

A növény által felvehető talajoldat nehézfém-szennyezettsége

Murányi Attila

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet

1022 Budapest Herman Ottó 15.

A környezeti kockázatbecslés a kockázat mennyiségi meghatározására helyezi a hangsúlyt, melynek során összehasonlítja a Becsült Környezeti Koncentrációt (PEC, Predicted Environmental Concentration) a Becsült Hatástalan Koncentrációval (PNEC, Predicted No Effect Concentration). A környezeti kockázatok értékelésének alapvetően fontos tényezője tehát a környezetben levő szennyezőanyag mennyisége a Becsült Környezeti Koncentráció.

A talajok esetében a Becsült Környezeti Koncentráció értelmezése összetett probléma, mert megfontolást igényel, hogy milyen koncentrációt veszünk figyelembe. A talaj egy többfázisú, összetett rendszer, ezért egy szennyezőanyag előfordulhat a talaj szilárd, folyadék és gázfázisában is. A szilárd fázis felületei a kötőhelyek igen széles tartományát foglalják magukba, ezért nem közömbös, hogy egy szennyezőanyag milyen kötöttségű frakcióját vesszük figyelembe. Például a nehézfém „megkötődés” tartománya a fizikai adszorpciótól kezdve egészen a kristályrácsban való beépülésig terjedhet. Tekintettek arra, hogy a különböző kémiai analitikai módszerek különböző nehézfém-frakciókat jellemeznek, ezért igen nagy körültekintést igényel a felhasznált módszer kiválasztása, amit ajánlatos a vizsgálat céljához igazítani.

Szennyezett talajbank összeállítása

A Becsült Környezeti Koncentrációk jellemzése érdekében egy reprezentatív, szennyezett talajokból álló talajbankot állítottunk össze, ami a magyarországi talajok Cd-, Cu-, Pb-, Zn- tartalmát és tulajdonságait fogja át. A talajminták kiválasztása során a szennyezett talajok széleskörű jellemzésére törekedtünk és figyelembe vettük a szennyezettség mértékét, ezért olyan talajmintákat választottunk ki, amelyek a talajtulajdonságok széles tartományát reprezentálják. A növény általi felvehetőség jellemzése érdekében olyan szennyezett talajokat válogattunk össze, amelyek oldatfázisában várhatóan jól mérhető a vizsgálni kívánt négy nehézfém-ion koncentrációja.

A 33 darab – reprezentatívnak tekinthető - talajminta közül 18 szennyezett talajminta a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) mintavételi pontjaiból származik. A TIM 1236 reprezentatív mintavételi helyet tartalmaz (TIM, 1995), melyek között szennyezett talajok is találhatóak. A TIM talajai közül a különböző talajtulajdonságok figyelembevételére alapján 18 darab nehézfémrel szennyezett nem-karbonátos talajmintát választottunk ki. Talajmintákat vettünk a Gyöngyös – Tass pusztai kísérleti telepen 1994-ben beállított nehézfém terheléses tartamkísérletből is (Fodor, 1998; Szabó 1998). Ebben a kísérletben különböző nehézfém dózisokat keverték a talaj szántott rétegébe (0 – 20 cm) és a nehézfémek sorsát követik nyomon az idő függvényében. A Gyöngyös – Tass pusztán beállított nehézfém terheléses tartamkísérlet 12 parcelláját (Cd, Cu, Pb, Zn kezelések) és a kontrolkezelést mintáztuk meg (melyet Gyöngyös0-ként jelölünk). Az egységes Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) közül a B17 -es

karcagi kísérletet választottuk ki. A kísérlet 1967-ben kezdődött és az NPK kísérletben a műtrágya adagok termésre (kukorica, búza) gyakorolt hatását vizsgálják. A legnagyobb NPK adaggal kezelt kísérleti parcellát illetve a kontroll parcellát mintáztuk meg, melyeket B1732 II.20 illetve B1732 II.1 jelzéssel jelölünk.

A szántott rétegeből vettünk mintát. Meghatároztuk a nehézfémek kémiai egyensúlyait befolyásoló legfontosabb talajtulajdonságokat (**1. táblázat**). A kiválasztott talajok igen széles talajtulajdonság tartományt jellemeznek: $\text{pH}_{\text{KCl}} = 3,7 - 7,4$, humusztartalom = 0,7 – 28%, agyagtartalom = 4 – 56%. Meghatároztuk a talajok összes nehézfém-tartalmát (mikrohullámú bombában történő roncsolás koncentrált salétomsavval és hidrogén-peroxiddal) és könnyen felvehető nehézfém-tartalmát Lakanen – Erviö módszerrel (Sillanpaa & Jansson, 1992) (**2. táblázat**). A nehézfém-tartalmak széles koncentrációtartományt fognak át: $\text{Cd}_{\text{összes}} = 0 - 45$ mg/kg, $\text{Cu}_{\text{összes}} = 7 - 152$ mg/kg, $\text{Pb}_{\text{összes}} = 12 - 144$ mg/kg, $\text{Zn}_{\text{összes}} = 26 - 645$ mg/kg.

A talajok esetében nemcsak a nehézfém-tartalomnak, hanem a nehézfém-tartalom mobilizálásának is kiemelt fontossága van. A talajtan feladata a mobilizáció jellemzése, a nehézfém-tartalom oldatfázisba kerülésének elemzése. Ennek érdekében megvizsgáltuk, hogy a különböző, szennyezett talajok oldatfázisában mennyi nehézfém van oldott állapotban, mennyi a talajokban az oldott nehézfémek tényleges koncentrációja.

A növény által felvehető talajoldat frakció környezetvédelmi jelentősége

A növény által felvehetőnek tekintett talajoldatban levő toxikus nehézfém frakció a táplálékláncba való bekerülés veszélye miatt bír kiemelt jelentőséggel. A talajban lévő nehézfém-ionok a talaj oldatfázisán keresztül kerülhetnek be a növényekbe, illetve a táplálékláncba.

A növény által felvehetőnek tekintett talajoldat frakciót szabadföldi nedvességtartalmú talajokban határoztuk meg. A talajoldat minél pontosabb jellemzése érdekében a mintavételt a fagyok megszűnte után, a tavasz legelső napjaiban végeztük el.

A mintavételi idő kiválasztása három tényező figyelembevételén alapult:

- A talajok nedvességtartalma ilyenkor még nagy és így megfelelő mennyiségű *in situ* talajoldat nyerhető ki a kémiai elemzésekhez.
- A talaj szilárd fázisa és folyadékfázisa között feltételezhető a kémiai egyensúly fennállása a hosszú téli nyugalmi időszakot követően.
- A tavasz legelső napjaiban – a felmelegedés és a talajélet megindulása előtt – a talajoldat összetétele jellemzőnek tekinthető, mivel a talaj mikrobiológiai életfolyamatai és a növény gyökerek tevékenysége még nem befolyásolják a talajoldat összetételét.

A növény által felvehető talajoldat kinyerése

Módszert dolgoztunk ki a szabadföldi nedvességtartalmú talajok növény által felvehető talajoldat frakciójának kinyerésére. A laboratóriumba behozott szabadföldi, eredeti nedvességtartalmú, 0 – 20 cm-es rétegből származó talajmintákból azonnal kinyertük a „növény által felvehetőnek” tekintett talajoldat frakciót (konvenció szerint a pF 4,2-nél kisebb szívóerővel kötött talajoldat-frakciót) centrifugálásos módszerünk segítségével (Csillag, 1999). A kinyert *in situ* talajoldat összetételét részletesen elemeztük. Meghatároztuk a nehézfémek kémiai egyensúlyait befolyásoló talajtulajdonságokat is.

A DOC környezetvédelmi jelentősége

Az oldott szerves széntartalom (DOC, Dissolved Organic Carbon) fontos szerepet játszik a nehézfémek sorsának alakításában a talaj / talajoldat rendszerben. Talajtani szempontból az oldott szerves széntartalom a talajok szénforgalmában betöltött szerepe miatt fontos. Környezetvédelmi szempontból az oldott szerves széntartalom a szennyező anyagok transzportjában játszik szerepet. A DOC vegyületek meg tudják kötni a nehézfém-ionokat (pl. komplexképzés révén), ezáltal hordozó anyagként viselkednek. A DOC vegyületek oldatban tudják tartani a nehézfém-ionokat, és mobilitásuk révén magukkal tudják őket szállítani. A DOC hozzájárul tehát a nehézfém-ionok talajban történő mobilitásához.

Egy új, Magyarországon még nem használt módszert dolgoztunk ki az oldott szerves széntartalom meghatározására a talaj oldatfázisában (Murányi, 2003).

A „növény által felvehető” talajoldatok összetétele a következő tartományokat ölelte át: DOC = 30 – 223 mg/L, HCO_3^- = 10 – 166 mg/L, Ca = 14 – 695 mg/L, Mg = 1 – 43 mg/L, K = 1 – 46 mg/L, Na = 4 – 58 mg/L.

A talajoldat széntartalmát tekintve a 33 vizsgált minta közül az oldott szerves széntartalom 10 mintában nagyobb, mint 100 mg/L, míg a szervesetlen széntartalom 3 mintában nagyobb, mint 100 mg HCO_3^- /L. A DOC tartalom természetesen a 30. számú mohaláp talajban a legnagyobb.

A DOC koncentráció nagyságrendje megegyezik a makroelemek (Ca, Mg, K, Na) talajoldatban mért koncentrációjának nagyságrendjével (**I. ábra**). A makroelem koncentrációk összhangban vannak Filep és Csillag adataival (Filep, 1999).

A nehézfém-ionok koncentrációja

Meghatároztuk a négy nehézfém koncentrációját az *in situ*, a növény által felvehetőnek tekintett talajoldatban és a következő nehézfém koncentráció-tartományokat kaptuk: Cd = 0 – 17 $\mu\text{g/L}$, Cu = 11 – 576 $\mu\text{g/L}$, Pb = 2 – 11 $\mu\text{g/L}$, Zn = 45 – 4320 $\mu\text{g/L}$.

Igen sok talajoldat esetében kaptunk a talajvízre meghatározott háttér koncentrációnál (*A-érték*) magasabb nehézfém koncentrációt. A talajvízre megadott *A-érték* kadmiumra 0,4 $\mu\text{g/L}$, rézre 10 $\mu\text{g/L}$, ólomra 3 $\mu\text{g/L}$, cinkre 65 $\mu\text{g/L}$ (Környezetvédelmi Értesítő, 2000). Ez azt jelzi, hogy a talajok tavaszi felmelegedésének kezdetén igen magas a talajokban az oldott formában jelenlévő nehézfém tartalom. Számos szennyezett talaj esetében a talajoldat koncentrációja még a talajvízre megadott intézkedési határértéket (*C1 értéket*) is meghaladja. A *C1-érték* kadmiumra 6,0 $\mu\text{g/L}$, rézre 300 $\mu\text{g/L}$, ólomra 40 $\mu\text{g/L}$, cinkre 300 $\mu\text{g/L}$. A mért nehézfém koncentráció kadmium esetében 4, réz esetében 1, ólom esetében 0, cink esetében 16 talajoldatban haladta meg a C1 intézkedési határértéket. Ezek a legszennyezettebb talajok. A mért koncentrációk a vizsgált talajok folyadékfázisának szennyezett és toxikus voltát, azaz a környezeti kockázatok fennállását jelzi. Ezekben a talajokban a legnagyobb a nehézfém-ionoknak a tápláléklánca való bekerülése.

Kutatásaink során arra kerestünk választ, hogy melyik talajtulajdonság határozza meg a talajoldat nehézfém-tartalmát, Ennek érdekében elemeztük a talajoldat nehézfém-tartalma és az egyes talajtulajdonságok között fennálló összefüggéseket. Megállapítottuk, hogy egyetlen talajtulajdonság sem képes önmagában meghatározni a talajoldatban levő nehézfém mennyiségét, a talajoldatban levő nehézfém mennyiségét a különböző talajtulajdonságok együttesen határozzák meg. Ennek felismerését követően, részletesen tanulmányoztuk a kadmium viselkedését a talaj – talajoldat rendszerben.

A nehézfémek megoszlási hányadosa szennyezett talajokban

A talaj / talajoldat rendszer jellemzése érdekében meghatároztuk a nehézfémek megoszlási hányadosát a szennyezett talajokban. A megoszlási hányados (K_p) a szilárd fázisban lévő fémtartalom (mg/kg) és az oldatfázisban lévő (mg/L) fémkoncentráció hányadosa:

$$K_p = \text{nehézfém-tartalom szilárd fázis [mg/kg]} / \text{nehézfém-tartalom talajoldat [mg/L]}$$

Az összes nehézfém-tartalmat figyelembe véve a megoszlási hányados Cd esetében a 3 – 16000 L/kg tartományt, Cu esetében a 44 – 5469 L/kg tartományt, Pb esetében az 1567 – 17178 L/kg tartományt, Zn esetében a 13 – 5287 tartományt öleli át. A könnyen oldható nehézfém-tartalmat figyelembe véve szűkebb megoszlási hányados tartományokat kapunk (**3. táblázat**). A megoszlási hányadosok értékei egyértelműen bizonyítják a talaj szilárd fázisának puffer szerepét a nehézfémek megkötésében. Ugyanakkor jelzik a nehézfémek mobilizálódását befolyásoló talajtani tényezők jelentőségét is.

A **3. táblázat** egyértelműen bizonyítja, hogy a talajok nehézfém-tartalma több nagyságrenddel meghaladja a talajoldatban mért nehézfém-koncentrációt. Ez egyúttal azt is bizonyítja, hogy a talajoldat vizsgálata a talajok szennyezettségének jól használható indikátora, de indikátor-jellegéből fakadóan csak jelzi a szennyezettség tényét.

Az oldott nehézfémek aránya szennyezett talajokban

A megoszlási hányados csak kétfázisú talajban ad megbízható eredményeket, mert háromfázisú talajban a nedvességtartalom változása miatt (pl. csapadék hatására) a megoszlási hányados értéke is megváltozik. A szennyezett talajok nedvességtartalmát figyelembe véve meghatároztuk az összes oldott nehézfémnek (mg/kg) a talaj nehézfém-tartalmához (mg/kg) viszonyított százalékos arányát. Az oldott nehézfémek aránya azt mutatja meg, hogy a talaj nehézfém-tartalmának hány százaléka található oldott formában. Az eredményeket a **2., 3., 4. és 5. ábra** mutatja be.

Az oldott nehézfémek arányát kiszámítottuk mind a talaj összes, mind a Lakanen – Erviö módszer szerint meghatározott nehézfém-tartalmára vonatkoztatva. Az oldott nehézfémek aránya a Lakanen – Erviö módszer esetében természetesen nagyobb.

A kadmium esetében a könnyen oldható Cd-tartalomnak maximum 5,16 %-a, az összes Cd-tartalomnak maximum 3,87 %-a található az oldatfázisban. A réz esetében a könnyen oldható Cu-tartalomnak maximum 1,58 %-a, az összes Cu-tartalomnak maximum 0,23 %-a található az oldatfázisban. Az ólom esetében a könnyen oldható Pb-tartalomnak maximum 0,04 %-a, az összes Pb-tartalomnak maximum 0,01 %-a található az oldatfázisban. A cink esetében a könnyen oldható Zn-tartalomnak maximum 36,51 %-a, az összes Zn-tartalomnak maximum 1,17 %-a található az oldatfázisban.

Kutatásaink eredményeként levonható az a következtetés, hogy a növény által felvehető talaj-oldat frakció nehézfém-szennyezettsége kiemelt jelentőséggel bír a táplálékláncba való kerülés kockázata miatt.

1. táblázat. A kiválasztott talajok és legfontosabb tulajdonságaik.

Talaj- minta száma	Talaj- minta jele	Talajtípus	Mintavételi hely	pH	humusz	mechanikai összetétel		
				KCl	tart.	homok	iszap	agyag
					%	%	%	%
1	E7405	humuszos öntést.	Alsózsolca	5.49	7.44	13.11	40.91	45.99
2	E9105	Ramann f. barna erdőt.	Répáshuta	5.14	6.44	16.67	47.98	35.36
3	I1710	réti t.	Gyöngyös	5.53	3.27	12.81	46.69	40.51
4	I1810	kovárv. barna erdőt.	Verpelét	6.60	1.32	75.53	15.68	8.79
5	I5005	humuszos öntést.	Györgytarló	6.12	2.54	7.43	66.99	25.59
6	S3612	agyagbem. barna erdőt.	Szécsény	6.91	2.07	25.77	45.90	28.33
7	S4810	nyers öntést.	Gyöngyös	5.93	2.76	23.92	41.07	35.01
8	I0215	öntés réti t.	Komoró	5.15	3.41	2.36	41.72	55.93
9	I0615	humuszos öntést.	Tiszakerecsény	4.90	4.16	7.17	46.04	46.80
10	I1115	alföldi csernozjom t.	Nagyhalász	5.13	2.54	57.30	27.61	15.09
11	I1415	humuszos öntést.	Csaholc	4.42	2.60	10.46	57.98	31.57
12	I1715	nyers öntést.	Vásárosnamény	6.99	2.16	62.45	27.67	9.89
13	I2015	kovárv. futóhomok	Kisvarsány	7.42	0.84	56.76	31.80	11.45
14	I2715	kovárv. barna erdőt.	Pusztadobos	3.73	0.72	85.19	10.63	4.19
15	Gyöngyös0	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	6.03	2.83	7.38	55.31	37.31
16	Cu 1	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	5.80	2.96	7.26	54.57	38.18
17	Cu 2	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	5.69	3.72	7.22	55.08	37.70
18	Cu 3	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	5.62	3.78	8.57	56.05	35.37
19	Cd 1	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	5.95	3.51	6.84	55.83	37.32
20	Cd 2	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	6.36	3.56	10.19	54.37	35.45
21	Cd 3	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	6.14	3.58	9.98	52.93	37.08
22	Pb 2	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	6.23	3.27	9.54	54.25	36.20
23	Pb 3	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	6.06	3.34	9.93	52.54	37.52
24	Zn 1	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	5.73	3.40	9.14	55.90	34.96
25	Zn 2	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	5.56	4.21	8.19	57.28	34.53
26	Zn 3	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	6.07	3.75	8.65	55.17	36.17
27	Pb 1	Ramann f. barna erdőt.	Gyöngyös Tas-p.	6.73	3.42	10.09	54.69	35.23
28	B1732 II.1	réti csernozjom	Karcag	5.28	2.84	9.23	54.00	36.79
29	B1732 II.20	réti csernozjom	Karcag	4.59	3.13	5.14	57.00	37.87
30	S4920	mohaláp t.	Zalavár	6.52	28.20	53.21	33.52	13.28
31	I2802	réti t.	Kölked	5.77	3.52	5.67	62.06	32.27
32	S5319	Ramann f. barna erdőt.	Salföld	6.17	2.20	63.64	26.65	9.72
33	E5107	kilúgzott csernozjom t.	Szabadegyháza	5.46	3.37	63.80	21.59	14.62
			minimum:	3.73	0.72	2.36	10.63	4.19
			maximum:	7.42	28.20	85.19	66.99	55.93

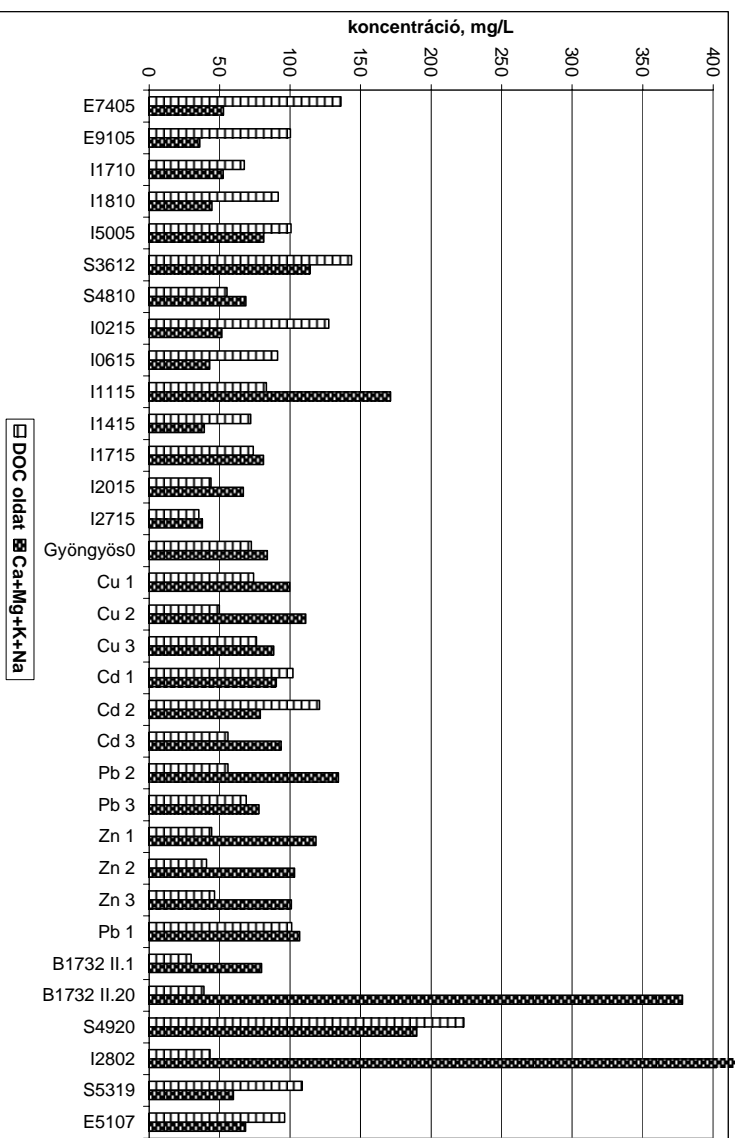
2. táblázat. A talajok nehézfém tartalma és a talajoldat egyes tulajdonságai.

Talaj- minta száma	Talajok nehézfém-tartalma								Talajoldat tulajdonságok			
	Cd LE	Cu LE	Pb LE	Zn LE	Cd összes	Cu összes	Pb összes	Zn összes	pH	EC	DOC	HCO ₃ ⁻
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg		mS/cm	mg/L	mg/L
1	0.25	25	9	9	0.41	28	22	109	6.69	0.256	136	41
2	1.51	6	10	7	2.55	62	31	142	6.11	0.174	100	34
3	0.15	39	13	10	0.26	105	25	109	6.05	0.277	67	36
4	0.07	62	4	4	0.09	110	12	33	7.02	0.205	92	41
5	0.62	12	16	16	0.98	36	57	183	7.58	0.379	101	129
6	0.06	4	6	12	0.09	14	61	70	7.37	0.512	144	78
7	2.20	40	58	211	3.23	91	144	645	7.04	0.359	55	42
8	0.74	14	21	11	1.06	45	77	230	7.28	0.236	127	64
9	0.42	9	13	9	0.78	36	57	198	7.17	0.205	91	55
10	0.12	6	6	7	0.19	21	17	71	6.71	0.799	83	31
11	0.04	3	5	2	0.11	13	21	57	7.28	0.184	72	44
12	0.69	9	17	33	1.02	25	42	177	7.81	0.379	74	106
13	0.06	2	3	1	0.13	12	13	43	7.56	0.379	44	75
14	0.02	1	2	1	0.02	7	17	26	5.35	0.225	35	10
15	0.11	7	7	3	0.22	24	86	76	7.25	0.451	73	34
16	0.18	11	9	9	0.36	33	23	100	6.62	0.492	74	29
17	0.17	14	9	7	0.32	38	23	91	6.63	0.563	50	23
18	0.23	44	8	7	0.34	73	24	89	6.75	0.451	76	28
19	5.35	10	8	11	6.22	30	23	96	6.82	0.441	102	36
20	14.90	11	9	8	17.40	32	27	86	7.17	0.389	121	46
21	35.10	10	8	6	45.10	30	22	85	7.07	0.441	56	34
22	3.68	9	26	6	3.98	30	41	87	7.18	0.635	56	37
23	0.25	10	38	19	0.35	29	58	88	7.09	0.338	69	34
24	0.22	8	9	14	0.33	28	23	99	6.51	0.512	44	28
25	0.39	9	12	21	0.57	29	24	112	6.35	0.451	41	24
26	0.23	8	10	39	0.52	28	23	131	6.81	0.441	46	29
27	0.41	10	16	15	0.54	29	30	84	7.69	0.471	101	81
28	0.12	4	5	2	0.23	26	23	83	6.90	0.133	30	18
29	0.12	4	5	1	0.21	26	23	84	5.87	1.885	39	21
30	0.04	9	7	3	0.48	29	29	58	7.80	0.768	223	166
31	0.11	5	7	4	0.21	24	21	71	6.06	4.611	43	15
32	0.08	104	4	16	0.14	152	14	51	7.06	0.184	109	43
33	0.05	3	5	2	0.11	10	15	36	5.97	0.348	96	19
min.	0.02	1	2	1	0.02	7	12	26	5.35	0.133	30	10
max.	35.10	104	58	211	45.10	152	144	645	7.81	4.611	223	166

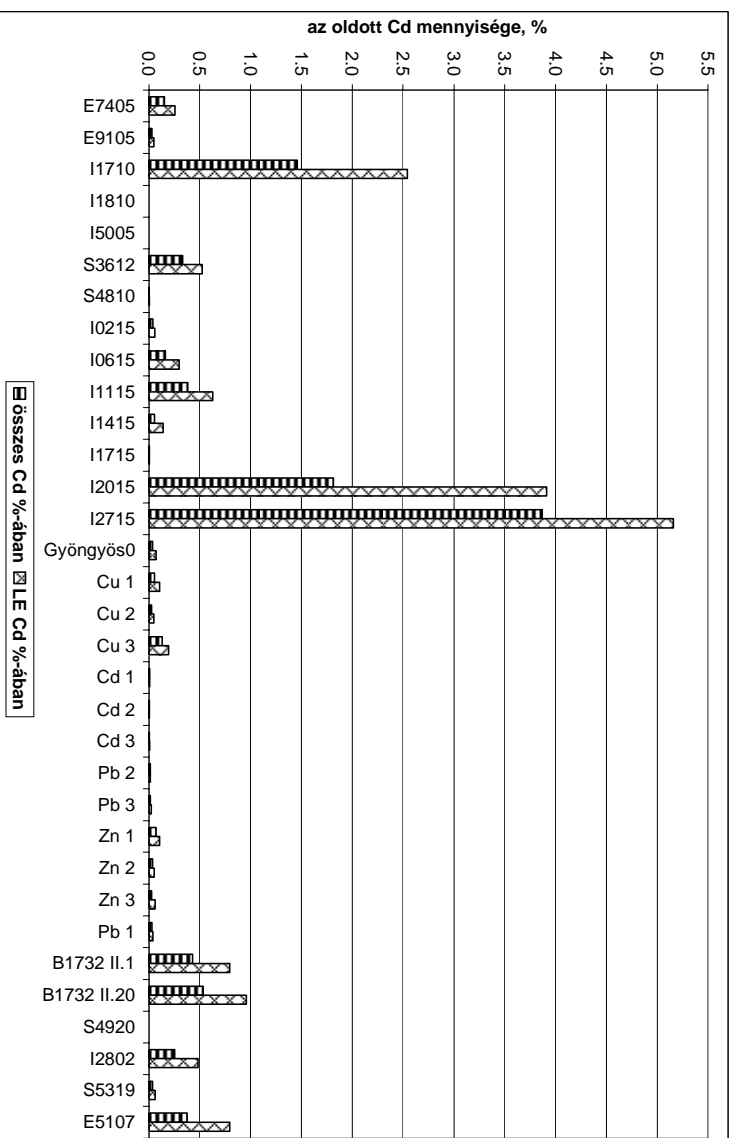
3. táblázat. A megoszlási hányadosok értéke szennyezett talajokban.

Talaj- minta száma	Megoszlási hányados				Megoszlási hányados			
	Lakanen-Ervő				összes			
	Cd	Cu	Pb	Zn	Cd	Cu	Pb	Zn
	L/kg	L/kg	L/kg	L/kg	L/kg	L/kg	L/kg	L/kg
1	176	474	3385	17	293	536	8296	195
2	686	541		13	1159	5469		283
3	12	1344		2	20	3608		25
4		1016		60		1792		472
5		533		361		1586		4103
6	43	73		45	68	288		274
7	11000	1226		1730	16150	2771		5287
8	738	675	4644	38	1060	2108	17178	759
9	163	669		14	302	2712		298
10	26	27		5	43	93		54
11	210	189	2229	7	550	796	10190	250
12	3445	417		231	5100	1161		1238
13	4	31		1	8	182		25
14	2	6		0	3	44		13
15	363	70		20	727	251		494
16	261	156		32	514	487		351
17	577	93		16	1070	259		205
18	137	325		9	201	544		109
19	3344	87		49	3888	271		418
20	5103	567		27	5959	1582		309
21	3343	80		25	4295	248		335
22	1840	89		21	1990	284		307
23	1240	125	3372	85	1755	374	5106	391
24	273	56	3395	27	414	189	8261	197
25	563	50		28	813	165		147
26	454	205	3168	103	1038	699	7205	349
27	682	152		184	902	435		1001
28	31	88		1	57	577		65
29	35	63		1	62	462		96
30		600		18		2056		309
31	49	43		4	93	188		73
32	317	181	486	45	563	264	1567	139
33	25	36	2386	2	53	128	7333	40
min.	2	6	486	0	3	44	1567	13
max.	11000	1344	4644	1730	16150	5469	17178	5287

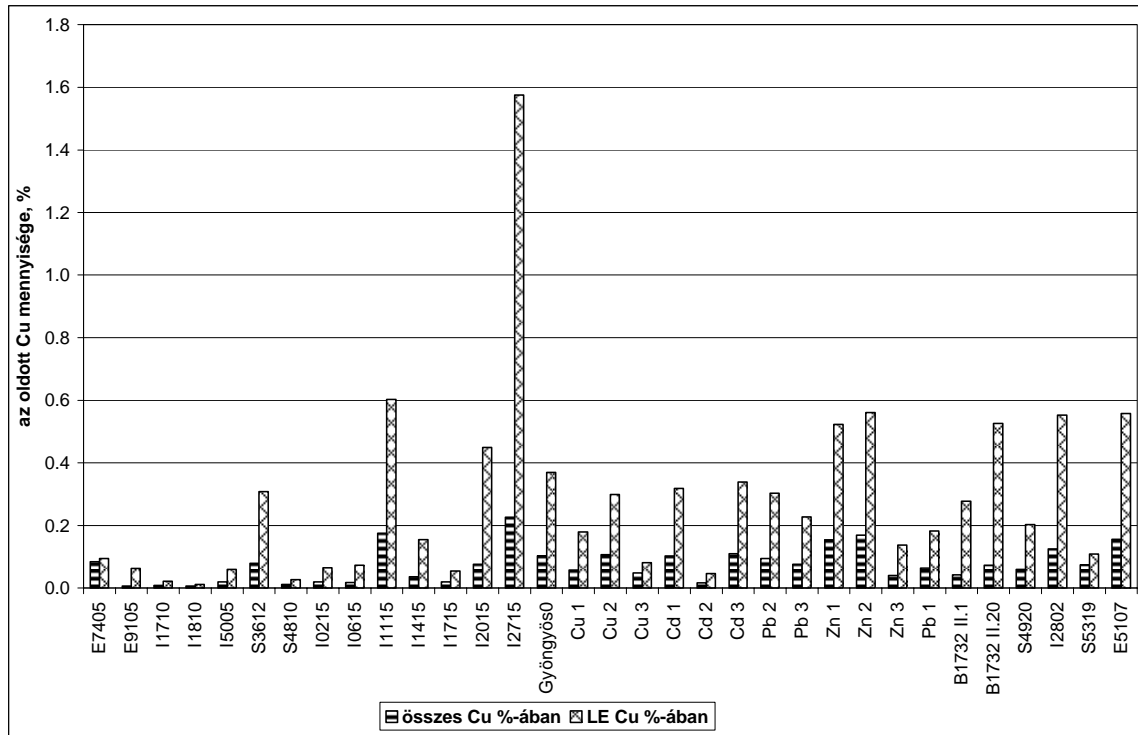
1. ábra. A növény által felvehető talajoldat DOC tartalma és Ca + Mg + K + Na tartalma.



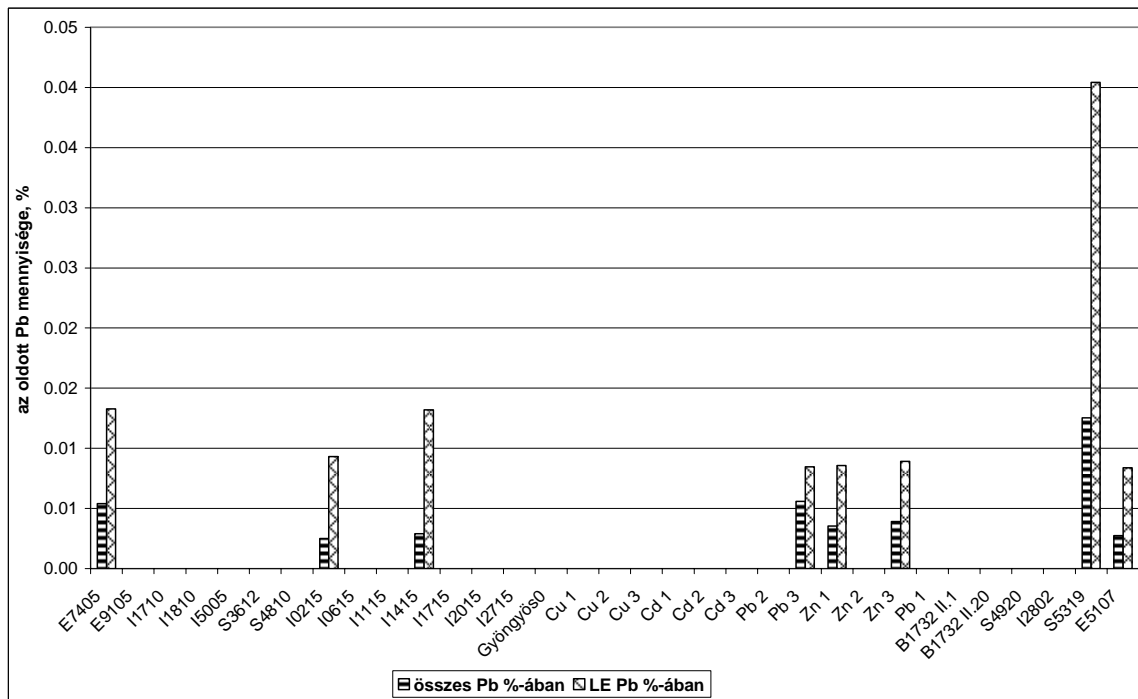
2. ábra. Az oldott kadmium mennyiségének és a talaj kadmium-tartalmának aránya (%).



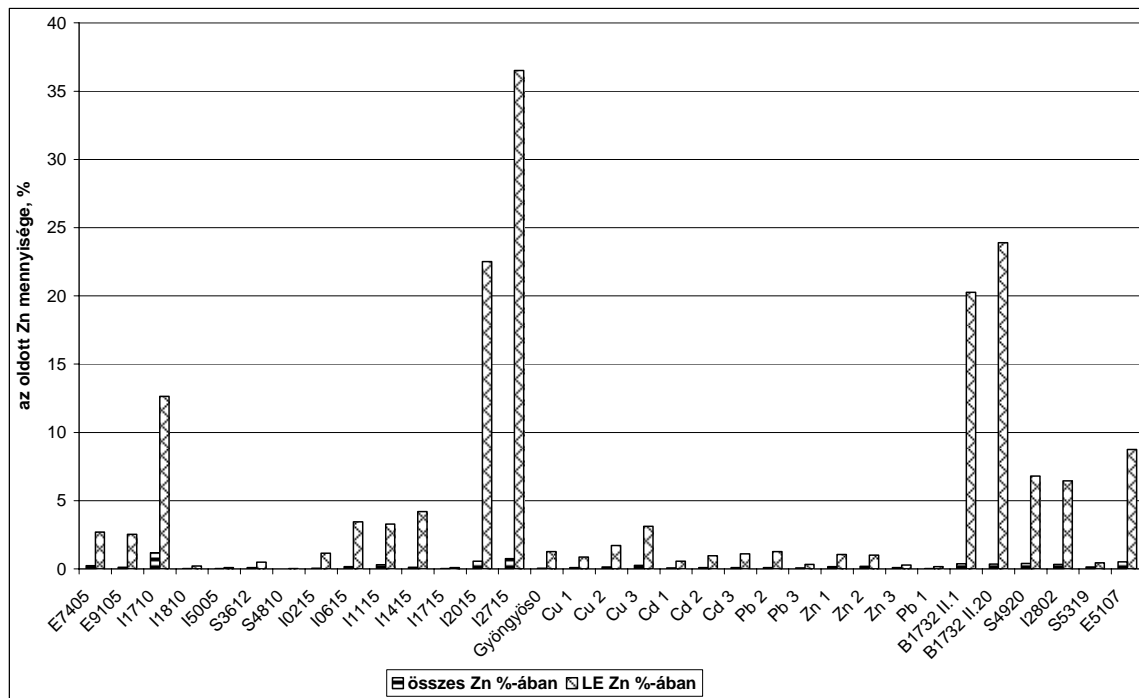
3. ábra. Az oldott réz mennyiségének és a talaj réztartalmának aránya (%).



4. ábra. Az oldott ólom mennyiségének és a talaj ólomtartalmának aránya (%).



5. ábra. Az oldott cink mennyiségének és a talaj cinktartalmának aránya (%).



Irodalomjegyzék

- Csillag J. et al. 1999. Extraction of soil solution for environmental analysis. Intern. J. Environ. Anal. Chem. **74**, 305 – 324.
- Filep Gy. 1999. Soil chemistry. Processes and constituents. Akadémiai Kiadó. Budapest.
- Fodor L. 1998. Effect of heavy metals on wheat and maize crop on brown forest soil. Agro-kémia és Talajtan. **47**, 197-206.
- Környezetvédelmi Értesítő. 2000. A felszín alatti víz és a földtani közeg minőségi védelméhez szükséges határértékekről. 10/2000. (VI. 2.) KöM-EüM-FVM-KHVM együttes rendelete. 6. szám. 455-467.
- Murányi A. 2003. A talajok minőségét befolyásoló tényezők jellemzése. MTA Doktori Értekezés. Budapest.
- Sillanpaa, M. & Jansson, H. 1992. Status of cadmium, lead, cobalt and selenium in soils and plants of thirty countries, FAO Soils Bulletin 65. FAO. Rome.
- Szabó, L. 1998. Mobility of some micropollutants in a brown forest soil. Agro-kémia és Talajtan. **47**. 191-196.
- TIM. 1995. Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer. 1. kötet. Módszertan. Földművelésügyi Minisztérium kiadványa. Budapest.