztult/

WWW.EGESZSEGGALAUZ.HU/orvosmeteorologia/a-vorosiszap-jellemzoi-es-hatasa-a-kornyezetre-105682.html

WWW.GREENMAN.HU

WWW.KATASZTROFAVEDELEM.HU/index2.php?pageid=lakossag:kolontar_vorosiszap

WWW.KERTESZEKARUHAZA.COM/tapanyagellatas/tapelemek/natrium.html

WWW.MAL.HU/engine.aspx?page=showcontent&content=Vorosiszap_HIR_HU

WWW.VOROSISZAP.COM/mi-a-vorosiszap.html

[1] UPLOAD.WIKIMEDIA.ORG/wikipedia/commons/e/e7/Bayer_eljaras.jpg

[2]ERDÉSZETI LAPOK CXXXVII. ÉVF. 1. SZÁM (2002. január);
erdeszetilapok.oszk.hu/00273/pdf/09horvath.pdf

[3] GOOGLE EARTH

[4]MTA.HU/mta_hirei/tajekoztato-a-kolontari-vorosiszap-tarozo-kornyezeteben-vegzett-vizsgalatokrol-125761

[5]MTA.HU/mta_hirei/tajekoztato-a-kolontari-vorosiszap-tarozo-kornyezeteben-vegzett-vizsgalatokrol-125761

[6] WWW.KATASZTROFAVEDELEM.HU/index2.php?pageid=lakossag_kolontar_vorosiszap

[7] GENCSI, L. (1990): Erdészeti és faipari tudományos közlemények 1989. év 2. szám.
Mezőgazdasági kiadó, Szegedi nyomda. 60. o., 62. o., 64. o., 65. o., 68. o.

Melléklet

Az akác (*Robinia pseudoacacia*) növekedése:

tenyészedény	2011.02.22	2011.03.01	2011.03.08	2011.03.17	2011.03.22	2011.03.30
1. számú	46,33	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
2. számú	11,30	11,70	12,30	12,30	12,30	12,30
10. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	2,00
12. számú	31,95	33,45	33,75	33,75	33,88	34,00
14. számú	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00

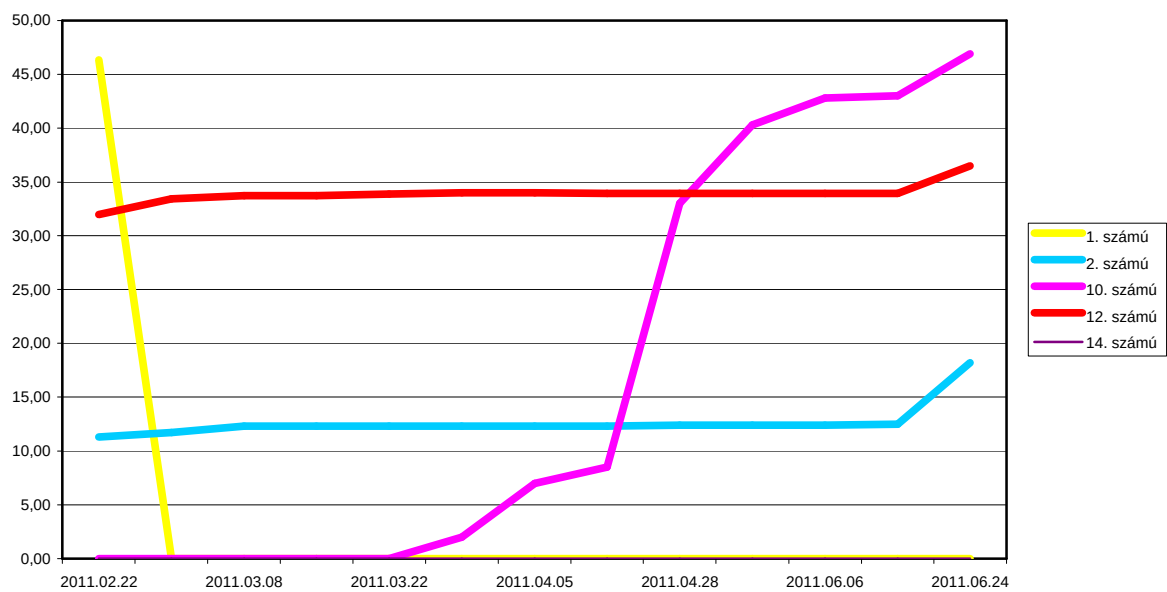
2011.04.05	2011.04.12	2011.04.28	2011.05.17	2011.06.06	2011.06.16	2011.06.24	magasság (cm)
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
12,30	12,30	12,40	12,40	12,40	12,50	18,20	
7,00	8,50	33,00	40,30	42,80	43,00	46,90	
34,00	33,95	33,95	33,95	33,95	33,95	36,50	
0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	

Az AF2 nemes nyár (*Populus x euramericana AF-2*) növekedése:

tenyészedény	2011.02.22	2011.03.01	2011.03.08	2011.03.17	2011.03.22
3. számú	0,00	1,03	2,75	6,40	7,47
4. számú	0,00	2,28	3,45	6,86	8,71
5. számú	0,00	1,70	4,66	9,45	9,78
6. számú	0,00	2,40	5,65	11,16	12,23
7. számú	0,00	1,50	3,14	6,74	6,80
8. szám	0,00	2,00	3,92	7,14	9,46
9. számú	0,00	2,30	2,20	6,87	9,21
11. számú	0,00	1,33	3,76	9,46	10,23
13. számú	0,00	0,68	2,23	5,10	6,33
15. számú	0,00	1,80	2,96	3,92	5,93

2011.03.30	2011.04.05	2011.04.12	2011.04.28	2011.05.17	2011.06.06	magasság (cm)
7,84	7,45	9,90	0,00	0,00	0,00	
8,70	9,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
9,39	9,35	11,05	9,00	0,00	0,00	
12,00	6,40	2,00	2,25	0,00	0,00	
6,31	6,10	5,00	5,70	0,00	0,00	
9,06	8,50	4,50	8,75	0,00	0,00	
9,00	6,25	2,50	1,50	0,00	0,00	
8,13	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	
5,30	4,80	6,00	0,00	0,00	0,00	
7,90	9,33	8,50	0,00	0,00	0,00	

Akác növekedése



AF2 nyár növekedése

