

Szent István Egyetem Állatorvos-tudományi Kar  
Biológiai Intézet, Növénytani Tanszék

**Az Al hatása a zárvatermő növények növekedésére, fejlődésére –  
modellkísérletek alapján**

Készítette: Vajna Flóra Mária

Témavezető: Dr. Vetter János  
SZIE ÁOTK, Biológiai Intézet, Növénytani Tanszék

Budapest

2014

## TARTALOMJEGYZÉK

1.Bevezetés	1
2.Irodalmi áttekintés	2
2.1.Az alumínium fizikai-kémiai tulajdonságai, jellemzése	2
2.2.Al a talajban	2
2.3.Al és a növények	3
2.3.1.Az alumínium, mint az erdőpusztulások okozója	5
2.4.Az alumínium felhasználása és hatásai	7
2.5.A négy modellnövény bemutatása	8
3.Anyag és módszer	10
3.1.A növényanyag	10
3.2 Az alkalmazott alumínium vegyület és az oldatok koncentrációi	10
3.3 A csíráztatás módszerei	10
3.4 A csíranövények hossz és tömegnövekedésének vizsgálata	11
3.5.A vegetatív fejlődés korai szakaszának vizsgálata tenyészedényes kísérletekben	11
3.6.Az adatok statisztikai értékelése	12
4.Eredmények	13
4.1.Csíráztatás, csírázási százalék	13
4.1.1.Köles	13
4.1.2.Rozs	15
4.1.3.Házi len	16
4.1.4.Fehér mustár	18
4.2.A csírák hossz és tömeggyarapodásának vizsgálata	20
4.2.1.Köles	20
4.2.2.Rozs	21
4.2.3.Házi len	22
4.2.4.Fehér mustár	22
4.3.A vegetatív fejlődés korai szakaszának vizsgálata tenyészedényes kísérletben	23
4.3.1.Köles	24
4.3.2.Rozs	25
4.3.3.Házi len	26
4.3.4.Fehér mustár	28

5.Következtetések	30
6.Összefoglalás	32
7.Summary	33
8. Köszönetnyilvánítás	35
9.Melléklet	36
10.Ábrák, grafikonok, képek és táblázatok jegyzéke	52
11.Irodalomjegyzék	55

## 1.BEVEZETÉS

Miért is fontos és aktuális vizsgálni az Al növényekre gyakorolt hatását?

Az Al a Földön a harmadik leggyakoribb elem, a földkéreg jelentős részét ez a fém, pontosabban a vegyületei, ásványai alkotják. Az élő szervezetekbe alapesetben nehezen jut be, ugyanis a talajt alkotó vegyületeinek vízdoldhatósága igen csekély mértékű. Ha azonban a talajok kémhatása lecsökken, illetve ha eredetileg is savas karakterűek, akkor ezen vegyületek oldatossága megnő, illetve magas, tehát a növények képesek lesznek a felvételére. A talaj pH-jának változása értelemszerűen más elemeket is érint, ami a növényekben különféle anyagcsere zavarokat eredményez, ami a termés mennyiségének csökkenéséhez vezethet, tehát anyagi kárt okoz.

Mitől lesz a talaj savasabb? Korunk egyik legjelentősebb környezeti problémája a savas eső ennek okozója és ezáltal kiváltója az erdőpusztulásoknak.

Emellett szót kell ejteni azokról a talajokról, amelyek savas kémhatásúak, ugyanis a megművelhető talajok jelentős része (40%) közéjük tartozik, ilyen területeket leginkább a trópusokon találhatunk.

A növények többféle módon próbálnak meg védekezni a toxikózis ellen, és mezőgazdasági módszerek is vannak a károk megelőzésére, enyhítésére (pl. meszezés), és sok vizsgálat is folyik toleráns fajták kinemesítésére.

Szakedolgozatomban négy példánövényfajt vizsgáltam meg, két egyszikűt és két darab kétszikűt. A kísérlet több szinten folyt: először az Al a csírázásra gyakorolt hatását figyeltem meg. Kérdésem volt, hogy a csírázási erélyt, a csírázás indulását és az időbeli lefolyását hogyan és milyen koncentrációban befolyásolja az alkalmazott Al-oldat. A csírázási hányad a vizsgálat ideje alatt hogyan alakul, mely kezelések okoznak a kontrolltól szignifikáns eltérést a vizsgálat végére? Esetleg van-e olyan koncentráció, ami pozitívan hat a csíra, illetve a növény fejlődésére?

A munka másik részének kérdése: a csírák hossz- és a tömeggyarapodása hogyan változik a kezelés hatására?

A kísérletek harmadik szintje a vegetatív fejlődés korai szakaszára vonatkozik. A talajba vetett magok hányad része csírázik ki? Ezeknek a növényeknek mekkora lesz a hajtás-, illetve gyökér -hosszuk, valamint a tömegük? Mely koncentrációk okoznak szignifikáns különbséget?

## 2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

### 2.1 AZ ALUMÍNIUM FIZIKAI-KÉMIAI TULAJDONSÁGAI, JELLEMZÉSE

Atomszáma	13
Atomtömege	26.98154 g/mol
Elektronegativitása	1.5
Sűrűsége	2.7 g/cm <sup>3</sup> 20°C-on
Olvadáspontja	660.4 °C
Forráspontja	2467 °C
Ionsugara	0.05 nm
Izotópjainak száma	3
Elektronpályái	1s <sup>2</sup> 2s <sup>2</sup> 2p <sup>6</sup> 3s <sup>2</sup> 3p <sup>1</sup>
1. ionizációs energiája	577.4 kJ/mol
2. ionizációs energiája	1816.1 kJ/mol
3. ionizációs energiája	27.1 kJ/mol
Standard potenciálja	- 1.67 V
Felfedezése, tiszta előállítás	Hans Cristian Owersen által 1825-ben

1.táblázat: Az Al jellemzői (1).

Ezüstfehér színű könnyűfém, amely jól vezeti a hőt és az elektromosságot. A természetben elemi állapotban nem fordul elő, viszont ásványai igen gyakoriak, ide tartoznak a szilikátok, földpátok, csillámok, oxidok (1, 42). A Földön a O és a Si után a harmadik leggyakoribb elem, a földkéreg 8.13 %-ban tartalmaz Al-ot. Mivel vegyületei rosszul oldódnak vízben, így a tengerekben csupán 10<sup>-2</sup> mg/dm<sup>3</sup>-ben található meg. Jó korrózió álló, ugyanis a levegőn azonnal védőréteg alakul ki az O-nel való reakciója során. Savakban és lúgokban egyaránt oldódik. Vegyületeiben kovalens kötések alakít ki a 3 vegyérték elektronjával. Sószerű vegyületei esetén gyakori az akvakomplex, vagyis a kristályvizes forma (42).

### 2.2 ALUMÍNIUM A TALAJBAN

Az egyik leggyakrabban előforduló elem, és a földkéreg jelentős százalékát teszik ki ásványai (oxidok, szilikátok, agyagásványok, földpátok, csillámok) (6, 8, 9, 15, 26 38), de számos drágakőnek is alkotóeleme (korund és változatai: zafír, rubin) (1). A biológiai rendszerekben kevésbé jelenik meg, ennek oka vegyületeinek rossz vízoldhatósága (11). Ha azonban a talaj

pH-ja csökken és a talajban lévő természetes pufferrendszerek ( $\text{CaCO}_3$ , talajkolloidok, humuszanyagok (39)) nem tudnak ez ellen kellő hatékonysággal védekezni, e vegyületek oldhatósága megnő (6, 7, 8, 9, 11, 22, 24, 27, 30, 33, 36, 38...). Gondot leginkább az 5-ös pH alatti tartomány jelent, a felvehetőség szempontjából.

Egy szabadföldi kísérlet bizonyította, hogy a kísérlet során a talajba beleszántott  $\text{Al}(\text{Cl})_3$ , a rajta nevelt burgonya learatása után a talaj felső részében maradt (37).

### 2.3 ALUMÍNIUM ÉS A NÖVÉNYEK

Az a Al felvehetőségét több dolog is befolyásolja (8, 10, 11, 21, 24, 33, 36, 37). Így a teljes Al mennyiség az adott talajrészben, a szóban forgó talaj típusa, pH-ja, kation kicserélő kapacitása (CEC érték), a benne lévő agyagásványok és szerves savak típusa és mennyisége, valamint az adott növényfaj, annak fejlődési stádiuma, de az alkalmazott mezőgazdasági termelési technikák és a környezeti tényezők is.

A növényeknél a felvett Al inkább a gyökerekben raktározódik, nem annyira a hajtásban (8). Ez azonban más elemek anyagcseréjében jelentős zavart kelthet (8). Ezek a következők: ha a talaj pH lecsökken, s így a felvehető Al mennyiség megnő, a Mg felszívódása gátolt (8, 21, 33, 39), a Ca sem jut elegendő mennyiségben a növény szöveteibe (8, 21, 22, 24, 28, 33, 39), sőt az Al jóval erősebben kapcsolódik a plazmamembránhoz, mint a Ca (21). Az Al csökkenti az elérhető P és S mennyiségét azáltal, hogy vegyületet képez velük (21, 33) (a P a trópikusokon a leginkább növekedés-limitáló tényező). A Mn koncentrációja növekszik, oldhatóvá válik (21), míg a Mo oldhatósága csökken, hiány alakul ki (21, 39), a K bevitel mérséklődik (21, 33). A kallóz szintézis növekszik (21, 24, 33). A reaktív O gyökök mennyisége megnő, oxidatív stressz alakul ki (22). A mitózis gátlásáról is szó lehet (24, 33) szerint) több faj esetében, a letális hatás annak köszönhető, hogy a DNS-hez (pontosabban a foszfátjához) kapcsolódik az Al. Ezen túlmenően módosítja a citoskeleton működését (21, 24, 33), rigiddé teszi a sejtfalakat (33). Nemcsak a fent említett esszenciális makroelemek (Ca, Mg, K, N, P), hanem több mikroelem (Cu, Fe, Mn és Zn) felvétele is nehézkessé válik a növény számára (9, 24, 33).

Ilyen esetekben az Al kompetícióban van a többi kationnal a kötőhelyekért (9). Az Al mérgezés együtt jár a hossznövekedés (különösen a gyökéré) csökkenésével, gátlódik/ lassul a tápanyag- és a vízfelvétel, illetve befolyásolja a vízháztartást (9, 10, 13, 21, 22, 24, 26, 30, 33, 36). Összességében az Al felesleg a gyökérnövekedés gátlásával, valamint az ásványi anyagok hiányával jellemezhető. A gyökérnövekedés gátlása általánosan ismertetőjele a fémek által

okozott toxicitásnak (29).

A satnya és sekély gyökérrendszer ugyanakkor még jobban gátolja a növényt a többi ásványi anyag felvételében, illetve hasznosításában, sőt a gyökér membrán struktúrája is roncsolódik (21, 26, 33). A gyökerek morfológiája is megváltozhat: a rövidülés mellett tömörsibbek, ugyanakkor törékenyebbek és görbébbek lehetnek, esetenként színváltozás is megfigyelhető (24, 28, 33). A gyökérnek az Al-otoxikózisra a legérzékenyebb rész a csúcsi régiója (24).

Sajnos a termesztett növények jó része nem tud alkalmazkodni a savanyú talajon előforduló Al többlethez, és a meszezés sem mindig gazdaságos, ezért sok kutatás folyik a toleráns fajták nemesítése érdekében. A toleráns fajták nehezebben veszik fel a szabad Al-ot, illetve jobban immobilizálják a már a gyökérbe bejutottat (9, 34, 35, 36).

Többféle „módszerük” van a növényeknek az Al mérgezés elkerülésére. Ilyen a rhizoszféra pH-jának növelése (9, 21, 33), vagy pedig az Al kizárása az érzékeny helyekről (21, 26, 33, 34, 37), ill. raktározás valahol: pl. a tea, hajdina (23), mangrove és fenyőfélék (33) esetében. Ez általában idősebb levelekben, vagy gyökerekben történik (22). A fiatalabb részek érzékenyebbek, mint az idősebbek. Mivel a citoszolban kárt tenné, ezért a növény a sejtfalba építi be, vagy a vakuólomban raktározza az Al-ot (22, 33, 34). Egy másik lehetőség ha a növény fel sem veszi (21) Előnyös lehet a mikorrhiza kapcsolat is a toxikózis elkerülésénél (21). Egy következő lehetőség Al megkötés különféle szerves molekulák által, melyet a gyökér bocsájt ki (citromsav, oxálsav, malát, szukcinát) (9, 19, 21, 22, 23, 25, 26, 30, 34). Ennek mechanizmusa: az Al olyan csatornákat aktivál a gyökérben, amelyeken keresztül ezek a szerves savak kijutnak és az Al-ra legérzékenyebb, gyökércsúcsi régióban komplexet képeznek. Az aktivációra több lehetőség is van: közvetlenül a csatorna proteinek aktiválása az Al, vagy egy receptoron és az ahhoz kapcsolódó kaszkádfolyamaton keresztül; esetleg az Al a gyökérsejt citoplazmájába bejutva indítja el a fenti folyamatot (22, 30). A szerves sav kibocsátása megtörténhet közvetlenül az Al-mal való érintkezés után (búza, hajdina), illetve órák múlva (rozs, kukorica, tritikálé) (30).

Toleráns fajok: manióka (*Manihot esculenta*), földimogyoró (*Arachis hypogaea*), burgonya (*Solanum tuberosum*), bab (*Phaseolus vulgaris*), tehénborsó (*Vigna unguiculata*), tea (*Camellia sinensis*), sárga csillagfűrt (*Lupinus luteus*) (21), rozs (*Secale cereale*) (28, 39), zab (*Avena sativa*) (39), hajdina (*Fagopyrum esculentum*) (22)

Toleráns családok: az Euphorbiaceae, a Melastomaceae, a Rubiaceae, a Theaceae (22, 31), és a Protaceae (36). Nagy mennyiségű Al akkumuláció figyelhető meg mind az egy- mind a kétszikűek esetében (közel 60 család), amely azt sugallja, hogy ez a képesség több

alkalommal jelent meg a zárwatermők evolúciója során. A nem virágos növények között is találhatunk azonban Al-ot akkumuláló fajokat, viszont nincs adat a nyitwatermők ezen irányú képességéről (31).

Olyan növényfaj lehet toleráns, amely őshonos az adott savanyú talajú területen, és ez a talaj nagy koncentrációban tartalmaz biológiailag elérhető Al-ot (22, 33).

Szenzitív fajok közé tartozik a kukorica (*Zea mays*), a szójabab (*Glycine max*), a búza (*Triticum aestivum*), az árpa (*Hordeum vulgare*), az édesburgonya (*Ipomoea batatas*) és a jamszgyökér (*Dioscorea batatas*) (21).

Mi is ennek a gyakorlati jelentősége?

A megművelhető talajok 40%-a savanyú (26, melléklet 1. és 2. kép), és ezek főként a trópusi-szubtrópusi területeken helyezkednek el, ahol szegény országokban nagy létszámú népesség él. Kritikus területek mezőgazdasága károsul tehát a savanyú talajból kioldódó Al miatti termésveszteség nyomán (26, 32, 34, 35). Sőt a trópusi területek növényeinek leveleiben átlagosan kétszer – háromszor több Al-ot mutatott ki egy kutatás, mint a mérsékelt égövek esetében (31).

Magyarország talajaira szerencsére nem jellemző az Al-toxicitás, de a termesztett növényeink érzékenyek az Al többletre (37).

### **2.3.1 AZ ALUMÍNÍUM, MINT AZ ERDŐPUSZTULÁSOK OKOZÓJA**

A talajra jutó savas kémhatású anyagok tehát csökkentik annak pH-ját (8, 11, 38), ennek mértéke a talaj pufferkapacitásától függ. Amikor a talaj pH-ja eléri a 5.5-öt: az Al molekulák oldhatóvá válnak, 4.5-5.0 közötti tartományban pedig a konzervatív (nem reaktív) formából átalakul a non-konzervatív (reaktív) formába (11, 13). Ezért nagy mennyiségben jut a növényekbe és ott kifejti mérgező hatását, melynek következménye a növények pusztulása, ami súlyos esetben az erdők pusztulásához vezet. Az előzőekben láttuk, hogy milyen sok elem anyagcseréjét zavarja meg, okoz hiányt számos esszenciális elem esetében, nem csoda, ha a stressz miatt csökken a növény asszimilációja, szénhidrátképzése, vagyis a fa éhezni kezd (11, 12, 13, 21). Mindezt a szárazságtűrő képesség csökkenése is kíséri. A savas esők cseppjei a falevelek felszínén közvetlenül károsíthatnak (tápanyagok kimosódása), az Al okozta károk pedig a gyökér felől lépnek fel (11, 12). A gyökérszónában zajlik egy másik folyamat, ami szintén az éhezéssel járul hozzá: a mikroorganizmusok pusztulása a kémhatás csökkenése révén, ami azt jelenti, hogy a növények szimbiontái (mikorrhizák) is károsodnak, emiatt a

növények ásványi-anyag- és vízellátása sérül (11, 12). Ez a folyamat különösen érinti a fenyőket (12), a fenyvesekben a leglátványosabb a savas eső pusztítása: a fák nem tudnak felkészülni a télre, a savas csapadék lebontja a tűlevelek felszínéről a viaszt, utat nyitva patogén szervezeteknek, növelve a transzspirációs vízvesztést (12).

Mindezekon túl a savas esők nehézfém-üledéssel (leggyakoribbak az Pb, Cd, As, Zn, Cu, Ni) járhatnak együtt. A talaj nehézfém megkötő kapacitása és a kialakuló kötés erőssége a pH csökkenésével mérséklődik, így a fent említett fémek ionjai is felvehetővé válnak a növény számára (12, 13). Antropogén hatásra feldúsulhat a levegőben az Al mennyisége is (bauxit bányászat, ipari tevékenység) (37). A Cr és az Al együttesen negatívabb hatást fejt ki a csírázásra és a növekedésre, mint az a csak Al-mal kezelt kísérleti növények esetében tapasztalható (27, 34).



1. ábra: A savas eső által kipusztult erdőrészlet Csehországban.

<http://asvanytan.nyf.hu/book/export/html/3> letöltve: 2014. február 3.

## 2.4 AZ ALUMÍNIUM FELHASZNÁLÁSA ÉS HATÁSAI

Felhasználása: A kozmetikai ipar alkalmazza sűrítőanyagként, fényvédőként, dezodorokban. Az élelmiszer ipar adalékanyagként hasznosítja a különféle vegyületeit: E523, E173, E544, E549, E391, E520, E173 (15, 38). Közül pl. az E523 szilárdító, savanyúságot szabályzó anyag (5), az E549-et szintén savanyúságszabályzó hatása és csomósodásgátló képessége miatt alkalmazzák (4). Az elemi Al (E173) színezékként hasznosítható (3). Víz tisztításra is jó anyag, derítőszer (19, 38). Csomagolóanyagként naponta találkozunk vele (alufólia) (15, 38). Gyógyszerek alkotórésze (gyomorpanaszok kezelésére szolgáló készítmények, szájöblögetők) (15, 38).

A jármű-, az építő- és az elektronikai ipar hasznosítja remek fizikai tulajdonságai miatt, hiszen könnyűfém, amelyet nem nehéz megmunkálni, mégis szilárd szerkezetű és alaktartó, kitűnő korrózióálló, valamint remekül vezeti a hőt és az elektromos áramot (15, 38).

Hatása: Nincs bizonyíték arra, hogy esszenciális lenne az emberi és állati szervezetek számára azaz „nyomelem esszenciális funkció nélkül” (22, 36, 38). Nyomokban fordul elő és nem is dúsul fel (38).

Az emberi szervezetbe három úton juthat be:

1: Az emésztőcsatornán keresztül (élelmiszerek, különösen az édességek és edényekből kioldódott Al), viszont a bejutott kevesebb, mint 1%-a szívódik fel (14, 15, 17, 22, 36, 38). Az Al-ra vonatkozó ivóvíz határérték 100-200 µg/l (38). A felszívódást segíti a citrát, a Si és a fluorid, valamint a gyomor savak (22). Termesztett növényeink esetében nincs határérték az Al tartalomra, mert úgy tudjuk, hogy nem veszélyes az emberi szervezetre (37, 38).

2: Az iparban dolgozók esetében a tüdőn keresztül kerülhet be, ez károsodást okozhat (gázcsere akadályozhat, ami köhögést és légszomjat, asztmát válthat ki hosszú expozíciós idő után). (15, 16, 38).

3: A harmadik bejutási forma a bőr: kozmetikumok, dezodorok, borotvahabok révén (15).

Számos vita tárgya, hogy vajon van-e összefüggés az Alzheimer-kór és az Al között, de a tudomány jelenlegi állása szerint ez még nem bizonyított (15, 17, 18, 22).

Mai ismereteink szerint az Al felhalmozódhat a szervezetben, ami a Ca és a Mg csontokba való beépülését akadályozhatja, kiszoríthatja a Fe-at a transferrin komplexből (15, 22, 37, 38). Ezen túlmenően elvonja a csontokból a P-t is (37). Valószínűleg a transferrin-mediált endocitózissal juthat át a vér-agy gáton (22). Nem az alumíniumnak, inkább a gyártásának

tulajdonítható a környezeti kockázat és a terhelés, a gyártás folyamata bizonyítottan rákkeltő (16). Aluminózisnak nevezik azt a foglalkozási betegséget, mely a tüdőben alakul ki az Al por, vagy timföld-por belélegzése által (43, 38). A csontokon kívül beépülhet még a májba, az agyba, vesébe, tüdőbe, izomzatba és a szívbe (22, 37, 38).

Az elsavasodott tavakban élő halak és kétéltűek számára károsító hatású, mivel bizonyos fehérjékhez kapcsolódik (1). A halaknál az Al kiválik a kopoltyún, s az állat oxigénhiány miatt elpusztul (12). A tápláléklánc további tagjaira is veszélyes, mert a madaraknál súlyvesztést idéz elő, sőt a tojáshéj elvékonyodását okozza (Ca, Mg anyagcsere zavarok útján). Az állatok által belélegzett Al por légzési problémákhoz vezet, akárcsak az embernél. A vízben található túl magas koncentrációjú Al a foszfátot kevésbé elérhetővé teszi a vízi szervezeteknek, növények számára a talajban szintén elérhetetlenné válik (1). Állatkísérlet bizonyította, hogy az Al-mal kezelt növényeken nevelt brojlercsirkék tömeggyarapodása mérséklődött a kezelés (1000 és 3000 ppm Al) hatására, de elhullást nem okozott (37).

## 2.5. A NÉGY MODELLNÖVÉNY BEMUTATÁSA

KÖLES (*Panicum miliaceum L.*)

A kőkorszak óta ismert és termesztett növényfaj, mely ázsiai géncentrumból terjedt el. Fontos tényező elterjedésében a melegkedvelősége, ellenben a szárazságot tűri és a talajviszonyokkal szemben is közömbös. Tenyészideje rövid. Morfológiája: akár 80-120 cm-es magasságú, levele 20-25 cm hosszú érdes felületű lándzsás, virágzata összetett buga, Szemtermései vannak. Beltartalmi értékét a 10-14%-os fehérje és 4-6 % olaj adja. Fontos élelmiszer- és takarmánynövény, de ipari nyersanyag is. Rövid nappalos, C4-es típusú fotoszintézise van, egynyári (40, 44, melléklet 3. kép).

ROZS (*Secale cereale L.*)

Őse az elő-ázsiai egyéves vadrozsa volt, a bronzkor óta termesztik. A hűvös csapadékos időjárást kedveli, bírja a téli fagyot és a hideget (Európában csaknem a 70. szélességi fokig termeszthető). Igénytelenebb a többi gabonafélénél, sekélyebb talajon is megél és jól tűri a szárazságot. Hosszúnappalos, magas-növésű, vékony szárú, szemtermése van. A szár a kalász alatt sűrűn szőrös, mely az érés során egyre inkább bókol, 100-120 cm-re nőhet meg. Kétvirágú füzérkéi a kalászban szorosan helyezkednek el. Mind emberi, mint állati táplálékként hasznosítható (40, 47, melléklet 4. kép).

### HÁZI LEN (*Linum usitatissimum* L.)

A kőkorszak óta ismert, egyéves, lágyszárú növény. Az emberiség a rostját, a magját, és a mag olaját hasznosítja, három fajtáját különítjük el: rost-, olaj- és kéthasznú len. Őse atlanti-mediterrán elterjedésű lehetett. 70-120 cm magasra tud megnőni, szára egyenes és merev, levelei szórtan állnak, lándzsásak. Virágzata bogas típusú, melyet világoskék vagy fehér virágok építenek fel. Termése tok, magja apró fényes és barna színű. A magok nyálkát, zsíros olajokat, fehérjét és keményítőt tartalmaznak. A mérsékelt meleg, párás éghajlatot kedveli. Rostjából különféle textíliák készíthetők (damaszt, batiszt), olajából lakkokat és festékeket állítanak elő, magjainak fogyasztása igen egészséges. Egynyári. (40, 45, melléklet 5. kép).

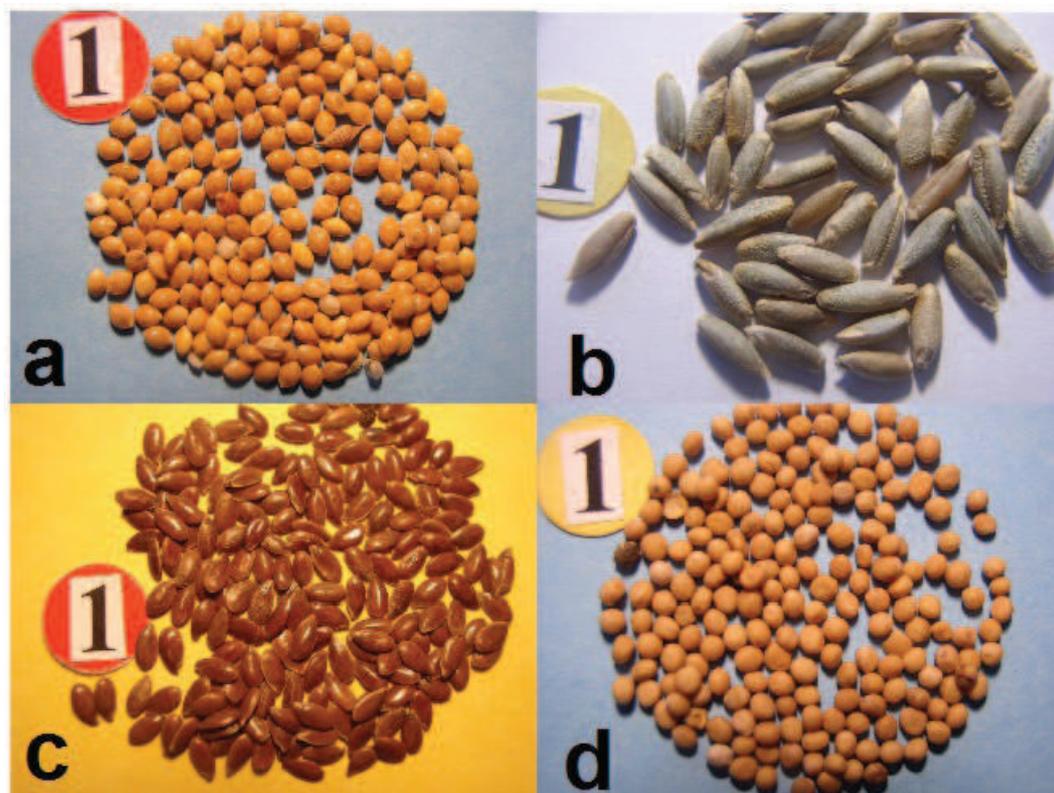
### FEHÉR MUSTÁR (*Sinapis alba* L.)

Évezredek óta ismert a Mediterráneumból és Elő Ázsiából származó egyéves növény. 50-80 cm magasra tud megnőni, hajtása serteszőrös. Levelei szőrösek és szórt állásúak, szárnyasan tagoltak vagy lantosak, nyelesek. Sárga keresztes típusú virágai laza fürtvirágzattá állnak össze. Becő terméssel rendelkezik, magjai 2 mm-es halványbarna gömb alakúak, és illóolajat, glikozidot, illetve zsírolajat tartalmaznak. Fűszer-alapanyag. (40, 46, melléklet 6. kép).

### 3. ANYAG ÉS MÓDSZER

#### 3.1 A NÖVÉNYANYAG

A kísérlethez szükséges modellnövények (köles, rozs, házi len és fehér mustár) magjai biotermesztésből származó, emberi fogyasztásra szánt magok voltak a Dénes-Natura Kft.-től.



2.ábra: A kísérlet példánövényeinek magvai: a: köles, b: rozs, c: len, d: mustár

#### 3.2 AZ ALKALMAZOTT AL VEGYÜLET ÉS AZ OLDATOK KONCENTRÁCIÓI

Az Al-ot  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18 \text{H}_2\text{O}$  formájában alkalmaztam.

Az alkalmazott koncentrációk – az Al-ra nézve – pedig a következők voltak: 0; 625; 1250; 2500; 5000; 10000 mg/l

#### 3.3 A CSÍRÁZTATÁS MÓDSZERE

A kísérlet ezen részéhez a csírázási hányadot és intenzitást szerettem volna megismerni, ehhez 11 cm átmérőjű üveg Petri-csészét használtam, melybe rozsból és lenből 50-50, kölesből és mustárból 100-100 db mag került (eltérő méretű magvak). Az adott koncentrációjú oldatokkal megnedvesített szűrőpapírkorongok közé helyezett vatta biztosította a kísérlet 5 napja alatt a folyadékot a csíráknak. Koncentrációnként 4 ismétlés készült. A csíráztatást a Kapacitiv KKT. PKHH-01/5 típusú biológiai termosztátjában fénytől elzárva, 24°C-on végeztem. A csészéket

naponta ellenőriztem és az egyértelműen csírázó magokat a csészéből eltávolítottam.

Mivel a rozs szemtermése nagyméretű (sok tápanyagot tartalmazó) és biotermesztésű, ezért külön óvintézkedésekre volt szükség a penészedés megakadályozása érdekében. Ezek közül a legjobb eredményt a magok 3 percig tartó, 3%-os  $H_2O_2$ -os rázása adta, melyet a Petri-csészék 2 órás  $120^\circ C$ -os hőlég-sterilizátorban (melléklet 8. kép) való kezelése előzött meg.

### **3.4 A CSÍRANÖVÉNYEK HOSSZ ÉS TÖMEGNÖVEKEDÉSÉNEK VIZSGÁLATA**

Arra a kérdésre szerettem volna választ kapni, hogy a csírák tömeg és hosszgyarapodása változik-e a kezelések hatására. Ezért egy nagyobb (16.5 cm) átmérőjű Petri-csészébe tettem a magokat (100-at mustárból és kölesből, 60-at a lenből és 50-et a rozsból) az inkubálás 6 napig tartott a fent említett körülmények között, az idő leteltével vonalzó és analitikai mérleg (tized mg pontossággal) segítségével lemértem 35 db csíra gyöker- és hajtáshosszát, ill. tömegét.

További különbségek az előzőhöz képest: kezelésként egy Petri-csészét használtam, ezeket parafilmmel zártam le.

Sajnos sok gondot okozott ez esetben is a penészedés, több alkalommal pedig a baktériumos fertőzés. Ezeket kiküszöbölendő többféle fertőtlenítési technikát próbáltam ki (a magok rázása a következő vegyületek oldataiban:  $H_2O_2$ , orvosi tisztaságú alkohol, Domestos, ez utóbbi vált be a leginkább). Ezen túlmenően rézgalic oldat volt a termosztátban, a csészéket, szűrőpapírostul és vattástul a hőlég-sterilizátorban fertőtlenítettem, és a magok Petri-csészébe történő elhelyezése az elszívófülke alatt történt. Mikor mindezek ellenére is bepenészedtek a magok, akkor csak egyetlen lehetőség maradt csak hátra: az oldatok autoklávozása. Az autoklávozás  $0.75 \text{ atm-n}$  ( $76 \text{ kPa}$ ) 30 percig zajlott. Ez kiküszöbölte ugyan a penészedést, viszont a csírázási hányad jelentősen csökkent az előző csíráztatási kísérletekhez képest.

### **3.5 A VEGETATÍV NÖVEKEDÉS KORAI SZAKASZÁNAK VIZSGÁLATA TENYÉSZEDÉNYES KÍSÉRLETEKBEN**

Műanyag (17x12.5x6 cm) tenyészedényekbe 750-750 g kvarchomok került, ezt megnedvesítve 450 g homogenizált és átszitált virágföldet rétegeztem rá, miután ezt is megnedvesítettem, jöhetett a vetés. Edényenként 4-4 sorba kerültek a magok, soronként 10-10 rozs és len, ill. 20-20 db köles és mustár esetében. A tenyészedényeket ezután a Climas gyártmányú 600 l-es 7287-es típusú növénynevelő kamrába (melléklet 7. kép) kerültek, ahol  $20^\circ C$ -on 70%-os páratartalom mellett napi 12 órás megvilágítás mellett növekedtek. Az első kb. egy héten csapvízzel öntöztem a növénykéket, majd mikor 2-3 cm-esek lettek áttértem az  $Al$ -ot  $Al_2(SO_4)_3 \times 18 H_2O$  formájában Knop-tápodatra. (2). A klasszikus Knop-tápodat

opálos kicsapódást mutatott, ezért a koncentrációkat a felére csökkentettem.

	Eredeti recept (g/l)	A kísérletben használt összetétel (g/l)
Ca(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> x 4H <sub>2</sub> O	1.43	0.715
MgSO <sub>4</sub> x 7H <sub>2</sub> O	0.25	0.125
KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0.25	0.125
KNO <sub>3</sub>	0.25	0.125
FeSO <sub>4</sub>	nyomokban	-

2.táblázat: A Knop-féle tápoldat összetétele

A kísérleti növényeket naponta öntöztem az igényeiknek megfelelően (általában 25-75 ml), a tenyészedenyek helyzetét a kamrában véletlenszerűen változtattam 3-4 naponta. Az értékelést 2 hét után végeztem el, ekkor az összes kifejlődött növény hajtáshosszát és tömegét, valamint a kontroll és a legtöményebb kezelést kapó növények gyökérhosszát, ill. tömegét mértem meg.

Hely és időhiány miatt koncentrációnként csak egy tenyészedeny volt, a kontrollból a biztonság kedvéért kettő.

### 3.6 AZ ADATOK STATISZTIKAI ÉRTÉKELÉSE

A kapott adatokat Excelben elkészített grafikonokon ábrázoltam. Az R program (20) segítségével végeztem el a statisztikai elemzéseket: Fisher-féle p-érték, amely után Bonferroni-Holm korrekcióra volt szükség, ezeken kívül Dunnett-tesztet használtam (41) és ábrázoltam az mérési eredményeket boxplotokon.

## 4. EREDMÉNYEK

### 4.1. CSÍRÁZTATÁS, CSÍRÁZÁSI SZÁZALÉK

Az 1. és 4. napok között négyszeres ismétlésben végzett kísérlet számtani közepükkel és szórásukkal ( $\pm$ SD) jellemeztem minden növény esetében (kicsírázottak darabszáma). A végeredmény, vagyis a negyedik nap a lényeg, ezért rájuk végeztem el a statisztikai próbákat is, amelyek a következők:

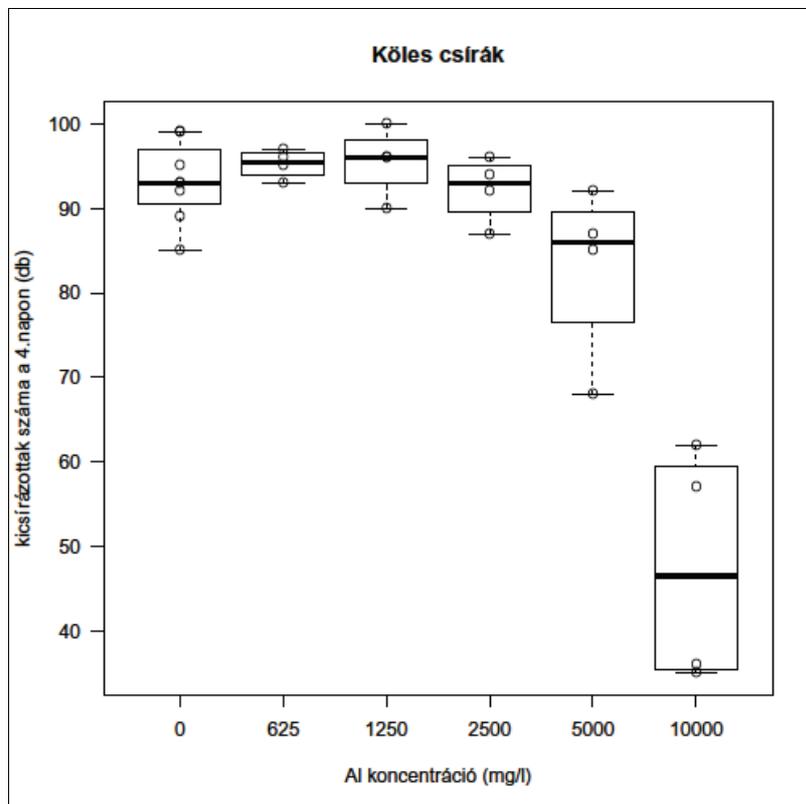
Fisher-féle teszt: kis elemszámú mintáknál adja meg a p-értéket, amit egy 2x2-es kontingencia táblából számol ki. Függetlenségvizsgálatra használható.

Bonferroni-Holm korrekció: páros összehasonlítást végez szigorúbb szignifikancia szintnél. „N összehasonlítás esetén csak azokat az eredményeket tekintjük szignifikánsnak, amelyekhez tartozó p-érték  $0.05/n$ -nél kisebb, és ennek a továbbfejlesztése” (41) A mellékletben láthatóak a statisztikai tesztek pontos eredményei.

Boxploton ábrázoltam a kísérlet végén kapott eredményeket, és grafikonok segítségével jelenítettem meg az időbeli változásokat.

A mellékletben minden növény esetében szerepel egy nagyméretű boxplot, amin a látszik a kicsírázottak száma és az Al koncentrációk közti összefüggés a kísérlet teljes időtartama alatt.

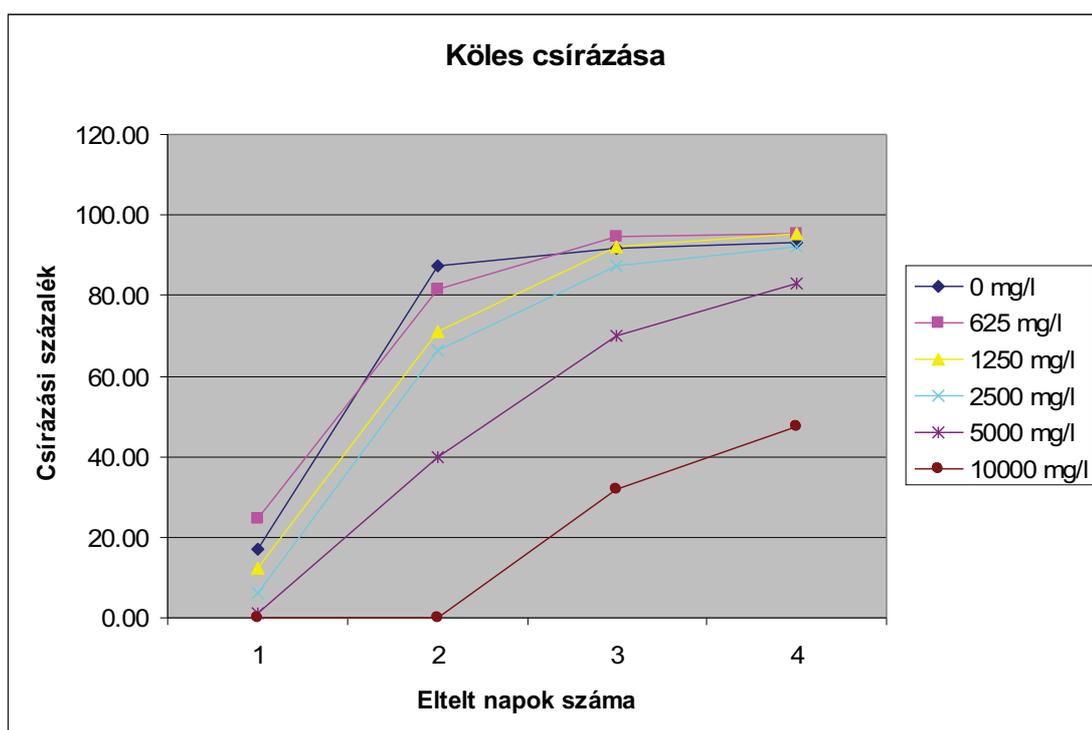
#### 4.1.1.KÖLES



3. ábra: Az Al hatása a köles csírázására a csírázás 4. napján értékelt adatok alapján.

Kezelés	1. nap után	2. nap után	3. nap után	4. nap után
0	17.00 ± 16.81	87.25 ± 6.90	91.88 ± 5.67	93.13 ± 4.73
625	24.75 ± 2.63	81.75 ± 4.35	94.50 ± 1.29	95.25 ± 1.71
1250	12.50 ± 7.19	71.00 ± 2.00	92.00 ± 2.71	95.50 ± 4.12
2500	6.00 ± 1.41	66.50 ± 2.65	87.50 ± 4.12	92.25 ± 3.86
5000	1.00 ± 1.41	40.00 ± 6.38	70.00 ± 10.68	83.00 ± 10.42
10000	0.0 ± 0.00	0.0 ± 0.00	31.75 ± 9.67	47.50 ± 14.01

3.táblázat: A kicsírázott köles magok átlaga és szórása az egyes napokon, az alkalmazott Al koncentráció függvényében.



4.ábra: A köles csírázásának időbeli dinamikája a különböző Al koncentrációk hatására.

A köles a különböző Al koncentrációk hatására bekövetkező csírázási intenzitásának adatait a 4. táblázat mutatja be.

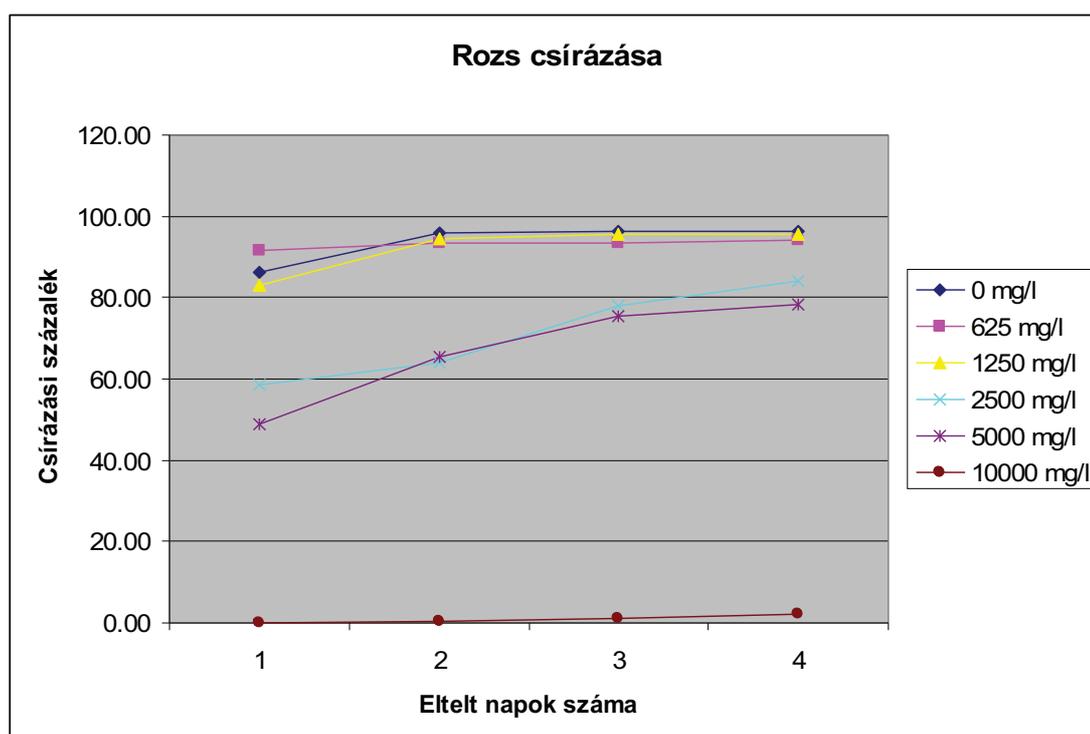
A kezeletlen kontroll variáns növényei igen jelentős csírázási erélyűek, hiszen a szemtermések 17%-a már az első napon, 87,5% pedig már a 2. napon, azaz 48 óra elteltével kicsírázott. A kísérletet záró 4. napon a köles átlagos csírázása a 93.13%-ot éri el, a legkisebb (625mg/l) Al mennyiség alig befolyásolta a csírázást, szignifikáns különbséget nem találtam. A növekvő Al koncentrációk kétségtelenül lassították a csírázás folyamatát, hiszen pl. az 5000 mg/l jelenlétében a 2. napon csak 40%-os, a 4. napon pedig 83%-os csírázást mérhetünk. A legtöményebb koncentráció (10000 mg/l) hatására csak a 3 napon kezdődik a csírázás (31.75%) és a 4 napon is csak a szemtermések 47.5%-a csírázott. A 4. napos csírázási adatok

statisztikai összevetése szerint (1. táblázat a mellékletben) a 2 legnagyobb koncentrációban alkalmazott Al szignifikánsan gátolta a köles csírázását.

#### 4.1.2.ROZS

Kezelés	1. nap után	2. nap után	3. nap után	4. nap után
0	86.25 ± 10.05	96.00 ± 2.39	96.25 ± 2.25	96.25 ± 2.52
625	91.50 ± 2.52	93.50 ± 3.42	93.50 ± 3.42	94.00 ± 3.65
1250	83.00 ± 7.39	94.50 ± 3.42	95.50 ± 2.52	95.50 ± 2.52
2500	58.50 ± 6.61	64.00 ± 9.80	78.00 ± 4.90	84.00 ± 6.32
5000	49.00 ± 4.16	65.50 ± 13.60	75.50 ± 16.44	78.50 ± 15.70
10000	0.00 ± 0.00	0.50 ± 1.00	1.00 ± 2.00	2.00 ± 2.83

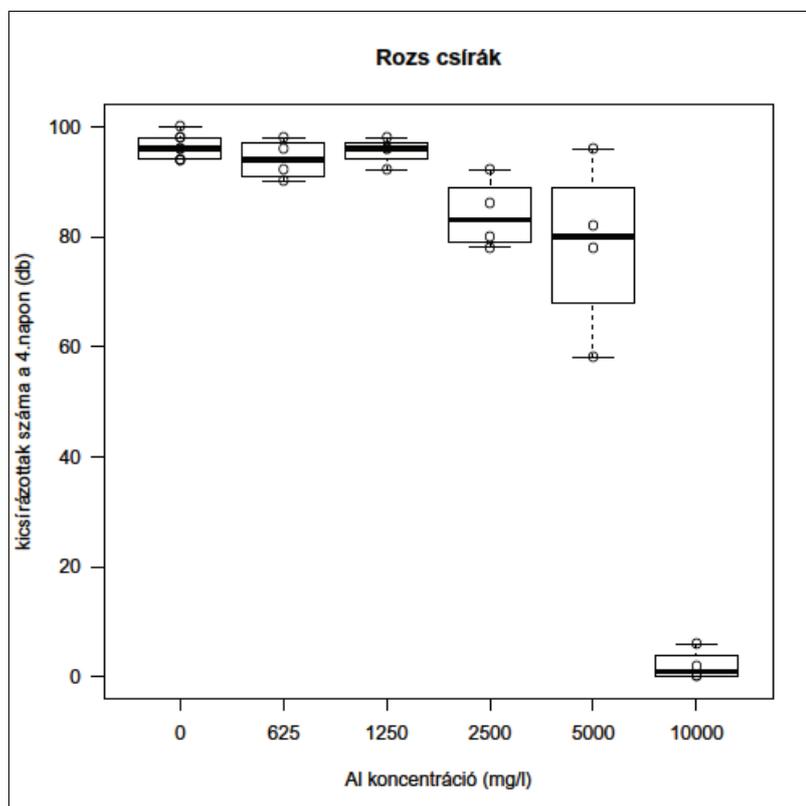
4.táblázat: A kicsírázott rozs szemtermések átlaga és szórása az egyes napokon, az alkalmazott Al koncentráció függvényében.



5.ábra: A rozs csírázásának időbeli dinamikája a különböző Al koncentrációk hatására.

Rozsból egy Petri-csészébe 50 db szemtermés került, túlnyomó többségük ki is csírázott a kísérlet 4 napja alatt (leszámítva a 10000 mg/l-es kezelést). A csírázási %, illetve az átlagosan kicsírázottak száma tekintetében is látható a csökkenő tendencia, amit a kezelés okozott (4.táblázat). A kontroll és a két legkevesebb Al-mal (625, 1250 mg/l) kezelt magok csírázása a legintenzívebb, kis túlzással azt is mondhatjuk, hogy ami a 2. napra nem csírázott ki, az

később sem fog, hiszen az átlagok a második és a negyedik nap között szinte változatlanok voltak. A 2500 és az 5000 mg/l-es kezelésnél fokozatosan nőtt a kicsírázottak száma, a csírázási erély lanyhább, mint az előzőek esetében, a vizsgálat végére 80% feletti átlagos csírázási %-ot láthatunk. A legtöményebb 10000 mg/l-es Al koncentráció viszont a csírázás folyamatát teljesen meggátolta. A kontrolltól szignifikánsan különböznek a 2500, az 5000 és a 10000 mg/l Al-mal kezelt magok.

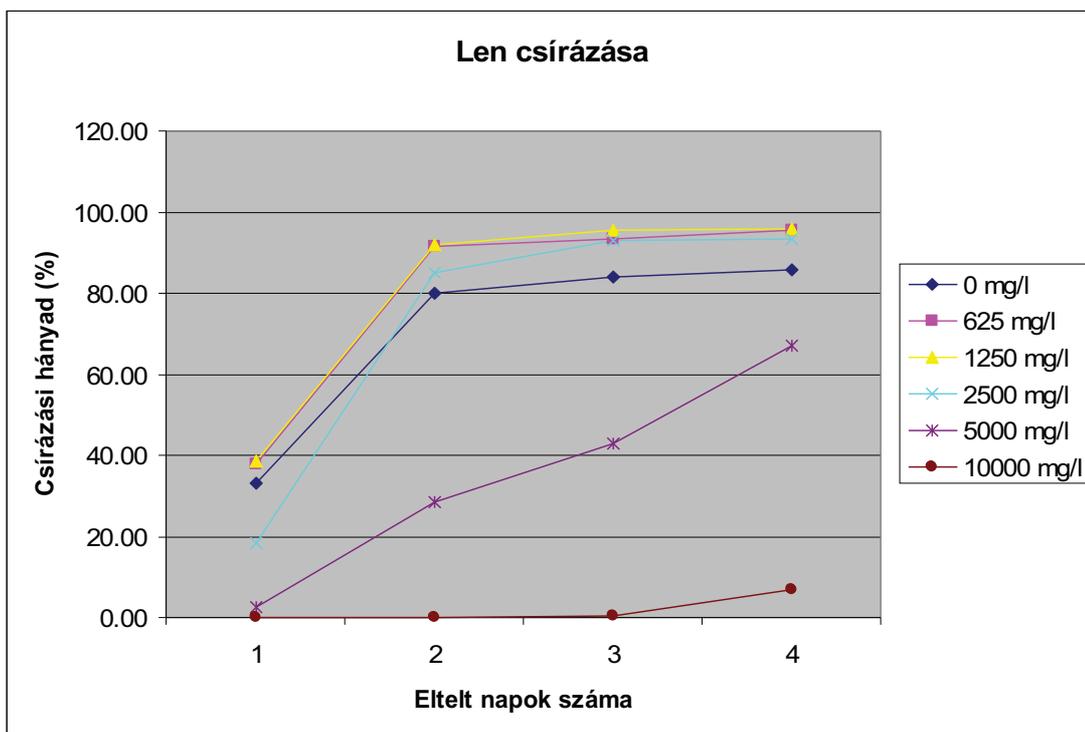


6.ábra: Az Al hatása a rozs csírázására a csírázás 4. napján értékelt adatok alapján

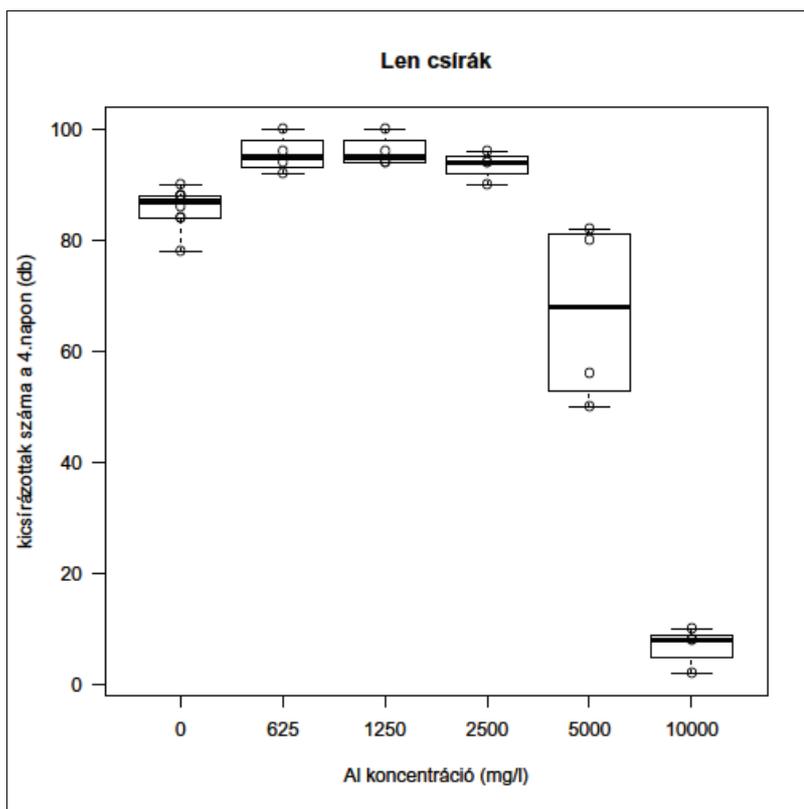
#### 4.1.3.HÁZI LEN

Kezelés	1. nap után	2. nap után	3. nap után	4. nap után
0	33.00 ± 32.71	80.00 ± 4.66	84.00 ± 4.66	85.75 ± 3.77
625	38.00 ± 23.15	91.50 ± 1.00	93.50 ± 3.42	95.50 ± 3.42
1250	38.50 ± 13.10	92.00 ± 5.42	95.50 ± 3.42	96.00 ± 2.83
2500	18.50 ± 6.19	85.00 ± 7.39	93.00 ± 2.00	93.50 ± 2.52
5000	2.50 ± 1.19	28.50 ± 9.29	43.00 ± 9.31	67.00 ± 16.37
10000	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.50 ± 1.00	7.00 ± 3.46

5.táblázat: A kicsírázott lenmagok átlaga és szórása az egyes napokon, az Al konc. függvényében.



7.ábra: A len csírázásának időbeli dinamikája a különböző Al koncentrációk hatására.



8.ábra: Az Al hatása a len csírázására a csírázás 4. napján értékelt adatok alapján

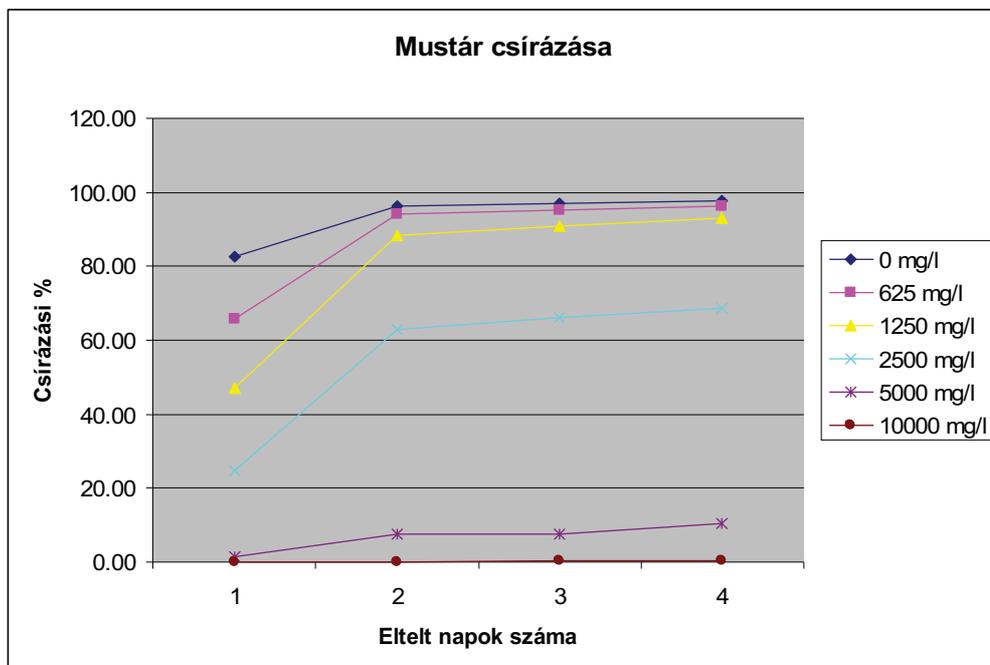
A lenből minden Petri-csészébe 50 darabot tettem. Az adatok alapján megállapítható, hogy az alacsony Al koncentráció pozitív hatású, ahogy azt a csírázási % is mutatja (5.táblázat), amit az elvégzett tesztek (melléklet 2. táblázat) a kontrolltól szignifikánsan különbözőnek jeleznek.

A 2., 3. és 4. napon az átlagok között 10% különbség figyelhető meg a 625 és az 1250 mg/l Al-mal kezelt csírák javára (a negyedik napon 95-96%, míg a kezeletleneknél ez a hányad 85%). A két legalacsonyabb koncentrációnál és a kontrollnál 2 nap után már alig csírázik pár mag. Magas koncentrációban (5000 és 10000 mg/l Al) erős csírázásgátló hatás figyelhető meg, valamint a csírázás folyamata is később indul meg. Az elvégzett tesztek szerint a kontrolltól szignifikánsan különböző ez a két kezelés. A 14. ábrán látható, hogy egyenletes emelkedés után a 4. npra az 5000 mg/l Al-mal kezelt magok fele kicsírázik, ellenben a 10000 mg/l-es koncentráció hatására csak a 3. napon indul meg ez a folyamat, végül 7%-uk csírázott ki, azaz a csírázás folyamatát az Al igen erősen gátolta.

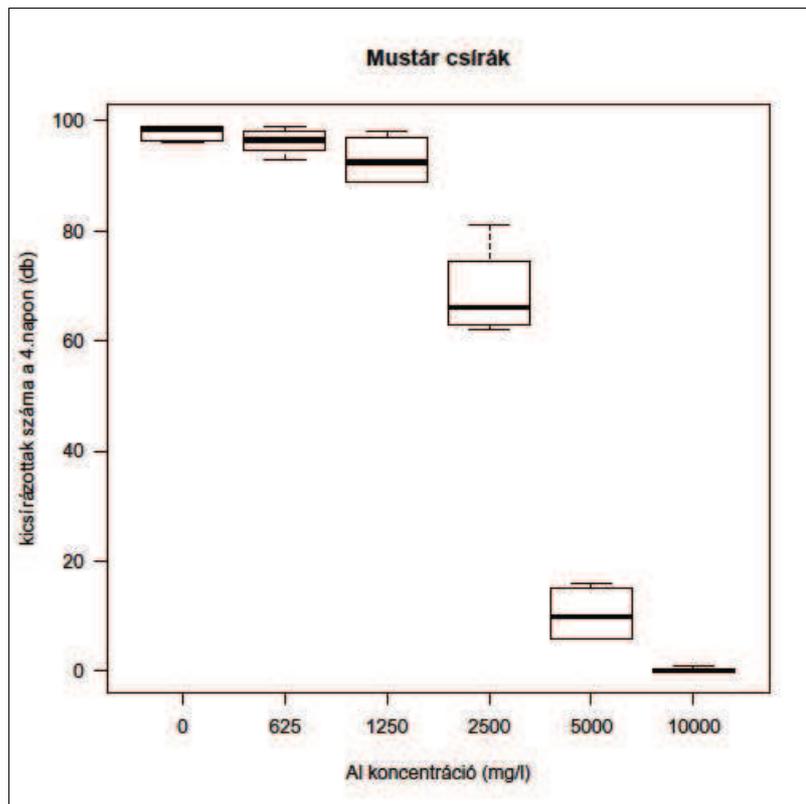
#### 4.1.4. FEHÉR MUSTÁR

Kezelés	1. nap után	2. nap után	3. nap után	4. nap után
0	82.50 ± 8.80	96.25 ± 1.83	97.13 ± 1.64	97.88 ± 1.36
625	65.75 ± 3.86	94.25 ± 3.10	95.25 ± 3.10	96.25 ± 2.50
1250	47.00 ± 10.10	88.50 ± 7.77	90.75 ± 6.60	93.00 ± 4.69
2500	24.75 ± 4.92	63.00 ± 10.80	66.00 ± 8.87	68.75 ± 8.54
5000	1.50 ± 1.73	7.50 ± 5.92	7.50 ± 5.92	10.50 ± 5.26
10000	0.00 ± 0.00	0.00 ± 0.00	0.25 ± 0.50	0.25 ± 0.50

6.táblázat: A kicsírázott magok átlaga és szórása az egyes napokon, az alkalmazott Al koncentráció függvényében.



9.ábra: A mustár csírázásának időbeli dinamikája a különböző Al koncentrációk hatására.



10.ábra: Az Al hatása a mustár csírázására a csírázás 4. napján értékelt adatok alapján

A mustárból minden Petri-csészébe 100-100 mag került. A csírázási százalékban egyértelműen látszik az Al gátló hatása (6. táblázat és 10. ábra). A csírázás dinamikája az első és a második napon volt a legintenzívebb (9. ábra), hiszen ezután minden esetben 5%-nál kevesebb volt a csírázási hányad emelkedése. A statisztikai tesztek szrint a mustár számára a leghígabb Al koncentráció nem különbözik szignifikánsan a kontrolltól, a többit viszont igen, ez arra utal, hogy a mustár kevésbé tolerálja az Al-ot (szenzitív). A mellékelt grafikonon látszik, hogy a két legmagasabb koncentráció (5000 és 10000 mg/l Al) hatására a mustár csírázása erősen gátolt és hiába várnánk további napokat, az eredményeik meg sem közelítenék a többiét, előbbié a vizsgálat végén átlagosan 10%-os, utóbbi 1%-nál is kevesebbet mutat.

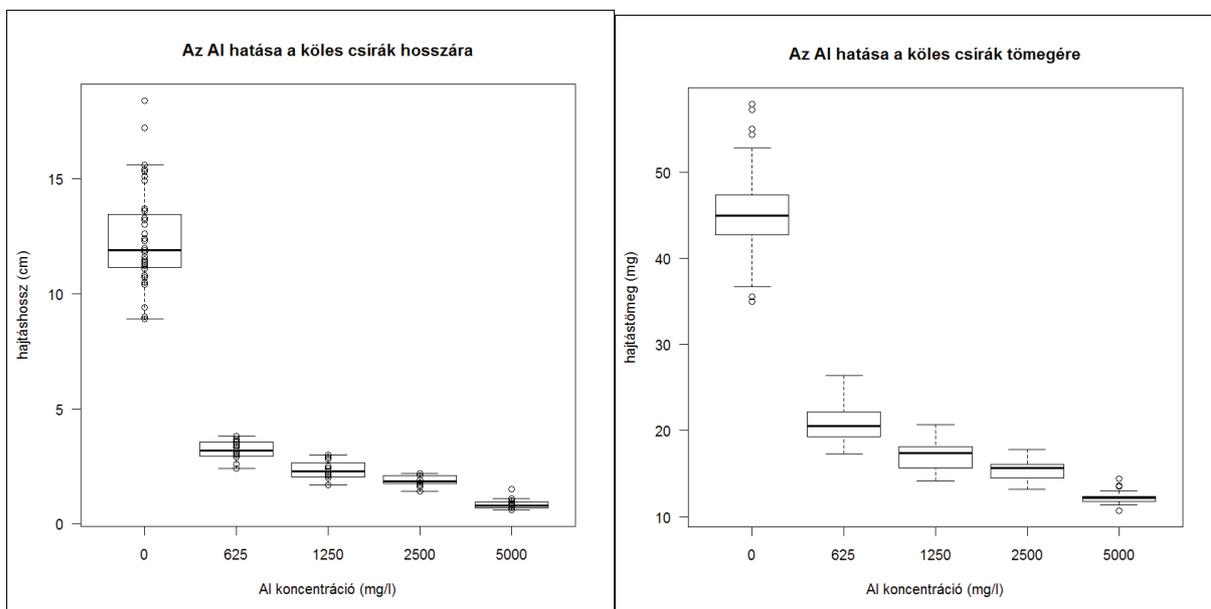
## 4.2.A CSÍRÁK HOSSZ ÉS TÖMEGGYARAPODÁSÁNAK VIZSGÁLATA

A penészedés és a baktériumos fertőzések nagyban gátolták a kísérlet végrehajtását és sikerességét. A sokadik próbálkozás után sikerült csak egy fertőzés mentes csírázó kultúrát létrehozni.

### 4.2.1.KÖLES

Kezelés (Al mg/l)	Hossz (cm $\pm$ SD)	Tömeg (mg $\pm$ SD)	Megmért (db)
0	12.41 $\pm$ 2.09	45.50 $\pm$ 5.16	40
625	3.22 $\pm$ 0.43	20.93 $\pm$ 2.26	20
1250	2.33 $\pm$ 0.38	17.04 $\pm$ 1.56	20
2500	1.88 $\pm$ 0.22	15.40 $\pm$ 1.27	20
5000	0.87 $\pm$ 0.20	12.30 $\pm$ 0.82	20
10000	NA	NA	0

7.táblázat: Az Al hatása a köles csírák hossz és tömeggyarapodására



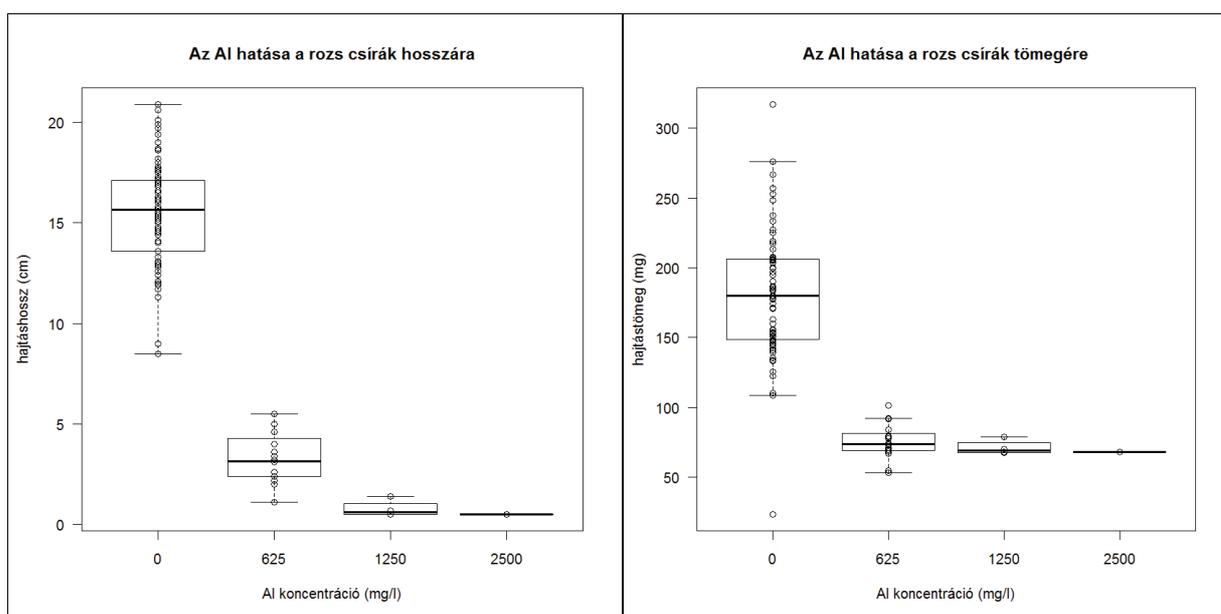
11.ábra a, b: Az Al hatása az csírák hosszára és tömegére

Az első a sorban a köles volt, itt minden Petri-csészéből 20-at mértem le, valamint ezeknek az oldatait nem voltak autoklávozva. A többi esetben 35 csíranövények hossza és tömege került lemérésre és azok oldatait muszáj volt autoklávozni, habár ez a csírázókéesség rovására ment. A 7 táblázaton és 11 ábrán szembeűnő a kezelték kontrollhoz viszonyított csekély hossz és tömeggyarapodása. Példának okáért a 625 mg/l Al-mal kezelt csírák tömege fele akkora sincs, mint a kezeletleneké. Az elvégzett statisztikai teszt emiatt minden kezelés eredményét szignifikánsan különbözűnek tekinti. A legtűményebb, 10000 mg/l koncentraciűjú Al-mal kezelt magok nem csíráztak ki.

#### 4.2.2.ROZS

Kezelés (Al mg/l)	Hossz (cm $\pm$ SD)	Tömeg (mg $\pm$ SD)	Megmért (db)
0	15.48 $\pm$ 2.66	179.47 $\pm$ 45.39	69
625	4.10 $\pm$ 3.54	83.84 $\pm$ 36.89	17
1250	0.78 $\pm$ 0.43	71.08 $\pm$ 5.42	4
2500	0.50 $\pm$ 0.00	68.20 $\pm$ 0.00	1

8.táblázat: Az Al hatása a rozs csírák hossz és tömeggyarapodására



12.ábra a, b: Az Al hatása az csírák hosszára és tömegére

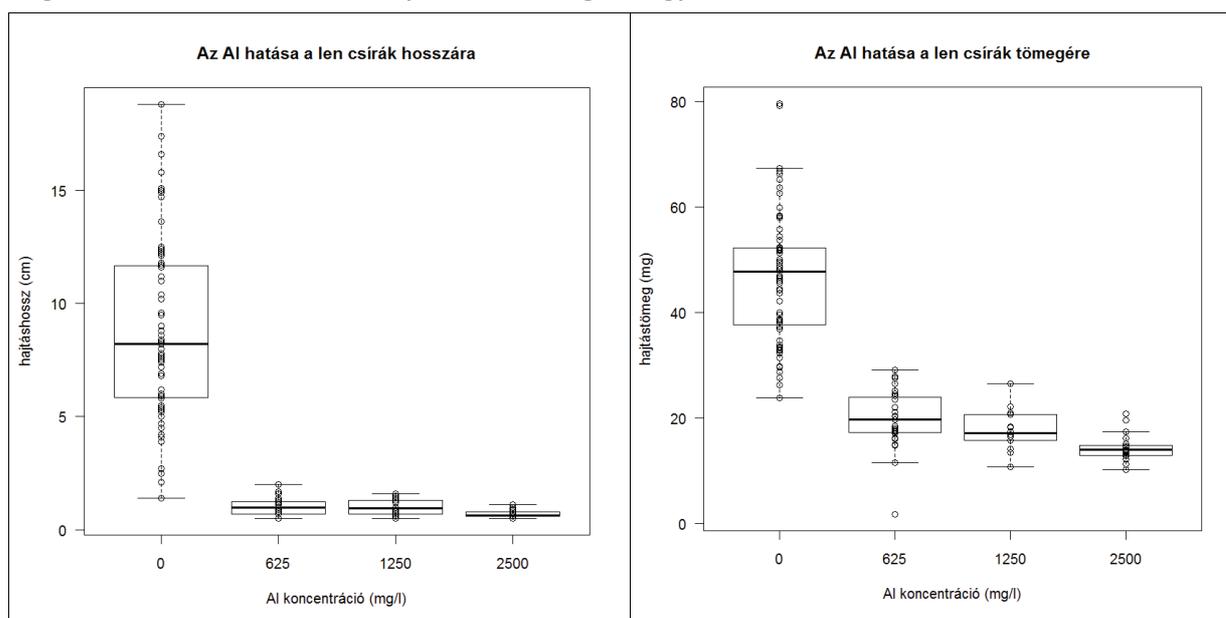
Nem csírázott ki a rozsmagok közül az 5000, 10000 mg/l-rel kezelték egyike sem, és a 2500 mg/l Al-ot kapók közül is csak egy. A csírázási hányadok alapján nem ezt az eredményt várnánk, ez magyarázható, a magok fertőtlenítésével és az oldatok autoklávozásával, valamint azzal magyarázható, hogy a magok semmilyen tápanyagot nem kaptak a kezelés 6 napja alatt. Ha összevetjük a másik csírázási kísérlettel, akkor minden kezelés csírázási %-a sokkal magasabb, míg itt a 625 mg/l Al-mal kezelt lemerendő magok fele csírázott ki, ott ez az arány 90% feletti (4. táblázat.). Megfigyelhető, hogy a töményebb oldattal kezelt magok csírázási erélye romlott, és az csíranövények gyarapodása mérséklődött (8. táblázat és 12. ábra).

### 4.2.3.HÁZI LEN

Kezelés (Al mg/l)	Hossz (cm ± SD)	Tömeg (mg ± SD)	megmért
0	8.77 ± 3.92	46.81 ± 12.39	67
625	1.02 ± 0.42	19.82 ± 5.76	27
1250	1.00 ± 0.35	17.72 ± 3.96	14
2500	0.70 ± 2.54	14.33 ± 0.17	20

9.táblázat: Az Al hatása a len csírok hossz és tömeggyarapodására

A len kezeletlen csírának hossza átlagosan 8 cm feletti, míg valamennyi kezelt eredmény 1 cm körüli volt. A tömegnél szintén ilyen drasztikus a hatás a kontrollé 46 cm, az Al-mal kezelt csírok tömege 15 és 20 mg közötti, egyre csökkenő az egyes kezelések hatására. Ezt a Dunnett-teszt szignifikánsan különbözőnek ítélte meg. Ebben az esetben is a csírázási százalék messze elmarad a másik kísérlet alapján várttól, ahol az alacsony koncentrációk (625 és 1250 mg/l) még növelték ezt az arányt. (9. táblázat) Nem volt értékelhető az 5000 és 10000 mg/l Al-mal kezelt eredménye, ezek a magok, ugyanis nem csíráztak.



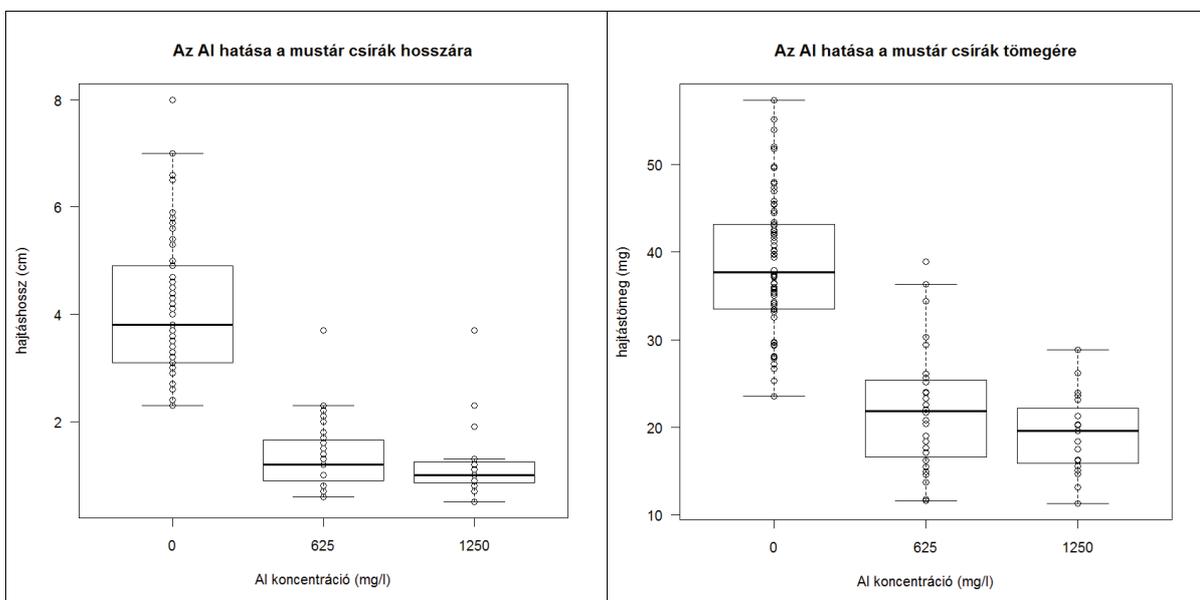
13.ábra a, b: Az Al hatása az csírok hosszára és tömegére

### 4.2.4.FEHÉR MUSTÁR

Kezelés (Al mg/l)	Hossz (cm ± SD)	Tömeg (mg ± SD)	megmért
0	4.15 ± 1.28	38.79 ± 7.49	70
625	1.37 ± 0.67	22.07 ± 7.06	28
1250	1.27 ± 0.77	19.21 ± 4.56	19

10.táblázat: Az Al hatása a mustár csírok hossz és tömeggyarapodására

A mustármagokból a kontrollon kívül csak a két leghígabb koncentrációval kezelt magok csíráztak ki. Ezek hossza átlagosan 3 cm-rel lett kevesebb, tömegük pedig kb. 20 mg-mal csökkent., ezek természetesen szignifikánsan különbözöek a kontrolltól. A két kezelés eredmény között látható némi csökkenés mind a hossz, mind a tömeg, mind a kicsírázottak száma tekintetében.



14.ábra a, b: Az Al hatása az csírák hosszára és tömegére

### 4.3.A VEGETATÍV FEJLŐDÉS KORAI SZAKASZÁNAK VIZSGÁLATA TENYÉSZEDÉNYES KÍSÉRLETEKBEN

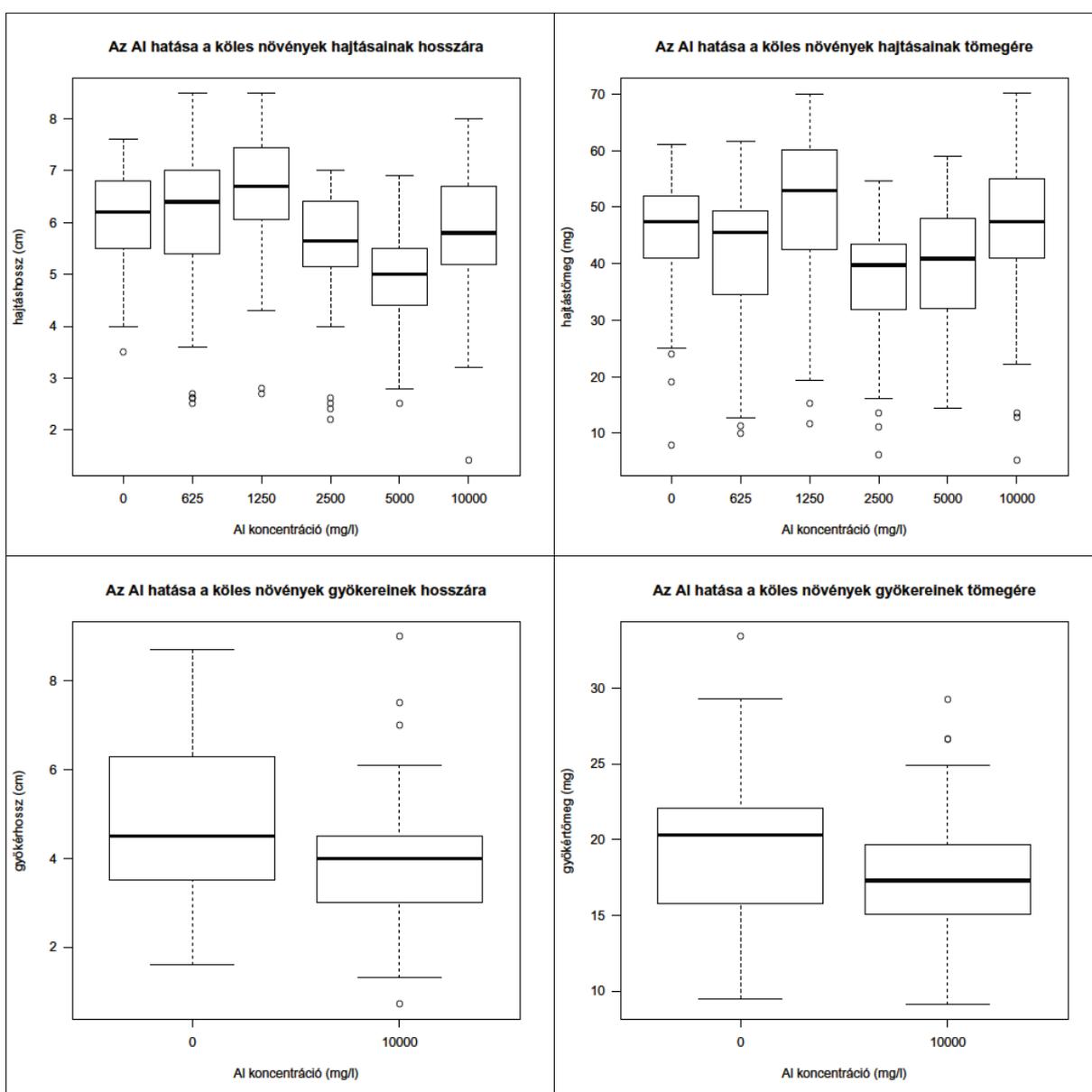
Az adatok elemzésénél a kontrollként szolgáló 2 tenyésztedényben fejlődött növények adatait összevontam. Sajnos időhiány miatt a gyökerek esetében csak a kontroll és a legtöményebb oldattal kezelt növényekről tudtam adatokat közölni.

A statisztikai elemzést Dunnett-próbával végeztem, ugyanis ez a módszer (elegendő mintaelemszám esetében) a kontrollhoz hasonlítja az egyes kezelt csoportok megadott értékeit. Az adatokat pedig boxploton ábrázoltam.

### 4.3.1. KÖLES

Kezelés	Darabszám	Csírázási %	Hajtáshossz ((cm) ± SD)	Hajtástömeg ((mg) ± SD)	Gyökérhossz ((cm) ± SD)	Gyökértömeg ((mg) ± SD)
0	65	81,25	6,08 ± 0,89	45,26 ± 10,10	4,69 ± 1,71	19,48 ± 4,51
625	69	86,25	6,08 ± 1,33	41,61 ± 12,21		
1250	68	85,00	6,60 ± 1,05	48,74 ± 14,34		
2500	52	65,00	5,54 ± 1,18	36,80 ± 10,10		
5000	57	71,25	4,88 ± 0,96	38,82 ± 11,69		
10000	50	62,50	5,78 ± 1,21	46,59 ± 13,80	3,88 ± 1,48	17,32 ± 4,34

11.táblázat: Az Al hatása a csírázási %-ra és a köles hajtásának és gyökerének hosszára, ill. tömegére



15. a, b, c, d ábra: Az Al hatása a kölesre: hajtáshossz, hajtástömeg, gyökérhossz és

### *gyökértömeg tekintetében*

A kölesmagokból tenyészedényenként 80 került elültetésre, és ennek több mint 60%-a minden esetben kicsírázott, sőt a két leghígabb oldat (625 és 1250 mg/l) még javította is a csírázási arányt (86 és 85%, a kezeletlenek esetében 81%), viszont a tömény koncentrációk gátló hatással bírtak (65, 71, illetve 62%).

A hajtáshosszak átlaga 5 és 6 cm közé esett, ezekből 3 eredménye (1250, 2500, 5000 mg/l-es) különbözött szignifikánsan a kontrolltól. A hajtástömegek esetében még jelentősebb különbségek adódtak, az átlagok között 12 mg különbség is megfigyelhető, szignifikánsan 2 csoport (az 2500 és az 5000 mg/l-es) különbözött a kontrolltól.

A gyökerek esetében a hossznövekedés jelentősen csökkent, ez szignifikánsnak tekinthető a Dunnett-teszt alapján. A tömeggyarapodás valamelyest mérséklődött, ami szintén szignifikánsnak tekinthető.

### **4.3.2.ROZS**

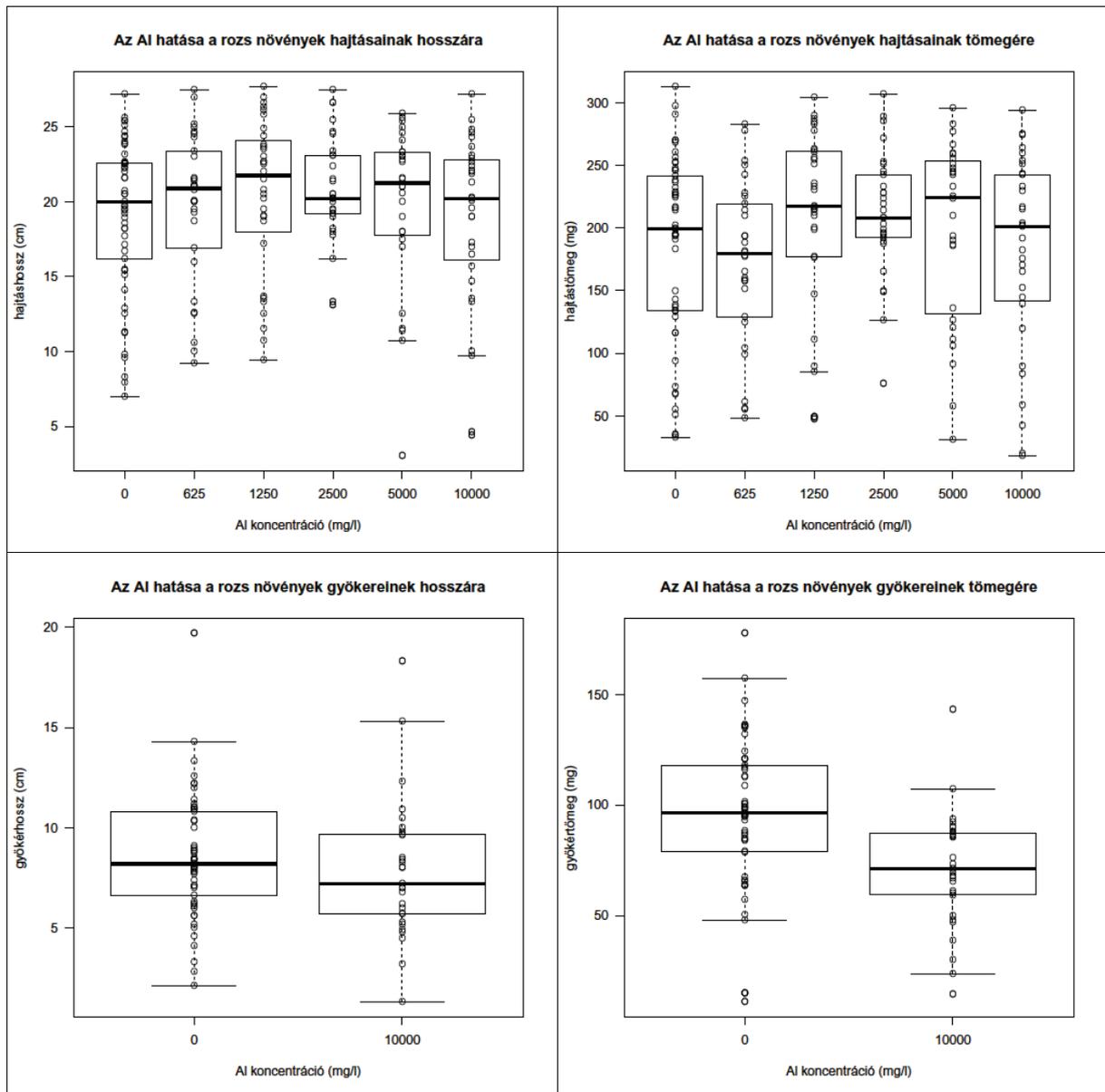
Kezelés	Darabszám	Csírázási %	Hajtáshossz ((cm) ± SD)	Hajtástömeg ((mg) ± SD)	Gyökérhossz ((cm) ± SD)	Gyökértömeg ((mg) ± SD)
0	26,5	66,25	19,12 ± 5,15	185,93 ± 75,08	8,53 ± 3,12	95,90 ± 34,10
625	30	75,00	19,73 ± 5,04	172,18 ± 65,30		
1250	32	80,00	20,43 ± 5,21	205,89 ± 75,41		
2500	29	72,00	20,86 ± 3,58	211,29 ± 49,53		
5000	28	70,00	19,75 ± 5,52	198,37 ± 72,88		
10000	31	77,50	18,82 ± 5,81	180,87 ± 78,10	7,81 ± 3,40	71,32 ± 25,88

*12.táblázat: Az Al hatása a csírázási %-ra és a rozs hajtásának és gyökerének hosszára, ill.*

### *tömegére*

Minden tenyészedénybe 40 magot ültettem el, ennek 2/3-a mindig kicsírázott.

A hajtáshosszak átlagai 19-20 cm közöttiek voltak, a Dunnett-teszt nem mutatott ki szignifikáns eltérést egyik kezelés esetén sem. A mellékelt boxploton (16. ábra) sem láthatunk szembetűnő változást. A hajtások tömegei 180-210 mg közötti átlagúak voltak az értékeléskor, és itt sem tapasztalható jelentős eltérés. A gyökérhossznál megfigyelhető kismértékű, de nem szignifikáns csökkenés. A rozssal végzett kísérletben csak a gyökértömegnél figyelhető meg szignifikáns eltérés, ugyanis az átlag 24 mg-mal csökkent a 10000 mg/l-es kezelés hatására.



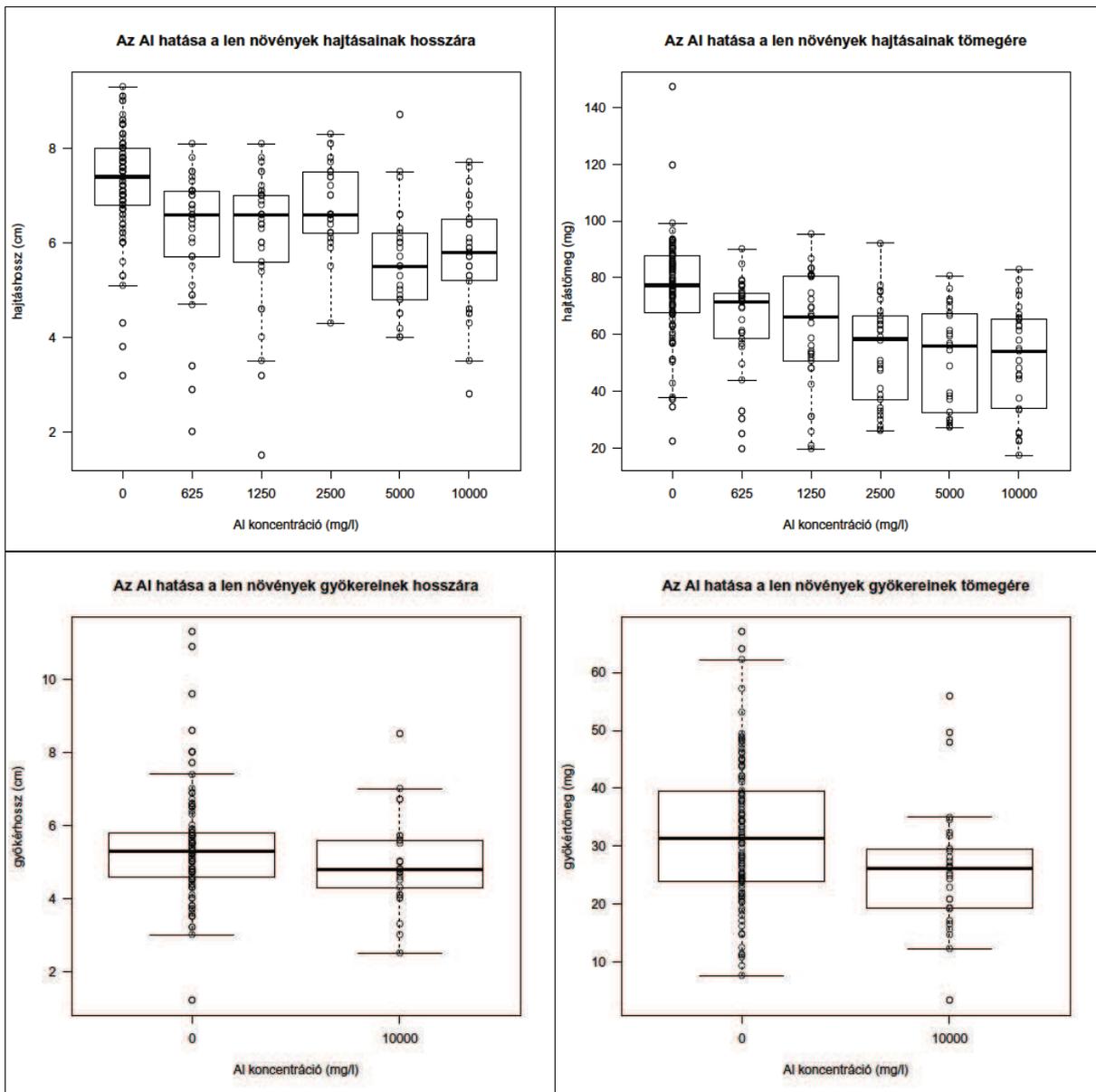
16. a, b, c, d ábra: Az Al hatása a rozsrá: hajtáshossz, hajtástömeg, gyökerhossz és gyökértömeg tekintetében

### 4.3.3.HÁZI LEN

Ebből a növényből is 40-40 mag került elültetésre, ezek 62-80% kicsírázott.

A hajtáshossz átlagosan 5-7 cm között volt, és egy kivétellel minden kezelés eredménye szignifikánsan különbözött a kontrollétól, a 17. ábrán jól látható a csökkenő tendencia. De még szebben észlelhető ugyanez a hajtások tömegeinél, ahol a kontroll és a legtöményebb oldattal (ami 10000 mg/l Al-ot tartalmaz) kezelt növények átlagtömegei között 25 mg különbség van, a Dunnett-próba minden kezelésnél a kontrolltól való jelentős eltérést állapított meg.

A gyökérhossz esetében az átlagos 1 cm-es csökkenés nem bizonyult szignifikánsnak, és a gyökértömegnél kimutatott 8 mg-os csökkenés enyhén szignifikánsnak bizonyult.



17. a, b, c, d ábra: Az Al hatása a lenre: hajtáshossz, hajtástömeg, gyökérhossz és gyökértömeg tekintetében

Kezelés	Darabszám	Csírázási %	Hajtáshossz ((cm) ± SD)	Hajtástömeg ((mg) ± SD)	Gyökérhossz ((cm) ± SD)	Gyökértömeg ((mg) ± SD)
0	32.7	81.67	7,26 ± 1,07	76,47 ± 17,01	5,33 ± 1,59	31,87 ± 12,62
625	33	82.50	6,18 ± 1,40	64,36 ± 17,19		
1250	33	82.50	6,15 ± 1,46	97,90 ± 23,33		
2500	30	75.00	6,79 ± 0,86	53,94 ± 18,14		
5000	25	62.50	5,64 ± 1,15	51,70 ± 17,95		
10000	29	75.50	5,72 ± 1,17	50,82 ± 19,14	4,96 ± 1,25	26,31 ± 11,28

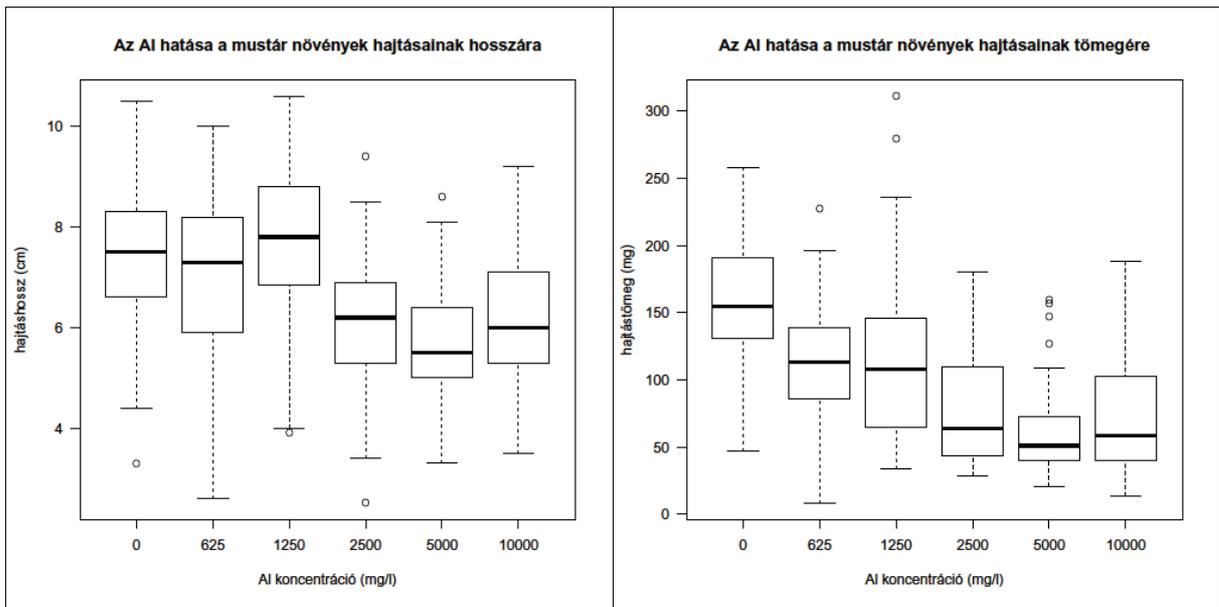
13. táblázat: Az Al hatása a csírázási %-ra és a hajtás és gyökér hosszára, ill. tömegére

#### 4.3.4. FEHÉR MUSTÁR

Kezelés	Darabszám	Csírázási %	Hajtáshossz ((cm) ± SD)	Hajtástömeg ((mg) ± SD)
0	59,5	74,38	7,45 ± 1,33	161,55 ± 43,36
625	69	86,25	7,03 ± 1,64	109,87 ± 46,00
1250	63	78,75	7,67 ± 1,54	117,76 ± 62,47
2500	57	71,25	6,21 ± 1,40	77,93 ± 40,91
5000	57	71,25	5,66 ± 1,21	60,30 ± 31,35
10000	66	82,50	6,20 ± 1,22	71,77 ± 43,59

14. táblázat: Az Al hatása a csírázási %-ra és a köles hajtásának hosszára, ill. tömegére

A mustárnak sajnos nem volt értékelhető gyökere, így csak hajtás-adatokat tudok bemutatni. Mustármagokból 80-at ültettem minden edénybe és ennek több mint 70%-a mindig kicsírázott. A hajtások hossza átlagosan 6-8 cm, érzékelhető az átlagokban is a csökkenés, ez látható a [14. képen](#) is, és az elvégzett statisztikai teszt a 3 legtöményebb (2500, 5000 és 10000 mg/l) koncentráció esetén mutatott ki szignifikáns eltérést a kontrolltól. Csökkenő tendencia látszik a hajtások tömegeit ábrázoló boxploton ([18. száma](#)), a tömegek átlagai között megfigyelhetünk 100 mg-os eltérést is (kontroll és az 5000 mg/l átlagai), a Dunnett próba minden kezelést a kontrolltól szignifikánsan különbözőnek ítélte meg.



18. a, b ábra: Az Al hatása a mustárra: hajtáshossz, hajtástömeg tekintetében

## 5.KÖVETKEZTETÉSEK

A köles esetében a csírázást tekintve toleranciát figyelhetünk meg. A csírázást ugyan lassította a 10000 mg/l-es Al-os kezelés, ám ez a növény érte el a legjobb eredményt ([melléklet 1. táblázat](#)). Csak ez a koncentráció és az 5000 mg/l-es okozott szignifikáns eltérést. Érdekes, hogy a 10000 mg/l-es kezeléssel a köles érte el a legjobb eredményeket, a többi növény csírázási hányadosa, ugyanis, kisebb mint 10%, kölesnél, viszont a kölesnél az érték 47%. A vegetatív fejlődés korai szakaszára vonatkozó táptalajos kísérletben láthattuk a talaj pufferoló hatásának megjelenését, ugyanis itt a csírázási hányados megnő a legtöményebb koncentráció esetén. Mind a hajtástömegben, mind a hajtáshossznál a töményebb kezelés okoz a kontrolltól való szignifikáns eltérést, ugyanez tapasztalható a gyökerek esetében. A csíranövények hossz- és tömeggyarapodásánál megfigyelhető mérséklődés a pufferoló hatások, tápanyagok hiányának és az erőteljes fertőlenítésnek köszönhető. Jól láthat a 11. ábrán a töményedő oldatok okozta növekedés gátlás

Rozsnál a szakirodalom a toleranciáról beszél ([28](#), [39](#)). A kísérleteim is ez igazolják (a kezelések 80% feletti csírázási arányt tettek lehetővé), a legtöményebb (10000 mg/l) Al koncentráció azonban a csírázást teljesen gátolta. A kontrolltól szignifikánsan különböznek a 2500, az 5000 és a 10000 mg/l Al-mal történő kezelések. Érdekes különbség a többi növényhez képest, hogy a rozsnál az első nap után a magoknak több mint a fele kicsírázott (kivéve a legtöményebb oldattal kezelteteket), ellenben a többi növény csíráinál a magok több mint fele csak a második napon csírázott ki (bele nem értve az 5 és 10000 mg/l-es kezelésben részesülőket). A csírák hossz- és tömeggyarapodása, a csírázási erély a 6 napig tartó kísérlet során nagymértékben csökkent. A tenyészedényes kísérletben pedig csak a gyökértömegnél mutatott ki szignifikáns eltérést a Dunnett-teszt.

A len csírázásának feltűnő különbsége a többi növényhez képest, hogy az alacsonyabb koncentrációk (625, 1250, 2500 mg/l) segítették a csírázást. A töményebbek (5000 és 10000 mg/l) azonban nemcsak gátolták (utóbbi esetben igen drasztikusan), hanem késleltették is a csírázás megindulását, ez a két kezelés okozott szignifikáns eltérést. Az említett pozitív hatás viszont egyáltalán nem jelentkezik sem a csírák hossz és tömegnövekedését vizsgáló kísérletnél, sem az elültetett magokból kinőtt növényeknél, épp ellenkezőleg: a csírák és fiatal növények tömeg- és gyarapodás gátlása majdnem minden kezelés esetében szignifikáns. A fiatal növények gyökerénél a hosszúságot nem befolyásolta a kezelés, viszont a tömeget már igen. Ezek az eredmények a len szenzitivitásra utalnak.

A mustárral végzett kísérletben igen látványosan jelentkezett az egyre töményebb oldatok

okozta csírázási erély és csírázási százalék csökkenése. Ez a jelenség a vizsgálat teljes időtartama alatt megfigyelhető volt. Az elvégzett statisztikai tesztek csak a leghígabb oldattal kezelt magok eredményét nem tekintették szignifikánsan különbözőnek a kontrolltól.

Hasonló eredménnyel zárult a csíranövények gyarapodására irányuló és a tenyészedenyes kísérlet is. Előbbi esetben a két leghígabb kezelés esetében voltak értékelhető eredmények, a többi kezelés meggátolta a csírázást. Ez a mustár Al-ra való érzékenységről tanúskodik.

A talaj pufferoló hatása abban jelentkezik, hogy a csírázási százalékok között nincs olyan jelentős eltérés, mint a csíráztatási kísérletnél, ez az érték 60-85% között mozog (melléklet 1, 2, 3, 4 táblázatai). Adott koncentráció okozta szignifikáns eltérés a köles csírázásánál és tenyészedenyben való fejlődésénél nagyjából hasonló. Rozsnál a pufferoló hatás és a tolerancia erősen megmutatkozik, a táptalajos kísérletben csak egy eredményt tekinthetünk szignifikánsnak (gyökértömeg). A lennél az Al negatív hatása erősebben érvényesül a táptalajos vizsgálatnál, mint a csíráztatás esetén. A mustár csíráztatása és kiültetése azonban hasonló eredményeket adott.

Az általam vizsgált egyszikűek, vagyis a köles és a rozs toleranciát mutattak, főleg a rozs. A kétszikűekre, tehát a lenre és a mustárra azonban inkább a szenzitivitás volt a jellemző. Négy növényből azonban nem lehet következtetéseket levonni, és általánosítani. A szakirodalom szerint mind az egy- mind a kétszikűek között számos olyan családot találunk amelyek toleránsak, mivel sok Al-ot tudnak raktározni szövegeinkben (31, ám ez a forrás nem említi a Poaceae, Linaceae és Brassicaceae családokat, amelyekbe a modell növényeim taroznak).

Megállapítható, hogy a kezelések általában a tömeggyarapodásra erősebben hatottak, mint a hossznövekedésre.

Időhiány miatt sajnos a gyökerek közül csak a kontrollt és a legtöményebb oldattal kezelt növények példányait tudtam lemérni. A mustárnál egyáltalán nem sikerült, ott ugyanis nem voltak értékelhetőek a gyökerek. Viszont csak egy esetben különbözött szignifikánsan a kontrolltól a gyökérhossz (kölesnél, ámbár a szignifikancia szintje alacsony), a gyökértömeg esetén mindhárom növény eredményei szignifikánsan különböznek (de a kölesé szintén enyhébb mértékben). A hajtásnál ezzel szemben mind a hossz, mind a tömeg esetében többször jelentkezett erős szignifikancia.

## 6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az Al a földkéreg alkotó elemei között a harmadik leggyakoribb. Oldhatósága csekély, viszont a pH csökkenésével növekszik, emiatt ez az elem bejuthat a talajból a növények szervezetébe. A növényekben számos más elem anyagcseréjét megzavarja, a termelés csökkenéséhez vezet. A talaj kémhatása a savas esők következtében csökken, ezáltal a kioldódó Al valószínűleg szerepet játszik az erdőpusztulásokban. A Föld megművelhető talajainak 40%-a savas karakterű, főleg a trópusi területeken.

Időszerű tehát megismernünk minél több növényfajt az Al toleranciájuk szempontjából. A munka folyamán négy növényfajjal kísérleteztem: a kölessel (*Panicum miliaceum L.*) a rozssal (*Secale cereale L.*), a lennel (*Linum usitatissimum L.*) és a fehér mustárral (*Sinapis alba L.*). A célom annak megállapítása volt, hogy az egyes koncentrációk hogyan hatnak a csírázási hányadra, erélyre, a csíranövények tömeg-, ill. hossznövekedésére, valamint az Al-ot is tartalmazó tápoldattal kezelt csíranövények hajtásának és gyökerének hosszára, ill. tömegére.

Az Al-ot kristályvizes alumínium szulfát ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18 \text{H}_2\text{O}$ ) formájában alkalmaztam az Al-ra vonatkoztatott 0; 625; 1250; 2500; 5000; és 10000 mg/l-es koncentrációkban. A tenyészedényes kísérlethez Al-mal kiegészített Knop-féle tápoldatot használtam, a magok/szemtermékek növénynevelő kamrában fejlődtek. A csíráztatási kísérleteket Petri-csészékben végeztem, 24 °C-on, sötétben, biológiai termosztátban. A statisztikai elemzéshez Fisher-féle p-értéket számoltam, illetve Dunnett-tesztet használtam.

A vizsgált négy növényfaj csírázásának hányadát csökkentette az alkalmazott Al-os kezelés. A legtöményebb 10000 mg/l-es szinte mindig meggátolta ezt a folyamatot. A növekvő koncentrációk hatása a csírázás intenzitásának csökkenése, és a folyamat indulásának késleltetése. A használt Al-os kezelés csak a len csírázásánál és kis koncentrációban okozott pozitív hatást, minden más esetben a hatás szignifikánsan gátló jellegű volt. Az Al a csíranövények hossz- és tömeggyarapodását drasztikus módon csökkentette, magasabb koncentrációban pedig teljesen gátolta. A tápoldattal kezelt növények vegetatív fejlődésének korai szakaszánál a talaj pufferoló hatása érvényesült, nemcsak a csírázási százalékban, de a (toleráns) rozs esetében a hossz- és tömeggyarapodásnál is. Az elvégzett vizsgálatok során a rozs toleranciája egyértelműen megmutatkozott, míg a köles toleranciája – bár kétségtelen – kisebb mértékben. A len, de főleg mustár Al-ra szenzitívnek, érzékenynek mutatkozik. Vagyis

az egyszikű példanövények jobban tolerálták az Al-ot. A szakirodalom az Al negatív hatásai között első helyen említi a gyökérnövekedés gátlását, a kísérleteimben azonban a hajtások hossz- és tömeggyarapodása is mérséklődött.

Figyelemmel a környezetvédelmi problémákra is, hasznos lenne a növények alumínium toleranciájára/szenzitivitására vonatkozó vizsgálatokat szélesebb körben, még több mezőgazdasági jelentőségű növényfajra is elvégezni.

## 7.SUMMARY

### **The effect of Al on growth and development of angiosperm plants – based on model experiments**

Al is the third common element in the Earth's crust. The solubility of this element is low but increases in case of decreasing pH. If the pH is decreasing the plants can absorb and store Al in their tissues. This phenomenon disturbs the metabolism of some other macro- and micro elements and nutrients (Ca, Mg, Mo, P, Mn...). The best known effect of the Al is the damage of the root system. The soil pH-value can be decreased by acidic rain, in this way Al can be soluble, and the plants take it up. The Al can have a role in deforestation. Moreover, 40% of the cultivated area of the world has acidic soil. The previous facts motivate selection of the Al-tolerance of plants.

Four plant species were involved into the further investigations: common millet (*Panicum miliaceum L.*), rye (*Secale cereale L.*), common flax (*Linum usitatissimum L.*) and white mustard (*Sinapis alba L.*).

My aim was to produce data

- on the Al-effects on proportion and intensity of germination;
- on the effects of Al on length and mass of seedlings and of young plants.

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \times 18 \text{H}_2\text{O}$  was used as Al source in the following concentrations: 0; 625; 1250; 2500; 5000; 10000 mg/l, for the Al. Knop's nutrient solution was used for the culture vessels (completed with Al), which were cultivated in a plant growth chamber. The germinating seeds/grain were kept in Petri-scales in a biological thermostat thermostat (at 24 °C, in darkness). For the statistical analysis of data Fisher's p-values and the Dunnett tests were used.

The applied Al treatment decreased the germination proportion and its intensity. The highest Al-content (10000 mg/l) generally inhibited the germination. Lower Al-concentrations delayed this life process. A significantly positive effect can be observed only for flax caused by the two lowest Al-concentration (625 and 1250 mg/l), in the other cases it was negative. The length- and mass-growth were drastically decreased by the treatments, furthermore the higher concentrations inhibited it. A buffering effect of soil seems to influence not only on rate of germination but on length and mass gains (for the tolerant rye). The common millet is also tolerant for Al but to a lesser extent. Flax and especially mustard plants seem to be sensitive species. The Al-tolerance of the used monocotyledonous plants is higher than those of dicotyledonous ones. The scientific literature always mentions the damages of root system as the main negative change, but according to my investigations the gain of length and mass of shoot system are reduced, too.

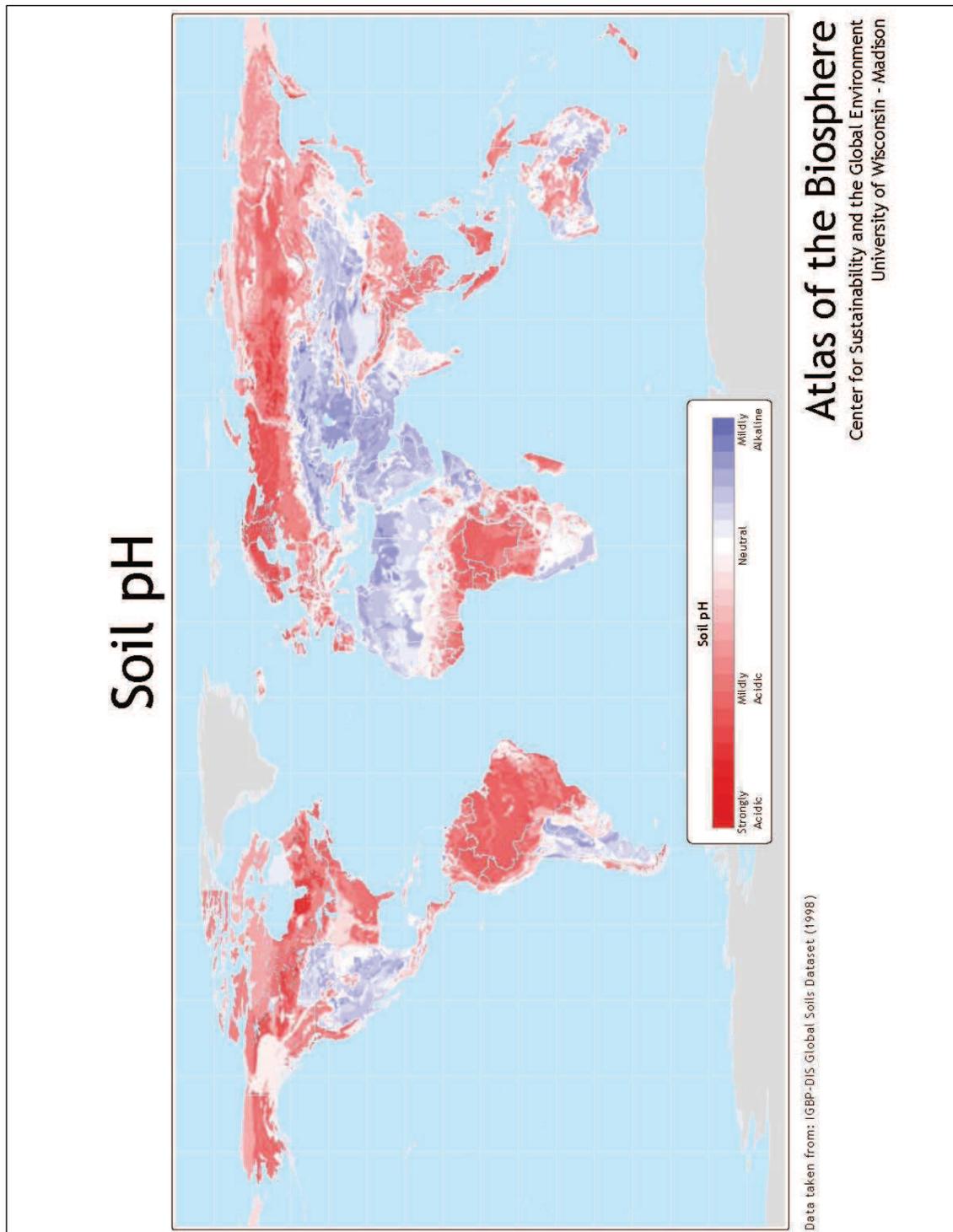
It would be very useful to continue the investigations of Al-tolerance for other plant species of higher agricultural importance.

## **8.KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS**

Ezúton szeretnék köszönetet mondani Dr. Vetter János professzor úrnak, a diplomamunkám témájának kiválasztásában, a megfelelő szakirodalom ajánlásában, áldozatos munkájáért, a szakdolgozás folyamán nyújtott rengeteg segítségéért. Számptalan hasznos elméleti és gyakorlati ismeretet adott át, munkámat folyamatosan figyelmekkel kísért, irányított, felmerülő kérdéseimre válaszolt, ötleteket adott, bátorított, támogatott.

Hálás köszönettel tarozom valamennyi oktatómnak, tanáromnak munkájukért és a Biológiai Intézet valamennyi munkatársának.

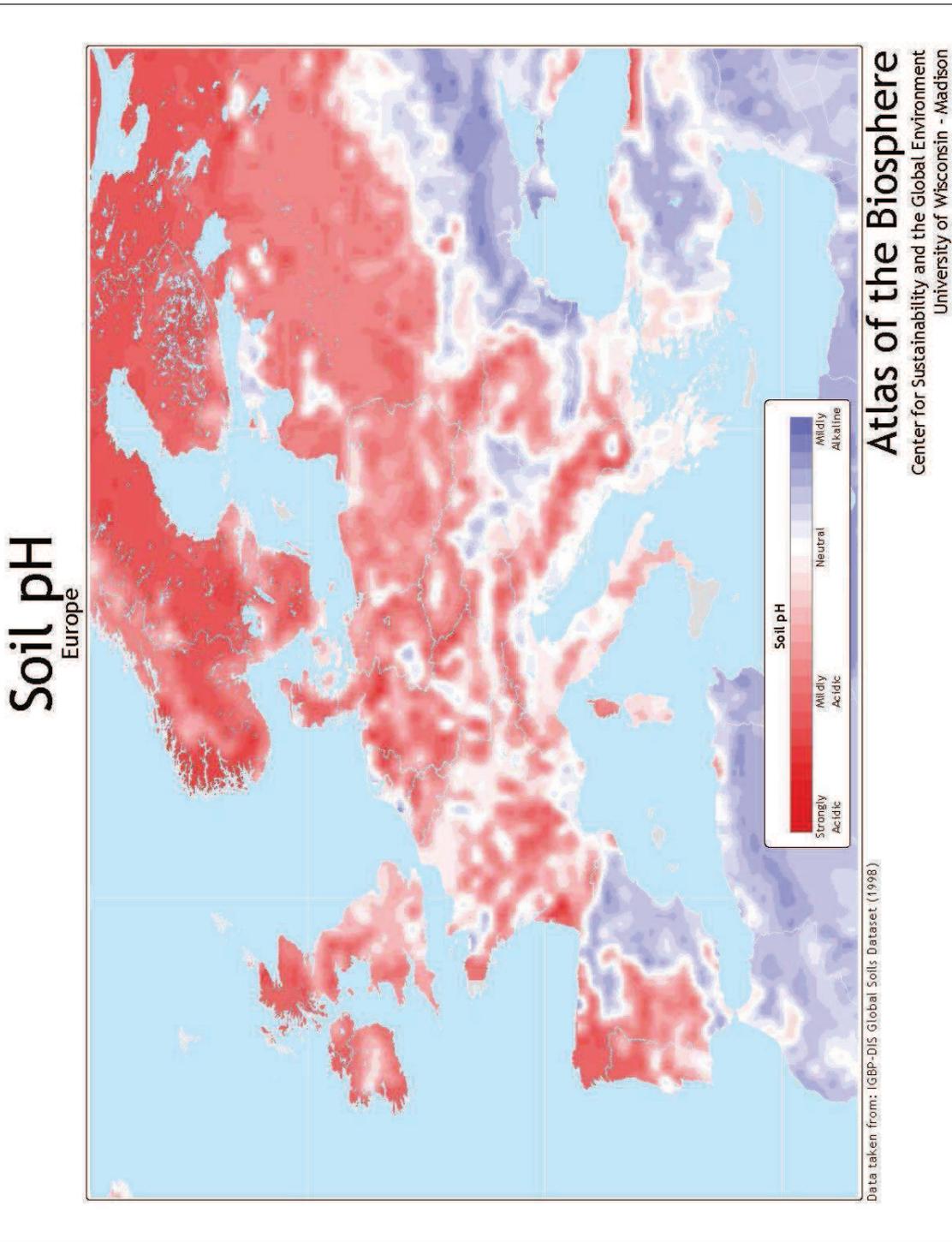
## 9. MELLÉKLET



1 kép: A Föld talajainak pH-ja

[http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps/soilph/atl\\_soilph\\_nam.jpg](http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps/soilph/atl_soilph_nam.jpg)

letöltve: 2014.január 16.



2 kép Európa talajainak a kémhatása

[http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps/soilph/atl\\_soilph\\_eur.jpg](http://www.sage.wisc.edu/atlas/maps/soilph/atl_soilph_eur.jpg)

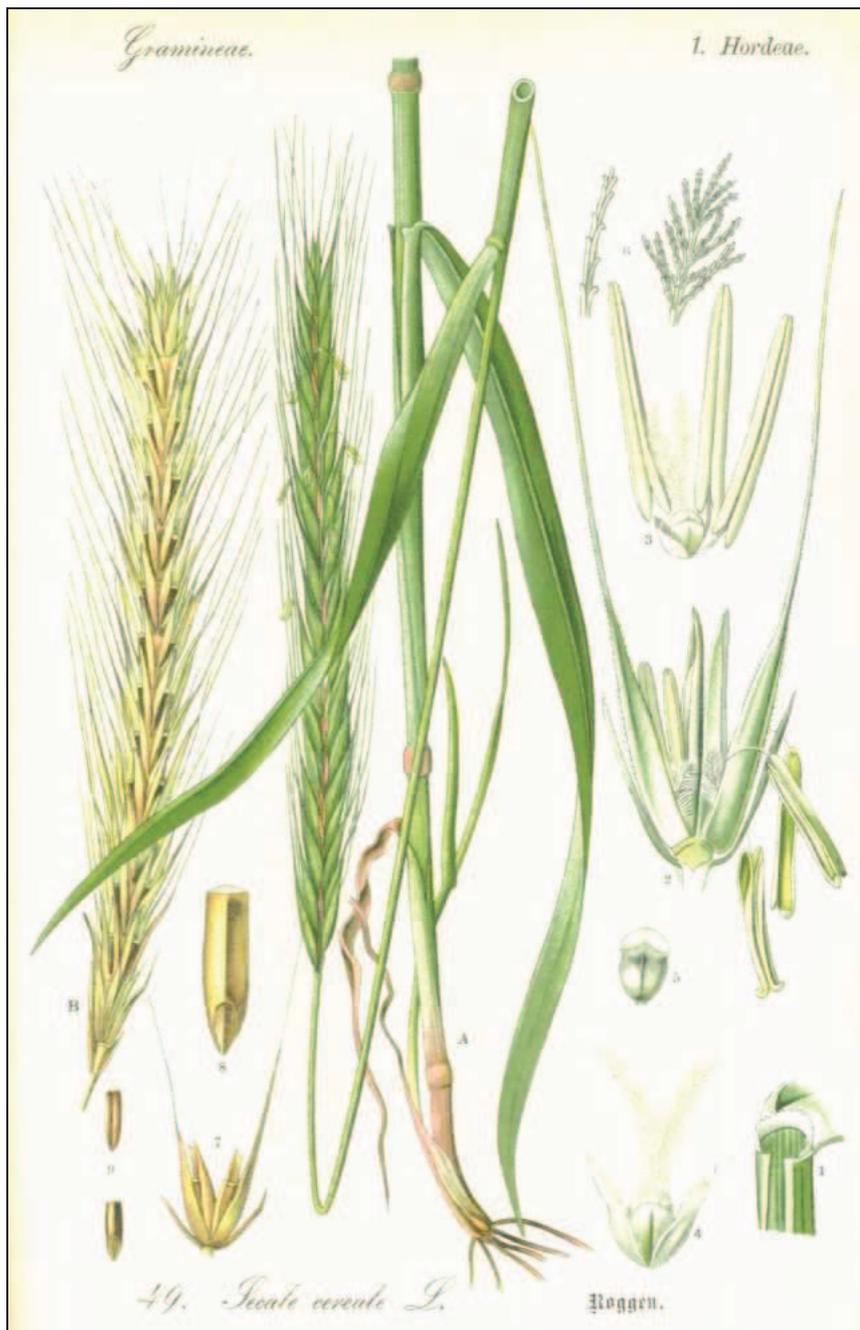
letöltve: 2014.január 16.



3. kép köles

<http://www.fotosimágenes.org/imagenes/panicum-miliaceum-1.jpg>

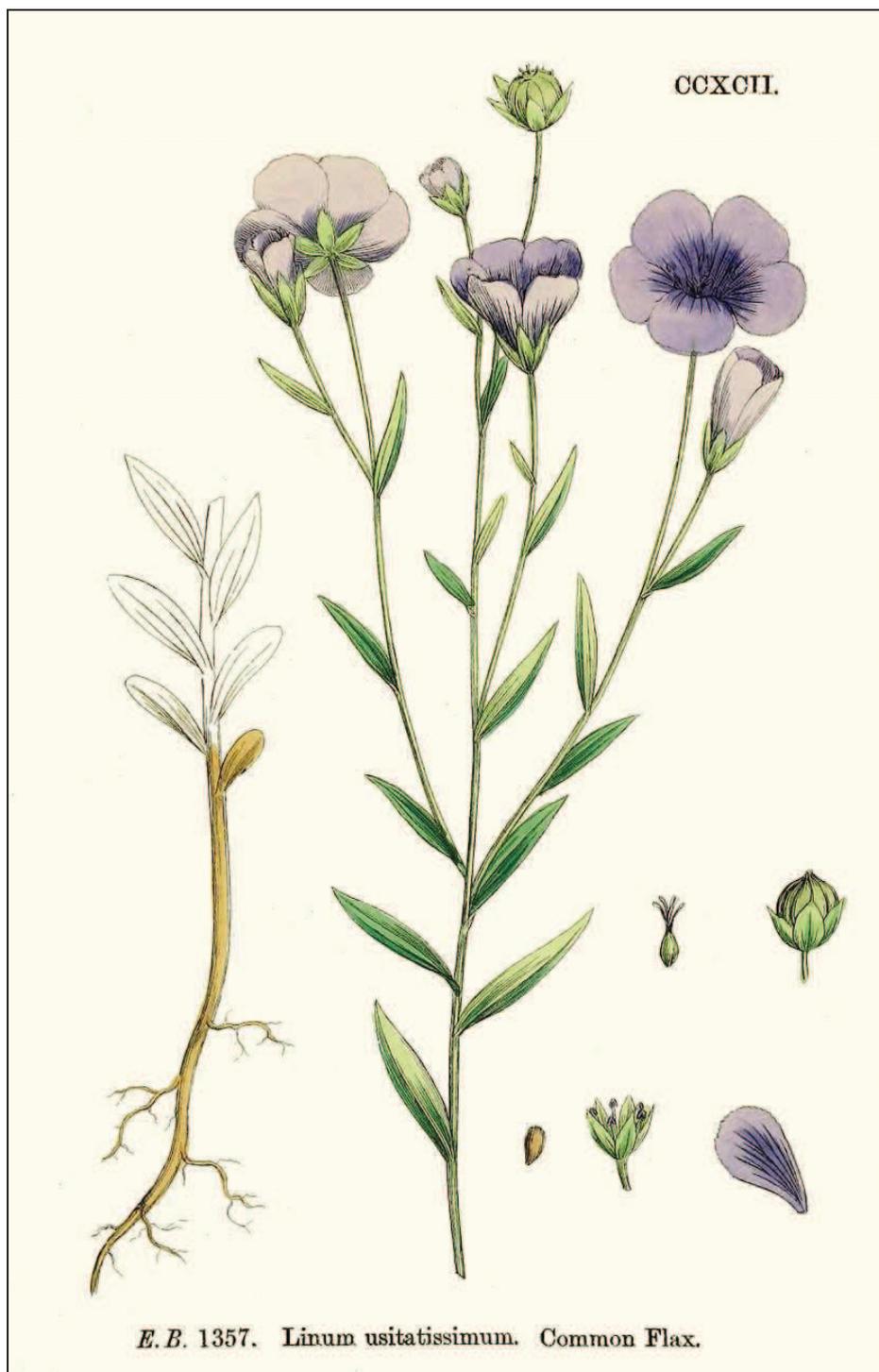
letöltve: 2014. február 7.



4. kép: rozs

[http://st-listas.20minutos.es/images/2011-02/274878/2874837\\_640px.jpg?1297628976](http://st-listas.20minutos.es/images/2011-02/274878/2874837_640px.jpg?1297628976)

letöltve: 2014. február 7.



5. kép: házi len

<http://delta-intkey.com/angio/images/ebo02921.jpg>

letöltve: 2014. február 7.



6. kép: fehér mustár

[http://www.cruydhoeck.nl/upload\\_tmp/Sinapis-alba-IMG\\_9446--1-.jpg](http://www.cruydhoeck.nl/upload_tmp/Sinapis-alba-IMG_9446--1-.jpg)

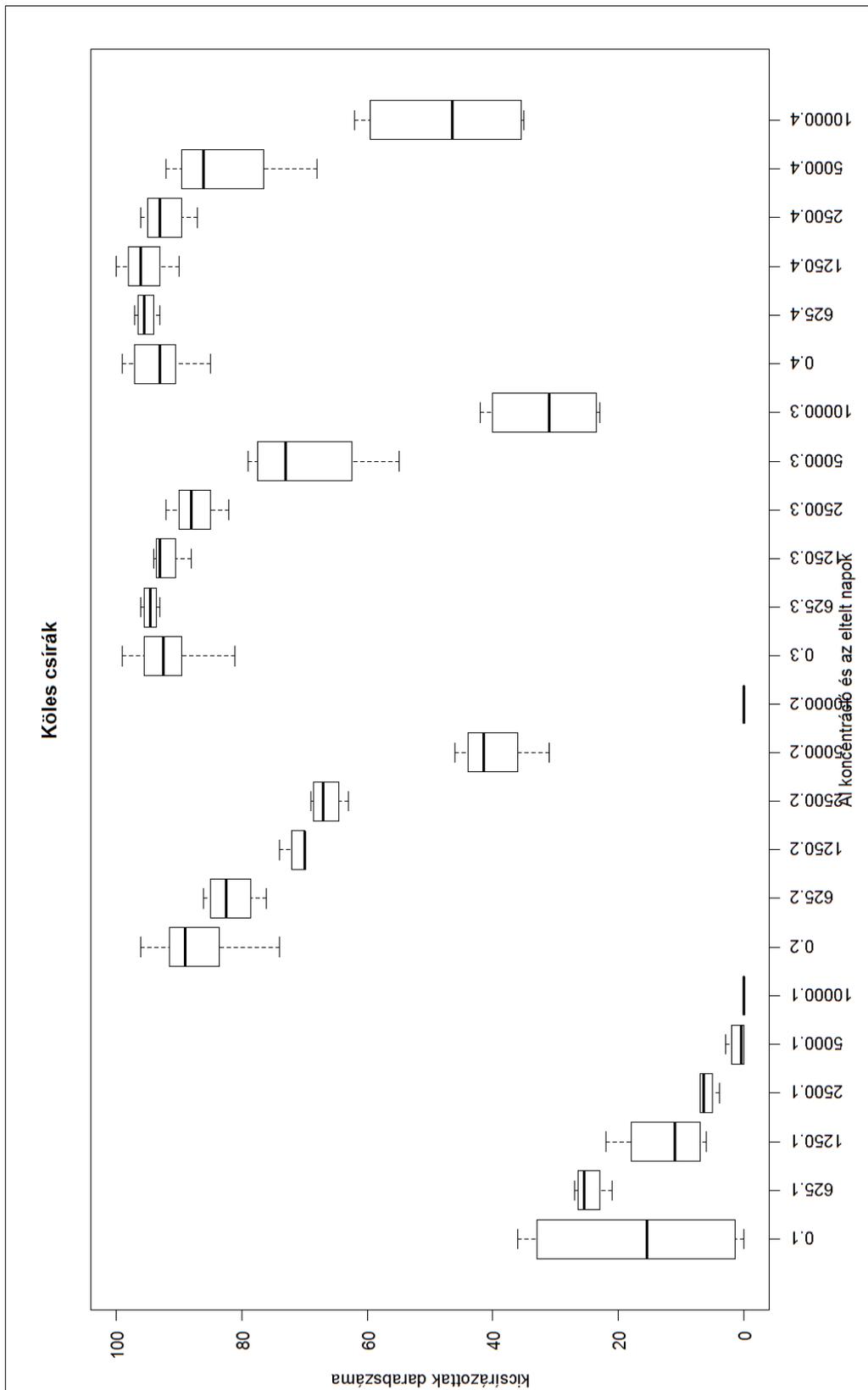
letöltve: 2014. február 7.



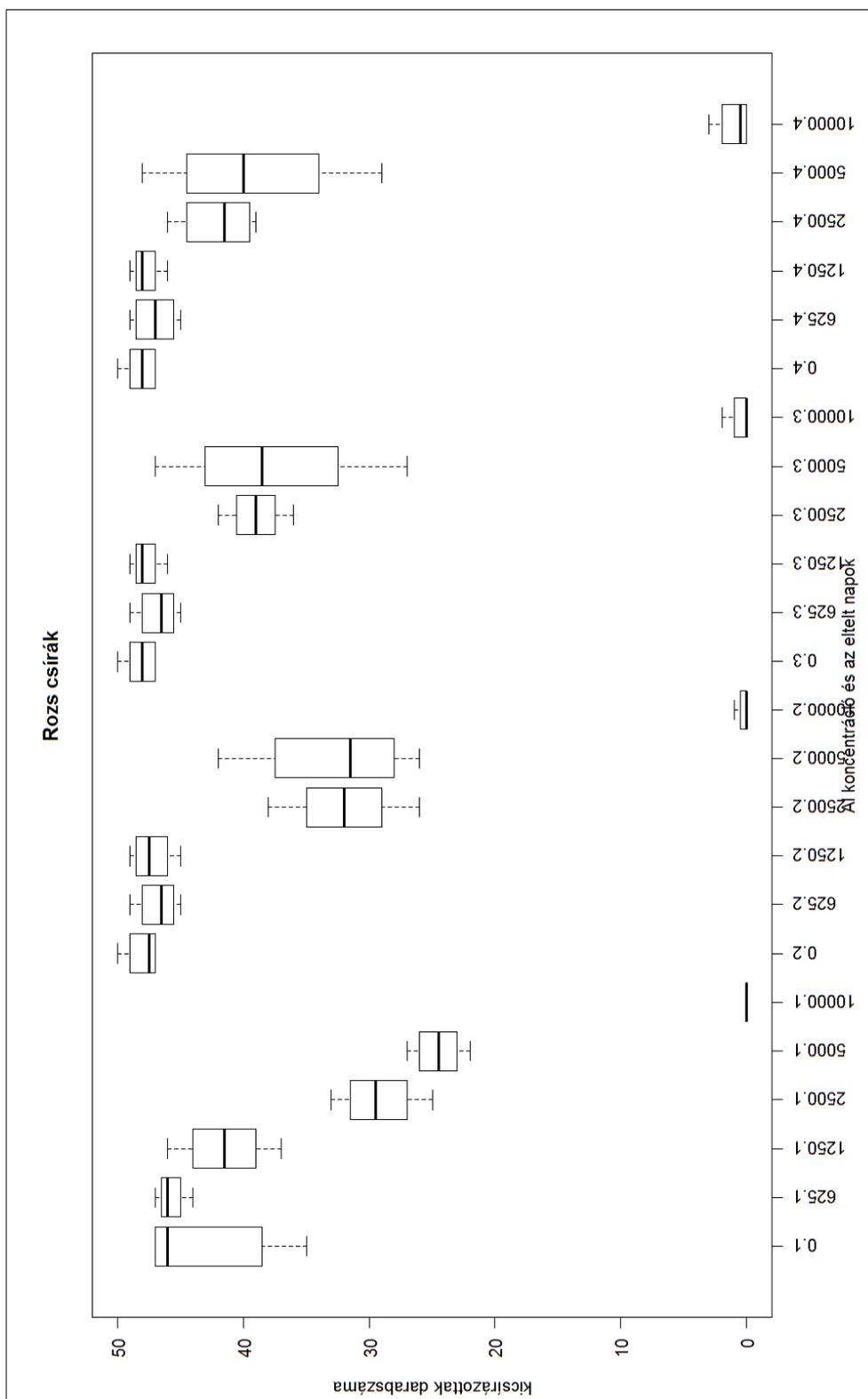
7. kép: A növénynevelő kamra. Saját felvétel. 2014.február 13. (benne rozs)



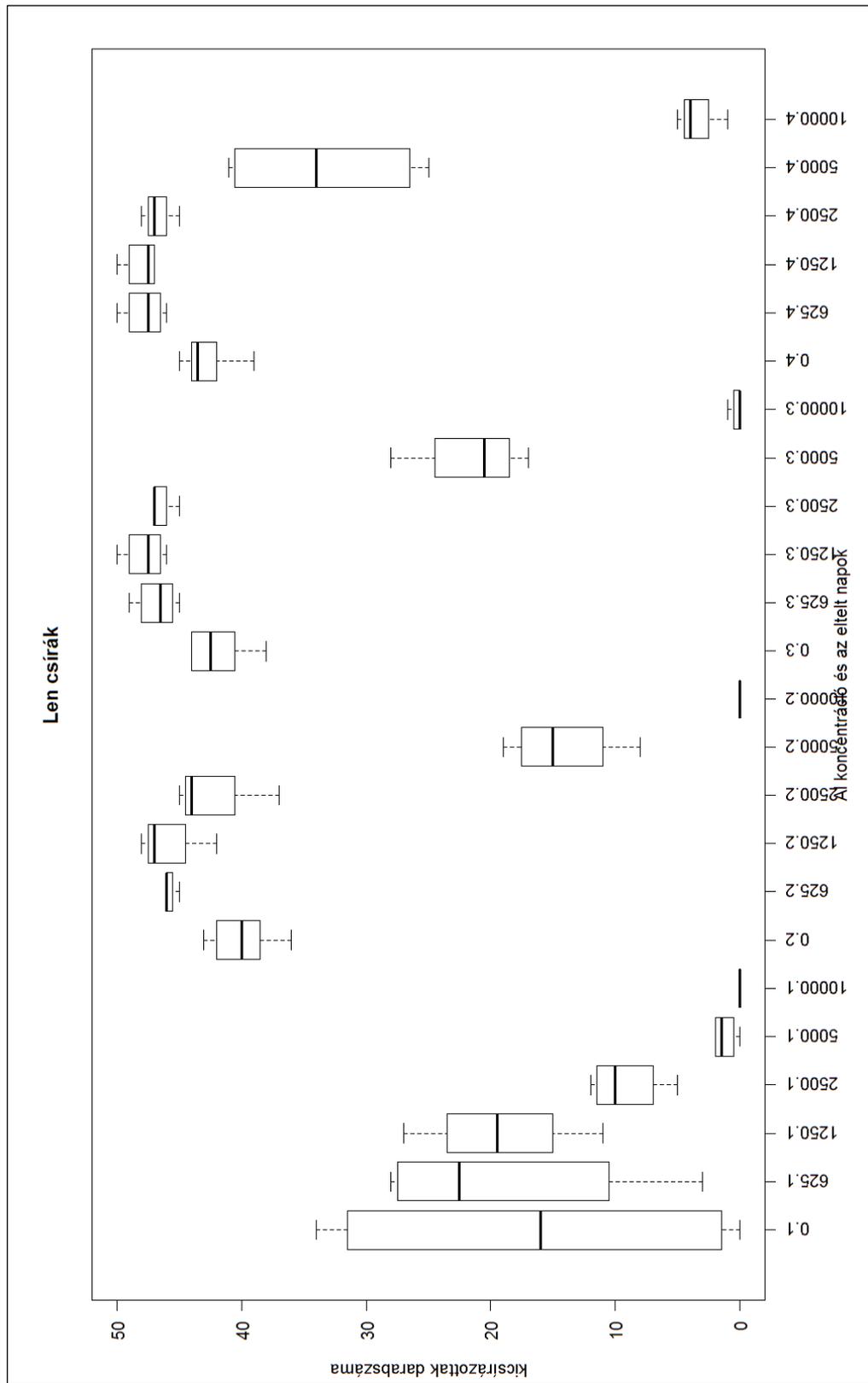
8. kép: A hőlég-sterilizátor. Saját felvétel. 2014.február. 5.



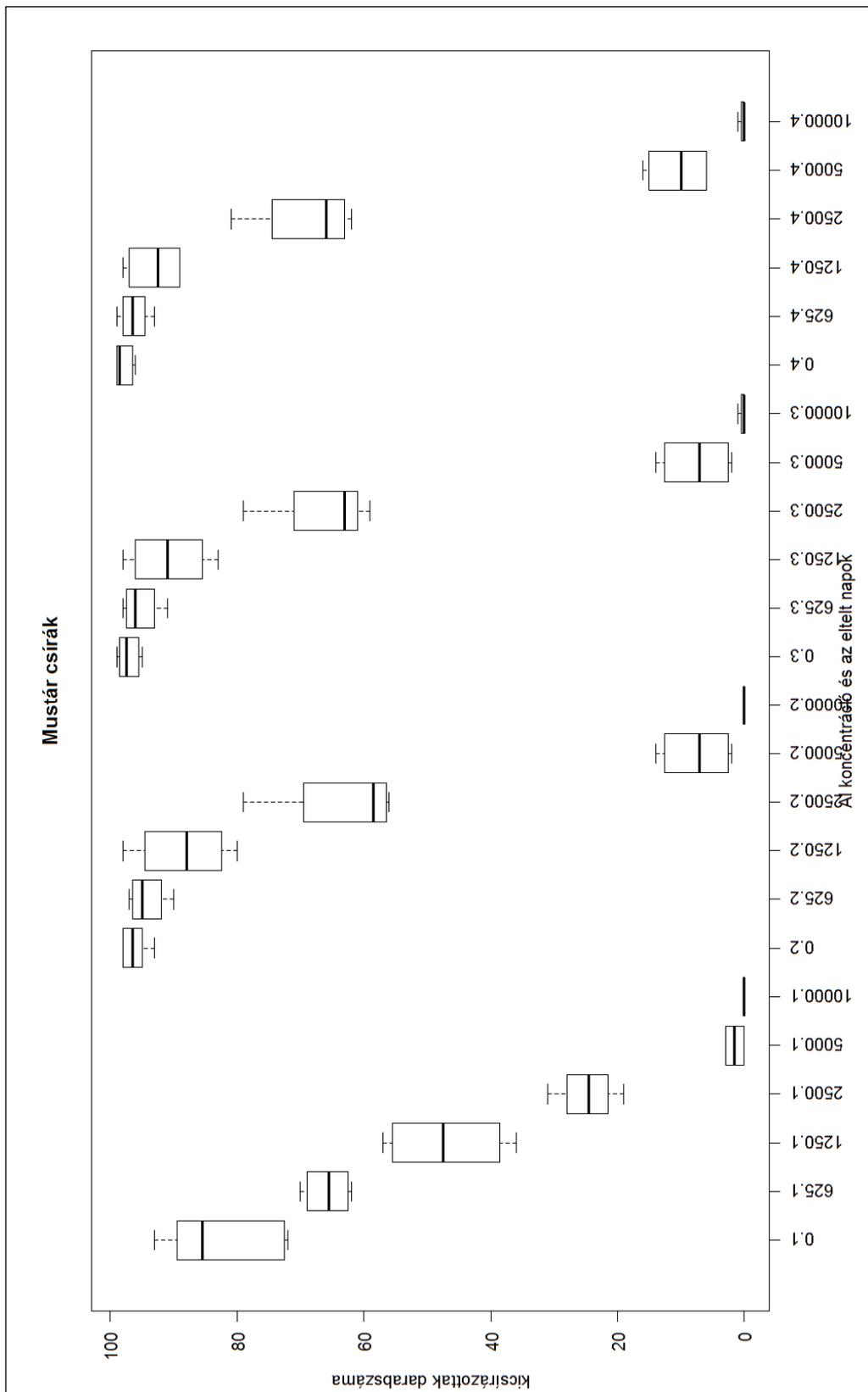
9. kép: A köles csírázása



10. kép: A rozs csírázása



11. kép: A len csírázása



12. kép: A mustár csírázása



13. kép: A 625 mg/l Al-mal kezelt köles növekedése. 2014. 03. 18. – 04. 07.  
Knop-féle tápoldattal locsolva: 03.27.-től. (saját felvételek)

A CSÍRÁZTATÁS PONTOS STATISZTIKAI EREDMÉNYEI:

A szignifikancia szintje piros: 0.000 (\*\*\*), zöld: 0.001 (\*\*), kék: 0.01 (\*)

B-H korrekció: Bonferroni-Holm-féle korrekció

Kezelés (Al mg/l)	Csírázási %	Fisher-féle p-érték	B-H korrekció
0	93.13		
625	92.25	0.163	0.372
1250	95.50	0.124	0.372
2500	92.25	0.635	0.635
5000	83.00	0.000	0.000
10000	47.50	0.000	0.000

1. táblázat: a köles csírázásának pontos statisztikai eredménye

Kezelés (Al mg/l)	Csírázási %	Fisher-féle p-érték	B-H korrekció
0	96.25		
625	94.00	0.216	0.432
1250	95.50	0.663	0.663
2500	84.00	0.000	0.000
5000	78.50	0.000	0.000
10000	2.00	0.000	0.000

2. táblázat: a rozs csírázásának pontos statisztikai eredménye

Kezelés (Al mg/l)	Csírázási %	Fisher-féle p-érték	B-H korrekció
0	85.75		
625	95.50	0.000	0.000
1250	96.00	0.000	0.000
2500	93.50	0.005	0.005
5000	67.00	0.000	0.000
10000	7.00	0.000	0.000

3. táblázat: a len csírázásának pontos statisztikai eredménye

Kezelés (Al mg/l)	Csírázási %	Fisher-féle p-érték	B-H korrekció
0	97.88		
625	96.25	0.127	0.127
1250	93.00	0.000	0.000
2500	68.75	0.000	0.000
5000	10.50	0.000	0.000
10000	0.25	0.000	0.000

4. táblázat: a mustár csírázásának pontos statisztikai eredménye

#### A CSÍRANÖVÉNYEK HOSSZ ÉS TÖMEGNÖVEKEDÉSÉNEK ÉRTÉKELÉSE

Kezelés (Al mg/l)	hossz	tömeg
625	0.000	0.000
1250	0.000	0.000
2500	0.000	0.000
5000	0.000	0.000
10000	NA	NA

5. táblázat: Az Al hatása a köles csírák hossz- és tömeggyarapodására – Dunnett-teszt

Kezelés (Al mg/l)	hossz	tömeg
625	0.000	0.000
1250	0.000	0.000
2500	0.000	0.023
5000	NA	NA
10000	NA	NA

6. táblázat: Az Al hatása a rozs csírák hossz- és tömeggyarapodására – Dunnett-teszt

Kezelés (Al mg/l)	hossz	tömeg
625	0.000	0.000
1250	0.000	0.000
2500	0.000	0.000
5000	NA	NA
10000	NA	NA

7. táblázat: Az Al hatása a len csírák hossz- és tömeggyarapodására – a Dunnett-teszt

Kezelés (Al mg/l)	hossz	tömeg
625	0.000	0.000
1250	0.000	0.000
2500	NA	NA
5000	NA	NA
10000	NA	NA

8. táblázat: Az Al hatása a mustár csírák hossz- és tömeggyarapodására – a Dunnett-teszt

#### A VEGETATÍV FEJLŐDÉS KORAI SZAKASZÁNAK VIZSGÁLATA – A PONTOS STATISZTIKAI EREDMÉNYEK

hh: hajtáshossz, ht: hajtástömeg, gyh: gyökérhossz, gyt: gyökértömeg

kezelés	darabszám	csírázási%	dunnett(hh)	dunnett(ht)	dunnett(gyh)	dunnett(gyt)
0	65	81.25				
625	69	86.25	1.000	0.292		
1250	68	85.00	0.033	0.338		
2500	52	65.00	0.039	0.001		
5000	57	71.25	0.001	0.017		
10000	50	62.50	0.479	0.970	0.002	0.023

9. táblázat: Az Al hatása a köles vegetatív fejlődésének korai szakaszára – a statisztikai elemzések pontos eredményei

kezelés	db	csírázási%	dunnett(hh)	dunnett(ht)	dunnett(gyh)	dunnett(gyt)
0	26.5	66.25				
625	30	75.00	0.986	0.892		
1250	32	80.00	0.718	0.636		
2500	29	72.50	0.486	0.430		
5000	28	70.00	0.984	0.932		
10000	31	77.50	0.999	0.999	0.326	0.001

10. táblázat: Az Al hatása a rozs vegetatív fejlődésének korai szakaszára – a statisztikai elemzések pontos eredményei

kezelés	darabszám	csírázási%	dunnett(hh)	dunnett(ht)	dunnett(gyh)	dunnett(gyt)
0	32.67	81.67				
625	33	82.50	0.000	0.005		
1250	33	82.50	0.000	0.000		
2500	30	75.00	0.250	0.000		
5000	25	62.50	0.000	0.000		
10000	29	72.50	0.000	0.000	0.162	0.021

11. táblázat: Az Al hatása a len vegetatív fejlődésének korai szakaszára – a statisztikai elemzések pontos eredményei

kezelés	darab	csírázási%	dunnett(hh)	dunnett(ht)
0	59.5	74.38		
625	69	86.25	0.204	0.000
1250	63	78.75	0.803	0.000
2500	57	71.25	0.000	0.000
5000	57	71.25	0.000	0.000
10000	66	82.50	0.000	0.000

12. táblázat: Az Al hatása a mustár vegetatív fejlődésének korai szakaszára – a statisztikai elemzések pontos eredményei

## 10.ÁBRÁK, GRAFIKONOK, KÉPEK ÉS TÁBLÁZATOK JEGYZÉKE

1. táblázat: Az Al jellemzői
  2. táblázat: A Knop-féle tápoldat összetétele
  3. táblázat: a kicsírázott köles magok átlaga és szórása az egyes napokon, az alkalmazott Al konc. függvényében
  4. táblázat: A kicsírázott rozs szemtermések átlaga és szórása az egyes napokon, az alkalmazott Al koncentráció függvényében.
  5. táblázat: A kicsírázott lenmagok átlaga és szórása az egyes napokon, az Al konc. függvényében.
  6. táblázat: A kicsírázott magok átlaga és szórása az egyes napokon, az alkalmazott Al koncentráció függvényében.
  7. táblázat: Az Al hatása a köles csírák hossz és tömeggyarapodására
  8. táblázat: Az Al hatása a rozs csírák hossz és tömeggyarapodására
  9. táblázat: Az Al hatása a len csírák hossz és tömeggyarapodására
  10. táblázat: Az Al hatása a mustár csírák hossz és tömeggyarapodására
  11. táblázat: Az Al hatása a csírázási %-ra és a köles hajtásának és gyökerének hosszára, ill. tömegére
  12. táblázat: Az Al hatása a csírázási %-ra és a rozs hajtásának és gyökerének hosszára, ill. tömegére
  13. táblázat: Az Al hatása a csírázási %-ra és a köles hajtásának és gyökerének hosszára, ill. tömegére
  14. táblázat: Az Al hatása a csírázási %-ra és a köles hajtásának hosszára, ill. tömegére
- 
1. ábra: A savas eső által kipusztított erdőrészlet Csehországban
  2. ábra: A kísérlet példanövényeinek magvai  
a: köles, b: rozs, c: len, d: mustár
  3. ábra: Az Al hatása a köles csírázására a csírázás 4 napján értékelt adatok alapján
  4. ábra: A köles csírázásának időbeli dinamikája a különböző Al konc-k hatására

5. ábra: A rozs csírázásának időbeli dinamikája a különböző Al koncentrációk hatására.
6. ábra: Az Al hatása a rozs csírázására a csírázás 4. napján értékelt adatok alapján
7. ábra: A len csírázásának időbeli dinamikája a különböző Al koncentrációk hatására.
8. ábra: Az Al hatása a len csírázására a csírázás 4. napján értékelt adatok alapján
9. ábra: A mustár csírázásának időbeli dinamikája a különböző Al koncentrációk hatására.
10. ábra: Az Al hatása a mustár csírázására a csírázás 4. napján értékelt adatok alapján
11. ábra a, b: Az Al hatása az köles csírák hosszára és tömegére
12. ábra a, b: Az Al hatása az rozs csírák hosszára és tömegére
13. ábra a, b: Az Al hatása az len csírák hosszára és tömegére
14. ábra a, b: Az Al hatása az mustár csírák hosszára és tömegére
- 15 a, b, c, d ábra: Az Al hatása a kölesre: hajtáshossz, hajtástömeg, gyökérhossz és gyökértömeg tekintetében
- 16 a, b, c, d ábra: Az Al hatása a rozsra: hajtáshossz, hajtástömeg, gyökérhossz és gyökértömeg tekintetében
- 17 a, b, c, d ábra: Az Al hatása a lenre: hajtáshossz, hajtástömeg, gyökérhossz és gyökértömeg tekintetében
- 18 a, b ábra: Az Al hatása a mustárra: hajtáshossz, hajtástömeg tekintetében

## MELLÉKLETEK ÁBRÁINAK ÉS TÁBLÁZATINAK JEGYZÉKE

1. kép: A Föld talajainak pH-ja
2. kép: Európa talajainak a kémhatása
3. kép: köles
4. kép: rozs
5. kép: házi len
6. kép: fehér mustár
7. kép: A növénynevelő kamra
8. kép: A hőlég-sterilizátor

9. kép: A köles csírázása
10. kép: A rozs csírázása
11. kép: A len csírázása
12. kép: A mustár csírázása
13. kép: A 625 mg/l Al-mal kezelt köles növekedése.

#### A CSÍRÁZTATÁS PONTOS STATISZTIKAI EREDMÉNYEI:

1. táblázat: a köles csírázásának pontos statisztikai eredménye
2. táblázat: a rozs csírázásának pontos statisztikai eredménye
3. táblázat: a len csírázásának pontos statisztikai eredménye
4. táblázat: a mustár csírázásának pontos statisztikai eredménye
5. táblázat: Az Al hatása a köles csírák hossz -és tömeggyarapodására
6. táblázat: Az Al hatása a rozs csírák hossz- és tömeggyarapodására
7. táblázat: Az Al hatása a len csírák hossz- és tömeggyarapodására
8. táblázat: Az Al hatása a mustár csírák hossz- és tömeggyarapodására

## 11. IRODALOM JEGYZÉK

### INTERNETES HIVATKOZÁSOK ÉS FORRÁSOK

1. <http://www.lenntech.com/periodic/elements/al.htm> letöltve: 2013. november 10.
2. <http://www.biologie.uni-hamburg.de/b-online/e16/16a.htm> letöltve: 2014. március 9.
3. <http://www.vilaglex.hu/Lexikon/Html/Eanyag.htm> letöltve: 2014. március 2.
4. [www.fome.hu/leolesek\\_elelmiszer/](http://www.fome.hu/leolesek_elelmiszer/) letöltve: 2014. március 2
5. <http://www.webbeteg.hu/keresok/adalekanyagok/223/> letöltve: 2014. március 2.
6. [http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCwQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.mgk.u-szeged.hu%2Fdownload.php%3FdocID%3D6650&ei=3-YMU8f5FeWxywOuZg&usq=AFQjCNEzsufN581OMKVfBi3c\\_YijAbryqg&bvm=by.61725948.d.bGQ](http://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=2&ved=0CCwQFjAB&url=http%3A%2F%2Fwww.mgk.u-szeged.hu%2Fdownload.php%3FdocID%3D6650&ei=3-YMU8f5FeWxywOuZg&usq=AFQjCNEzsufN581OMKVfBi3c_YijAbryqg&bvm=by.61725948.d.bGQ) letöltve: 2012. november 10.
7. [http://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/Soil\\_Aluminum\\_and\\_test\\_interpretation.htm](http://www.spectrumanalytic.com/support/library/ff/Soil_Aluminum_and_test_interpretation.htm) letöltve 2012. november 18.
8. [http://www.staff.u-szeged.hu/~dome/hu/femionok\\_ttk\\_2006osz/femionok\\_20061117.pdf](http://www.staff.u-szeged.hu/~dome/hu/femionok_ttk_2006osz/femionok_20061117.pdf) letöltve: 2012. október 22.
9. [http://real-d.mtak.hu/213/1/Simon\\_Laszlo.pdf](http://real-d.mtak.hu/213/1/Simon_Laszlo.pdf) letöltve: 2012. október 22.
10. <http://egykalapalatt.info/index.php?title=T%C3%A1pelemek> letöltve : 2013. március 22.
11. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0047\\_Salma\\_Kornyezetkemia/adatok.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0047_Salma_Kornyezetkemia/adatok.html) 2013. október 25.
12. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032\\_fenntarthato\\_fejlodes/adatok.htm](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0032_fenntarthato_fejlodes/adatok.htm) 2013. október 25.
13. [http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010\\_1A\\_Book\\_adaptalt\\_01\\_Talajokologia/adatok.html](http://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_adaptalt_01_Talajokologia/adatok.html) 2013. október 25
14. [http://kemia\\_foci.mindenkilapja.hu/](http://kemia_foci.mindenkilapja.hu/) 2013. október 22.
15. <http://kockazatos.hu/anyag/alum%C3%ADnium> 2013. november 10.
16. <http://www.inchem.org/documents/iarc/vol34/aluminiumproduction.html> 2014. február 2.
17. <http://tudatosvasarlo.hu/kerdes/tenyleg-nincsenek-betiltva-aluminium-edenyek-es-nem-karosak-hivatalos-helyr-0> 2013. október 18.
18. [http://www.alzheimers.org.uk/site/scripts/documents\\_info.php?documentID=102](http://www.alzheimers.org.uk/site/scripts/documents_info.php?documentID=102) 2014 február 2.
19. <http://nzic.org.nz/ChemProcesses/production/1F.pdf> 2013. október 25.
20. <http://www.r-project.org> 2014. március 9.

## NYOMTATOTT FORRÁSOK

- 21: Marschner, H.: Mineral Nutrition of Higher Plants. London, San Diego, New York, Boston, Sydney, Tokyo.: Academic Higher Press, 1995. P. 605-623
- 22: Rengel, Z.: Al cycling in the soil-plant-animal-human continuum. *BioMetals*. 2004. 17. p. 669-689.
- 23: Ma, J. F. Ryan, P. R. & Delhaize, E.: Al tolerance in plants and the complexing role of organic acids. *Trends in Plant Science*. 2001. 6. p.273-278
- 24: Ciamporová, M.: Morphological and structural responses of plant to Al at organ, tissue and cellular levels. *Biologia Plantarum*. 2002. 2. p. 161-171
- 25: Kikui, S., Sasaki, T., Meakawa, M., Miyao, A., Hirochika, H., Marsumoto, H. & Yamamoto, Y.: Physiological and genetic analyses of Al tolerance in rice, focusing on root growth during germination. *Journal of Inorganic Biochemistry*. 2005. 99. p. 1837-1844
- 26: C.C. Simoes. Genetic and molecular mechanisms of aluminum tolerance in plants. *Genet. Mol. Res*. 2012. 11. p. 1949-1957
- 27: Jamal, S. N., Iqbal, M. Z., Athar, M.: Effect of aluminum and chromium on the germination and growth of two *Vigna* species. *Int. J. Environ. Sci. Tech*. 2006. 3.1. p 55-58
- 28: Ma, Q. , Rengel, Z. & Kuo, J.: Al toxicity in rye (*Secale cereale*): root growth and dynamics of cytoplasmic Ca<sup>2+</sup> in intact root tips. *Annals of Botany*. 2002. 89. p. 241-244
- 29: Wong, M. H. & Bradshaw, A. D.: A comparison of the toxicity of heavy metals, using root elongation of rye grass, *Lolium perenne*. *New Phytol*. 1989. 91. p. 255-261
- 30: Li, X. F., Ma, J. F., & Matsumoto, H.: Pattern of Al-induced secretion of organic acids differs between rye and wheat. *Plant Physiology*. 2000. 123. p. 1537-1543
- 31: Metali, F., Salim, K. A., & Bursalem, D. F. R.P.: Evidence of foliar Al accumulation in local, regional and global datasets of wild plants. *New Phytologist*. 2012. 193. p. 637-649
- 32: Niedziela, A., Bednarek, P. T., Cichy, H., Budzianowski, G., Killan, A. & Aniol A.: Al tolerance association mapping in triticale. *BMC Genomics*. 2012. 13.
- 33: Rout, G. G., Samantaray, S. & Das, P.: Al toxicity in plants: a review. *Agronomie*. 2001. 21. 3-21.
- 34: Jamal, S. N., Iqbal M.Z., & Athar, M.: Phytotoxic effect of Al and Cr on the germination and early growth of wheat (*Triticum aestivum*) varietas Anmol and Kiran. *Int. J. Environ. Sci. Tech*. 2006. 3. 4. p. 411-416
- 35: Alamgir A. N. M., & Akhter, S.: Effect of Al (Al<sup>3+</sup>) on seed germination and seedling growth of wheat (*Triticum aestivum* L.). *Bangladesh J. Bot*. 2009. 38. 1. 1-6

- 36: Schmidt H.: Ásványi elemek vizsgálata Bp-i közterületek, növényeiben, különös tekintettel egyes nehézfémekre, 1999 szakdolgozat, ÁOTE, Budapest
- 37: Kádár I.: A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződéseinek kémiai elemekkel. Budapest. Környezetkémiai és Területfejlesztési Minisztérium: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet.
- 38: Takács S.: A nyomelemek nyomában. Budapest. Medicina Könyvkiadó Zrt. 2001. p.: 57-64
- 39: Michéli É., Simon B., Szegi T. Stefanovits P.: Talajtani alapismeretek. Gödöllő. 2006. p.: 36-41
- 40: Tuba Z., Szerdahelyi T., Engloner A., Nagy J.: Botanika II. (Rendszertan). Nemzeti Tankönyvkiadó. Budapest 2007. p.: 428, 433, 460, 483
- 41: Reiczigel J., Harnos A., Solymosi N.: Biostatisztika nem statisztikusoknak. Nagykovács. Pars Kft. 2010. p: 313-5, 322-4, 377-8
- 42: Alumínium In: Élesztős L. (főszerkesztő) Magyar Nagylexikon Budapest. Magyar Nagylexikon Kiadó. 1999. 1. kötet, p.: 681-2
- 43: Aluminózis In: Élesztős L. (főszerkesztő) Magyar Nagylexikon Budapest. Magyar Nagylexikon Kiadó. 1999. 1. kötet, p.: 686.
- 44: Köles In: Élesztős L. (főszerkesztő) Magyar Nagylexikon Budapest. Magyar Nagylexikon Kiadó. 2000. 11. kötet, p.: 420.
- 45: Len In: Élesztős L. (főszerkesztő) Magyar Nagylexikon Budapest. Magyar Nagylexikon Kiadó. 2001. 12. kötet, p.: 1.
- 46: Mustár In: Élesztős L. (főszerkesztő) Magyar Nagylexikon Budapest. Magyar Nagylexikon Kiadó. 2001. 15. kötet, p.: 389.
- 47: Rozs In: Élesztős L. (főszerkesztő) Magyar Nagylexikon Budapest. Magyar Nagylexikon Kiadó. 2002. 15. kötet, p.: 639