

## Mész- és cementgyári porok növényfiziológiai hatásának vizsgálata

TÓTH BRIGITTA-VERES SZILVIA-BÁKONYI NÓRA-GAJDOS ÉVA-  
MAROZSÁN MARIANNA-LÉVAI LÁSZLÓ

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma  
Növénytudományi Intézet,

Mezőgazdasági Növénytani és Növényélettani Tanszékcsoport, Debrecen

### Összefoglalás

Környezetünk védelme közös feladat. Minden szennyezés, ami földjeinket, növényeinket, a szűkebb, vagy a tágabb értelemben vett környezetünket éri, előbb-utóbb megjelenik az élelmiszerlánc valamelyik tagjában, végül a piramis csúcsán álló emberben.

Munkánk célja egy átlátható képet adni néhány ipari hulladék – cementpor, mészpó, méshidrátpó – növényekre gyakorolt fiziológiai hatásáról. A vizsgált anyagok a növények számára sok létfontosságú elemet tartalmaznak (pl.: vas, kálium, magnézium, foszfor, cink), de mindezek mellett alumínium, ólom, króm és kobalt is megtalálható bennük. Ezek figyelembevételével vizsgáltuk a csírázásra gyakorolt hatást, a növények elemfelvételét, a száraz anyag felhalmozást és a relatív klorofill tartalmat. A laboratóriumi kísérletek során bizonyítottá vált a cementpor, a mészpó és a méshidrátpó kedvező és kedvezőtlen fiziológiai hatása. Kétségtelen, hogy a laboratóriumban a környezet kompenzáló hatása kizárt, azonban a környezeti terhelések semlegesítése természetes körülmények között sem végtelen.

**Kulcsszavak:** ipari szennyezés, cementpor, elemtartalom, relatív klorofill tartalom

## Effect of quick-lime and cement factory powder on some plant physiology parameters

B. TÓTH-SZ. VERES-N. BÁKONYI-É. GAJDOS-M. MAROZSÁN-L. LÉVAI  
University of Debrecen, Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences,  
Institute of Plant Science, Division of Agricultural Botany and Crop Physiology,  
Debrecen

### Summary

The protection of our environment is a common task. All pollution that exposes our soils, plants or environment in the narrower and wider sense will appear sooner or later in the food chain and in human beings who are at the peak of the food-chain pyramid.

The aim of our work is to give a brief overview of the effects of some industrial wastes – cement dust, lime powder and lime hydrate powder - on the physiological parameters of plants. These materials contain lots of useful elements for plants (e.g. iron, potassium, magnesium, phosphorus, zinc). But, their aluminium, lead, chrome and cobalt contents are also considerable. The germination rate of experimental plants was examined, and the uptake of elements, the dry matter accumulation and relative chlorophyll contents were also measured. Disadvantageous and advantageous physiological effects of cement dust, lime powder and lime hydrate powder were shown. The compensation effect of environment is excluded, however, the neutralisation of environment loads are not infinite in natural circumstances.

**Key words:** industrial pollution, cement powder, contents of elements, relative chlorophyll content

### Bevezetés és irodalmi áttekintés

Napjaink kutatásának egyik központi témája az éghajlatváltozás hatásainak vizsgálata. Az egymást követő években az eltérő hőmérséklet és csapadékmennyiség, valamint annak eloszlása közel azonos termesztési feltételek esetén is jelentősen befolyásolhatja a termés mennyiségét (*Nagy* 2006). A globális klímaváltozás okán a talajok állapota és nedvességtartalma az eddigieknél is több, és alaposabb figyelmet kíván (*Birkás* 2009).

A klíma folyamatos melegedésén túl a savas esők a növényzet pusztulását eredményezhetik. Talajaink elsavanyodása nem csupán a savas esők következménye, hanem közvetlenül mezőgazdasági, ipari szennyezés is okozhatja. Számtalán csökkenhet a talajok puffer kapacitása, és a pH is, aminek eredményeként fokozódik a nehézfémek felvétele. Amellett, hogy ezek a hulladékok befolyásolják a talaj pH-ját, számos hasznos és káros elemet is tartalmaznak. Nincs meggyőző bizonyíték arra, hogy az alumínium, akár az akkumulátor fajoknál, esszenciális elem lenne. Ugyanakkor többen kimutatták a talaj, vagy a tápoldat alacsony alumínium koncentrációjának kedvező hatását a növények növekedésére (Bollard 1983, Foy 1983). A kukorica, a cukorrépa növekedésére kedvező hatású alumínium koncentráció 71,4–185  $\mu\text{M}$  volt. Az egyik leginkább alumínium toleráns növénynél, a teanál 1.000  $\mu\text{M}$ -nél határozott növekedésserkentést figyeltek meg (Matsumoto *et al.* 1976), sőt még 6.400  $\mu\text{M}$  alumínium koncentrációnál is hasonló hatást tapasztaltak (Konishi *et al.* 1985).

Növekszik más nehézfémek felvétele is a pH csökkenésével. A kadmium fokozott felvétele, ha közvetetten is, de egészséget veszélyeztető folyamat. A kadmium a talajban erősen kötődik, a kadmium általában addig a mélységig jut le a talajprofilba, ameddig a talajműveléssel bedolgozták. Ezért veszélyes mértékben is felhalmozódhat a talaj felső rétegében (Filep *et al.* 1998). A talajok átlagos kadmium tartalma néhány tized mg/kg, azonban ettől magasabb (1 mg/kg) értékek is előfordulhatnak (Kádár 1991). A kadmium gátolja a nem toleráns növények növekedését és fejlődését (Pinto *et al.* 2004). A fitotoxicitásán túl közvetve is hat, azáltal, hogy a talaj mikroorganizmusaira is potenciális veszélyt jelent (Duxbury 1985). A kadmium okozta veszélyforrás felfedezését a gyakorlati növénytermesztésben nehezíti, hogy gazdasági növényeink gyakran látható tünetek nélkül, nagy mennyiségben halmozhatják fel. Főleg levélzöldségekre jellemző, hogy sok kadmiumot akkumulálnak, de például napraforgóban is megfigyeltek kadmium dúsulást a talaj kadmium tartalmának növelésével (Kádár *et al.* 1998, Simon *et al.* 1999, Vér 2006).

Ugyanakkor a magas pH-jú talajokon, amelyek gyakoriak a száraz és a fél-száraz klimatikus viszonyok között, a vas növények általi felvehetősége erősen gátolt lehet. Vashiányos körülmények között a növények fiatal levelei megsárgulnak (klorózis), és a növekedés mérséklődik, a termés csökken. A vashiányos körülmények között élő növények gyökereinek válaszreakciói segítik a vas felvételt. A növények vastartalmának szinte túlnyomó része a kloroplasztizok-

ban van. A vas maradék része megoszlik a citoplazma és más sejtorganellumok között, amelyek egyéb hem-, illetve vas-kén proteinek tartalmazzák (Miller et al. 1995).

### Anyag és módszer

A mészporok egy mészüzem (Kalcinátor Kft.), a cementpor egy cementgyár (Holcim Zrt.) különböző szűrőiből származnak. A cementgyárban egylépcsős szűrőberendezés üzemel, az onnan gyűjtött por jelölése a továbbiakban: „C”. A mészüzemben kétlépcsős szűrőberendezés üzemel. Az első a nagyobb szemcseméretű, gyorsan ülepedő port választja le, ennek a jelölése P<sub>1</sub>; a második lépcső a kis szemcseméretű, finomabb, lebegő port, ezt P<sub>2</sub>-vel jelöljük. A mész-hidrát üzem szűrőberendezéséből származó por jelölése: „H”.

A gyárakból kijutott por természetének pontosabb vizsgálatához további lerakódott pormintákat gyűjtöttünk a kijelölt zónába eső házak tetejéről is (a házak tetejéről gyűjtött pormintát „T”-vel jelölöm) úgy, hogy a finom ecsettel separtuk össze a tetőre rakódott port.

A mintavételi terület kijelölésekor az uralkodó szélirányba (ÉK) eső területet vettük figyelembe. Ez a terület Miskolc kertvárosa. A gyár területét közép-pontnak tekintve 200–400–600–800 méteres izovonalakhoz köthető ingatlanok tulajdonosainak engedélyével levélmintákat gyűjtöttünk a kertjeikben lévő gyümölcsfák (alma – *Malus sieboldii*, körte – *Pyrus elaeagrifolia*) leveleiből a további vizsgálatokhoz. Az említett izovonalak mentén 3 helyről történt a mintavétel, a fák lombkoronájának alsó részének észak-keleti tájolásából 5–7 éves fákról 5–5 levelet gyűjtöttünk.

A laboratóriumi vizsgálatokban kísérleti növényként kukoricát (*Zea mays* L. cv. *Norma sc*), illetve napraforgót (*Helianthus annuus* L.) használtunk. A magvak felületének fertőtlenítését 5-szörös hígítású H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-vel végeztük el. A fertőtlenített magvakat desztillált vízzel többször öblítettük, majd 10 mM CaSO<sub>4</sub> oldatban 4 óráig áztattuk a jobb csírázás érdekében. A magvakat nedves szűrőpapír között termosztátban csíráztattuk, úgy, hogy a csíranövények polaritása természetes legyen. A termosztát hőmérséklete 22 °C volt. A 4 cm-es hipokotilú napraforgó, és az ugyanekkora koleoptillal bíró kukorica csíranövényeket tápoldatra helyeztük. A növények neveléséhez az alábbi összetételű tápoldatot használtuk: 2,0 mM Ca(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, 0,7 mM K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 0,5 mM MgSO<sub>4</sub>, 0,1 mM KH<sub>2</sub>PO<sub>4</sub>, 0,1 mM KCl, 10 μM H<sub>3</sub>BO<sub>3</sub>, 1 μM MnSO<sub>4</sub>, 1 μM ZnSO<sub>4</sub>, 0,2 μM CuSO<sub>4</sub>,

0,01  $\mu\text{M}(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$ . A növények a vasat  $10^{-4}\text{M}$  FeEDTA formában kapták. A tápoldat pH-ja 4,40 volt. A környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás  $300\ \mu\text{mol m}^{-2}\text{s}^{-1}$ , a hőmérséklet periodicitása  $25/20^\circ\text{C}$  (nappal/éjjel), a relatív páratartalom (RH) 65–75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 óra/8 óra volt. A gyári szűrőkből vett port  $1,25\ \text{g dm}^{-3}$ , illetve  $12,5\ \text{g dm}^{-3}$  koncentrációban adtuk a tápoldathoz. A vizsgálatokat 3 ismétlésben végeztük. A kukorica esetében 10, a napraforgónál 12 nap után számoltuk fel a kísérletet. A kísérlet felszámolásakor a gyökereket és hajtásokat külön-külön gyűjtöttük, a gyökereket 0,1 n HCL oldattal, majd ioncserélt vízzel öblítettük le. A begyűjtött porok és a növényi minták elemtartalmának meghatározásához egy OPTIMA 3300 DV típusú induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométert (ICP-OES) alkalmaztunk. A vizsgálatainkban a háttérmérés helyéül általában 2-pontos háttérkorrekciót alkalmaztunk. Az elemtartalom mérését a minták előkészítése előzte meg, amely magába foglalja a mintákból 1 g kimérését, a növényi minták porítását. Ezt követte az előroncsolás, mely során  $10\ \text{cm}^3$  desztillált cc.  $\text{HNO}_3$ -at alkalmaztunk  $60^\circ\text{C}$ -on 30 percig. A főroncsolás előtt  $3\ \text{cm}^3$  30%-os  $\text{H}_2\text{O}_2$ -ot adagoltunk a mintákhoz, a főroncsolás 90 percig és  $120^\circ\text{C}$ -on történt. A roncsolmány lehűlése után  $50\ \text{cm}^3$ -re töltöttük ioncserélt vízzel, majd Filtrak 388 szűrőpapírral szűrtük. Az analitikai vizsgálathoz a mintákat egyesítettük.

A relatív klorofill tartalmat SPAD 502 (MINOLTA, Japán) klorofill mérővel mértük. A száraz tömeg meghatározásához a mintákat  $85^\circ\text{C}$ -on tömegállandóságig szárítottuk, majd szobahőmérsékletre történő visszahűtés után analitikai mérlegen (OHAUS) mértük.

A toxicitási teszthez mustármagokat használtunk. A porokat a Petri-csésze aljára helyezett szűrőpapírra terítettük, majd nedvesítettük és nedves szűrőpapírral fedtük. A mustár magvakból minden Petri-csészébe 100 szemet raktunk. Négy kezelést (cementpor, méshidrátpor, 2 mintavételi helyről származó mézpor) és egy kontrollt állítottunk be, két ismétlésben. Egy hétig figyeltük a csírázási képességet.

A kapott adatok, eredmények kiértékelése Microsoft Sigma Plot 2.7 és SPSS 13.0 programokkal történt.

## Eredmények és következtetések

A vizsgálatok elvégzéséhez szükség volt a porok elemtartalmának előzetes meghatározására. A vizsgálatok eredményeit az *1. táblázat* mutatja be, mely szerint a különböző helyekről származó porok számos elemet tartalmaznak. A gyártási folyamatokban alapvetően mészkövet használnak fel, ezért a por elem összetétele tükrözi az alapanyag összetételét, amit a magas kalcium tartalom igazol.

Az alumínium koncentrációja a tetőről származó mintában (T) kb. 90-szer nagyobb volt, mint a hidrát porban (H). A mészüzemből származó két minta között is különbség figyelhető meg, az elemek koncentrációja a Mg-ot kivéve magasabb a második mintavételi helyről származó mintában. A kalcium – az elemek többségétől eltérően – a tetőkről származó mintában kb. csak fele koncentrációban volt kimutatható, mint a mész- és a mészhidrát üzemekből származó porokban. A króm a mészhidrát-porhoz képest mintegy 20-szor, a cementporhoz képest 4,5-szer nagyobb mennyiségben volt jelen a tetőkről származó mintában; a réznél ez a mennyiség 36-szor a mészhidrát-porhoz és a cementporhoz képest 5,6-szor nagyobb. A vas a tetőkről származó mintában kb. 160-szor nagyobb koncentrációban volt kimutatható, mint a mészhidrát-üzemi porban. Míg az ólom és a kén, a mész- és a mészhidrát-üzemi mintákban a kimutatási határérték alatt maradt, addig a cementporban és a tetőkről származó mintákban magas koncentrációban mutatható ki.

A mérések kimutatták, hogy a tetőn néhány elem rendkívüli koncentrációban halmozódott fel. Ennek oka az elemek alacsony oldhatósága, amely miatt a tetőről a csapadék nem tudta lemosni, hanem folyamatosan felhalmozódtak. Okunk van feltételezni, hogy a por kiülepedése egyenletesen történt, ezért a házakhoz tartozó kertek talajában is hasonló vagy nagyobb felhalmozódás lehet.

Az uralkodó szélirányba eső területekről vett növények vizsgálatát az indokolta, hogy a házak tetejéről vett mintákban nagy mennyiségben tapasztaltuk a különböző fémionok felhalmozódását. A vizsgálatunk meglepő eredményt hozott (*2. táblázat*). A levelek elemtartalmának meghatározásakor azt tapasztaltuk, hogy a kontrollként választott, Bükki Nemzeti Park területéről vett mintában (vadkörte, *Pyrus pyraster*) a vizsgált elemek nagyobb mennyiségben voltak jelen, mint az általunk szennyezettnek ítélt területen.

1. táblázat. Az elemek összes koncentrációja a különböző szűrőkből vett mintában és tetőről vett pormintában (mg/kg)

Elemek (mg/kg) (2)	A porok származási helyei (1)				
	P1	P2	C	H	T
Al	1491,00	6939,00	6426,00	229,00	20143,00
B	3,94	6,69	10,20	3,02	49,20
Ba	2,63	8,20	19,80	1,17	123,00
Ca	544031,00	668500,00	153851,00	596301,00	301226,00
Cd	0,80	2,05	3,90	0,31	3,54
Co	0,54	1,28	2,41	< KH	5,94
Cr	3,92	6,26	11,80	2,60	53,90
Cu	2,64	3,45	10,70	1,66	60,20
Fe	1067,00	1980,00	12941,00	160,00	25648,00
K	742,00	2101,00	4185,00	162,00	2727,00
La	5,32	13,60	7,77	5,13	21,00
Li	1,41	3,84	9,88	0,18	11,50
Mg	4084,00	3688,00	3802,00	2882,00	6214,00
Mn	65,80	134,00	274,00	50,50	652,00
Na	278,00	398,00	1333,00	279,00	2854,00
Ni	6,71	8,40	9,24	2,10	56,90
P	115,00	181,00	220,00	101,00	1661,00
Pb	< KH	< KH	116,00	< KH	180,00
S	< KH	< KH	575,00	< KH	361,00
Sc	0,85	1,25	1,53	0,73	4,39
Sr	192,00	266,00	141,00	196,00	125,00
Ti	23,60	132,00	56,40	9,88	1078,00
V	2,83	8,51	13,80	1,34	48,10
Y	1,01	2,34	2,52	0,72	9,16
Yb	0,56	0,73	0,72	0,56	2,23
Zn	7,89	15,10	597,00	4,64	906,00

*Megjegyzés:* P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, T: tető.

*Table 1.* Concentrations of elements taken from different stages of the filtration process (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Elements (mg kg<sup>-1</sup>), (2) Origin of powder. Note: P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, T: powder from the roofs.

2. táblázat. A gyártól eltérő távolságba vett levélminták elemanalízise

Elemek (mg/kg) (2)	A gyártól mért távolság (m) (1)				
	Kontroll (3)	200	400	600	800
Al	96,50±16,9	85,30±26,8	78,06±27,0	47,93±19,4	53,44±30,2
Cd	0,22±0,1	0,14±0,1	0,07±0,0	0,04±0,0	0,04±,0
Cr	3,56±0,6	0,64±0,4	0,79±0,4*	0,46±0,1	0,47±0,1
F	164,00±43,8	143,33±32,9	167,40±24,9	142,33±23,2	147,76±39,5
Ni	3,75±0,7	0,91±0,4*	1,35±0,7	1,41±0,9	1,05±0,4*

Megjegyzés: (n=5±s.e.) (a kontrollhoz viszonyítva p< 0,05\*)

Table 2. Element analysis of leaf samples which were taken at different distances from the factory. (1) Distance from the factory, (2) Elements (mg kg<sup>-1</sup>), (3) Control. Note: (n=5±s.e.) (compared to the control p< 0.05\*).

A magas kontroll értékekre az utólagos vizsgálatok adtak magyarázatot. A gyártól dél-nyugatra elterülő mintavételi terület erősen agyagos talajú, pH-ja átlagosan 7,9, míg a kontroll minta területének talaja lazább, a pH-ja 6,5 volt. Az eltérő pH magyarázattal szolgálhat a kontrol területen élő növények magasabb Al, Cd, Cr, Fe és nikkeltartalmára. Ezeknek az elemeknek az oldékonysága a pH csökkenésével fokozódik, nő a mobilitásuk is a talajban (*Lehoczky et al.* 1997). Ezek a tényezők a vizsgált elemek fokozott felvételét eredményezik.

A 2. táblázat adataiból kitűnik, hogy a nikkeltartalom kivételével valamennyi vizsgált elem koncentrációja csökken a levelekben, a gyártól való távolság függvényében. A nikkeltartalom esetében ilyen összefüggést nem tudunk kimutatni, ami megkérdőjelezi a nikkeltartalom ipari eredetét. Nem változott jelentősen a vas mennyisége sem a távolság függvényében. A legközelebbi mintavételi helyen mért alacsony koncentráció valószínűleg a talajadottságokkal magyarázható. A területet korábban agyagos földdel töltötték fel a 3. számú főút Miskolcra vezető szakaszának bővítésekor. A magas agyagtartalmú területeken a vas felvétele akadályozott. Annak eldöntésére, hogy a levelek eltérő elemtartalma az ipari porszennyezésen kívül milyen egyéb okokra vezethető, további vizsgálatok szükségesek. A terület bejárása során megállapítottuk, hogy a növényzet nem mutat toxikózisra utaló tüneteket. További eltérések okozója lehet a mintavételbe eső kertek eltérő kezelése. Az alkalmazott műtrágyák, különösen a nitrogéntrágyák jelentősen befolyásolják más tápelemek felvételét is, miközben



a talajt, az alkalmazott koncentrációtól függően eltérő mértékben savanyít-hatják.

A szabadföldi területről vett minták eredményeinek ellentmondásossága miatt laboratóriumi kísérleteket állítottunk be. Kontrollált körülmények között vizsgáltuk a porminták fiziológiai hatásait. Mustármagvak felhasználásával toxikológiai tesztet végeztünk. A porokat a Petri-csészék alján terítettük, majd nedvesítettük és nedves szűrőpapírral fedtük, minden Petri-csészébe 100 szemet raktunk.

A mészüzem valamennyi pora erősen alkalikus. Az oldékonyságuk csekély, viszont még kis mennyiségben oldódva is, jelentős a fénoxid tartalom, a pH értéket rendkívüli módon megemeli. Az ellenőrző vizsgálatok során a mészgárból származó valamennyi por oldatának pH-ja 12 pH feletti volt, a cementgyári por oldatáé 8 pH érték körüli. A csíráztatási kísérlet adatait a 3. táblázatban foglaltuk össze.

Feltételezésünk szerint ez lehetett az oka a rendkívül alacsony csírázási százaléknak. A cementgyár szálló porának hatása ellentétes. Az csírázási százalék végső értékét tekintve nincs lényeges különbség a kontrollhoz viszonyítva, sőt a megismételt kísérletekben a cementpor kedvező hatását mutattuk ki. Magyarán lehet a cementpor kedvező hatására annak viszonylag magas nikkel tartalma, ugyanis Horak (1985) említi a nikkel csírázást serkentő hatását.

A vizsgálat során a csírázási százalékon kívül vizsgáltuk a csírázási erélyt is (3. táblázat), mint az egyik legfontosabb értékmérő tulajdonságot. A cementgyári por a kontrollhoz hasonló eredményt adott a csírázási százalékban, azonban a csírázási erély a cementipari pornál jelentősen, mintegy 21,5%-kal magasabb volt a csíráztatás második napján mért eredmények szerint. A fokozott csírázási erély azt jelenti, hogy a magvak túlnyomó része hamar és egy időben csírázik, ami a kelést is egyidejűvé teszi, ennek eredményeként a növényállomány is kiegyenlített lesz, ami a későbbi nagy termés egyik előfeltétele.

Annak eldöntésére, hogy a tápoldatba adott porok pH- vagy ozmotikus stresszorként hatottak-e, vizsgáltuk a növények elemösszetételét. A 4-7. táblázat a napraforgóban mért elemkoncentrációkat mutatja.

3. táblázat. A különböző helyről származó filter porok hatása a mustár csírázási-képesességére

Mérési napok (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Kicsírázott magvak (%) (4)					
2	56,0±5,6	2,0±1,4***	0,5±0,7***	77,5±10,6*	1,0±1,4***
3	24,0±5,6	0,0±0,0***	0,0±0,0***	8,5±2,1***	0,0±0,0***
4	9,5±0,7	1,5±0,7**	0,5±0,7***	4,0±1,4**	0,5±0,7***
7	4,5±3,5	0,0±0,0***	0,0±0,0***	3,0±1,4***	0,0±0,0***
Összesen (5)	94,0	3,5	1,0	93,0	1,0

Megjegyzés: (n=2±s.e.) (kontrollhoz viszonyítva p<0,05\*, p<0,01\*\*, p<0,001\*\*\*). P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből. \*: A tört értékek az ismétlések számából erednek.

Table 3. Different filter powder effects on the germination ability of mustard seedlings. (1) Treatments, (2) Measurement days, (3) Control, (4) Germinated seeds (%), (5) Total, Note: (n=2±s.e.) (compared to the control p<0.05\*, p<0.01\*\*, p<0.001\*\*\*). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, \*: Fractions result from the number of replications.

A kísérleti eredmények az mutatják, hogy a növények a vizsgált elemeket az alkalmazott koncentrációktól függetlenül vették fel. Nincs arányos különbség az egyszeres (1,25 g/2,5 dm<sup>3</sup>) és a tízszeres (12,5 g/2,5 dm<sup>3</sup>) kezelések eredményei között. A cementgyári por esetében azonban jelentősen nőtt az alumínium koncentrációja a gyökérben, miközben a koncentrációja a hajtásban a kimutatási érték alatt maradt. A gyökerek magas Al koncentrációja a növény pusztulását okozhatja. Az Al által okozott erdőpusztulások okaként, a savas esőt a talaj lecsökkent pH-ja miatt megnövekedett talajoldat Al koncentrációt, ill. ezek következményeként a lombzatba került nagy mennyiségű alumíniumot említik (Murach és Ulrich 1988). A cementgyári por kedvező hatása feltehetően a tápoldat pH-jával van összefüggésben. Feltételezzük, hogy az alumínium ilyen körülmények között inaktívódik a gyökérben és ezért nem tudja kedvezőtlen fiziológiai hatást kifejteni. Említést érdemel a vas, amely ugyan-

csak a cementgyári porral kiegészített tápoldaton nevelt növényekben volt a legmagasabb koncentrációban.

4. táblázat. A vizsgált elemek koncentrációja napraforgó növények hajtásában (mg/kg)

Elemek (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Al	ND	ND	ND	ND	ND
Cd	ND	0,05	0,06	0,18	0,13
Cr	0,28	0,13	0,68	0,25	0,57
Fe	259,00	31,40	31,20	491,00	41,00
Ni	0,26	0,85	0,96	0,42	1,50

*Megjegyzés:* A kísérleti edényekbe (2,5 dm<sup>3</sup>) 1,25 g került a vizsgált anyagból. P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, ND: nincs detektálható érték.

*Table 4.* Concentrations of examined elements in shoots of sunflowers (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Treatments, (2) Elements, (3) Control. Note: 1.25 g examined matter were taken in the experimental pots (2.5 dm<sup>3</sup>). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, ND: no detectable value.

Feltételeztük, hogy az egyszikű kukorica eltérő módon reagál a kezelésekre. A mérési eredményeket a 8–11. táblázat mutatja be.

Annak ellenére, hogy a kétszikű napraforgó, és az egyszikű kukorica tápanyagfelvételi mechanizmusa eltérő, a felvett elemek tekintetében nem mutatkozik lényeges eltérés, a kéttényezős varianciaanalízis szerint sem mutat szignifikáns különbséget. Azonos körülmények között a kétszikűek nehézfém felvétele általában nagyobb, mint az egyszikűeké (Kádár 1991). Ez a tendencia labor kísérletünkben is tetten érhető volt. A kétszikűek érzékenyebbek a rizoszféra pH-jára, már enyhén bázikus körülmények gátolják tápanyagfelvételüket azáltal, hogy a magas pH semlegesíti a gyökerek proton kiválasztását, ezért a H<sup>+</sup>-hoz kötött transzportfolyamatok, mint az antiport és a szimport erősen gátlódnak (Sutcliffe 1982). A transzportfolyamatok gátlása az alapvető tápelemektől fosztja meg a növényt, így a növekedés megtorpan.

5. táblázat. A vizsgált elemek koncentrációja napraforgó növények gyökerében (mg/kg)

Elemek (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Al	ND	ND	ND	172,00	0,36
Cd	ND	ND	0,16	0,13	0,44
Cr	1,30	0,46	0,27	1,77	0,42
Fe	869,00	1122,00	234,00	1181,00	253,00
Ni	0,69	0,36	0,53	0,84	0,83

*Megjegyzés:* A kísérleti edényekbe (2,5 dm<sup>3</sup>) 1,25 g került a vizsgált anyagból. P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, ND: nincs detektálható érték.

*Table 5.* Concentrations of examined elements in roots of sunflowers (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Treatments, (2) Elements, (3) Control. Note: 1.25 g examined matter were taken in the experimental pots (2.5 dm<sup>3</sup>). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, ND: no detectable value.

6. táblázat. A vizsgált elemek koncentrációja napraforgó növények hajtásában (mg/kg)

Elemek (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Al	ND	ND	ND	ND	ND
Cd	ND	0,22	0,03	0,38	0,01
Cr	0,28	0,19	0,19	1,02	0,24
Fe	259,00	51,80	61,30	491,00	37,60
Ni	0,26	2,33	2,56	0,39	2,15

*Megjegyzés:* A kísérleti edényekbe (2,5 dm<sup>3</sup>) 12,5 g került a vizsgált anyagból. P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, ND: nincs detektálható érték.

*Table 6.* Concentrations of examined elements in shoots of sunflowers (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Treatments, (2) Elements, (3) Control. Note: 12.5 g examined matter were taken in the experimental pots (2.5 dm<sup>3</sup>). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, ND: no detectable value.

7. táblázat. *A vizsgált elemek koncentrációja napraforgó növények gyökerében (mg/kg)*

Elemek (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Al	ND	16,60	9,47	435,00	6,65
Cd	ND	0,25	0,21	1,06	0,13
Cr	1,30	0,29	0,24	2,80	0,35
Fe	869,00	80,80	101,00	2290,00	113,00
Ni	0,69	0,86	0,68	1,16	0,71

*Megjegyzés:* A kísérleti edényekbe ( $2,5 \text{ dm}^3$ ) 12,5 g került a vizsgált anyagból. P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, ND: nincs detektálható érték.

*Table 7.* Concentrations of examined elements in roots of sunflowers ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). (1) Treatments, (2) Elements, (3) Control. Note: 12.5 g examined matter were taken in the experimental pots ( $2.5 \text{ dm}^3$ ). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, ND: no detectable value.

8. táblázat. *A vizsgált elemek koncentrációja a kukorica hajtásában (mg/kg)*

Elemek (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Al	ND	ND	ND	ND	ND
Cd	ND	ND	ND	0,03	ND
Cr	0,35	0,14	0,23	0,36	0,16
Fe	97,50	65,50	49,40	70,40	52,50
Ni	0,50	0,25	0,50	0,44	0,21

*Megjegyzés:* A kísérleti edényekbe ( $2,5 \text{ dm}^3$ ) 1,25 g került a vizsgált anyagból. P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, ND: nincs detektálható érték.

*Table 8.* Concentrations of examined elements in shoots of corns ( $\text{mg kg}^{-1}$ ). (1) Treatments, (2) Elements, (3) Control. Note: 1.25 g examined matter were taken in the experimental pots ( $2.5 \text{ dm}^3$ ). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, ND: no detectable value.

9. táblázat. *A vizsgált elemek koncentrációja a kukorica gyökerében (mg/kg)*

Elemek (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Al	13,90	ND	74,10	410,00	15,60
Cd	ND	ND	0,24	1,20	9,01
Cr	2,11	0,71	1,03	1,92	4,04
Fe	398,00	1674,00	270,00	1927,00	293,00
Ni	2,80	1,12	1,70	3,52	16,10

*Megjegyzés:* A kísérleti edényekbe (2,5 dm<sup>3</sup>) 1,25 g került a vizsgált anyagból. P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, ND: nincs detektálható érték.

*Table 9.* Concentrations of examined elements in roots of corns (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Treatments, (2) Elements, (3) Control. Note: 1.25 g examined matter were taken in the experimental pots (2.5 dm<sup>3</sup>). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, ND: no detectable value.

10. táblázat. *A vizsgált elemek koncentrációja a kukorica hajtásában (mg/kg)*

Elemek (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Al	ND	ND	ND	ND	ND
Cd	ND	ND	ND	0,10	ND
Cr	0,35	0,48	0,32	0,25	0,26
Fe	97,50	107,00	57,60	50,30	54,30
Ni	0,50	1,21	0,74	0,16	0,74

*Megjegyzés:* A kísérleti edényekbe (2,5 dm<sup>3</sup>) 12,5 g került a vizsgált anyagból. P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, ND: nincs detektálható érték.

*Table 10.* Concentrations of examined elements in roots of corns (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Treatments, (2) Elements, (3) Control. Note: 12.5 g examined matter were taken in the experimental pots (2.5 dm<sup>3</sup>). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, ND: no detectable value.

11. táblázat. *A vizsgált elemek koncentrációja a kukorica gyökerében (mg/kg)*

Elemek (2)	Kezelések (1)				
	Kontroll (3)	P1	P2	C	H
Al	13,90	ND	45,90	544,00	ND
Cd	ND	ND	0,82	2,21	0,75
Cr	2,11	1,15	0,48	2,24	1,49
Fe	398,00	274,00	158,00	2191,00	138,00
Ni	2,80	2,21	1,07	2,80	4,59

*Megjegyzés:* A kísérleti edényekbe (2,5 dm<sup>3</sup>) 12,5 g került a vizsgált anyagból. P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből, ND: nincs detektálható érték.

*Table 11.* Concentrations of examined elements in roots of corns (mg kg<sup>-1</sup>). (1) Treatments, (2) Elements, (3) Control. Note: 12.5 g examined matter were taken in the experimental pots (2.5 dm<sup>3</sup>). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory, ND: no detectable value.

A számszerűsítéshez mértük a növények szárazanyag felhalmozását. A mérések eredményét a 12. táblázatban foglaltuk össze. A cementgyári poron kívül minden kezelés gátolta a hajtás és a gyökér növekedését mindkét növény-nél. A hajtásnövekedés mérsékelt csökkenése figyelhető meg a cementgyári por alkalmazásakor, azonban a gyökérnövekedést jelentősen serkentette. A kukoricánál 1,6-szor nagyobb volt a gyökértömeg, mint a kontrollnál. A hatás magyarázata további vizsgálatokat igényel, hiszen lényeges különbséget nem tapasztaltunk a porok paramétereinek összehasonlításakor. Az intenzívebb gyökérnövekedés kedvező, mert a növény nagyobb felületen tud vizet és tápanyagot felvenni, ezáltal nő a stressz toleranciája is (Kovda és Szabolcs 1979). A mérési eredmények felvetik a cementgyári por felhasználásának lehetőségét, akár mikroelem trágyaként, vagy gyökérnövekedést serkentő adalékanyagként.

A növények szerves anyag felhalmozása bonyolult biokémiai folyamatok összessége. Alapvetően a fotoszintézis és a légzés különbsége adja azt a szerves anyag tömeget, ami pl. egy vegetációs periódus végén a termést jelenti. A környezeti tényezők mindkét folyamat intenzitását meghatározzák, miközben a növény ultrastruktúrája, annak aktivitása a környezeti hatások érvényesülése-

nek a feltételei (Vigh et al. 1983). Hatékony szerves anyag felhalmozás nem lehetséges a fotoszintetikus folyamatok nélkülözhetetlen alkotója, a klorofill nélkül. Az alkalmazott kezelések hatására csökkent a szárazanyag-felhalmozás, ami mögött a csökkent fotoszintetikus aktivitást, illetve a klorofill tartalom változását feltételeztük. Méréseink szerint a kezelések befolyásolták a klorofill tartalmat (13. táblázat).

12. táblázat. *Kukorica és napraforgó hajtásának és gyökerének száraz tömege (g/növény)*

Kezelések (3)	Kukorica (1)		Napraforgó (2)	
	Hajtás (4)	Gyökér (5)	Hajtás (4)	Gyökér (5)
	Kontroll (6)	0,11	0,17	0,12
1,25H	0,03	0,10	0,04	0,11
12,5H	0,01	0,09	0,04	0,06
1,25C	0,09	0,28	0,07	0,37
12,5C	0,08	0,26	0,07	0,41
1,25P1	0,07	0,24	0,05	0,10
12,5P1	0,01	0,07	0,02	0,07
1,25P2	0,04	0,11	0,05	0,11
12,5P2	0,05	0,09	0,04	0,07

*Megjegyzés:* P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből.

*Table 12.* Dry matter of corn and sunflower of roots and shoots (g plant<sup>-1</sup>). (1) Maize, (2) Sunflower, (3) Treatments, (4) Shoot, (5) Root, (6) Control. Note: P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory.

A kezelések bár hatottak a klorofill tartalomra, de ez a hatás korántsem olyan kifejezett, mint a száraztömeg alakulására gyakorolt hatás. A cementgyári por ebben az esetben is a kontroll feletti klorofill tartalmat eredményezett. A mérési adatok alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a klorofill szintézis kevésbé érzékeny a kezelések okozta kedvezőtlen hatásokra.

A viszonylag magas értékeket az magyarázhatja, hogy a meglehetősen stabil klorofill szintézis a csökkent tömegű hajtásban magasabb relatív értéket



mutat. A táblázat adatai alapján az is valószínűsíthető, hogy a klorofill tartalomban bekövetkező mérsékelt csökkenés is a szárazanyag felhalmozás számottevő csökkenését eredményezi. Ezt az állítást megerősíti a 12. valamint a 13. táblázat összehasonlítása.

13. táblázat. *Kukorica és napraforgó növények relatív klorofill tartalmának alakulása (Spad unit)*

Kezelések (3)	Kukorica (1)		Napraforgó (2)
	2. levél (4)	3. levél (5)	1. lomblevél (6)
	Kontroll (7)	44,53±2,9	39,38±3,2
1,25H	39,90±1,4	27,70±7,7*	32,63±1,2*
12,5H	35,06±3,9*	29,43±3,6*	28,55±1,9*
1,25C	40,90±1,8	35,80±1,8	43,43±2,3
12,5C	45,70±4,6	36,30±3,1	44,75±1,1
1,25P1	35,43±1,5*	29,58±1,3	29,30±3,6*
12,5P1	28,05±7,6**	27,65±7,7*	27,67±3,6*
1,25P2	35,33±0,6*	27,10±3,0**	31,45±2,0*
12,5P2	36,50±0,6	32,00±4,1	34,87±2,9*

*Megjegyzés:* n=35±s.e. (kontrollhoz viszonyítva p<0,05\*, p<0,01\*\*). P1: 1. mintavételi hely a mészüzemben, P2: 2. mintavételi hely a mészüzemben, C: szálló por a cementgyárból, H: szálló por a hidrát üzemből.

*Table 13.* Relative chlorophyll contents of corn and sunflower leaves (Spad units). (1) Maize, (2) Sunflower, (3) Treatments, (4) 2<sup>nd</sup> leaf (5) 3<sup>rd</sup> leaf (6) 1<sup>st</sup> foliage-leaf, (7) Control. Note: n=35±s.e. (compared to the control: p<0.05\*, p<0.01\*\*). P1: sediment powder of quicklime factory, P2: air-borne powder of quicklime factory, C: air-borne powder of cement factory, H: air-borne powder of quicklime hydrate factory.

A különböző helyekről vett porminták növényfiziológiai vizsgálati alapján azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a közel azonos kémiai összetételű porok hatásai között lényeges különbségek vannak. A porokkal kiegészített tápoldaton nevelt növények tápelem összetételében ugyanakkor nem mutatkozott számottevő különbség. Ebből arra a következtetésre jutottunk, hogy a növény a tápoldatból nem vette fel, illetve nem akkumulálta a porban található elemeket, ezért a növekedés gátlása más okra, így például pH-, vagy ozmotikus stresszre vezethető vissza.

## IRODALOM

- Birkás M.*: 2009. A klasszikus talajművelési elvárások és a klímakár csökkentés kényszere. *Növénytermelés*. 58. 2: 123–134.
- Bollard, E. G.*: 1983. Involvement of unusual elements in plant growth and nutrition. [In: Läuchli, A.–Bielski, R. L. (eds.) *Encyclopedia of Plant Physiology, New Series.*] Springer Verlag, Berlin and New York. 15B. 695–755.
- Duxbury, T.*: 1985. Ecological aspects of heavy metal responses in microorganisms. *Adv. Microb. Ecol.* 8: 185–235
- Filep, Gy.–Dániel, P.–Kovács, B.–Loch, J.*: 1998. Effect of various extractants and extractant/soil ratio on detected Cu, Pb and Cd concentration. *Soil Pollution*. 113–123.
- Foy, C. D.*: 1983. The physiology of plant adaptation to mineral stress. [In: Carson, E. W. (ed.) *The Plant Root and its Environment.*] University Press. Virginia. Charlottesville. 601–642.
- Horak, O.*: 1985. Zur Bedeutung des Nickels für Fabaceae. II. Nickelaufnahme und Nickelbedarf von *Pisum sativum* L. *Phyton. Austria*. 25: 301–307.
- Kádár, I.–Morvai, B.–Szabó, L.*: 1998. Phytotoxicity of heavy metals in long-term field experiments. *Soil Pollution*. 138–143
- Kádár I.*: 1991. A talajok és növények nehézfém tartalmának vizsgálata. Környezetvédelmi és Területfejlesztési Minisztérium. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete. Budapest.
- Konishi, S.–Miyamoto, S.–Taki, T.*: 1985. Stymulatory effects of aluminium on tea plants grown under low and high phosphorus supply. *Soil. Sci. Plant Nutr. Tokyo*. 31: 361–368.
- Kovda, V. A.–Szabolcs, I.*: 1979. Modelling of soil sanilization and alkalization. *Agrokémia és Talajtan*. 207.
- Lehoczky É.–Szomolányi A.–Marth P.–Szabados I.*: 1997. A talaj Cd-tartalmának hatása a fokhagymára. 3. Veszprémi Környezetvédelmi Konferencia és Kiállítás, 1997. május 26–28. Tanulmánykötet. 397–402.
- Matsumoto, H.–Hirasawa, E.–Morimura, S.–Takahashi, E.*: 1976. Localization of aluminium in tea leaves. *Plant Cell Physiol.* 17: 627–631.
- Miller, G. W.–Huang, I. J.–Welkie, G. W.–Pushnik, J. C.*: 1995. Function of iron in plants with special emphasis on chloroplasts and photosynthetic activity. [In: Abadia, J. (ed.) *Iron Nutrition in Soil and Plants.*] Kluwer Academic Press. Dordrecht. 19–28.
- Murach, D.–Ulrich, B.*: 1988. Destabilization of forest ecosystems by acid deposition. *Geo J.* 17. 2: 253–260.
- Nagy J.*: 2006. Az évjárat hatásának értékelése a kukorica termésére. *Növénytermelés*. 55. 5–6: 299–307.
- Pinto, A. P.–Mota, A. M.–de Varennes, A.–Pinto, F. C.*: 2004. Influence of organic matter on the uptake of cadmium, zinc, copper and iron by sorghum plants. *Sci. Tot. Environ.* 326: 239–247

- Simon L.–Vágvölgyi S.–Győri Z.:* 1999. Kadmium akkumuláció vizsgálata napraforgó (*Helianthus annuus* L.) növényben. *Agrokémia és Talajtan*. 48. 1–2: 99–108.
- Sutcliffe, J. F.:* 1982. A növények és a víz. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 30–60.
- Vér Zs.:* 2006. Talajok különböző oldhatóságú nehézfém tartalmának vizsgálata a Keszthelyi Országos Műtrágyázási Tartamkísérletekben. Doktori (PhD) értekezés. Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar. Keszthely.
- Vigh L.–Horváth I.–Farkas T.:* 1983. A növények fagytüró képességének és membránlipidjeinek fázisállapotának kapcsolata. A biológia aktuális problémái. *Medicina Könyvkiadó*. Budapest. 26: 120–201.

A szerzők levelezési címe – Address of the authors:

Tóth Brigitta–Dr. Veres Szilvia–Bákonyni Nóra–Gajdos Éva–Marozsán Marianna–  
Dr. Lévai László

Debreceni Egyetem  
Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma  
Növénytudományi Intézet  
Mezőgazdasági Növénytan és Növényélettani Tanszékcsoport  
Debrecen  
Böszörményi út 138.  
H-4032