

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

IPARI HULLADÉKOK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

Tóth Brigitta

Témavezető: Dr. Lévai László C.Sc.
egyetemi docens



Debreceni Egyetem
Kerpely Kálmán (növénytermesztési- és kertészeti tudományok) Doktori Iskola

Debrecen
2012

1. BEVEZETÉS

A környezetünk védelme napjaink legfontosabb feladatainak egyike. A Föld sérülékeny és nem képes a növekvő környezeti terhelések elviselésére károsodások nélkül. Arra is rá kellett jönni, hogy nincsenek elzárható, kirekeszthető, elkülöníthető jelenségek, a Földön minden mindennel összefügg. Különösen igaz ez a környezet változásaira. A braziliai őserdők folyamatos irtása csak látszólag egy ország ügye. A leginkább fejlett és a leggyorsabban fejlődő országok gazdasági növekedése sem csupán az adott ország belügye, hiszen a magas termelési szint, vagy a rohamos fejlődés olyan szennyező anyag kibocsátással jár, aminek a következményeit valamennyien érezhetjük.

Közismert a fokozott széndioxid, vagy a kéndioxid kibocsátás hatása. A klíma folyamatos melegedésén túl a savas esők a növényzet pusztulását eredményezik. A talajaink elsavanyodása azonban nem csupán a savas esők következménye. A több éves növénykultúrák, mint amilyenek az erdők, a végkitermelésével jelentős mennyiségű, a fák anyagában lévő, de valójában az erdő talajából származó tápanyag tűnik el az adott területről. Számottevően csökken a talajok puffer kapacitása, és a pH is, aminek eredményeként fokozódik a nehézfémek felvétele. Az alumínium bár nem számít nehézfémnek, fiziológiai hatásai azonosak. A fokozott alumínium felvétel eredményeként károsodnak a sejt membránjai, az anyagcsere szabályozottsága megszűnik, a növény elpusztul. Az európai erdők pusztulásának fő okát többen a fokozott alumínium felvételben látják. Hasonlóan növekszik más nehézfémek felvétele is a pH csökkenésével. Ma Magyarország lakossága a legtöbb friss zöldséget és gyümölcsöt alig ellenőrzött formában fogyasztja, hiszen a piacok kis kertekből származó termékeiről igen gyérek a vizsgálati adatok, ha vannak is, azok a növényvédő szer tartalomra vonatkoznak. A lakosság nehézfém terhelése a jelenlegi viszonyok mellett látens veszélyforrás.

Az emberiség életében alapvető változásokat hozott az 1950-es években megindult tudományos – technikai fejlődés. Az energiaforrások feltárása, termelésbe vonása, a termelés automatizálása, a polimer anyagok széles körű felhasználása a termelékenységet megsokszorozta. Századunkban az ipari termelés 50-szeresére nőtt, és ennek 4/5-e 1950 óta történt. Az 1990-es évek ipari termelésének növekedése közel akkora, mint az 1938-40-es évek végén Európa teljes ipari tevékenysége volt. A természet- és környezetvédelem, a II. Világháború után a felgyorsuló ipari, gazdasági fejlődés hatásainak az eredménye. A természeti környezetben végbemenő kedvezőtlen változások az élet fennmaradását is veszélyeztethetik.

A levegőszennyezés sok helyen katasztrofális. Az erőművek, gyárak, vegyi üzemek, gépkocsik nagy mennyiségű CO₂-ot, SO₂-ot, NO_x-ot, CO-ot, vegyi anyagokat, port, nehézfémeket juttatnak a légterbe és megváltoztatják a levegő összetételét.

A levegő összetételében a legnagyobb változást a fosszilis anyagok okozzák, ezek elégetése során 1860 és 1980 között 185 milliárd tonna szén került a légkörbe. Napjainkban az így kibocsátott szén mennyiségét 5 milliárd tonnára becsülik. A légkör CO₂ tartalma 1810-ben 260-270 ppm volt, ami 1985-re 345 ppm-re emelkedett. Egyesek szerint 550-600 ppm-et is elérheti, ha nem változtatunk termelői szokásainkon (Brown, 2006).

Az égés során felszabaduló CO₂ más gázokkal együtt megnöveli a Földet körülvevő levegőréteg gáztartalmát, ami egy üvegházhoz hasonlóan, gátolja a Földről visszaverődő hősugarak világűrbe áramlását. Az antropogén eredetű légszennyező anyagok hozzájárulása a globális üvegházhatás kialakulásához a következőképpen alakult 1986-ban: CO₂ 50 %, metán 19 %, halogénezett szénhidrogének 17 %, troposzferikus ózon 8 %, N₂O 4 %, sztratoszferikus vízgőz 2 %. Becslések szerint a jelenlegi tendenciák alapján a múlt század közepéhez képest a 2030-2050 – es évekre a légkör CO₂ tartalma megkétszereződhet és ez 1,5 - 4,5 °C-os átlaghőmérséklet emelkedést okozhat (Murray, 1995). A légkörbe jutó SO₂, NO_x, CO, CO₂ és CH₄ jelentős része savas eső, savas ülepedés formájában visszakerül a Föld felszínére, és nagyban hozzájárul talajaink elsavanyodásához.

2. TÉMAFELVETÉS

A megtermelt növények csökkentik az üvegházhatást, mert megkötik a CO₂-t, amely az üvegházhatás előidézéséhez megközelítőleg 50 %-kal járul hozzá. A műtrágyák előállítása nemcsak költséges, de jelentős energiaigényű folyamat is. A műtrágya részarányának csökkentése a növénytermesztésben elengedhetlenné vált napjainkra. Ennek egyik oka, hogy más ipari tevékenységek során nagy mennyiségben képződnek olyan melléktermékek, amelyekben jelentős mértékben található meg a szükséges növényi tápanyagok, melyek magas szerves anyag tartalommal is rendelkeznek. Ez utóbbi alapvető életfeltétele a talajban lévő mikroorganizmusoknak is, melyek nélkül a fenntartható növénytermelés nem valósítható meg. A magas műtrágya árak mellett a keletkező hulladékok hasznosítása gazdaságilag is indokolt. Végül a műtrágya felhasználás csökkentésének másik indoka, hogy a műtrágya helytelen használata környezeti szennyeződések okozhat.

Munkám során arra akarok megoldást találni, hogy a különböző ipari, - gyártási folyamatok, esetleg a lakossági felhasználás során keletkező melléktermékeket, hulladékokat, amelyeknek

nagy a mikro-, makroelem - tartalma, és nem jelentenek veszélyt a környezetre, ne hulladékként, hanem növényi tápanyag visszapótló anyagként kezeljük, melyek felhasználásával csökkenthető lenne a CO₂ és más üvegházhatású gázok légkörbe kerülése.

Kísérleteimben vizsgáltam az alkalmazott hulladékok, melléktermékek (a füstgázpor, a szennyvíziszap-komposzt, az extrudált mákgubó, a szennyvíziszap, a köszörűiszap és a mésziszap) csírázásra gyakorolt hatását, kémiai elemtartalmát és a növényekre gyakorolt fiziológiai hatását. A felsorolt anyagokon kívül még vizsgáltam a kormot, a revesavat, a cellulóz iszapos olajt és az olajos emulziót, de terjedelmi korlátok miatt, ezeket az eredményeket nem szerepeltetem dolgozatomban.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

A növényi minták 85 °C-on történt szárítása és darálása után 1 g mennyiségét mértünk ki analitikai mérlegen. Az előroncsoláshoz 10 cm³ cc. HNO₃-at használtunk 60 °C-on, 30 percig. A főroncsolás előtt 3 cm³ H₂O₂-ot adagoltunk a mintához. A főroncsolás 120 °C-on 90 percig tartott. A roncsolmány lehűlése után 50 cm³-re egészítettük ki ioncserélt vízzel, majd Filtrak 388 szűrőpapírral szűrtük.

A talajminták és a vizsgálati anyagok előroncsolásához 15 cm³ cc. HNO₃-at alkalmaztunk 60 °C-on, 30 percig. A főroncsolás előtt 5 cm³ H₂O₂-ot adagoltunk hozzá. A főroncsolás 120 °C-on 270 percig tartott. A roncsolmány lehűlése után 50 cm³-re töltöttük ioncserélt vízzel, majd Filtrak 388 szűrőpapírral szűrtük.

Az oldatok előállításához Merck gyártmányú (E. Merck, Darmstadt, Németország) analitikai minőségű HNO₃ (65 %) oldatot használtunk. A törzsoldatok készítéséhez Merck és BDH gyártmányú standard oldatokat, valamint REANAL gyártmányú (Budapest) analitikai tisztaságú szilárd vegyszereket alkalmaztunk.

Analitikai meghatározáshoz egy OPTIMA 3300 DV típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométert (ICP-OES) alkalmaztunk.

3. 2. Relatív klorofill tartalom meghatározása

A klorofill méréshez a növények második illetve harmadik legfiatalabb, de már teljesen kifejlett leveleit használtam. A relatív klorofill tartalmat SPAD-502 (MINOLTA, Japán) klorofill mérővel mértem. A táblázatokban az eredményeket SPAD-értékként szerepeltetem.

3. 3. Klorofill-*a*, *b* és karotinoid meghatározása spektrofotometrián

Az abszolút klorofill *a*, *b* és karotinoid tartalmat Metertek SP 80 Spektrometerrel mértem Moran és Porath (1980) alapján. 50 mg friss levélmintát 5 ml N,N-dimetil-formamidban oldottam 4 ° C-on, 72 órán keresztül. Ezt követően a klorofill-*a* mennyiségét 664 nm-en, a klorofill-*b*-t 647 nm-en, a karotinoid-tartalmat 480 nm-en mértem.

3. 4. Száraz tömeg mérése

A száraz tömeg meghatározásához a mintákat 85°C-on tömegállandóságig szárítottam, majd szobahőmérsékletre történt visszahűtés után analitikai mérlegen (OHAUS) mértem.

3. 5. Toxicitási teszt

A toxicitási teszthez fehér mustármagokat (*Sinapsis alba* L.) használtam.

A vizsgálati anyagokat és a szűrletet a Petri csészében lévő szűrőpapírra helyeztem, majd nedvesítettem és nedves szűrőpapírral fedtem. A mustár magvakból minden Petri csészébe 100 szemet raktam. Összesen 6 kezelést és egy kontrollt állítottam be. Az ismétlések száma három volt.

3. 6. Tápoldaton nevelt növényekkel végzett vizsgálatok

Kísérleti növényként kukoricát (*Zea mays* L. cv. Norma sc) és napraforgót (*Helianthus annuus* L. cvs. Arena) használtam. A magvak felületét 5x-ös hígítású H₂O₂-dal sterilizáltam, majd steril desztillált vízzel többször öblítettem, végül 10 mM-os CaSO₄ oldatban 4 óráig áztattam a jobb csírázás érdekében. A magvakat nedves szűrőpapír között csíráztattam, úgy, hogy a csíranövények polaritása természetes legyen. A termosztát hőmérséklete 22 °C volt. A 4 cm-es hipokotilú napraforgó, és az ugyanekkor koleoptillel bíró kukorica csíranövényeket tápoldatra helyeztem. A növények neveléséhez az alábbi összetételű tápoldatot használtam: 2,0mM Ca(NO₃)₂, 0,7mM K₂SO₄, 0,5mM MgSO₄, 0,1mM KH₂PO₄, 0,1mM KCl, 10μM H₃BO₃, 1μM MnSO₄, 1μM ZnSO₄, 0,2 μM CuSO₄, 0,01μM(NH₄)₆Mo₇O₂₄. A növények a vasat 100 μM Fe(III)-EDTA formában kapták.

A szűrletek elkészítéséhez 10 g dm⁻³ vizsgálati anyagot használtam. 100 ml desztillált vízben 2 órán keresztül rázógépen ráztam, majd vákuum segítségével szűrtem.

A vizsgált anyagok vizes szűrletét - különböző oldódási képességük miatt - eltérő mennyiségben adtam a tápoldathoz. 82 ml dm⁻³ a füstgázporból, 92 ml dm⁻³ a szennyvíziszap-komposztból, 91 ml dm⁻³ az extrudált mákgubóból, 97 ml dm⁻³ a szennyvíziszapból, 86 ml dm⁻³ a köszörűiszapból és 100 ml dm⁻³ a mésziszapból.

A natív anyagok vizsgálatánál 2 g dm⁻³ koncentrációt alkalmaztam.

A növények nevelésére a Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni és Növényélettani Tanszék klímaszobájában került sor. A környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás 300 μmol m⁻²s⁻¹, a hőmérséklet periodicitása 25/20°C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65-75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra volt.

3. 7. A növénytörzsek fénymikroszkópos vizsgálata

Fénymikroszkópos vizsgálathoz a mintákat a középér és levélszél közötti levélfél közepéről vettük, a második kifejlett levélből. A kukoricánál a 11., a napraforgónál a 15. napon történt a mintavétel. Első lépésben a mintákat fixáltuk 70 %-os alkohol, formalin és ecetsav 95:5:5 arányú elegyében, melyben egy napig álltak a minták. Ezután alkoholos mosás következett (40-20 %). Felszálló koncentrációjú alkohol sorban (25 %, 50 %, 70 %, 90 %, 96 %, absz.alkohol) víztelenítettük a mintákat. Ezt követően abszolút alkohol és benzol 2: 1 arányú elegyében 1 órán keresztül áztak a minták. Majd tiszta benzolba kerültek (5 sec.), ahol üvegszerűen áttetszővé váltak. A benzolhoz parafint adagoltunk és 30-40 °C-on termosztátban fél napot álltak. Fél nap után a mintatartó edények kupakját eltávolítottuk, és megvártuk, amíg a benzol elpárolog (3 nap). Következő lépés a rögzítés volt, melynek során előre tisztított tárgylemezre gombostűnyit cseppentettünk tojásfehérje, glicerin 1:1 arányú elegyből, melyhez csipetnyi mennyiségű timólt is adtunk. A festést a deparaffinálás előzte meg, ahol a paraffint benzollal oldottuk ki. Festés során 0,2 %-os toluidinkék vizes oldatát használtuk. ZEISS Axioskop 2 plus fénymikroszkópot, SONY Hyper HAD color video kamerát és DigitPlan programot használtunk a felvételek elkészítéséhez. A metszetek az ELTE Növényfiziológiai Tanszékén, a felvételeket 200x nagyításban a DE AGTC MÉK Mezőgazdasági Növényteni és Növényélettani Tanszékén készítettük. A kloroplasztisz számoláshoz 6 metszetet vettünk igénybe, metszetenként 10 sejtben számoltuk a kloroplasztiszokat.

3. 8. A növényminták elektronmikroszkópos vizsgálata

Elektronmikroszkópos vizsgálathoz a mintákat hasonlóan a fénymikroszkópos vizsgálatokhoz, a középér és levélszél közötti levélfél közepéről vettük, a második kifejlett levélből. A kukoricánál a 11., a napraforgónál a 15. napon történt a mintavétel. A gyökérből való mintavétel a gyökér csúcs mögül körülbelül 3 mm-re, a gyökérszőr képzési zóna kezdeténél történt. A mintákat 2,5 %-os glutár-aldehiddel (0,1 M foszfát-puffer, pH 2) prefixáltuk, szobahőmérsékleten, 3 órán keresztül. Ezt követően 2 órán keresztül foszfát-pufferrel mostuk (pH 2). A mosás után 2 órás postfixálás következett 1%-os OsO₄-dal, majd ismét fél óra mosás 0,1 M foszfát-pufferrel. Felszálló koncentrációjú alkohol sorban (25 %, 50 %, 70 %, 90 %, 96 %, absz.alkohol) való víztelenítés után a metszeteket propilén-oxid és műgyanta keverékével infiltráltuk 1 órán keresztül, majd egy éjszakán át tiszta műgyantában állt. A metszetek tiszta műgyantában 3 napig, 60 ° C-on álltak. ULTRACUT Reichert –Jung ultra mikrotonnal (gyémántkéses) 70 nm vastag metszetek vágunk, amelyeket réz-paládium grid rács-ra vittek fel. Festés során 1 %-os metanolos uracil-acetátban 6 percig áztattuk a mintákat, majd 4 percig ólom-citrátos mosás után desztillált vizes mosás következett. HITACHI 7100 transzmissziós elektronmikroszkópot, Mega View III. kamerát és alySIS Pro 3.2 (Soft Imaging System GmbH) programot használtunk a felvételek elkészítéséhez. A felvételek az ELTE Növényyszervezettani Tanszékén készültek.

3. 9. Az eredmények statisztikai kiértékelése

Az eredmények kiértékeléséhez Microsoft Excel 2003 és Sigma Plot 8.0 verziót használtam.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4. 1. A vizsgált melléktermékek hatása a mustár csírázására

A mustár az egyik legérzékenyebb növényünk, ezért toxicitási vizsgálatokban általánosan használt. Az 1. táblázatban foglaltam össze a füstgázpor, a szennyvíziszap-komposzt, az extrudált mákgubó, a szennyvíziszap, a köszörűiszap és a mésziszap hatását a mustár csírázására.

1. táblázat: A vizsgált anyagok (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszörűiszap, mésziszap) hatása a mustár csírázására, n=3± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05; **p<0,01;***p<0,001.

Mérési napok	Kezelések			
	Kontroll	Füstgázpor	Komposzt	Extr. mákgubó
Csírázási %				
2.	25,67±8,74	1,67±1,53**	25,00±16,64	42,67±2,52*
3.	56,00±6,66	1,67±0,00**	57,67±8,74	64,34±0,58
4.	68,33±7,02	1,67±0,00*	68,67±6,43	72,01±3,21
5.	79,00±8,62	1,67±0,00	73,34±3,06	76,68±3,06

Mérési napok	Kezelések		
	Szennyvíziszap	Köszörűiszap	Mésziszap
Csírázási %			
2.	63,67±1,53**	4,67±2,08*	3,67±1,15*
3.	84,34±2,52	9,67±1,00**	3,67±0,00**
4.	86,67±1,53	13,00±2,08	3,67±0,00*
5.	89,00±2,52	17,00±3,46	5,00±0,58

A csírázási százalék a szennyvíziszapnál volt a legmagasabb. A második mérési napon az extrudált mákgubónál és a szennyvíziszapnál mért csírázási százalék meghaladta a kontroll értéket. A vizsgálat során a csírázási százalékon kívül vizsgáltam a csírázási erélyt is, mint az egyik legfontosabb értékmérő tulajdonságot. Az extrudált mákgubó esetében 166 %-kal, a szennyvíziszapnál 258 %-kal volt nagyobb a csírázási erély. A fokozott csírázási erély azt jelenti, hogy a magvak túlnyomó része hamar és egy időben csírázik, ami a kelést is egyidejűvé teszi, aminek eredményeképpen a növényállomány is kiegyenlített lesz, ez pedig megkönnyíti bármely szántóföldi kultúra munkálatait. A füstgáz por és a mésziszap vizsgálatokor minimális csírázást tapasztaltam, ezen anyagok vizsgálatokor gátolt volt a csírázás. Ezt követően vizsgáltam az alkalmazott anyagok vizes szűrletének hatását a csírázási százalékra. Az eredményeket a 2. táblázat mutatja be. A szűrletek vizsgálatokor a csírázási százalékok több esetben javultak. A füstgázpornál, a komposztnál, a köszörűiszapnál, a

mésziszapnál nőtt a csírázási százalék, amikor a vizsgált anyagok szűrletén csíráztattam a magvakat. Míg a szennyvíziszapnál csökkent a csírázási százalék.

2. táblázat: Különböző kezelések hatása a mustár csírázására, a felsorolt anyagok szűrletének felhasználásával, n=3± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

Kezelések				
Mérési napok	Kontroll	Füstgázpor	Komposzt	Extr. mákgubó
Csírázási %				
2.	19,00±16,64	4,00±5,20	20,67±11,02	8,00±9,54
3.	31,33±9,24	8,33±1,53***	38,67±3,61	13,67±3,06
4.	52,33±2,00	12,33±2,00	61,67±7,55	32,00±6,66
5.	62,66±4,16	20,00±0,58	68,34±4,93	43,67±2,31
6.	70,99±6,43	27,67±0,58	75,01±4,93	55,34±2,31

Kezelések			
Mérési napok	Szennyvíziszap	Köszőrűiszap	Mésziszap
Csírázási %			
2.	11,67±5,51	13,33±7,02	32,67±2,52
3.	19,67±0,00**	23,00±2,08	50,00±3,06
4.	30,34±2,31	31,67±7,51	66,67±5,03
5.	37,34±0,00	38,67±1,00	74,34±4,04
6.	52,34±8,66	50,00±2,89	79,67±4,16

4. 2. A vizsgálat anyagok szűrletének vizsgálata

4. 2. 1. A vizsgált anyagok szűrletének hatása a tápoldaton nevelt növények elemfelvételére és elemmegoszlására

Bármely elem fiziológiai hatása akkor közvetlen, amennyiben azt a növény felveszi, és ez bekerül az élő sejtbe. A felvett ionokat a növény a hajtás különböző részeibe szállítja a transzspirációs árammal. A toleráns növényekre jellemző, hogy a számukra veszélyt jelentő elemeket az anyagcseréjükben kirekesztik, azáltal, hogy kiválasztják azokat a vakuólumba. Az érzékeny növények viszont még a gyökereikből sem minden esetben tudják a toxikus elemeket elszállítani. A gyökérben felhalmozódva képesek a membránfunkciók megváltoztatására, de több esetben ozmotikus problémát is okozhatnak.

Vizsgálataimat kukorica és napraforgó növényekkel végeztem, mivel az egy- és kétszikűek tápanyagfelvételében, a felvétel mechanizmusában jelentős különbségek vannak.

A 3-4. táblázatokban a vizsgált elemek koncentrációi láthatók a kukorica hajtásában és gyökérében a vizsgált anyagok szűrletével való kezelés hatására.

3. táblázat: A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Ca, Fe, K, Mg, K, S) különböző melléktermékek szűrletének hatására (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mézsiszap) a kukorica hajtásában (mg kg^{-1})

Kezelések	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
Kontroll	23,07± 13,80	10.604,33± 569,19	71,86± 11,49	76.739,67± 4.488,16	2.302,66± 170,05	10.249,00± 1.441,71	2.524,33± 319,78
Füstgázpor	27,96± 15,42	9.088,67± 749,71	70,10± 12,32	64.964,33± 6.808,21	1.858,00± 235,84	7.527,00± 275,77	2.689,00± 235,07
Komposzt	20,83± 8,00	9.683,67± 354,48	73,80± 9,70	65.551,33± 1.451,67	2.265,00± 125,21	12.292,00± 1.402,90	3.509,00± 307,04
Extr. mákgubó	14,60± 4,00	7.930,33± 68,21	60,20± 14,68	77.889,66± 8.152,61	2.015,33± 271,92	11.331,33± 1.336,86	3.765,66± 784,10
Szennyvíziszap	13,29± 6,01	10.693,00± 617,04	63,60± 3,20	84.928,33± 4.030,81	2.444,00± 40,92	11.429,00± 353,20	4.089,33± 305,51
Köszőrűiszap	17,46± 11,07	7.757,66± 413,67	63,60± 18,16	51.221,00± 514,74	1.976,00± 47,67	8.481,00± 573,00	3.641,33± 337,12
Mézsiszap	10,57± 1,70	9.172,00± 125,33	57,43± 3,50	78.496,67± 1.745,61	2.115,33± 102,12	9.587,00± 323,13	3.012,00± 173,69

4. táblázat: A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Ca, Fe, K, Mg, K, S) különböző melléktermékek szűrletének hatására (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mézsiszap) a kukorica gyökerében (mg kg^{-1})

Kezelések	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
Kontroll	38,65± 10,96	11.967,33± 762,14	264,33± 80,00	63.865,33± 2.344,80	5.224,66± 310,41	10.313,33± 2.345,33	7.604,66± 429,33
Füstgázpor	255,33± 158,41	12.991,67± 685,05	1.986,00± 9,89	46.702,67± 1.149,23	4.147,66± 368,07	4.202,00± 475,17	9.541,00± 445,67
Komposzt	1.486,00± 290,46	11.018,33± 548,33	1.051,33± 38,91	61.347,67± 647,33	5.544,66± 341,33	12.678,33± 380,26	12.681,00± 548,47
Extr. mákgubó	126,00± 4,24	7.075,33± 3.417,36	247,00± 29,69	43.223,00± 1.408,00	3.269,66± 678,32	11.489,50± 460,17	11.951,00± 501,89
Szennyvíziszap	242,66± 35,81	11.294,66± 460,96	357,33± 17,21	65.470,33± 4.691,69	5.760,33± 187,88	8.885,00± 798,74	12.062,66± 144,09
Köszőrűiszap	442,00± 371,93	4.460,46± 279,33	1.313,50± 310,42	19.626,67± 1.743,67	1.598,66± 105,37	9.379,00± 610,34	7.323,50± 954,85
Mézsiszap	717,00± 135,33	11.880,33± 398,86	602,33± 80,62	61.838,33± 1.901,64	4.991,33± 195,17	9.349,00± 272,94	9.645,00± 132,72

Az alumíniumot kivéve a többi vizsgált elem koncentrációja nagyobb volt a kontroll növények hajtásában, mint a füstgázpor-szűrlettel kezelnél. Az Al-koncentrációját 18 %-kal növelte a füstgázpor-szűrlet kezelés, a kontrollhoz viszonyítva. A kontroll kukorica gyökerében a K, Mg és P koncentrációja nagyobb, mint a kezelt kukorica gyökerében mért érték. A többi elem közül legnagyobb mértékben az Al és a Fe koncentrációja nőtt a kezelés hatására.

A hajtásban mért ion koncentrációkban nem volt lényeges eltérés a kontroll és a szennyvíziszap-komposzttal kezelt növények között. Bár a kálium, a foszfor és kén koncentrációja magasabb volt a kezelt növények hajtásaiban.

Sajátos különbség mutatkozik a kén koncentrációjában. A kezelés hatására a kén mennyisége jelentősen nőtt a gyökérben. A kén és vas koncentrációjának együttes növekedése alapján feltételezhető a ferredoxinhoz kötött reakciók intenzitás emelkedése.

Az extrudált mákgubó és annak szűrlete „természet közeli” melléktermék, magas szerves anyag tartalommal. Ennek tulajdonítható, hogy a tápelemek felvételében, szállításában és megoszlásában nem tapasztaltam rendkívüli különbségeket. A kén hajtásba irányuló szállítása a kontroll és a kezelt növényeknél is korlátozott volt, míg a káliumé kifejezetten intenzív. A különbség oka a két tápelem ionjának eltérő töltésére vezethető vissza, ugyanis a kálium-ion pozitív töltése miatt a membrán transzportja egyszerűbb mechanizmus szerint történik, mint a negatív töltésű szulfát ionoké.

A szennyvíziszap szűrletével kezelt növények hajtásaiban megnőtt a K, a P és a S koncentrációja, míg a gyökerekben az alumínium, a vas és a kén koncentrációja emelkedett számottevően. A hajtásba irányuló K-transzport intenzívebb volt a kezelt növényeknél. Ebben az esetben is szembeűnő a kezelt növények gyökereinek magas Al koncentrációja, ami a kontroll értéket meghaladó Fe-koncentrációval társul.

A kén kivéve a többi vizsgált elem koncentrációja nagyobb volt a kontroll növények hajtásában, mint a köszőrűiszap-szűrlettel kezeltben. A kén koncentrációja 44 %-kal nőtt köszőrűiszap-kezelés hatására a kukorica hajtásában.

A gyökérben az alumíniumot és a vasat kivéve csökkent az elemek koncentrációja. Ugyanakkor a kezelt növények gyökereiből a felvett ionok nagyobb arányban szállítódtak a hajtásba. Ez feltűnő a kálium esetében, amikor a kezelt növények gyökereiben mért K koncentráció közel háromszorosa volt a hajtásban, míg a kontroll növényeknél a hajtás kálium koncentrációja 20 %-kal haladta csak meg a gyökérét. A vas és az alumínium párhuzamos koncentráció emelkedése a kezelt növények gyökereiben, ennél a kezelésnél is szembeűnő volt.

Az Al koncentrációja ugyan megemelkedett a mésziszap-szűrlet kezelés hatására, azonban ez a megemelkedett Al koncentráció sem tekinthető rendkívülinek. Magasabb volt a kén koncentrációja is a kezelt növények hajtásában. A gyökerekben sajátosan alakultak a vizsgált elemek koncentrációi. Szinte valamennyi elem koncentrációja csökkent a kezelés hatására, viszont többszörösére emelkedett a vas és az alumínium koncentrációja. A két elem rendszeresen tapasztalt párhuzamos koncentráció emelkedése a gyökerekben nem tekinthető véletlennek, hiszen szinte kivétel nélkül minden kezelés hatására tapasztaltam. A tudomány jelenlegi ismeretei hiányosak a vas és az alumínium interakciójáról. Kizárható az a feltevés, hogy egymás oxidáltsági fokát meghatározzák, ugyanis az Al nem változó értékű. Feltételezhető, hogy az Al a membránszerkezetre, az enzimaktivitásra, esetleg a Fe-transzporterekre gyakorol hatást. A megfigyelésem azért is érdekes, mert a savas esőknek tulajdonított erdőpusztulások mögött több esetben a fák fokozott Al-felvételét tették felelőssé. Amennyiben ez fokozott vas felvétellel is járt, úgy a fák gyökereinek magas redukciós kapacitása esetén a vas kétértékű vassá redukálódott, ami viszont nagy mennyiségben toxikus, mert szabad gyökök képződését generálja. Az alumínium és a vas interakciójának, esetleges szinergizmusának későbbi tanulmányozásával közelebb juthatunk a talajok alacsony pH-ja miatt bekövetkező erdőpusztulások okának felderítéséhez.

Az 5-6. táblázatokban a vizsgált elemek koncentrációi láthatók a napraforgó hajtásában és gyökerében a vizsgált anyagok szűrletével való kezelés hatására.

A kontroll napraforgó hajtásában – az alumíniumot és a kalciumot kivéve – a vizsgált elemek nagyobb koncentrációban voltak. A vas koncentrációja 22 %-kal csökkent füstgázpor-szűrlet kezelés hatására, a kontrollhoz viszonyítva. A napraforgó gyökerében a füstgázpor-szűrlet hatására nőtt az Al, Fe és K-koncentrációja. A hajtás és a gyökér eltérő elemtartalma egyrészt a gyökerekben történő akkumulációra, másrészt a gyökérből a hajtásba irányuló transzport gátlására utal.

A kalciumot kivéve a komposzt-szűrlettel kezelt növények hajtásaiban magasabb elemtartalmakat mértem. A gyökérben a vas, az alumínium és a kén és magnézium koncentrációja jelentősen meghaladta a kontroll értékeket. A vas és az alumínium koncentrációjának párhuzamos emelkedése kérdéseket vet fel, amelyekre a válasz a vas membrán transzportjának, a vas és az alumínium kölcsönhatásának vizsgálatával lehet majd megadni. A kén koncentrációjának emelkedése a ferredoxinhoz kötött, míg a magas magnézium koncentráció az ATP-hez kötött foszforilálási reakciók intenzitásának növekedését feltételezi. Az intenzív tápanyagfelvétel nagy energiaigényét a kináz típusú reakciók fedezik.

Az extrudált mákgubó kezelés a gyökerekben eredményezett számottevő eltéréseket. Az Al koncentrációja többszöröse volt a kezelt gyökerekben a kontrollhoz képest, miközben a vas koncentrációjában nem volt lényeges különbség. Ugyanakkor a vas hajtásba irányuló transzportja kifejezetten gátolt volt a szűrlettel kezelt növényeknél. A gyökerekben lévő vas mintegy 1/5-e szállítódott a hajtásba, míg a kontroll növényeknél ez az arány 1/4. A vas xylem transzportja számos tényező függvénye. A szállítás kétértékű vas formában, főként citromsavhoz kötötten történik. Ez a kukoricánál számos előfeltételhez kötött. A kukorica a vasat mugeinsav, vagy hidroxámsav típusú szerves anyagokhoz kötötten háromértékű kationként veszi fel. A membrán transzportot követően redukálódnia kell a gyökérben, majd citromsavhoz kötötten szállítódik a hajtásba. A gyökér redukciós kapacitásának csökkenése, vagy a kellő mennyiségű citromsav hiánya a transzport folyamatot akadályozza.

A napraforgó hajtásában a vizsgált elemek - kivéve Al - koncentrációja csökkent szennyvíziszap-szűrlet kezelés hatására. A legnagyobb csökkenés a kalcium és a kálium koncentrációjában következett be. Ezzel ellentétben, a gyökérben az Al, Fe, Mg és S koncentrációja emelkedett a kezelés hatására. A gyökerek magas alumínium és vas koncentrációja ebben az esetben egy sajátos szinergizmust feltételez.

A köszöruiszap-szűrlet kezelés hatására az alumínium koncentrációja megközelítőleg duplájára nőtt a hajtásban. Növekedett még a Fe, Mg és P koncentrációja is, igaz, kisebb mértékben. A napraforgó gyökerében az Al és a Fe koncentrációja szintén a duplájára nőtt a kezelés hatására. Ez a növekedés a más kezeléseknél tapasztaltakhoz viszonyítva mérsékelt, de tendenciájában illeszkedik a korábbi megfigyelésemhez. Nőtt még a Ca, a Fe és a K koncentrációja is. A hajtás és a gyökér eltérő elemtartalma egyrészt a gyökerekben történő akkumulációra, másrészt a gyökérből a hajtásba irányuló transzport gátlására utal.

A napraforgó hajtásában az Al koncentrációja megközelítőleg 3-szor volt nagyobb, mézsiszap-szűrlet hatására, mint a kontroll hajtásban. Jelentős mértékben nőtt még a Ca és a S koncentrációja is a kezelés hatására. A gyökérben mért elemkoncentrációk általában meghaladják a kontroll értékeket. Ez ismételten a vas és az alumínium esetében jelentős. Feltűnő a Ca rendkívül intenzív hajtásba irányuló szállítása, ami egy hídképző tulajdonsággal rendelkező ion esetén figyelemreméltó, mint ahogyan az is, hogy a sejt optimális belső Ca-ion koncentrációja 0,1 mM. A magnézium esetében is hasonló, intenzív transzportot feltételezek, azonban a magnézium fiziológiai funkciói lényegesen eltérnek a kalciumétól.

5. táblázat: A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Ca, Fe, K, Mg, K, S) különböző melléktermékek szűrletének hatására (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mézsiszap) a napraforgó hajtásában (mg kg⁻¹)

Kezelések	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
Kontroll	5,72± 0,34	28.133,33±2.183,33	177,33± 1,52	44.366,33±5.392,00	3.788,33±862,00	4.455,00±736,81	4.640,00± 458,38
Füstgázpor	12,87± 6,25	29.100,00± 981,33	91,63±14,29	43.015,00± 521,33	3.430,33±123,33	3.925,33±552,67	3.2687,00± 506,30
Komposzt	15,30± 4,10	26.401,33± 245,67	129,66±15,56	51.177,67±1.514,61	4.1194,00±241,33	5.152,66±269,41	5.811,66±242,86
Extr. mákgubó	8,17± 0,53	24.786,00± 305,47	90,73± 6,83	44.169,50±1.635,54	3.693,00±140,29	4.595,66±256,05	4.405,50± 546,59
Szennyvíziszap	7,44± 1,90	23.959,67± 359,33	111,00± 8,71	38.632,00± 152,67	3.356,00±155,33	3.999,50± 77,07	4.387,00± 483,66
Köszőrűiszap	11,29± 2,14	27.613,00± 647,33	133,50±31,31	55.638,00± 541,67	3.990,33±135,33	4.596,33±324,15	4.523,66± 525,01
Mézsiszap	16,53± 2,47	34.021,67± 777,00	164,00±26,28	40.078,67± 655,00	3.827,00±115,33	5.428,50±706,39	7.676,00± 28,28

6. táblázat: A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Ca, Fe, K, Mg, K, S) különböző melléktermékek szűrletének hatására (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mézsiszap) a napraforgó gyökerében (mg kg⁻¹)

Kezelések	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
Kontroll	22,75± 1,91	3.902,66± 241,33	454,33± 51,08	58.219,67± 455,25	2.953,00± 89,57	7.148,33±778,99	5.708,00± 4,24
Füstgázpor	106,00± 1,41	3.745,33± 48,23	4.681,00±263,04	84.413,33±4.541,67	1.327,66±213,33	4.108,50±342,94	4.709,33±210,07
Komposzt	857,50±58,68	3.082,00± 154,33	1.074,50± 51,61	42.299,67±2.412,67	6.373,33±347,33	6.104,66± 84,76	7.396,50±641,35
Extr. mákgubó	813,50±31,63	3.159,50± 185,96	463,50± 4,94	53.388,50± 71,41	3.158,50±306,17	7.779,50±654,07	6.383,00±597,88
Szennyvíziszap	326,50±20,51	3.389,33± 151,21	887,33± 16,86	43.415,00± 417,12	5.672,00±541,33	6.324,66±150,50	5.951,33±603,37
Köszőrűiszap	53,63± 8,61	4.532,33± 214,67	1.151,33± 64,78	65.281,00± 621,51	1.572,00± 54,13	6.522,66±594,39	4.447,66±339,53
Mézsiszap	478,50±28,99	3.918,33± 313,00	863,00± 25,45	54.876,67±2.395,00	3.610,00± 81,21	8.286,00±411,53	7.288,00±171,56

3. 2. 2. A vizsgált anyagok szűrletének hatása a tápoldaton nevelt növények száraz tömegére

A számszerűsítéshez mértem a növények szárazanyag felhalmozását. Méréseim eredményét a 7. táblázatban mutatom be.

7. táblázat: A különféle kezelések hatása (füstgáz, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszörűiszap, mézsiszap) a kukorica száraz anyag felhalmozására (g növény⁻¹) n=9± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05.

Kezelések	Hajtás	Gyökér
Kontroll	0,318± 0,11	0,101± 0,05
Füstgázpor	0,212± 0,08*	0,068± 0,03*
Komposzt	0,309± 0,13	0,086± 0,02
Extr. mákgubó	0,323± 0,07	0,081± 0,00
Szennyvíziszap	0,411± 0,10*	0,121± 0,04*
Köszörűiszap	0,216± 0,02	0,057± 0,03*
Mézsiszap	0,362± 0,02	0,104± 0,01

Füstgázpor-szűrlet kezelés hatására a hajtás és gyökér száraz tömege szignifikánsan csökkent. A csökkenés mögött a megnövekedett Al-felvételt feltételezem. A hajtás száraz tömege 34 %-kal, a gyökéré 33 %-kal csökkent a kontrollhoz viszonyítva.

Komposzt-szűrlet kezelés hatására a kukorica hajtásának és gyökerének száraz tömege nem csökkent szignifikánsan. A hajtás száraz tömege megközelítőleg 3 %-kal, míg a gyökér száraz tömege 17 %-kal csökkent. A gyökér száraz tömegének nagyobb mértékű csökkenésének szintén a gyökérben felhalmozódott nagyobb Al koncentráció lehet az oka.

Extrudált mákgubó-szűrlet hatására nőtt a hajtás és csökkent a gyökér száraz tömege. A gyökér száraz tömegében bekövetkezett csökkenés magyarázata megegyezik a korábban leírtakkal.

A szennyvíziszap-szűrlet kedvező hatással volt a kukorica hajtásának és gyökerének száraz tömeg gyarapodására. Az eredmények szignifikánsak. A hajtás száraz tömege nagyobb mértékben növekedett, mint a gyökéré. Ez magyarázható a hajtás megnövekedett K-tartalmával.

Köszörűiszap-szűrlet hatására csökkent a kukorica hajtásának és gyökerének száraz tömege. Ez a csökkenés a gyökérnél kifejezettebb volt. A növekedésgátlás komplex okokra vezethető vissza. Feltételezem, hogy a kezelés hatására bekövetkezett mérsékelt száraz anyag akkumuláció mögött az anyagcsere általános zavara, ezen belül a nehézfémek toxikus hatása lehet.

8. táblázat: A különféle kezelések hatása (füstgáz, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mésziszap) a napraforgó száraz anyag felhalmozására (g növény⁻¹) n=9± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

Kezelések	Hajtás	Gyökér
Kontroll	0,960± 0,16	0,210± 0,04
Füstgázpor	0,722± 0,05*	0,190± 0,03**
Komposzt	1,030± 0,16*	0,220± 0,04
Extr. mákgubó	0,840± 0,05	0,160± 0,01**
Szennyvíziszap	1,030± 0,36	0,210± 0,02
Köszőrűiszap	0,601± 0,0***	0,124± 0,03***
Mésziszap	0,880± 0,02	0,180± 0,01**

A napraforgó hajtásának száraz tömege megközelítőleg 25 %-kal, a gyökér száraz tömege 10 %-kal szignifikánsan csökkent füstgázpor-szűrlet hatására (8. táblázat). A gyökerek száraz tömegének csökkenése bár szignifikáns, de a gyökerekben felhalmozódott jelentős ion-koncentráció nem eredményezte a gyökerek elhalását.

Komposzt-szűrlet kezelés hatására a napraforgó hajtásának és gyökerének száraz tömege nőtt. A hajtásnál a növekedés szignifikáns. A napraforgó száraz anyag felhalmozására a komposzt-szűrlet kedvezőbben hatott, mint azt a kukorica esetében tapasztaltam. A különbség részben a két növény eltérő tápanyag-felvételi mechanizmusával magyarázható. A másik lehetséges ok a napraforgó intenzívebb növekedése a mintavétel időszakában. Ekkor ugyanis a komposzt szűrlet a magasabb tápanyag szolgáltatása miatt jobban ki tudta elégíteni a fokozottabb tápanyagigényt, ami előnyösen hatott a szárazanyag felhalmozásra is. Ezt támasztja alá a gyökér morfológiájának a megváltozása is.

Az extrudált mákgubó szűrlettel kiegészített tápoldaton nevelt napraforgó hajtások és gyökerek szárazanyagtömege csökkent.

Szennyvíziszap-szűrlet kezelés hatására a napraforgó hajtásának száraz tömege 7 %-kal nőtt a kontrollhoz viszonyítva, míg a gyökér száraz tömege megegyezik a kontrolléval. Szembetűnő azonban, hogy a gyökerek száraztömegének azonossága úgy alakult ki, hogy a kezelt növények szinte minden vizsgált elemből kevesebbet tartalmaztak, mint a kontroll növény.

A napraforgó hajtásának és gyökerének száraz tömege szignifikánsan csökkent köszőrűiszap-szűrlet kezelés hatására. A gyökerek száraz tömegének csökkenése bár szignifikáns, de a gyökerekben felhalmozott jelentős ion-koncentráció nem eredményezte a gyökerek, vagy gyökér részek elhalását.

Mésziszap-szűrlet hatására csökkent a napraforgó hajtásának és gyökerének száraz tömege. A gyökér tömegében bekövetkezett csökkenés kifejezettebb volt.

3. 3. A vizsgált anyagok szűrletének hatása a tápoldaton nevelt növények SPAD-értékére

A kezelések hatással voltak a száraz anyag felhalmozásra, ami mögött a fotoszintetikus aktivitás illetve a klorofill tartalom változását feltételeztem. Méréseim szerint a kezelések befolyásolták a klorofill tartalmat (9. táblázat).

9. táblázat: A különféle kezelések hatása (füstgáz, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszörűiszap, mésziszap) a kukorica relatív klorofill tartalmára (SPAD-érték) $n=60 \pm$ S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

2. levél			
Kezelések	6. napon	9. napon	11. napon
Kontroll	38,14 \pm 4,95	48,20 \pm 2,85	49,31 \pm 5,12
Füstgázpor	36,53 \pm 7,74	40,42 \pm 5,35*	44,71 \pm 4,72*
Komposzt	41,26 \pm 5,82	43,07 \pm 4,68*	47,37 \pm 3,60
Extr. mákgubó	34,57 \pm 5,83	41,51 \pm 4,27*	41,07 \pm 4,83*
Szennyvíziszap	34,07 \pm 7,75	47,27 \pm 4,08	47,92 \pm 4,10
Köszörűiszap	34,39 \pm 8,74***	36,81 \pm 5,47	36,52 \pm 2,73***
Mésziszap	38,10 \pm 4,78	44,05 \pm 2,08	47,40 \pm 2,86***
3. levél			
Kezelések	6. napon	9. napon	11. napon
Kontroll	30,06 \pm 6,06	43,43 \pm 2,49	45,87 \pm 1,98
Füstgázpor	32,41 \pm 6,99	37,46 \pm 5,54**	42,55 \pm 3,15**
Komposzt	32,11 \pm 6,86	38,85 \pm 3,50**	44,83 \pm 3,27
Extr. mákgubó	29,69 \pm 7,04	41,34 \pm 3,42	42,48 \pm 4,49*
Szennyvíziszap	32,13 \pm 5,19	41,77 \pm 4,60	46,75 \pm 4,30
Köszörűiszap	26,63 \pm 6,93	36,27 \pm 1,83***	35,10 \pm 3,57***
Mésziszap	33,69 \pm 3,64	42,88 \pm 3,39	47,71 \pm 1,62***

A füstgázpor-szűrlet kezelés hatására a kukorica második levelében mért SPAD-érték az összes mérési napon csökkent. A 9. napon 17 %-kal, a 11. napon 10 %-os szignifikáns csökkenés figyelhető meg. A kukorica harmadik levelében a SPAD-érték a 6. napon emelkedett, míg a 9. és a 11. napon szignifikánsan csökkent. A SPAD-érték csökkenés a szintézis bonyolult biokémiai folyamatainak károsodására utal. A hajtás vas tartalmában alig volt különbség a kontroll és a kezelt növények között, míg a Mg-tartalom jelentősen csökkent a kezelés eredményeként.

Komposzt-szűrlet kezelés hatására a SPAD-érték – a 6. napot kivéve – csökkent. Az eltérések a kontroll és a kezelt növények SPAD-értékében nem lényegesek, bár néhány esetben szignifikánsak. A SPAD-érték csökkenése harmonizál a szárazanyag felhalmozás eredményeivel is.

Extrudált mákgubó-szűrlet kezelés hatására a kukorica második és harmadik levelében mért SPAD-érték minden mérési napon csökkent. A csökkenés néhány esetben gyenge szignifikanciát mutat. A SPAD-értékben mért csökkenés, illetve a szárazanyag tartalom csökkenése között szoros összefüggés van. A SPAD-érték csökkenése a hajtás Fe, valamint Mg-tartalmában bekövetkezett csökkenés eredménye lehet.

Szennyvíziszap-szűrlet kezelés hatására a kukorica második és harmadik levelében mért SPAD-értékre – két esetet kivéve – csökkent.

A köszörűiszap-szűrlet kezelés minden mérési időpontban mindkét levél SPAD-értékét csökkentette. A SPAD-érték csökkenés a szintézis bonyolult biokémiai folyamatainak károsodására utal. A kezelt növények hajtásainak vas és magnézium tartalmában bekövetkezett csökkenés is hatással lehet az alacsonyabb SPAD-értékekre. A mérési eredmények egy kivétellel szignifikánsak voltak.

A SPAD-érték valamennyi mérési napon alacsonyabb volt a mézsiszappal kezelt növények 2. levelében. A 11. napon bekövetkezett csökkenés volt szignifikáns. Ezzel ellentétben a fiatalabb levél SPAD-értéke a 6. és a 11. napon nőtt a kontrollhoz képest. A SPAD-értékben csak az utolsó mérési napon mértem szignifikáns értékeket. A 2. levélnél csökkenést, míg a 3. levélnél emelkedést tapasztaltam. A változások azonban nem voltak olyan nagyok, hogy érdemben megváltoztatták volna kukorica szárazanyag felhalmozását.

A 10. táblázat a napraforgó SPAD-értékeit mutatja be.

10. táblázat: A 10, 13 és 15 napos napraforgó relatív klorofill tartalmának alakulása a különböző kezelések hatására (Spad-érték) $n=60 \pm$ S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$.

napraforgó első levelében mért relatív klorofill tartalom (Spad Units)			
Kezelések	10.napon	13.napon	15.napon
Kontroll	47,57 \pm 1,93	50,63 \pm 1,34	50,33 \pm 0,40
Füstgáz	46,12 \pm 0,86	46,48 \pm 2,15***	44,47 \pm 3,44***
Komposzt	46,78 \pm 1,34	49,87 \pm 0,64	50,02 \pm 1,28
Ext.mákgubó	45,50 \pm 2,92	48,04 \pm 0,88**	47,68 \pm 0,97**
Szennyvíziszap	46,71 \pm 3,09	48,36 \pm 0,95**	48,88 \pm 0,11
Köszörűiszap	44,20 \pm 1,11**	46,89 \pm 0,78***	47,52 \pm 0,45***
Mézsiszap	44,45 \pm 0,68**	45,54 \pm 0,47***	46,35 \pm 1,43***

A SPAD-érték csökkenése a pigment tartalom mérséklődésére vezethető vissza. Ennek oka a kezelt növények hajtásainak alacsonyabb magnézium és vas koncentrációja.

Füstgázpor-szűrlet kezelés hatására a SPAD-érték az összes mérési napon csökkent, a kontrollhoz viszonyítva. A 13. és a 15. napon szignifikáns volt a csökkenés.

Komposzt-szűrlet kezelés hatására a napraforgó SPAD-értéke minden mérési napon csökkent. Ezek a csökkenések nem voltak szignifikánsak.

Extrudált mákgubó-szűrlet kezelés hatására a SPAD-érték mérsékelt csökkenését eredményezte valamennyi mérési napon. A tapasztalt csökkenés és a kezelt növények szárazanyag felhalmozásának csökkenése között szoros összefüggést feltételezek. A SPAD-érték csökkenése a szárazanyag felhalmozás mérséklődésében mutatkozott meg.

Szennyvíziszap-szűrlet kezelés hatására az összes mérési napon csökkent a SPAD-érték. A 13. napon a csökkenés szignifikáns volt. Ez ellentmondásban van a hajtás növekedett száraz tömegével. A SPAD-érték csökkenése a pigment szintézisének mérséklődésére vezethető vissza. Ennek oka feltételezésem szerint a kezelt növények hajtásainak alacsonyabb magnézium és vas koncentrációja lehet.

A SPAD-érték mind a három mérési napon szignifikánsan csökkent – megközelítőleg 3 Spad egységgel a kontrollhoz képest, köszörűiszap-szűrlet kezelés hatására. Ez a csökkenése a pigment tartalom mérséklődésére vezethető vissza. Kétségtelen, hogy a kezelés csökkentette a SPAD-értékeket, de még így is magasak. Önmagában a SPAD-érték csökkenéséből nem feltétlenül következne a szárazanyag felhalmozás általam mért mérséklődése.

A méziszap-szűrlet hatására bekövetkezett SPAD-érték csökkenés a fotoszintetikus pigment tartalom mérséklődésére vezethető vissza. Ez összhangban van a hajtás csökkent szerves anyag felhalmozásával is. A hajtásban mért Fe és Mg koncentrációja nem csökkent a kontroll értékhez képest, de feltehetőleg mérséklődött a fotoszintetikus apparátus hatékonysága.

4. 3. A vizsgált anyagok hatása a kísérleti növények fiziológiai paramétereire

4. 3. 1. A vizsgált anyagok hatása a tápoldaton nevelt növények elemfelvételére és elemmegoszlására

A 11-12. táblázatokban a vizsgált elemek koncentrációi láthatók a kukorica hajtásában és gyökerében a vizsgált anyagokkal való kezelés hatására. Füstgázpor-kezelés hatására a vizsgált elemek koncentrációja csökkent a kukorica hajtásában – kivéve a vasat, ahol kis növekedés tapasztaltam. A legnagyobb csökkenés a foszfornál volt. A hajtás Al-koncentrációja megközelítőleg felére csökkent a füstgázpor-kezelésnél.

11. táblázat: A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Ca, Fe, K, Mg, K, S) különböző melléktermékek hatására (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszörűiszap, mésziszap) a kukorica hajtásában (mg kg⁻¹)

Kezelések	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
Kontroll	67,60± 2,54	8.006,50± 147,78	92,70± 3,12	80.074,00±5.593,21	2.003,50±132,23	13.987,00± 38,18	3.507,50± 77,07
Füstgázpor	30,50± 3,60	6.307,66± 280,01	95,73± 4,51	49.838,67±1.049,86	1.744,33± 61,13	3.590,60±243,60	2.478,30± 83,96
Komposzt	18,50± 8,34	6.479,00± 497,33	137,00± 9,89	67.856,00±1.431,09	1.755,00±356,38	11.769,50±881,60	3.218,50±615,00
Extr. mákgubó	10,05± 0,30	74.656,00± 329,36	76,15± 6,05	37.820,50±1.450,33	1.218,00±340,82	7.500,50±237,17	2.198,00±150,12
Szennyvíziszap	13,80± 0,95	9.884,00± 393,25	152,50± 0,71	101.446,00±4.621,65	2.606,00± 60,81	15.770,50±651,24	4.854,00± 77,78
Köszörűiszap	6,59± 0,73	11.245,65± 674,35	53,72± 1,98	22.205,08± 991,68	1.516,78±122,29	5.990,80±491,21	2.066,20± 48,27
Mésziszap	3,11± 0,41	5.339,76± 251,38	25,42± 1,63	10.527,71± 835,07	711,34± 18,02	2.812,90±253,59	975,20± 43,28

12. táblázat: A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Ca, Fe, K, Mg, K, S) különböző melléktermékek hatására (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszörűiszap, mésziszap) a kukorica gyökerében (mg kg⁻¹)

Kezelések	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
Kontroll	49,75± 3,04	7.773,50± 43,13	117,00± 7,07	51.065,50±1.898,58	4.714,50± 86,97	5.412,50± 85,18	10.469,50± 12,02
Füstgázpor	89,90± 7,23	83.937,00±6.485,33	1.017,00± 45,30	9.471,00± 143,67	1.108,00± 81,23	2.426,00± 46,20	5.324,00± 76,54
Komposzt	108,85±20,01	6.983,00± 237,72	240,00± 22,62	52.323,50±3.988,78	3.794,00±506,28	5.940,50± 53,88	10.512,50±182,99
Extr. mákgubó	450,50±31,42	8.142,50± 195,86	594,50± 18,18	48.986,00±5.279,25	4.404,00±226,27	6.453,00± 65,91	10.790,00± 69,74
Szennyvíziszap	92,25± 1,06	5.311,50± 252,59	284,00± 4,24	41.211,50±2.502,95	2.947,50±314,66	4.020,00± 88,12	8.891,50± 74,28
Köszörűiszap	39,25± 5,16	2.461,00± 41,01	58.508,50±678,11	57.169,50±3.851,61	865,50± 6,36	14.613,50±210,02	4.562,50± 53,03
Mésziszap	161,50± 0,71	2.444,00± 0,00	1.075,50± 53,03	65.881,00±2.818,52	962,30± 10,61	4.911,50± 75,66	5.254,00± 65,05

A Ca koncentráció emelkedése számos kérdést vet el. A citoszól normális Ca-koncentrációja 1 mM. Ezt, az optimálisnak tartott Ca-koncentrációt a sejtek a Ca aktív kiválasztásával tartják fent. Az tény, hogy az általunk kimutatott Ca koncentráció magába foglalja a sejtekben és az apoplazmában található Ca mennyiséget, de feltételezem, hogy a kezelés hatására a citoszól Ca tartalma is megemelkedett. Ezt a megemelkedett mennyiséget viszont a gyökér sejtjei már képtelenek voltak kiválasztani, feltehetően azért, mert nem állt rendelkezésre a gyökerekben a szükséges energia (ATP) mennyisége.

A táblázat adatai a transzportfolyamatokkal kapcsolatosan nyújtanak érdekes információkat. A kálium hajtásba irányuló transzportja a kontroll és a szennyvíziszap-komposzttal növényeknél is rendkívül intenzív volt. Ezt tapasztaltam a foszfor esetében is. A vas és az alumínium „együttmozgása” itt is tapasztalható, bár az értékek nem olyan kifejezetten magasak, mint, amelyeket a korábbi méréseknél tapasztaltunk. A foszfor és kálium magasabb koncentrációja a hajtásban, az intenzív szénhidrát anyagcserére enged következtetni.

A kukorica hajtásában az összes vizsgált elem koncentrációja csökkent extrudált mákgubó kezelés hatására. Ez a csökkenés annak ellenére következett be, hogy a kezelt növények gyökereinek elemkoncentrációja kifejezetten magas volt. Ez a megfigyelés ismételten a transzportfolyamatok jelentőségére hívja fel a figyelmet. A kontroll növényeknél intenzívebb a hajtásba irányuló ion transzport, ami kifejezetten jelentős a kálium esetében.

A gyökerekben az Al és Fe koncentráció emelkedése szembevetendő, és további kérdéseket vet fel. Mindkét ion pozitív töltésű, ezért az várható, hogy versenyeznek az apoplazmatikus tér és a plazmalemma negatív töltéshelyeiért. Versengés helyett, azonban sajátos „együtt mozgást” tapasztaltam. Tény, hogy méréseimben nem tudtam megkülönböztetni a külső térben kötött ionokat mennyiségét a sejtbe bejutó ionoktól, mindazonáltal feltételezhető, hogy az Al többsége extracelluláris, míg a Fe főként a sejten belül halmozódott fel. Ez a feltételezés is további vizsgálatokat igényel, ugyanis magyarázatot kell találni arra a kérdésre, hogy miként történhet intenzív Fe membrántranszport, a membrán szerkezetét lényegesen módosító, magas koncentrációjú Al-ionok jelenlétében.

A vizsgált elemek közül egyedül csak az Al koncentrációja csökkent szennyvíziszap kezelés hatására. Ami azért érdekes, mert a szennyvíziszapban jelentős mennyiségű Al található, de ezt a növény nem akkumulálta. Ennek függvényében a gyökér kontrollt meghaladó Al-koncentrációja se mondható soknak. Legnagyobb mértékben a vas koncentrációja nőtt a kukorica hajtásában. A kukorica gyökerében a legtöbb elem koncentrációja csökkent a kezelés hatására, miközben a hajtásban mért koncentrációk kontroll

felettié voltak. Ez a kezelt növények intenzívebb hajtásba irányuló tápanyag szállítására hívja fel a figyelmet.

Köszőrűiszap kezelés hatására a vizsgált elemek koncentrációja csökkent a kukorica hajtásában – kivéve a vasat, a magnéziumot és a kén ahol kisebb növekedést tapasztaltam. A hajtás Al-koncentrációja megközelítőleg 8,5-szeresére csökkent a köszőrűiszap kezelésnél. A gyökérben mért vas koncentráció 432-szer volt nagyobb, mint a kontroll kukorica gyökerében. Ez a köszőrűiszap rendkívül magas vastartalmával magyarázható – 683.000 mg kg⁻¹.

Mésziszap kezelés hatására – a kén kivéve – csökkent a vizsgált elemek koncentrációja a kukorica hajtásában. A legkifejezettebb csökkenést az Al-koncentrációjában tapasztaltam. Ezzel ellentétben a gyökér Al-tartalma megközelítőleg 4-szer volt nagyobb, mint a kontrollé. Az alumíniumhoz hasonlóan a Fe-koncentrációja is emelkedett. Feltehetően a két ion magas koncentrációja eredményezte más ionok csökkent mennyiségét a gyökérben.

A 13-14. táblázatokban a vizsgált elemek koncentrációi láthatók a napraforgó hajtásában és gyökerében a vizsgált anyagokkal való kezelés hatására.

A legtöbb elem koncentrációja csökkent füstgázpor kezelés hatására a napraforgó hajtásában. Az Al és a S koncentrációja emelkedett. A napraforgó gyökerében mért Ca koncentrációja megközelítőleg 44-szer nagyobb volt, mint a kontrollban. A többi vizsgált elem koncentrációja csökkent a kezelés hatására. A Ca magas koncentrációja számos kérdést vet fel. A lokalitás kérdését tartom a leglényegesebbnek. Nem valószínű, hogy az endogén Ca koncentráció a mért szintű lehet, miközben a vizsgálati növény nem pusztult el. Valószínű, hogy a Ca az intercelluláris és az intermicelláris terek negatív töltéshelyein kötődik. A plazmalemma szerkezetének zsugorításával, a permeabilitás csökkenésével a többi ion felvétele is akadályozott. Feltételezem, hogy az extrém magas Ca koncentrációra vezethető vissza a többi vizsgált ion alacsonyabb koncentrációja a kezelt növényekben.

A vizsgált elemek koncentrációinak alakulásában a legnagyobb eltérés a K és Ca felvételében, transzportjában és megoszlásában van, extrudált mákgubó kezelésnél. A kontroll növények hajtásba irányuló Ca szállítása rendkívül intenzív, aminek eredményeként a hajtás Ca koncentrációja többszöröse a gyökérben mért koncentrációnak. A kezelt növényeknél a gyökér magas Ca tartalmának csak töredéke szállítódott a hajtásba, miközben a hajtás Ca koncentrációja kontroll alatti volt, de ez a különbség még mindig igen magas Ca szintet jelentett. Ezzel szemben a kezelt napraforgó gyökerének K koncentrációja jelentősen kisebb volt, mint a kontrollnál mért érték, miközben a kontroll és kezelt hajtások K koncentrációi gyakorlatilag megegyeztek. A K és Ca ion-antagonizmusa ismert jelenség,

melynek sajátos megnyilvánulását tapasztaltam. A kontroll gyökerek magas K koncentrációja alacsony Ca tartalommal, míg a kezelt növényeknél a magas Ca alacsonyabb K koncentrációval párosult. A gyökerekben tapasztalt ionantagonizmus érdekes módon a hajtásokban már nem jelentkezett, ott feltűnő különbségek nem voltak a két elem koncentrációjában.

A szennyvíziszap kezelés a növény minden részében csökkentette a vizsgált elemek koncentrációját. A gyökerek ionfelvétele a Ca kivételével számottevően csökkent és a hajtásba irányuló transzport is csak a foszfor és a magnézium esetében volt intenzív. A kukoricával ellentétben az Al koncentrációja a napraforgó hajtásában és gyökerében is csökkent szennyvíziszap kezelés hatására. A szennyvíziszap alkalmazásánál vitatott téma annak nehézfém-tartalma. Az alumínium nem nehézfém, de fiziológiai hatása azonos a nehézfémekével. Bár a szennyvíziszap nagy mennyiségben tartalmaz alumíniumot, a napraforgó nem vette fel és nem is akkumulálta.

Köszőrűiszap kezelés hatására az összes elem koncentrációja csökkent a napraforgó hajtásában. A gyökérben a Ca, Fe, P és S koncentrációja emelkedett a kontroll értékhez képest. Akárcsak a kukoricánál, úgy a napraforgónál is rendkívül magas vaskoncentrációt mértem a gyökérben ($58.508 \text{ mg kg}^{-1}$). A kukoricánál említett fokozott vaskiválás a napraforgónál is látható volt. Feltehetően a vas az apoplazmatikus térben intenzíven és erősen kötődött. Az apoplazmatikus térben kötött nagy mennyiségű vas mindkét, egyébként eltérő vaskiválási mechanizmussal rendelkező, növénynél megfigyelhető, így a vas erős kötődése nem az eltérő tápanyagfelvételi mechanizmusra, hanem inkább egy sajátos, de a két növénynél megegyező védekezési mechanizmusra lenne visszavezethető. Ebben az esetben tisztázandó kérdés, hogy miként halmozódhat fel az apoplazmában annyi negatív töltéshely, amely képes a rendkívül nagy mennyiségű vasat megkötni. A távolabbi munkára vonatkozó kérdés úgy is megfogalmazható, hogy létezik-e egy olyan vas toxicitást kivédő induktív mechanizmus, ahol az induktor a magas vas koncentráció, vagy, másképpen; igazolható-e, hogy extrém magas Fe koncentrációnál fokozódik pl. a pektin bioszintézise?

A kétszikű és egyszikű növények tápanyagfelvétele között különbség van. Ennek ellenére a kukoricánál az Al és Fe közötti kölcsönhatásokra vonatkozó megállapítások a napraforgóra is érvényesek. Feltételezem, hogy ez a jelenség áll a gyökerek kontroll alatti K, Mg és P koncentrációi mögött. A hajtásba irányuló tápanyag transzport több elemnél is akadályozott volt.

13. táblázat: A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Ca, Fe, K, Mg, K, S) különböző melléktermékek hatására (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mésziszap) a napraforgó hajtásában (mg kg⁻¹)

Kezelések	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
Kontroll	12,70±1,55	33.816,50±2.843,77	137,00± 4,00	55.531,50±685,18	4.203,00±35,35	4.455,00±736,81	4.640,00± 458,38
Füstgázpor	23,85± 2,33	25.690,33± 910,75	97,70±10,32	55.066,50±1.709,07	4.198,50±197,28	4.006,00±50,63	4.772,50± 729,02
Komposzt	14,55± 0,21	27.672,00± 60,81	135,00± 4,58	55.066,50±1.709,07	4.198,50±197,28	15.522,50±481,53	5.441,00±3.169,71
Extr. mákgubó	17,15± 0,35	28.942,00± 210,71	139,50± 0,71	57.452,50± 3,53	4.020,50±139,30	15.844,50±672,45	5.392,00± 83,43
Szennyvíziszap	13,80± 0,95	98.840,00± 393,25	152,50± 0,71	101.446,00±4.621,65	3.693,00±140,92	11.429,00±353,20	4.089,33± 305,51
Köszőrűiszap	11,29± 2,14	27.613,00± 647,33	133,50±31,31	55.638,00± 541,67	3990,33±135,33	4.596,33±324,15	4.523,66± 525,01
Mésziszap	16,53± 2,47	34.021,67± 777,00	164,00± 26,28	40.078,67± 655,00	3.827,00±115,33	5.428,50±706,39	7.676,00± 28,28

14. táblázat: A vizsgált elemek koncentrációja (Al, Ca, Fe, K, Mg, K, S) különböző melléktermékek hatására (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mésziszap) a napraforgó gyökerében (mg kg⁻¹)

Kezelések	Al	Ca	Fe	K	Mg	P	S
Kontroll	60,15± 0,21	2.420,50± 142,12	174,00± 2,82	66.463,50± 344,36	1.103,50± 4,95	7.733,00± 14,14	4.530,00± 62,23
Füstgázpor	56,90± 0,45	107.354,00±7.420,47	331,00± 15,20	9.871,00± 741,67	627,00± 24,13	1.428,00± 45,23	2.880,00± 45,87
Komposzt	49,64± 1,26	54.482,53±4.771,56	226,00±28,46	28.312,15± 679,72	701,89± 15,91	3.443,00±249,68	3.019,60±197,42
Extr. mákgubó	29,50± 7,84	64.627,04±4.346,51	187,20± 4,83	27.195,93±1.578,56	403,91± 21,41	3.146,40±419,56	1.608,50± 95,58
Szennyvíziszap	92,25± 1,06	5.311,50± 252,59	284,00± 4,24	41.211,50±2.502,98	2.947,50±314,66	4.020,00± 88,12	8.891,50± 74,28
Köszőrűiszap	53,63± 8,61	4.532,33± 214,67	1.151,33±64,78	65.281,00± 621,41	1.572,00± 54,13	6.522,66±594,39	4.447,66±339,53
Mésziszap	478,50±28,99	3.918,33± 313,00	863,00±25,45	54.876,67±2.395,00	3.610,00± 81,21	8.286,00±411,53	7.288,00±171,56

4. 3. 2. A vizsgált anyagok hatása a tápoldaton nevelt növények száraz tömegére

Az 15. táblázatban a vizsgált melléktermékek kukorica száraz tömegére kifejtett hatását foglaltam össze.

15. táblázat: A különféle kezelések hatása (füstgáz, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, méziszap) a kukorica száraz anyag felhalmozására (g növény¹) n=9± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05;***p<0,001.

Kezelések	Hajtás	Gyökér
Kontroll	0,199± 0,02	0,064± 0,01
Füstgázpor	0,128± 0,02***	0,023± 0,00***
Komposzt	0,254± 0,03***	0,064± 0,01
Mákgubó	0,180± 0,04	0,052± 0,01
Szennyvíziszap	0,262± 0,06*	0,067± 0,01
Köszőrűiszap	0,282± 0,03***	0,066± 0,01
Méziszap	0,285± 0,03***	0,072± 0,01

A kukorica hajtásának és gyökerének száraz tömege szignifikánsan csökkent füstgázpor-kezelés hatására. Az oldalgyökerek képződése erősen gátolt volt, ami egyrészt magyarázható a füstgázpor pH-emelő hatásával, másrészt a nem megfelelő tápelem-ellátással.

Komposzt kezelés hatásár a hajtás száraz tömege szignifikánsan nőtt, míg a gyökér száraz tömege a kontrollal megegyező volt.

Extrudált mákgubó kezelés hatására csökkent a kukorica hajtásának és gyökerének száraz tömege. A csökkenés egy esetben se volt szignifikáns. A gyökér szárazanyag tartalmának csökkenése az Al magas koncentrációjával magyarázható. Egy másik magyarázat lehet, hogy a Fe^{2+}/Fe^{3+} arány kedvezőtlen a fiatal levelekben. Ha a vas a szövetekben oxidált állapotban van, oldhatatlan ferrifoszfát formájában kicsapódik és az anyagcserében nem vehet részt.

Szennyvíziszap kezelés hatására a kukorica hajtásának és gyökerének száraz tömege is nőtt. A hajtásnál szignifikáns volt a növekedés.

A köszőrűiszap kezelés hatására nőtt a hajtás és a gyökér szárazanyag felhalmozása. A hajtásnál ez a növekedés szignifikáns volt. A mérési eredmények ellentmondásosak, ugyanis a szűrlet vizsgálatokor csökkenést tapasztaltam a vizsgált paraméterben. A köszőrűiszap-szűrlet és a köszőrűiszap eltérő hatása további vizsgálatokat igényel, de feltételezem, hogy a köszőrűiszap oldékonysága a tápoldatban más lehet, mint a szűrlet készítéséhez használt desztillált vízben, illetve a köszőrűiszap oldékonyságát módosíthatta a tápoldatban, a gyökerek által kiválasztott szerves anyagok mennyisége.

A mésziszap kezelés hatására nőtt a hajtás és a gyökér szárazanyag felhalmozása. A hajtásnál ez a növekedés szignifikáns volt. A mérési eredmények megegyeznek a szűrlés vizsgálatok tapasztalataival.

A füstgázpor hatására a napraforgó hajtásának és a gyökérének száraztömege is csökkent. A csökkenés a hajtásnál kifejezettebb volt. A száraz tömegben bekövetkezett csökkenés egyik oka a tápoldat kezelés hatására megemelkedő pH-ja (Lee és Woolhouse, 1969a) ($11,40 \pm 0,56$), ami a füstgázpor pH emelő hatásával magyarázható. A másik ok pedig a gyökér magas Ca-koncentrációja (Lund, 1970).

16. táblázat: A különféle kezelések hatása (füstgáz, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mésziszap) a napraforgó száraz tömegére (g növény^{-1}) $n=9 \pm \text{S.E.}$ Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: * $p < 0,05$; ** $p < 0,01$; *** $p < 0,001$.

Kezelések	Hajtás	Gyökér
Kontroll	$0,332 \pm 0,07$	$0,061 \pm 0,02$
Füstgázpor	$0,168 \pm 0,03^{***}$	$0,047 \pm 0,06$
Komposzt	$0,433 \pm 0,07^*$	$0,091 \pm 0,02^*$
Mákgubó	$0,373 \pm 0,07$	$0,074 \pm 0,02$
Szennyvíziszap	$0,431 \pm 0,07^*$	$0,089 \pm 0,01^{**}$
Köszőrűiszap	$0,308 \pm 0,03$	$0,071 \pm 0,01$
Mésziszap	$0,447 \pm 0,08^*$	$0,116 \pm 0,03^{***}$

Komposzt-kezelés hatására a napraforgó hajtásának és gyökérének száraz tömege szignifikánsan nőtt. A hajtás száraz tömege 30%-kal, a gyökéré 49 %-kal, a kontrollhoz viszonyítva.

Extrudált mákgubó kezelés hatására nőtt a napraforgó hajtásának és gyökérének száraz tömege. A gyökér növekedése kifejezettebb volt.

A kukoricához hasonlóan a napraforgó hajtásának és gyökérének száraz tömege is nőtt szennyvíziszap kezelés hatására. A növekedések szignifikánsak.

Köszőrűiszap hatására a napraforgó hajtásának száraz tömege csökkent, míg a gyökér tömege növekedett.

A napraforgó hajtásának és gyökérének száraz tömege szignifikánsan nőtt mésziszap hatására a kontrollhoz képest. A gyökér száraz tömege nagyobb mértékben nőtt, mint a hajtásé.

4. 3. 3. A vizsgált anyagok hatása a tápoldaton nevelt növények SPAD-értékére

A már korábban leírtak miatt a szerves anyag felhalmozás és a klorofill tartalom között kapcsolat van. Éppen ezért a kukorica második és harmadik levelében mértem a relatív klorofill tartalom változását a kezelés 6., 9. és a 11. napján (17. táblázat).

A kukorica második levelében mért SPAD-érték csökkent az összes mérési napon füstgázpor-kezelés hatására. A hatodik napon 2, a kilencedik napon 4, míg a tizenegyedik napon 8 Spad egységgel. A 9. és a 11. napon bekövetkezett csökkenés szignifikáns volt. A kukorica harmadik levelében mért SPAD-érték a 6. és a 9. napon csökkent, míg a 11. napon 1 Spad egységgel nőtt.

17. táblázat: A 6, 9 és 11 napos kukorica relatív klorofill tartalmának alakulása a különböző kezelések hatására (Spad-érték) n=60± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

2. levél			
Kezelések	6. napon	9. napon	11. napon
Kontroll	36,77± 3,35	37,27± 3,92	38,38± 2,31
Füstgázpor	34,70± 3,82	33,34± 4,43*	30,36± 2,73***
Komposzt	39,42± 3,25	41,95± 3,83**	41,62± 2,70**
Extr. mákgubó	39,35± 3,56	42,30± 4,61**	39,49± 3,67
Szennyvíziszap	38,69± 2,11	43,67± 3,51***	43,79± 1,64***
Köszőrűiszap	43,10± 3,35***	48,68± 2,85***	46,35± 2,09***
Mésziszap	38,02± 1,39	42,81± 3,12***	43,92± 1,58***
3. levél			
Kezelések	6. napon	9. napon	11. napon
Kontroll	36,77± 3,35	37,27± 3,92	38,38± 2,31
Füstgázpor	34,70± 3,82	33,34± 4,43*	30,36± 2,73***
Komposzt	39,42± 3,25	41,95± 3,83**	41,62± 2,70**
Extr. mákgubó	39,35± 3,56	42,30± 4,61**	39,49± 3,67
Szennyvíziszap	38,69± 2,11	43,67± 3,51***	43,79± 1,64***
Köszőrűiszap	43,10± 3,35***	48,68± 2,85***	46,35± 2,09***
Mésziszap	38,02± 1,39	42,81± 3,12***	43,92± 1,58***

Komposzt-kezelés hatására a kukorica második és harmadik levelében mért SPAD-érték mind a három mérési napon nőtt. Ezek a növekedések szinkronban vannak a hajtás száraz tömegében tapasztalt növekedéssel. A nagyobb klorofill tartalom a fotoszintézis fokozásán keresztül növelte a szárazanyag felhalmozását is. A kezelt és a kezeletlen (kontroll) növények közötti különbség a klorofill tartalomban vizuálisan is tapasztalható.

A SPAD-érték minden mérési napon emelkedett a második levélben, a kontrollhoz képest extrudált mákgubó kezelés hatására. A harmadik levelekben viszont csak az utolsó, 11

mérési napon volt szignifikáns növekedés. Mindkét korú levélnél a méréseket a levél teljes kifejlődését követően mértük. Feltételezem, hogy a fotoszintetikus pigmentek szintézise lassabb folyamat, mint a levél növekedése, ezért a teljes levélméret elérésekor még nem fejeződött be a végleges pigment tartalom kialakulása. A fotoszintetikus pigmentek szintézise anyag-, és energia igényes folyamat, ezért feltételezem, hogy a levéldifferenciálódás során a levél által megtermelt energia nagyobb része fordítódik a struktúra kialakítására és majd csak ezt követően fejeződik be a fotoszintetikus pigmentek szintézise.

Szennyvíziszap kezelés hatására a kukorica második és harmadik levelében mért SPAD-érték mind a három mérési napon nőtt a kontrollhoz képest. A növekedés a 9. és a 11. napon mért értékeknél szignifikáns.

A SPAD-érték minden mérési időpontban és helyen (idősebb és fiatalabb levél) szignifikánsan emelkedett a köszörűiszappal kezelt növényeknél.

A SPAD-érték minden mérési időpontban és helyen emelkedett a mézsiszappal kezelt növényeknél. Az emelkedés a 9. napon és a 11. napon szignifikáns volt. A mérési eredmények alátámasztják a szárazanyag gyarapodással kapcsolatos megfigyelésemet is. A kedvező hatás mögött egy kedvezőbb tápanyag ellátási szintet valószínűsítek.

A napraforgó levelében mért relatív klorofill tartalmat a 18. táblázatban foglaltam össze.

18. táblázat: A 10, 13 és 15 napos napraforgók relatív klorofill tartalmának alakulása a különböző kezelések hatására (Spad-érték) $n=60 \pm$ S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: * $p<0,05$; ** $p<0,01$; *** $p<0,001$.

Kezelések	10. nap	13. nap	15. nap
Kontroll	36,32 \pm 3,14	39,88 \pm 2,53	43,95 \pm 2,32
Füstgázpor	49,13 \pm 3,86***	47,39 \pm 4,04***	46,81 \pm 3,19*
Komposzt	37,44 \pm 2,07	39,17 \pm 2,43	41,56 \pm 1,29*
Mákgubó	37,71 \pm 1,73	39,25 \pm 2,65	41,57 \pm 3,08*
Szennyvíziszap	36,82 \pm 2,87	40,37 \pm 3,15	41,50 \pm 3,18*
Köszörűiszap	44,82 \pm 2,41***	46,86 \pm 2,74***	49,36 \pm 2,73***
Mézsizap	40,93 \pm 3,49**	44,71 \pm 1,87***	44,58 \pm 2,23

Füstgázpor-kezelés hatására a napraforgó második levelében mért SPAD-érték szignifikánsan nőtt az összes mérési napon. A 10. napon megközelítőleg 13 Spad egységgel, a 13. napon 7,5 és a 15. napon megközelítőleg 3 Spad egységgel.

A napraforgó második levelében mért SPAD-értékben nem okozott lényeges változást a komposzt kezelés. A változások hibahatáron belüliek.

Az extrudált mákgubó kezelés nem okozott lényeges változást a SPAD-értékben, bár a 15. napon, a kezelt növényeknél mért csökkenés szignifikáns volt. A hajtás száraz tömegében bekövetkezett növekedés és a csökkent SPAD-érték a fotoszintetikus sejt organellumokban

történt változásokra hívják fel a figyelmet. Ellentmondásos, hogy miközben a kezelt növények száraz tömege nőtt, addig a SPAD-értékben csökkenést tapasztaltam. Az ellentmondás mögött a kezelés komplex hatását feltételezem, nevezetesen a kezelés eltérő módon hathat a klorofill szintézisre és a szárazanyag felhalmozás egyéb biokémiai folyamataira.

A napraforgó második levelében a SPAD-érték gyenge növekedést mutat az első két mérési napon, majd mérsékelten csökken szennyvíziszap kezelés hatására. Az idő függvényében azonban a tendenciák megegyezők, folyamatos növekedés van a kontroll és a kezelt növényeknél is, azzal a különbséggel, hogy a 13. és 15. nap között a kontroll levelekben a SPAD-érték intenzívebben nőtt.

A SPAD-érték szignifikánsan nőtt a mérési napokon, kőszőrűiszap kezelésnél. Ez az eredmény ellentmondásban van a hajtás száraz tömegében bekövetkezett csökkenéssel. Csökkent a hajtásban lévő elemek – pl. Fe és Mg - koncentrációja is a kezelés hatására. Ezen ellentmondás további vizsgálatok szükségességét teszi indokolttá. Feltehetően a fotoszintetikus rendszerben is történtek változások

A SPAD-értékben bekövetkezett növekedés újabb kérdéseket vet fel, mivel a hajtás ion-tartalma csökkent a mésziszap kezelés hatására a kontrollhoz képest. Ennek eredményeként csökkent a Fe és a Mg tartalom is. Az, hogy a klorofill szintézis lényeges tápelemeinek a koncentrációja csökkent a hajtásban, miközben nőtt a SPAD-érték azt a feltételezést valószínűsíti, hogy a még csökkent Fe és Mg tartalom is elegendő, és fiziológiailag aktív volt, és alapvetően a sejten belüli terekben lokalizálódott, így könnyen hozzáférhető volt a klorofill szintézishez vezető bioszintetikus út számára.

4. 4. A vizsgált melléktermékek hatása a kísérleti növények klorofill-*a,b* és karotinoid tartalmára

Mivel a relatív klorofill mérés csak egy viszonylagos értéket mutat, ezért mértem a fotoszintetikus pigmentek (klorofill-*a*, klorofill-*b*, karotinoidok) mennyiségét is (19. táblázat). A klorofill tartalom mérés eredményei hasonlóak a SPAD-érték mérési eredményeihez füstgázpor kezelésnél. A részletes mérés alapján megállapítható, hogy a kezelés elsősorban a klorofill-*b* koncentrációban okozott változást. A klorofill-*a* tartalom az idősebb - 2. levélben - csökkent, míg a következő kifejlett levélben nőtt a kezelés hatására. A klorofill-*a*/klorofill-*b* arányban bekövetkezett növekedés a fotoszintetikus apparátus nem megfelelő működésére hívja fel a figyelmet.

A komposzt kezelés hatására bekövetkezett Spad-érték emelkedését alátámasztják a fotoszintetikus pigmentek abszolút koncentrációját mutató értékek.

19. táblázat: A kukorica második és harmadik levelében mért klorofill-*a*, *b*, karotinoid-tartalom (mg g⁻¹) és klorofill-*a*/klorofill-*b* arány változása különböző kezelés (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mézsziszap) hatására n=3± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05.

2. levél				
Kezelések	Klorofill-a	Klorofill-b	Klorofill-a/b	Karotinoid
Kontroll	12,44± 0,61	3,51± 0,41	3,54	8,53± 0,89
Füstgázpor	11,53± 0,60	2,92± 0,57	3,94	7,60± 0,02
Komposzt	13,18± 1,55	3,89± 0,75	3,38	8,54± 0,86
Extr. mákgubó	11,22± 0,52	2,97± 0,59	3,77	6,95± 0,76
Szennyvíziszap	13,63± 1,75	3,54± 0,74	3,85	8,16± 0,75
Köszőrűiszap	16,75± 0,98**	5,57± 0,37*	3,00	10,86± 0,37
Mézsziszap	15,13± 0,57**	5,01± 0,38*	3,02	10,23± 0,45
3. levél				
Kezelések	Klorofill-a	Klorofill-b	Klorofill-a/b	Karotinoid
Kontroll	8,79± 0,38	3,48± 0,09	2,50	5,92± 0,69
Füstgázpor	9,95± 0,22*	2,67± 0,25	3,73	6,92± 0,31
Komposzt	13,45± 0,44**	3,54± 0,98	3,79	8,63± 0,02*
Extr. mákgubó	7,55± 0,43*	1,79± 0,59	4,21	5,24± 0,14
Szennyvíziszap	14,04± 0,55*	4,15± 0,69	3,38	9,12± 0,71*
Köszőrűiszap	16,64± 0,61***	6,17± 0,63*	2,69	11,77± 0,65***
Mézsziszap	15,12± 0,71***	5,64± 0,72*	2,68	10,17± 0,67***

A fotoszintetikus pigmentek abszolút mennyisége mindkét korú levélben csökkent extrudált mákgubó kezelésnél. A harmadik - fiatalabb - levélben ez a csökkenés szignifikáns. Az idősebb levelek pigment tartalmának kontrollhoz viszonyított csökkenése ugyanakkor valószínű oka lehet a kezelt növények mérsékeltebb szerves anyag felhalmozásának.

A SPAD-értékhez hasonlóan a klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoid tartalom is nőtt a kukorica idősebb és fiatalabb levelében szennyvíziszap kezelésnél. A harmadik levélben nagyobb növekedés figyelhető meg, mint a második levélben. A hajtás szárazanyag felhalmozásának kontrollt meghaladó mértéke, a kezelt növények relatív és abszolút klorofill tartalmának növekedése szoros pozitív oksági összefüggést takar.

A fotoszintetikus pigment vizsgálata megerősíti a SPAD-érték mérés eredményeit, ugyanis szignifikánsan nőttek a fotoszintetikus pigmentek koncentrációi köszőrűiszap kezelés hatására.

A fotoszintetikus pigmentek koncentrációi minden esetben emelkedtek mézsziszap kezelés hatására. Az emelkedések eltérő szinten ugyan, de szignifikánsak voltak. A több

fotoszintetikus pigment a magasabb SPAD-értékben, és a fokozott szerves anyag akkumulációban is megmutatkozott.

20. táblázat: A napraforgó második és harmadik levelében mért klorofill-*a*, *b*, karotinoid-tartalom (mg g^{-1}) és klorofill-*a*/klorofill-*b* arány változása különböző kezelés (füstgázpor, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszörűiszap, mézsziszap) hatására $n=3 \pm \text{S.E.}$ Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: $*p < 0,05$.

2. levél				
Kezelések	Klorofill-a	Klorofill-b	Klorofill-a/b	Karotinoid
Kontroll	11,77 \pm 0,98	3,57 \pm 0,09	3,29	7,13 \pm 0,22
Füstgázpor	11,25 \pm 0,46	3,51 \pm 0,37	3,20	7,47 \pm 0,14
Komposzt	10,32 \pm 0,18	3,01 \pm 0,12*	3,42	6,61 \pm 0,20
Extr. mákgubó	8,90 \pm 0,78*	3,01 \pm 0,76	2,95	5,36 \pm 0,31*
Szennyvíziszap	9,66 \pm 0,74	2,97 \pm 0,34	3,25	6,00 \pm 0,61
Köszörűiszap	12,46 \pm 0,68	4,23 \pm 0,08	2,94	9,24 \pm 0,61*
Mézsziszap	11,38 \pm 0,17	3,52 \pm 0,18	3,23	7,67 \pm 0,26
3. levél				
Kezelések	Klorofill-a	Klorofill-b	Klorofill-a/b	Karotinoid
Kontroll	12,29 \pm 0,41	3,69 \pm 0,05	3,33	8,85 \pm 0,05
Füstgázpor	12,19 \pm 0,72	4,23 \pm 0,35	2,88	8,99 \pm 0,75
Komposzt	10,98 \pm 0,26	3,20 \pm 0,31	3,43	7,62 \pm 0,25
Extr. mákgubó	11,89 \pm 0,81	3,96 \pm 0,35	3,00	8,24 \pm 0,64
Szennyvíziszap	11,27 \pm 0,13*	3,56 \pm 0,08	3,16	7,98 \pm 0,14***
Köszörűiszap	10,57 \pm 0,32*	3,03 \pm 0,19**	3,48	7,68 \pm 0,19**
Mézsziszap	11,62 \pm 0,51	3,46 \pm 0,17	3,35	8,41 \pm 0,86

A klorofill tartalomban nem okozott lényeges változást a füstgázpor-kezelés, ami meglepő a SPAD-érték mérések alapján. További vizsgálatok lesznek szükségesek a részletek megismerésére. A harmadik levélben bekövetkezett klorofill-*a*/klorofill-*b* arány csökkenése szintén a fotoszintetikus apparátus károsodására hívja fel a figyelmet.

Valamennyi mért pigment koncentrációja csökkent a szennyvíziszap-komposzt hatására. A klorofill-*a* csökkenése a 3., míg a klorofill-*b* csökkenése a 2. levélben volt szignifikáns. A szerves anyag gyarapodáshoz vezető biokémiai utak bonyolultságára és összefüggéseire hívja fel a figyelmet, hogy pigmentek abszolút mennyiségének csökkenése mellett is növekedett a kezelt növények szárazanyag felhalmozása, mely a fotoszintetikus apparátus hatékonyabb működését valószínűsíti.

A SPAD-értékhez hasonlóan csökkent a fotoszintetikus pigmentek mennyisége is extrudált mákgubó kezelés hatására. További vizsgálatok lesznek szükségesek a részletek megismerésére. A második és harmadik levélben bekövetkezett klorofill-*a*/klorofill-*b* arány csökkenése szintén a fotoszintetikus apparátusban bekövetkezett változásra hívja fel a figyelmet.

A fotoszintetikus pigmentek abszolút mennyisége mindkét korú levélben csökkent a szennyvíziszap kezelés hatására. A csökkenés elsősorban metodológiai okkal magyarázható, ugyanis az fotoszintetikus pigmentek abszolút koncentrációinak mérésére a kísérlet befejezésekor, azaz a 15. napon, az utolsó SPAD-érték mérését követően került sor, ekkor azonban a SPAD-érték is csökkenést tapasztaltunk.

A fotoszintetikus pigmentek mennyisége összhangban van a mért SPAD-értékekkel, köszörűiszap kezelésnél. Mind a három mért paraméter nőtt a kontroll értékhez képest a második levélben. Ezzel ellentétben a harmadik levélben mért értékek csökkentek a kontrollhoz viszonyítva. A klorofill-*a/b* arányban bekövetkezett változás szintén a fotoszintetikus apparátusban bekövetkezett változást feltételezi.

A fotoszintetikus pigmentek koncentrációjában és a klorofill *a/b* arányban nem volt lényeges különbség a kontroll és a mézsziszappal kezelt növények között. A gyakorlatilag változatlan klorofill tartalom mellett mért intenzívebb szerves anyag felhalmozás mögött a fotoszintetikus apparátus nagyobb hatékonyságát feltételezem. Másrészt a fotoszintetikus pigmentek koncentrációjának mérsékelt - többnyire hibahatáron belüli - csökkenése ellentmondásban van a SPAD-értékben mért különbségekkel. Az eltérés okaként az eltérő mérés technikát feltételezem.

4. 5. A vizsgált anyagok hatása a kísérleti növények levélterületére

Vizsgáltam a különböző kezelések levélfelületre gyakorolt hatását is. Az eredményeket a 21. és 22. táblázatok szemléltetik.

21. táblázat: A kukorica második és harmadik levelénél a levélfelület alakulása különböző kezelések (füstgáz, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszörűiszap, mézsziszap) hatására (mm²) n=3± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05; **p<0,01;***p<0,001.

Kezelések	2. levél	3. levél
Kontroll	44,51± 2,92	25,24± 0,67
Füstgázpor	16,22± 2,71***	35,72± 2,77*
Komposzt	21,50± 7,24**	39,77± 9,24
Mákgubó	21,18± 0,30***	47,68± 7,19*
Szennyvíziszap	20,66± 3,05***	42,09± 9,45
Köszörűiszap	21,39± 2,34***	41,94± 3,59**
Mézsziszap	22,72± 0,85***	43,28± 1,32***

A kukorica második levelének levélterülete szignifikánsan csökkent füstgázpor-kezelés hatására, a kontrollhoz viszonyítva. A harmadik levél területe pedig szignifikánsan nőtt. Az eredmény ellentmondásos. A kontroll és a kezelt levelek száraz tömege között

jelentős különbség volt, miközben a 3. levél száraz tömege is alatta volt a kontrollénak. Feltételezzük, hogy az ellentmondásos eredmény mögött a vizsgált levelek eltérő vastagsága, a belső szövetek destrukciója áll.

A korábban differenciálódott 2. levél területe csökkent, míg a fiatalabb, 3. levél területe nőtt komposzt kezelés hatására. Mindeközben a kezelt hajtások száraz tömege szignifikánsan emelkedett. Feltételezem, hogy az ellentmondásos eredmény mögött a vizsgált levelek eltérő vastagsága áll. Másik lehetséges ok a szuboptimális tápanyag-ellátás, melynek következtében mérséklődik a sejtek a megnyúlása, miközben a térfogatuk nem változik, esetleg nő.

A kukorica második levelének levélterülete szignifikánsan csökkent extrudált mákgubó kezelés hatására, a kontrollhoz viszonyítva. A harmadik levél területe pedig szignifikánsan nőtt. Az eredmény ellentmondásos. Feltételezzük, hogy az ellentmondásos eredmény mögött a vizsgált levelek eltérő vastagsága áll.

A szennyvíziszap kezelés a harmadik levél területére volt kedvezőbb hatással. A második levél területe szignifikánsan csökkent. Ezzel ellentétben a fiatalabb levél 67 %-kal nőtt. Ez összhangban van a hajtás szerves anyag felhalmozásával. Feltehetőleg a harmadik levél megjelenése után érezhető a szennyvíziszap kedvező hatása, ebben az időben kezdenek el mobilizálódni a tápelemek. *Thomas et al.* (2006) szennyvíziszappal végzett kísérletükben szintén a levélterület növekedését figyelték meg.

Az eredmények ellentmondásosak körszörűiszap és mésziszap kezelésnél is. A második levélnél szignifikáns csökkenést, míg a harmadiknál szignifikáns növekedést tapasztaltam.

A füstgázpor kezelés kifejezetten gátolta a napraforgó levélnövekedését (22. táblázat). Mindkét korú levél esetében a gátló hatás szignifikáns. A levélterület mérés eredménye szinkronizál a szárazanyag felhalmozás vonatkozó méréseivel, és a klorofill tartalmakkal is. A gátló hatás azonban többszöröse, mint az a megelőző mérési eredmények alapján vártnak. Feltételezem, hogy a jelentős differenciák magyarázatára a levél vastagság is számításban jöhet, viszont az eltérések egyedüli okaként nem fogadható el, ezért az okok tisztázandók.

22 táblázat: A napraforgó második és harmadik levelénél a levélfelület alakulása különböző kezelések (füstgáz, komposzt, extrudált mákgubó, szennyvíziszap, köszőrűiszap, mésziszap) hatására (mm²) n=3± S.E. Szignifikáns különbség a kontrollhoz viszonyítva: *p<0,05; **p<0,01; ***p<0,001.

Kezelések	2. levél	3. levél
Kontroll	134,33± 32,64	170,93± 12,74
Füstgázpor	46,45± 3,73 *	21,75± 2,94***
Komposzt	105,97± 18,78	157,26± 6,10*
Mákgubó	118,11± 6,69	158,15± 7,89
Szennyvíziszap	116,07± 18,25	170,84± 17,03
Köszőrűiszap	82,08± 7,76	93,07± 15,89**
Mésziszap	102,86± 19,02	127,30± 15,92*

Komposzt-kezelés hatására a napraforgó második levelének felülete 22 %-kal, csökkent, míg a harmadik levélé 8 %-kal, a kontrollhoz képest. A komposzt-kezelés az idősebb és a fiatalabb levélre is azonos módon hatott. A csökkenés ugyanakkor a szerves anyag felhalmozás növekedésével volt egyidejű. Ebből azt a következtetést vonom le, hogy a levelek területének csökkenése a mezofilum sejtek térfogatának gyarapodása mellett játszódhatott le.

Az extrudált mákgubó-kezelés hatására csökkent a vizsgált levelek területe. Feltételezem, hogy a csökkenésre az eltérő levélvastagság magyarázat lehet, viszont az eltérések egyedüli okaként nem fogadható el, ezért az okok tisztázandók.

Szennyvíziszap kezelés hatására a napraforgó idősebb és fiatalabb levélterülete is csökkent. A csökkenés az idősebb második levélnél szignifikáns, míg a fiatalabb 3. levélnél mért érték a kontrollal megegyező.

A köszőrűiszap kezelés szignifikánsan csökkentette a levélterületet. A fiatalabb levél (3. levél) területe nagyobb mértékben csökkent, mint az idősebb levélé (2. levél).

A mésziszap kezelés csökkentette a levélterületet, miközben a hajtás tömege nőtt a kezelések hatására. Nem mértem a hajtások térfogatát, ezért feltételezem, hogy a csökkent levélterület melletti nagyobb száraztömeg mögött a fejlettebb asszimiláló alapszövet feltételezhető.

4. 5. A komposzt, az extrudált mákgubó, a füstgázpor és a köszőrűiszap - kezelések hatása a kukorica és napraforgó ultrastrukturális változásaira

A különböző kezelések hatással voltak számos olyan paraméterre, amelyek szorosan összefüggtek a fotoszintézis intenzitásával, hatékonyságával is. A fotoszintézis

sejtorganeluma a kloroplasztisz, ezért vizsgáltam az egy sejtre eső kloroplasztisz szám alakulását a kezelések hatására.

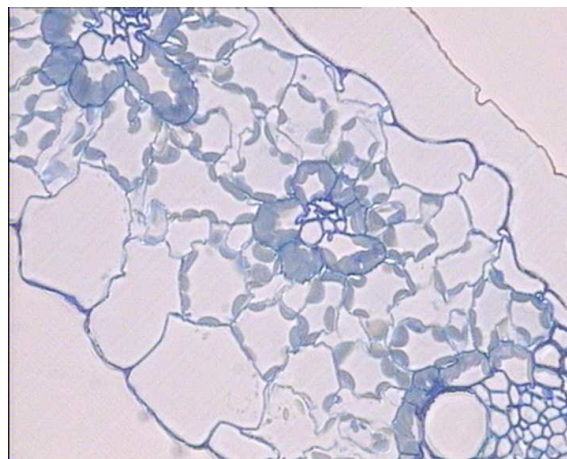
A kontroll kukorica fénymikroszkópos képén a kloroplasztiszok egyenletes elrendeződést mutatnak (1. kép). A méretük átlagosnak tekinthető. Az egy sejtre eső átlagos kloroplasztisz szám $5,5 \pm 0,02$.

Komposztal kezelt kukoricánál (2. kép) a kloroplasztiszok mérete a kevesebb kloroplasztisszal rendelkező sejtekben nőtt. Az átlagos kloroplasztisz szám 5, ez a gyenge csökkenés a kloroplasztiszok nem egyenletes eloszlásával magyarázható.

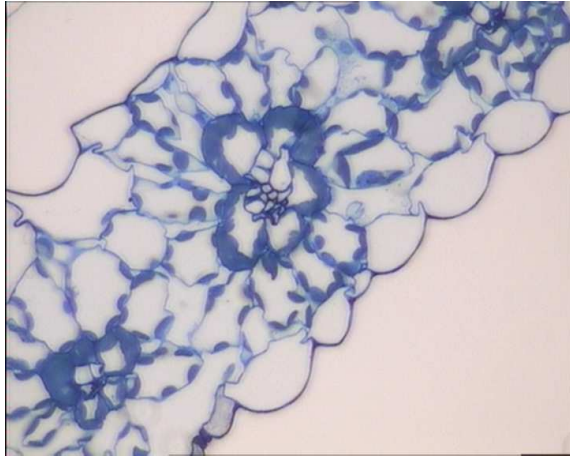
Füstgázpor kezelés hatására a sejtek károsodtak (3. kép), deformáltak. A kloroplasztiszok száma és mérete csökkent a kontrollhoz, és a többi kezeléshez képest is. Az egy sejtre eső átlagos kloroplasztisz szám 3,5. A csökkent kloroplasztisz szám lehet a magyarázata a csökkent relatív klorofill és fotoszintetikus pigment tartalomnak.

A köszörűiszappal kezelt kukorica kloroplasztiszai egyenletes eloszlást mutatnak (4. kép). A kloroplasztisz szám a kontrollhoz képest nőtt (6). Ezzel magyarázható a kukorica levelében mért nagyobb relatív klorofill és fotoszintetikus pigment tartalom. A kloroplasztisz számban bekövetkezett növekedés mögött feltételezem, hogy a köszörűiszap magas vastartalma állhat.

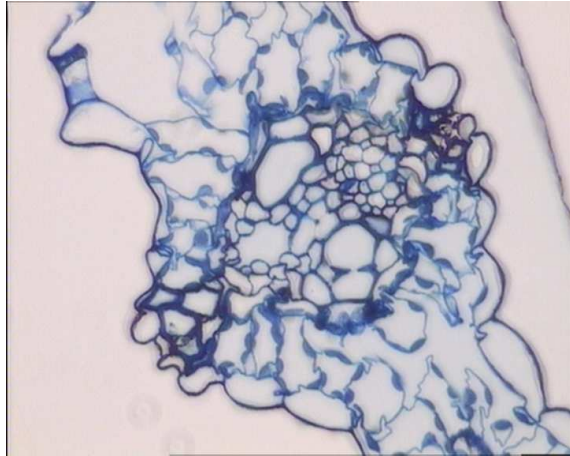
Az extrudált mákgubó kezelésnél a kukorica kloroplasztiszai szabályos elrendeződést mutatnak, a méretük és számuk nem változott a kontrollhoz képest (5. kép).



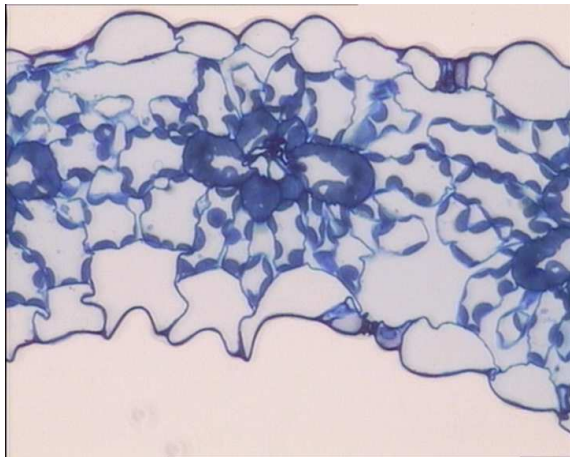
1. kép: A kontroll kukorica második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó: Tóth B., 2012)



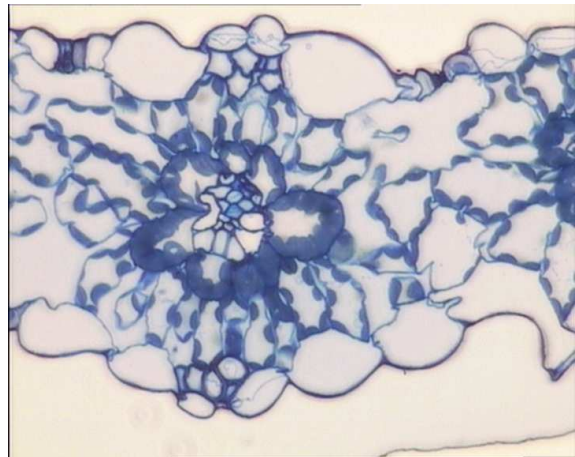
2. kép: A szennyvíziszap-komposzttal kezelt kukorica második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó: Tóth B., 2012)



3. kép: A füstgázzal kezelt kukorica második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó: Tóth B., 2012)



4. kép: A köszörűiszappal kezelt kukorica második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó: Tóth B., 2012)



5. kép: Az extudált mákgubóval kezelt kukorica második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó:Tóth B., 2012)

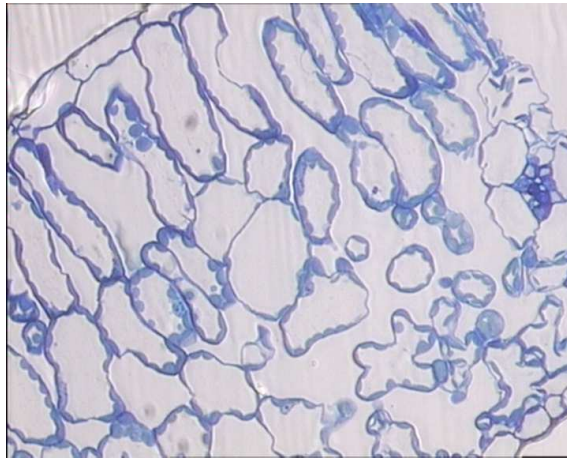
A kontroll napraforgó kloroplasztiszai egyenletes elrendeződést mutatnak (6. kép). A méretük átlagosnak tekinthető, de 1-2 sejtben megnagyobbodott kloroplasztisz látható. Az egy sejtre eső átlagos kloroplasztisz szám 12.

Komposzttal kezelt napraforgónál (7. kép) a kloroplasztiszok mérete csökkent a kontrollhoz képest. Az átlagos kloroplasztisz szám 10, mely tükrözi a csökkent fotoszintetikus és relatív klorofill tartalmat.

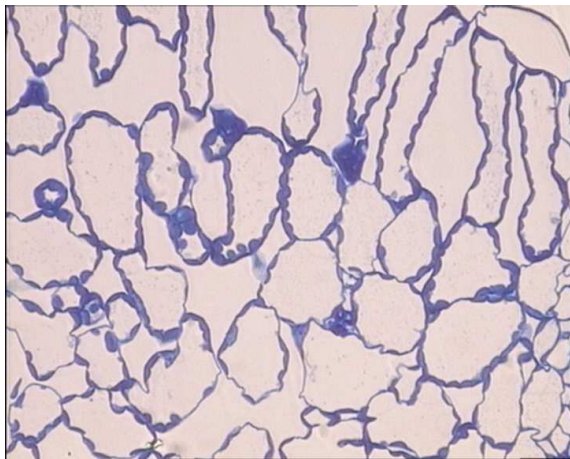
Füstgázpor kezelés hatására a sejtek károsodtak (8. kép), deformáltak. A kloroplasztiszok mérete csökkent a kontrollhoz, és a többi kezeléshez képest is, de az egy sejtre eső átlagos kloroplasztisz szám nem változott a kontrollhoz képest.

A köszörűiszappal kezelt kukorica kloroplasztiszai egyenletes eloszlást mutatnak (9. kép). A kloroplasztisz szám a kontrollhoz képest nőtt – 13 - Ez a növekedés a kukoricánál korábban leírtakkal magyarázható.

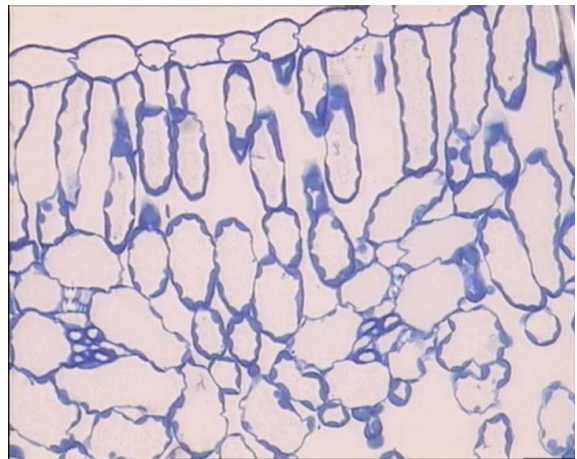
Az extrudált mákgubó kezelésnél a kukorica kloroplasztiszai mérete kisebb, mint a kontroll napraforgó kloroplasztiszaié (10. kép). A kisebb kloroplasztis kevesebb színanyagot tartalmaz, és a megnövekedett kloroplasztisz szám (13) sem tudta kompenzálni a különbséget.



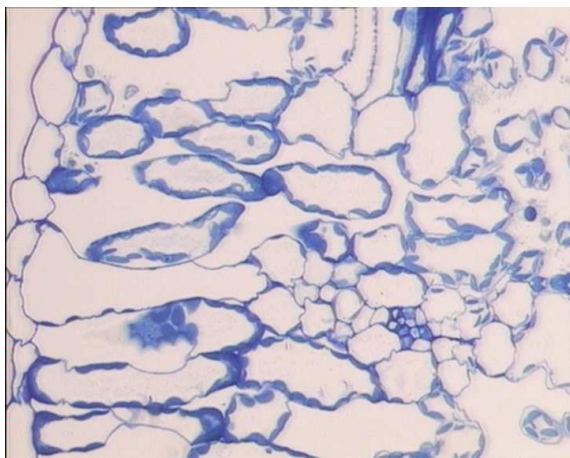
6. kép: A kontroll napraforgó második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó: Tóth B., 2012)



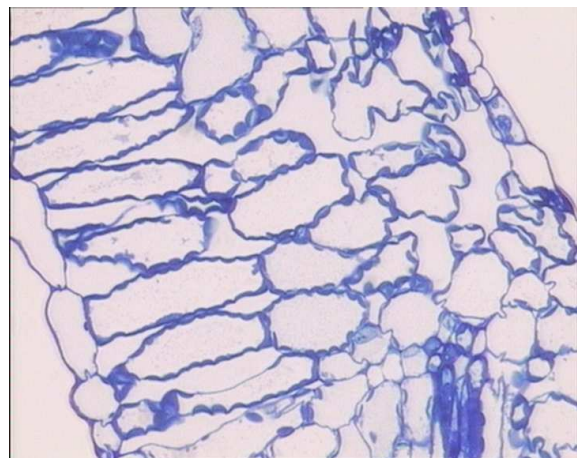
7. kép: A szennyvíziszap-komposzttal kezelt napraforgó második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó:Tóth B., 2012)



8. kép: A füstgázporral kezelt napraforgó második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó: Tóth B., 2012)



9. kép: A köszörűiszappal kezelt napraforgó második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó: Tóth B., 2012)



10. kép: Az extrudált mákgubóval kezelt napraforgó második levelében lévő kloroplasztiszok (Fotó:Tóth B., 2012)

A mikroszkópos vizsgálathoz azokat a kezeléseket választottam ki, melyek valamilyen szempontból érdekes eredményt hoztak. Mivel a két vizsgált növény eltérően reagált a kezelésekre, ezért olyan kezeléseket kellett kiválasztani, melyek mind a két kísérleti növénynél hasonló eredményt adtak. A SPAD-érték alakulását és a száraz tömeget vettem figyelembe.

A kontroll kukorica elektron-mikroszkópos képe megfelel egy optimális körülmények között nevelt növény képének. Elváltozások nem láthatók rajta. A tillakoid membránjai fejlettek, a sztróma homogén (11. kép). Komposzt-kezelésnél, kontrollhoz hasonló nagy plasztisz méret figyelhető meg (12-13. kép). A füstgáz poros kezelésnél a tillakoidban kis tágulatok vannak, valamint keményítő felhalmozás látható. Feltételezhetően azért, mert sérült a fotoszintetikus keményítő lebontásának enzimrendszere és a transzportja is, így a keményítő ideiglenesen felhalmozódott. Az endoplazmatikus retikulum több rétegűvé vált és kiszélesedett. Ennél a kezelésnél is tillakoid tágulatok láthatók, melyeket a 14. kép is szemléltet. A köszörűiszap és az extrudált mákgubó kezelésekre hatására szintén több endoplazmatikus retikulum figyelhető meg (15-16 kép).

A kontroll napraforgó kloroplasztiszainak elektronmikroszkópos képe az optimális körülményeket szemlélteti (17. kép).

Komposzt-kezelésnél a mitokondriumok nem elég jó állapotúak, a mitokondrium puffadt és gyűrű alakú. A peroxiszóma mérete nagyobb, mint a kontrollnál és lazább szerkezetű. A kloroplasztiszok szerkezete a kontrollhoz hasonló. Sok az endoplazmatikus retikulum (18. kép).

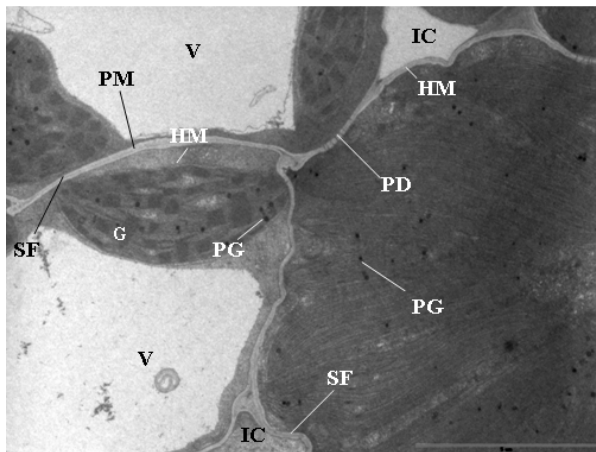
Füstgázpor kezelésnél a plasztiszok nagy részében a tillakoidok tágulása figyelhető meg. A kloroplasztiszok lekerekedettek, mely stressz-állapotjelző lehet. A kloroplasztisz gránumai nem egy síkban állnak. A plasztoglobulosok feketék és picik. A szerkezeti kép megfelel egy fiatal növényének, de a plasztiszok „szétziláltak” (19. kép).

Köszörűiszap kezelésnél a plasztisz tillakoid rendszerének eltolódása figyelhető meg. A tillakoid nem „puffadt” fel, kevés gránumot tartalmaz. A sejtorganellumok, kloroplasztiszok eloszlása nem egyenletes. A mitokondriumban belső mag található (20. kép).

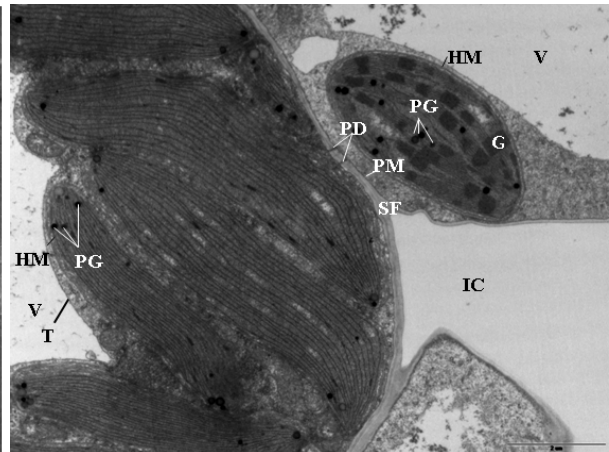
Az extrudált mákgubó-kezelésnél a plasztiszok a kontroll növényéhez hasonlóak. Jelentős elváltozások nem láthatók (21. kép).

A napraforgó kloroplasztiszának strukturális változására a köszörűiszap volt a legnagyobb hatással. Ennél a kezelésnél romlott a legjobban a kloroplasztisz állapota. Ezt követi a füstgázporos kezelés, ahol a legnagyobb tágulatok láthatók a tillakoidban. A

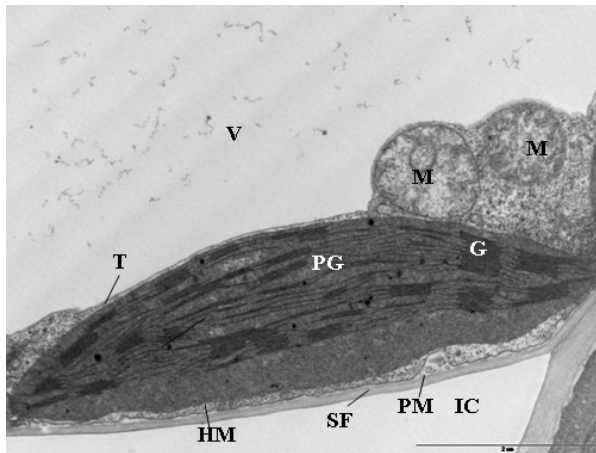
komposztkezelésnél kisebb változások voltak megfigyelhetők, míg az extrudált mákgubó-kezelésnél a kontrollhoz hasonló képet kaptunk.



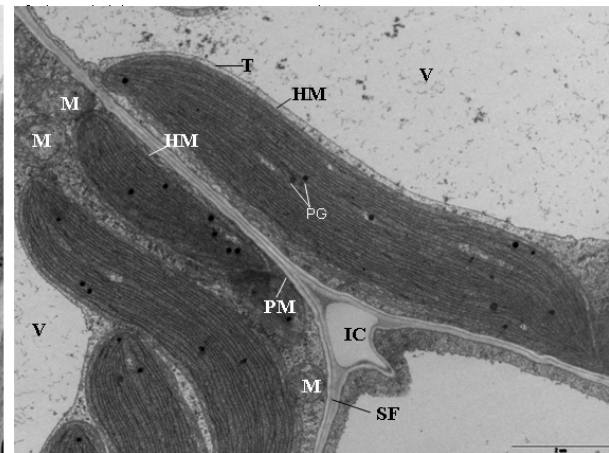
11. kép: 11 napos kontroll kukorica mezofillum és nyalábhüvely sejt kloroplasztisának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 µm)



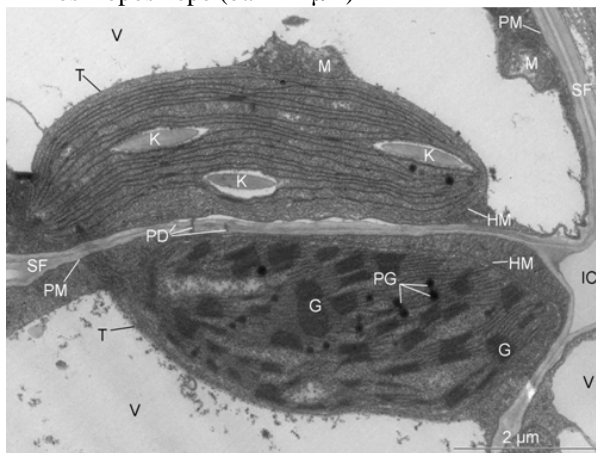
12. kép: 11 napos extrudált mákgubóval kezelt kukorica mezofillum és nyalábhüvely sejt kloroplasztisának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 µm)



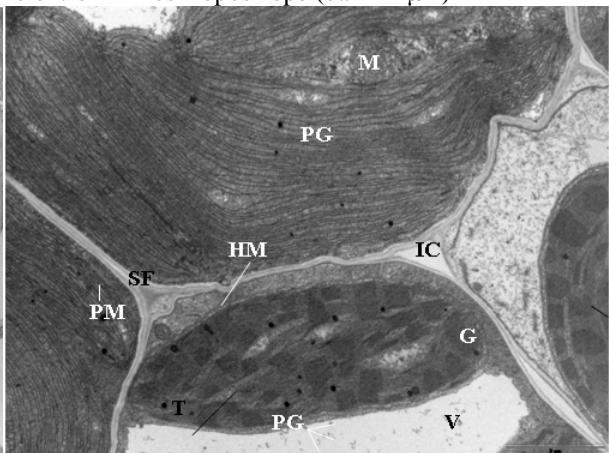
13. kép: 11 napos komposztal kezelt kukorica mezofillum sejt kloroplasztisának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 µm)



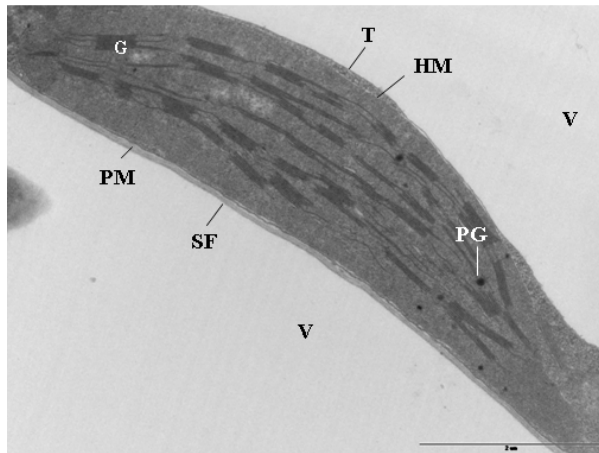
14. kép: 11 napos komposztal kezelt kukorica nyalábhüvely sejt kloroplasztisának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 µm)



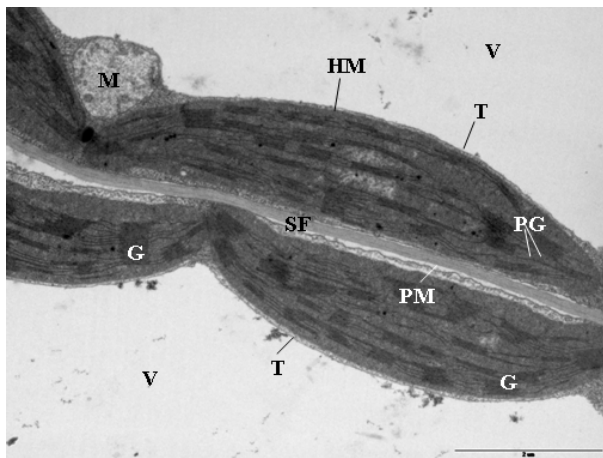
15. kép: 11 napos füstgáz porral kezelt kukorica mezofillum és nyalábhüvely sejt kloroplasztisának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 µm)



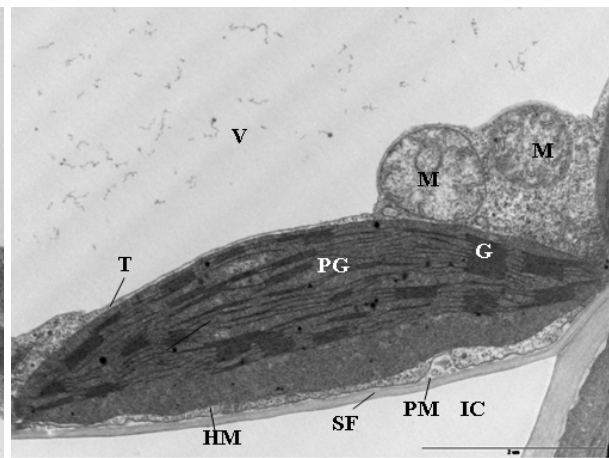
16. kép: 11 napos köszörűiszap kezelt kukorica mezofillum és nyalábhüvely sejt kloroplasztisának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 µm)



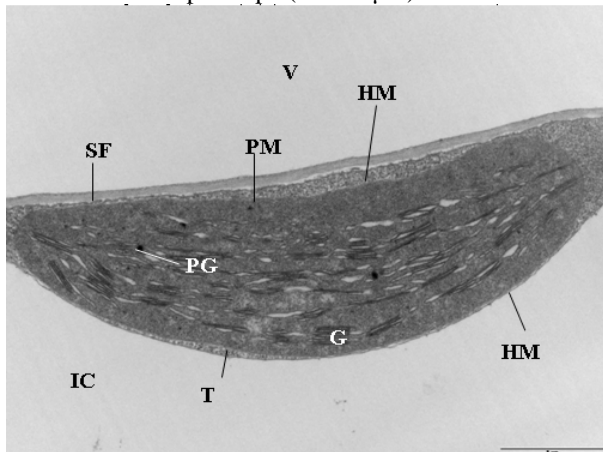
17. kép: 15 napos kontroll napraforgó mezofillumsejt kloroplasztiszának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 μ m)



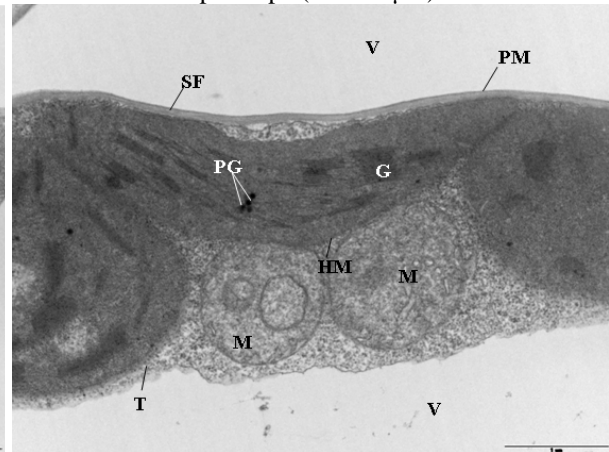
18. kép: 15 napos extrudált mákgubóval kezelt napraforgó mezofillumsejt kloroplasztiszának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 μ m)



19. kép: 15 napos kompozttal kezelt napraforgó mezofillumsejt kloroplasztiszának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 μ m)



20. kép: 15 napos füstgáz porral kezelt napraforgó mezofillumsejt kloroplasztiszának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 μ m)



21. kép: 15 napos kősörűszappal kezelt napraforgó mezofillumsejt kloroplasztiszának elektronmikroszkópos képe (bar = 1 μ m)

5. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Napjainkban globális ökológiai probléma a fokozódó CO₂ kibocsátás. A mezőgazdaság a felhasznált kemikáliák, így a nagy mennyiségű műtrágyák és egyéb vegyszerek miatt a legnagyobb CO₂ kibocsátó. Minden olyan lehetőség, amellyel a magas fosszilis energia igényű kemikáliákat kiválthatjuk megkülönböztetett jelentőséggel bír, nem csupán ökológiai, de jövedelmezőségi szempontból is. **Elvégeztem a kísérletbe vont melléktermékek átfogó növényfiziológiai vizsgálatát, a fenti elvet és az ebből adódó célkitűzéseket követve.**

2. A növényi produkció, így a szántóföldekről betakarítható termés mennyisége két alapvető fiziológiai folyamat eredője, nevezetesen a fotoszintézis és a légzés. Minél nagyobb a két folyamat különbsége a fotoszintézis javára, annál nagyobb a várható mennyisége is. Ezért megkülönböztetett jelentősége van minden olyan antropogén, vagy egyéb környezeti hatásnak, amely a fotoszintézis intenzitását befolyásolja. **Kimutattam, hogy a melléktermékek hatásai mögött egyebek mellett a fotoszintetikus apparátus változásai lehetnek nem kizárva más agyagcsere folyamatokkal történő interakciót.**

3. A fotoszintézis aktivitása számos endogén és exogén tényező függvénye. A fotoszintézis bonyolult biokémiai folyamata a kloroplasztiszban játszódik le. Nem mellékes ezért, hogy a levél, illetve a mezofillum sejtek mennyi kloroplasztiszt tartalmaznak. **Megállapítottam, hogy a füstgázpor, a szennyvíziszap-komposzt, a köszörűiszap és az extrudált mákgubó kezelések megváltoztatják a kloroplasztiszok számát a mezofillum sejtjeiben.**

4. A kloroplasztisz finomabb ultrastruktúrájához kötettek a fotoszintézis fényreakciói, azaz, azok a fotokémiai folyamatok, amelyek mai ismeretünk szerint a földi élet alapját biztosítják. Ez az érzékeny membránrendszer biztosítja a CO₂ megkötéséhez szükséges ATP-ét és redukáló erőt. A membránrendszer megváltozása hatással van a fotokémiai reakciókra, ezáltal a CO₂ megkötésre is. A folyamat ökológiai jelentőségét többek között az is jelenti, hogy a zöld növények CO₂ fixálásának emelkedésével csökkenthető a légköri CO₂ mennyisége, ami napjainkra globális célkitűzéssé vált. **Kimutattam, hogy a kezelések a kloroplasztiszok ultrastruktúrájában, membránrendszerében a füstgázpor kezelésre a tilakoid membránokban tágulatok keletkeztek, ami hatással van a fényreakciók hatékonyságára.**

5. A vas az utóbbi időszak egyik legintenzívebben kutatott tápeleme. A Világ számos térségében a termést leginkább limitáló tényező. Sajátossága, hogy a két értékű formája nagy mennyiségben mérgező, míg a háromértékű formát a növény nem, vagy alig tudja felvenni. Az alumíniumot általában toxikus fémként kezelik, miközben a tea normális növekedéséhez extrém magas alumínium koncentráció szükséges. Mindkét elemre jellemző, hogy többértékű pozitív kation, így a fehérjék és a membránok negatív töltéshelyei között kötéseket létesítenek, amellyel a szerkezetet erősen zsugorítják. A fehérjék, illetve a membránok szerkezetére gyakorolt azonos hatás miatt a két ion közötti kompetíció lenne indokolt. Ezzel szemben **rámutattam a kezelések hatására párhuzamosan növekvő Al és Fe koncentrációra, amely új megvilágításba helyezheti a membrán vas transzportereinek működését, és újabb kutatásokra ösztönöz e két elem kapcsán.**

6. GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

Kísérleteimben ipari melléktermékek növényfiziológiai hatását vizsgáltam. A vizsgálatok az alaptudományokhoz tartoznak, ezért közvetlen hasznosításuk további, elsősorban szántóföldi vizsgálatokat és folyamatos monitorozást igényel.

Kísérleteim alapján a következő eredményeimet tartom rövid időn belül is használhatónak a gyakorlat számára.

- Kísérleteim rámutattak az ipari melléktermékek lehetséges használatára a növények tápanyag utánpótlásban.
- Az általam vizsgált melléktermékek folyamatos és ellenőrzött felhasználásával csökkenthető a CO₂ kibocsátás mértéke.
- A vizsgált melléktermékekkel jelentős mennyiségű mikroelemet juttathatunk azon talajainkba, ahol tápelem hiányok a leglényegesebb termést limitáló tényezők. A vas és cink hiányok hatékonyan kezelhetők a vizsgált melléktermékekkel.

Tudományos közlemény idegen nyelvű, lektorált, impakt faktoros folyóiratban:

Fodor F. – Kovács K. – Czech V. – Solti Á. – Tóth B. – Lévia L. – Bóka K.- Vértes A.: 2012. Effects of short term iron citrate treatments at different pH values on roots of iron-deficient cucumber: A Mössbauer analysis. Journal of Plant Physiology IN PRESS

IF: 2,791

Ványiné Széles A. – Tóth B.- Nagy J.: 2012. Effect of nitrogen doses on the chlorophyll concentration, yield and protein content of different genotype maize hybrids in Hungary. African Journal of Agricultural Research 7. 16: 2546-2552. ISSN 1991-637X.

IF: 0,263

Tóth B. – Veres Sz. – Bákonyi N. – Gajdos É. - Marozsán M. - Lévai L.: 2012. Industrial side-products as possible soil-amendments. Journal of Environmental Biology 33. 2: 435-439. ISSN 0254-8704

IF: 0,48

Solti Á. – Sárvári É. – Tóth B. – Basa B. – Lévai L. – Fodor F.: 2011. Cd effects the translocation of some metals either Fe-like or Ca-like way in poplar. Plant Physiology and Biochemistry 49. 494-498. ISSN 0981-9428

IF: 2,485

Tudományos közlemény idegen nyelvű, lektorált folyóiratban

Tóth B. – Lévai L. – Veres Sz.: 2011. Can industrial by-products be used as tools in sustainable agriculture? Journal of Environmental Science and Engineering 12, (5) 1596-1603. ISSN 1934-8932

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai, lektorált, impakt faktoros folyóiratban

Tóth B.- Lévai L.- Kovács B. – Borbélyné Varga M. – Veres Sz.: 2013. Compensation effect of bacterium containing biofertilizter on the growth of *Cucumis sativus* L. under Al-stress conditions. (ed. Elekes K.) Acta Biologica Hungarica 61. 1: x-xx. ISSN 0236-5393. (ELFOGADVA)

IF: 0,593

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai, lektorált folyóiratban

Tóth B. – Solti Á. – Fodor F. – Bóka K. – Veres Sz.: 2012. Green development: green water or waste water? Növénytermelés (szerk: Nagy J.) Suppl. 61. 467-407. ISSN 0546-8191.

Tóth B.: 2011. Possible alternatives in crop nutrition. Journal of Agricultural Sciences - Acta Agraria Debrecenienses (szerk. Jávora A.), 44. 119-121. ISSN 1588-8363

Tóth B. – Makleit P. - Veres Sz.: 2011. Abusive land use and problem of plant nutrition. Növénytermelés (szerk. Nagy J.) Suppl. 60. 419-422. ISSN 0546-8191.

Tóth B. – Bákonyi N. – Veres Sz.: 2010. Effects of different industrial wastes on the plant growth and development in the agro-ecosystem. Növénytermelés (Szerk. Nagy J.) Suppl. 59. 2: 605-608. ISSN 0546-8191.

Gajdos É. – Tóth B. – Kovács B.: 2009. Applicability of biofertilization under cadmium stress in the case of maize and sunflower. Cereal Research Communications Suppl. 37. 1.: 593-596. ISSN 0133-3720

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban

Tóth B. – Hankovszky G. – Bojtok K. - Veres Sz. – Lévai L.: 2012. Biogáz üzemi melléktermékek növényfiziológiai vizsgálata. (szerk. Nagy J.), Növénytermelés 61 (3) (ELFOGADVA). ISSN 0546-8191.

Tóth B. – Bojtok K.- Hankovszky G.- Veres Sz. – Lévai L.: 2012. Bioenergetikai melléktermékek. A fahamu és szalmahamu hatása a kukorica fejlődésére. (szerk. Nagy J.), Növénytermelés 61 (2) 97-107. ISSN 0546-8191.

Tóth B.: 2012. A szennyvíziszap formák alkalmazhatósága a növénytermesztésben. Agrártudományi Közlemények, Acta Agrarai Debreceniensis 46. (szerk. Jávora A.) 83-89.

Tóth B. - Veres Sz. - Bákonyi N. - Gajdos É. - Marozsán M. - Lévai L.: 2010. Mész- és cementgyári porok növényfiziológiai hatásának vizsgálata. (szerk. Nagy J.), *Növénytermelés* 59. 3: 65-83. ISSN 0546-8191.

Bákonyi N. - Gajdos É. - **Tóth B.** - Marozsán M. - Kovács Sz. - Veres Sz. - Lévai L.: 2010. A közeg pH-jának szerepe a látens tápanyaghiány kialakulásában fiatal kukorica és uborka növényeknél. *Növénytermelés* (Szerk. Nagy J.) 59. (2) 5-23. ISSN 0546-8191.

Ismeretterjesztő publikáció

Tóth B. – Veres Sz.- Lévai L.: 2012. Műtrágyázás és meszezés – a savanyú talajok időzített bombák. Értékálló Aranykorona XII. Évf. 3. szám, 8-9. pp.

Tóth B.: 2011. A kommunális szennyvíziszap mezőgazdasági hasznosítása. Értékálló Aranykorona XI. Évf. 10. szám, 14-15. pp.

Tóth B.: 2010. Ipari melléktermékek alkalmazása a növénytáplálásban. Értékálló aranykorona. X. évfolyam, 9. szám, pp. 13-14

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány

Bákonyi N. – Gajdos É. – **Tóth B.** – Marozsán M. - Lévai L. – Veres Sz.: 2011. The effect of Fe/Zn ratio on the evolution of latent zinc deficiency in crop plants. [In: Pospisil M. (ed.) Proceedings of 46th Croatian & 6th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 775-759. ISBN 978-953-6135-90-5.

Gajdos É. – Bákonyi N. – Marozsán M. – **Tóth B.** – Lévai L. – Veres Sz.: 2011. Cadmium tolerance of maize and sunflower seedlings. [In: Pospisil M. (ed.) Proceedings of 46th Croatian & 6th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 700-703. ISBN 978-953-6135-90-5.

Lévai L. – Tóth B. – Gajdos É. – Bákonyi N. – Veres Sz.: 2011. Bio-fertilizers for the quality of agricultural production. [In: Efe R., Münir Öztürk M., Atalay I. (eds.) Global Changes in the Mediterranean Region (IKES2011). Proceedings of International Symposium on Kaz Mountains (Mount IDA) and Edremit.] Edremit. Turkey. 531-539. ISBN 978-605-87840-0-0.

Tóth B. – Lévai L.: 2011. New possibilities in environmental friendly plant nutrition. [In: Efe R., Münir Öztürk M., Atalay I. (eds.) Global Changes in the Mediterranean Region (IKES2011). Proceedings of International Symposium on Kaz Mountains (Mount IDA) and Edremit.] Edremit. Turkey. 531-539. ISBN 978-605-87840-0-0.

Tóth B. - Veres Sz. - Fodor F. - Solti Á. - Lévai L.: 2011. Waste management – Reuse in agriculture? [In: Li S., Wang W., Niu P., An Y. (eds.) Progress in Environmental Science and Technology, Vol III. Proceedings of the 2011 International Symposium on Environmental Science and Technology.] Dongguan, Guangdong Province. China. 945-949. ISBN 978-7-03-030935-8.

Tóth B. – Veres Sz. – Stipešević B. – Jug D. - Lévai L.: 2011. Are there any useful effects of wastes in the crop production? [In: Stipešević B., Sorić R. (eds.) Agroglas. Proceedings and abstract of 4th International Scientific/Professional Conference on Agriculture in Nature and Environment Protection.] Vukovar. Republic of Croatia. 124-129. ISBN 978-953-7693-01-5.

Bákonyi N. – Lévai L. – Gajdos É. – Tóth B. – Veres Sz.: 2011. Physiological responses of maize and cucumber to the biofertilizer treatment under alkaline condition. [In: Stipešević B., Sorić R. (eds.) Agroglas. Proceedings and abstract of 4th International Scientific/Professional Conference on Agriculture in Nature and Environment Protection.] Vukovar. Republic of Croatia. 130-135. ISBN 978-953-7693-01-5.

Tóth B. - Lévai L. - Makleit P. - Bákonyi N. – Veres Sz.: 2011. Possibilities to environmental friendly reuse of industrial side-products. [In: Atanasov A. (ed.) Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences. 3rd International Conference.]. Lozenec. Bulgaria. 309-313. ISSN 1313-7735.

Bákonyi N. – Gajdos É. – Tóth B. – Makleit P. – Lévai L.- Veres Sz.: 2011. The effect of Zn deficiency on the contents of photosynthetic pigments. [In: Atanasov A. (ed.) Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences. 3rd International Conference.]. Lozenec. Bulgaria. 18-21. ISSN 1313-7735.

Tóth B. - Ványiné Széles A. – Vágó I. – Veres Sz.: 2011. Dependence of chlorophyll contents of rape and wheat on sewage sludge compost treatment. [In: Kastori R.- Kadar I. – Aleksić N.- Tomčić D.- Kićović D. –Gora C.- Golja A. (eds.) Environmental Protection of Urban and Suburban Settlements 15th International Eco-Conference®.] Novi Sad. Serbia. 461-468. ISBN 978-86-83177-44-8.

Tóth B. – Lévai L. – Vágó I. - Veres Sz.: 2011. Possible use of renewable industrial by-products in environmentally- friendly agricultural production. [In: Baby S., Dan Y. (eds.) International Proceedings of Chemical, Biological and Environmental Engineering 21: Proceedings of 2011 International Conference on Environment and BioScience (ICEBS2011)] Cairo. Egypt. 124-128. ISSN 2010-4618. ISBN 978-981-08-9919-6.

Tóth B. - Veres Sz. - El-Rodeny M. W. - Lévai L.: 2010. Effects of sewage sludge and lime sludge on the early development of corn under laboratory conditions. [In: Jug D. - Sorič, R. (eds.) Agroglas. Proceedings and abstract of 3rd international scientific/professional conference on Agriculture in Nature and Environment Protection.] Vukovar. Croatia. 194-199. ISBN 978-953-7693-00-8.

Tóth B. – Lévai L. – Veres Sz. – Bákonyi N. – Gajdos É. – Marozsán M.: 2010. Effects of industrial wastes and by-products on some physiological parameters of crop seedlings. [In: Marič, S. and Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 945-949. ISBN 978-953-6331-79-6.

Bákonyi N. – Gajdos É. – **Tóth B.** – Marozsán M. – Veres Sz. – Lévai L.: 2010. Effects of carbonate on nutrition of crop plants. [In: Marič, S. and Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 667-671. ISBN 978-953-6331-79-6.

Gajdos É. – Veres Sz. – Bákonyi N. – **Tóth B.** – Vígh R. – Marozsán M. – Lévai L.: 2010. Effects of cadmium on some physiological processes of crop plants. [In: Marič, S. and Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 712-716. (eds. Marič S., Lončarić Z.) ISBN 978-953-6331-79-6.

Lévai L. – Veres Sz. – **Tóth B.** – Bákonyi N. – Gajdos É. – Faragó E. – Marozsán M.: 2010. Necessity to use living bacteria in plant nutrition. [In: Marič, S. and Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 818-822. ISBN 978-953-6331-79-6.

Marozsán M. – Gajdos É. – Bákonyi N. - **Tóth B.** – Veres Sz. – Lévai L.: 2010. The role of wood ash in the forest nutrition. [In: Marič, S. and Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 841-844. (eds. Marič and Lončarić) ISBN 978-953-6331-79-6.

Tóth B. - Stipešević B. - Jug D. - Lévai L.: 2010. Can we increase available nutrients using bacteria? [In: Jug I., Vukadinovic V. (eds.) Soil tillage –open approach. Proceedings of the 1st international symposium of Croatia Soil Tillage Research Organization.] Osijek. Croatia. 98-103. ISBN 978-953-6331-83-3.

Bákonyi N. – Gajdos É. – Lévai L. – Veres Sz. – **Tóth B.** – Marozsán M.: 2009. Comparison of effects of different biofertilisers on early development of cucumber and wheat seedlings. [In: Marič, S. and Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 491-495. ISBN 978-953-6331-97-3.

Gajdos É. – Bákonyi N. – Lévai L. – Veres Sz. – Marozsán M. – **Tóth B.**: 2009. Physiological examination of Cadmium contamination on corn and sunflower seedlings. [In: Marič, S. and Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 510-512. ISBN 978-953-6331-97-3.

Lévai L. – Veres Sz. – Gajdos É. – Marozsán M. – Bákonyi N. – **Tóth B.**: 2009. Possibilities in plant nutrition. In Book of Abstract/Proceedings of 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture [In: Marič, S. and Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 44th

Croatian & 4th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 556-560. ISBN 978-953-6331-97-3.

Tóth B. – *Bákonyi N.* – *Gajdos É.* – *Bódi É.* – *Marozsán M.* – *Veres Sz.* – *Lévai L.*: 2009. Effects of cement and quicklime powder on the growth of corn and sunflower seedlings. [In: Sequi P., Ferri D., Rea E., Montemurro F., Vonella A. V., Fornaro F. (eds.) More sustainability in agriculture: new fertilizers and fertilization management. 18th CIEC Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers.] Rome. Italy. 122-126. ISSN 1971-0755.

Gajdos É. – *Veres Sz.* – *Bákonyi N.* – **Tóth B.** – *Bódi É.* – *Marozsán M.* – *Lévai L.*: 2009. Effects of bacteria containing biofertilizer on Cd-tolerance of some crop plants. [In: Sequi P., Ferri D., Rea E., Montemurro F., Vonella A. V., Fornaro F. (eds.) More sustainability in agriculture: new fertilizers and fertilization management. 18th CIEC Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers.] Rome. Italy. 67-73. ISSN 1971-0755.

Tóth B. - *Lévai L.* - *Veres Sz.* - *Gajdos É.* - *Marozsán M.* - *Bákonyi N.*: 2009. Physiological effects of quicklime and cement factory powder. [In: Jug, D. - Sorič, R. (eds.) *Agroglas. Proceedings of 2nd international scientific/professional conference on Agriculture in Nature and Environment Protection.*] Vukovar. Croatia. 171-176. ISBN 978 953 99440 8 5.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány

Bákonyi N. - *Gajdos É.* - **Tóth B.** - *Marozsán M.* - *El-Rodeny M. W.* - *Lévai L.* - *Veres Sz.*: 2011. A Zn hiány hatása a levelek és a gyökerek morfológiájára. [In: Mócsy I. – Szacsvai K. – Urák I. – Zsigmond A. R. – Szikszai A. (szerk.) *Proceeding of VII. Kárpát-medencei környezettudományi konferencia.* Kolozsvár. Románia. 395-399. ISSN 1842-9815.

Tóth B. - *Veres Sz.* - *Lévai L.* - *Kiss L.* - *Bákonyi N.* - *Gajdos É.* - *Marozsán M.*: 2010. Néhány ipari hulladék hatása a napraforgó fiziológiai paramétereire laboratóriumi körülmények között. [In: Szabó B. - Tóth Cs. (szerk.) *Proceedings of VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia.*] Nyíregyháza. 57-62 ISBN: 978-963-9909-57-1.

Kiss L. - **Tóth B.** - *Lévai L.* - *Veres S.*: 2010. Néhány ipari melléktermék csírázást befolyásoló hatásának a vizsgálata. [In: Szabó B. - Tóth Cs. (szerk.) *Proceedings of VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia.*] Nyíregyháza. 51-55. ISBN: 978-963-9909-57-1.

Nagy K. - *Lévai L.* - *Bódi É.* - *Tarsoly M.* - **Tóth B.** - *Marozsán M.* - *Győri Z.* - *Kovács B.*: 2010. Kukorica és napraforgó növények vizsgálata szelénkezelés hatására. [In: Szabó B. – Tóth Cs. (szerk.) *Proceedings of VI. Kárpát-medencei Környezettudományi Konferencia.*] Nyíregyháza. 211-216 pp. ISBN: 978-963-9909-57-1

Tóth B.: 2010. Ipari melléktermékekkel a CO₂ emisszió csökkentéséért. [In: Kovács Gy. - Gelencsér G. - Centeri Cs. (szerk.) *Az Élhető Vidékért 2010 Környezetgazdálkodási Konferencia.*] Siófok. 368-374. ISBN 978-963-229-871-9.

Bákonyi N. - *Gajdos É.* - **Tóth B.** - *Marozsán M.* - *El-Rodeny M. W.* - *Lévai L.* - *Veres Sz.*: 2010. Cinkhiány és auxinkezelés növényfiziológiai hatásai kukorica és uborka csíranövényeken. [In: Kovács Gy. - Gelencsér G. - Centeri Cs. (szerk.) *Az Élhető Vidékért 2010 Környezetgazdálkodási Konferencia.*] Siófok. 135-141. ISBN 978-963-229-871-9.

Gajdos É. - Bákonyi N. - Lévai L. - Veres Sz. - Marozsán M. - Tóth B.: 2008. A biotrágyák szerepe a növények nehézfém toleranciájában. Konferencia Kiadvány: VI. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok, Mezőtúr 193-197. ISBN 978-963-87874-2-2

Marozsán M. - Veres Sz. - Gajdos É. - Bákonyi N. - Tóth B. - Lévai L.: 2008. A biotrágyák és a fahamu lehetséges szerepe a növények tápanyagellátásában. Konferencia Kiadvány: VI. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok, Mezőtúr 343-347. ISBN 978-963-87874-2-2

Angol nyelvű absztrakt

Tóth B. – Veres Sz. – Kovács B. - Varga Borbélyné M. - László L.: 2012. Basic experiments on effects of sewage sludge on early growth of crop plants. Abstract of 4th International Congress EUROSOIL 2012, Soil Science for the Benefit of Mankind and Environment, Bari, Italy, 1467.

Tóth B. - Lévai L.: 2011. Phytoremediation – or should we let the heavy metals where they were? Book of Abstracts of 5th European Bioremediation Conference. Abstract. Chania. Greece. 59.

Tóth B. – Veres Sz. – Lévai L.: 2011. Bacteria containing fertilizer: reduce the Al uptake of plants. Abstract book of 8th International Phytotechnology Society Conference. Portland, Oregon, USA. 35.

Bákonyi N. – Gajdos É. – Tóth B. – Marozsán M. - El-Rodeny M. W. – Veres Sz. – Lévai L.: 2010. Effects of Zn deficiency on some physiological parameter of maize and cucumber seedlings. [In: Bona L. –Pauk J. (szerk.) 3rd IFSDAA International Seminar on Crop Science for Food security, Bio-energy and Sustainability.] Szeged. 60.

Tóth B. – Veres Sz. – Kiss L. - El-Rodeny M. W. – Bákonyi N. – Lévai L.: 2010. Physiological responses of corn seedlings on treatments with some industrial side-products. [In: Bona L. – Pauk J. (szerk.) 3rd IFSDAA International Seminar on Crop Science for Food security, Bio-energy and Sustainability.] Szeged. 94.

Tóth B. – Veres Sz. - Lévai L.: 2010. Possible role of industrial wastes in the correction of iron deficiency. Book of abstracts of 15th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants. Abstract. Budapest. 80.

Kovács K. – Tóth B. – Lévai L. – Vértés A. - Kuzmann E. – Abadia J. – Fodor F.: 2010. Effect of pH and iron complexes on the iron species found in the roots of iron deficient cucumber after iron supply. Book of abstracts of 15th International Symposium on Iron Nutrition and Interactions in Plants, Abstract. Budapest. 85.

Veres Sz. – Tóth B. – Kiss L. – Lévai L.: 2010. Use of sewage sludge and bacterium containing fertilizer to increase plant production. Photosynthesis Research for Food Fuel and the Future. Abstract of 15th International Congress of Photosynthesis. Beijing. China. 306-307.

Tóth B. – Kovács B. – Lévai L. - Veres Sz.: 2010. Can be the industrial side-products tools for sustainable agriculture? Proceeding of the 7th International Phytotechnologies Conference. Parma. Italy. 255.

Tóth B. – Kovács B. – Lévai L. – Veres Sz.: 2010. Physiological examination on some industrial wastes. Proceeding of the 7th International Phytotechnologies Conference. Parma. Italy. 256.

Tóth B. – Lévai L. – Kovács B. – Veres Sz.: 2010. Industrial produce and environmental protection. [In: Zouros N. (ed.) Proceedings of the 9th European Geopark Conference 2010 European Geoparks Network.] Mytilini. Lesvos. Greece. 177 .ISBN: 978-960-98579-5-6

Lévai L. - Veres Sz. - Bákonyi N. - Gajdos É. - **Tóth B.** - Marozsán M.: 2009. Advantages of biofertilizers and wood ash in organic agriculture. International Conference on Plants and Environmental Pollution. 6-11 July, Kayseri, Turkey, p.35 Book of abstract

Magyar nyelvű absztrakt

Hankovszky G. - **Tóth B.** - Lévai L. - Veres Sz.: 2011. Biogáz üzemi présvíz- mit kezdhetünk vele? [In: Lengyel Sz. – Varga K. – Kosztyi B. (szerk.) Absztrakt kötet VII. Magyar Természetvédelmi Biológiai Konferencia.] Debrecen. 113. ISBN 978 963 318 169 0