

# **ZÁRÓJELENTÉS**

**a**

## **„TARTÓS MŰTRÁGYÁZÁS HATÁSA A TALAJOK NEHÉZFÉM FELHALMOZÁSÁRA” című kutatásról**

**2002-2005.**

**témavezető:**

**DR. HABIL. LEHOCZKY ÉVA**

**Keszthely  
2006.**

**TARTALOMJEGYZÉK**

Oldal

**1. Bevezetés, célkitűzés****2. Anyag és módszer**

- 2.1. Az OMTK szabadföldi kísérleti helyek bemutatása
- 2.2. A kísérleti kezelések
  - 2.2.1. Kísérleti kezelések az OMTK 8 kísérleti helyén
  - 2.2.2. Kísérleti kezelések a Keszthelyi OMTK kísérletben
- 2.3. Talajvizsgálatok
  - 2.3.1. Talajvizsgálatok az OMTK 8 kísérleti helyén
    - 2.3.1.1. KCl+EDTA oldható elemtartalom
  - 2.3.2. Talajvizsgálatok a Keszthelyi OMTK kísérletben
    - 2.3.2.1. cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható elemtartalom
    - 2.3.2.2. NH<sub>4</sub>-acetát+EDTA oldható elemtartalom
- 2.4. Tenyészedényes kísérletek bemutatása
  - 2.4.1. Angolperjével (*Lolium perenne* L.) és salátával (*Lactuca sativa* L.) végzett tenyészedényes kísérletek

**3. Kísérleti eredmények**

- 3.1. Talajvizsgálati eredmények a 8 OMTK kísérleti helyen, KCl+EDTA oldható elemtartalom
  - 3.1.1. Esszenciális mikroelemek
    - 3.1.1.1. Cink (Zn)
    - 3.1.1.2. Réz (Cu)
    - 3.1.1.3. Mangán (Mn)
    - 3.1.1.4. Molibdén (Mo)
    - 3.1.1.5. Bór (B)
  - 3.1.2. Toxikus nehézfémek
    - 3.1.2.1. Kadmium (Cd)
    - 3.1.2.2. Ólom (Pb)
    - 3.1.2.3. Króm (Cr)
- 3.2. Talajvizsgálati eredmények a Keszthelyi OMTK kísérletben, a talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és NH<sub>4</sub>-acetát+EDTA oldható elemtartalma
  - 3.2.1. Esszenciális nehézfémek
    - 3.2.1.1. Cink (Zn)
    - 3.2.1.2. Réz (Cu)
    - 3.2.1.3. Mangán (Mn)
  - 3.2.2. Toxikus nehézfémek
    - 3.2.2.1. Kadmium (Cd)
    - 3.2.2.2. Ólom (Pb)
    - 3.2.2.3. Króm (Cr)
    - 3.2.2.4. Nikkel (Ni)
  - 3.2.3. A különböző kivonószerekkel kapott eredmények összehasonlítása
- 3.3. Tenyészedényes kísérletek vizsgálati eredményei
  - 3.3.1. Angolperjével végzett kísérletek vizsgálati eredményei
  - 3.3.2. Salátával végzett kísérletek vizsgálati eredményei
  - 3.3.3. Az angolperje és a saláta nehézfém koncentrációjának, a transzfer koefficiensek és a növények által felvett nehézfémek mennyiségének összehasonlító értékelése

**4. Következtetések, javaslatok****5. Hivatkozott szakirodalom**

## 1. Bevezetés, célkitűzés

Az ásványi anyagok (elemek) rendkívül összetett, biotikus és abiotikus folyamatoknak alávetve alakulhatnak át a talajban, kerülhetnek a növénybe, állatba és emberbe.

Különösen igaz a mikroelemek esetében, hogy gyakran nem abszolút mennyiségük mérvadó a talajban, hanem a felvehetőségük. Tehát az, hogy milyen formában fordulnak elő. Másrészt a felvételüket döntően befolyásolhatják a növényi felvétel mechanizmusai, kölcsönhatásai, mint pl. az egyes elemek közötti szinergizmusok és antagonizmusok.

Ez a körülmény szükségessé teszi az összetettebb, többtényezős kísérleti modellek alkalmazását, ahol pl. a meszezés és a műtrágyázási szintek kölcsönhatásai együtt jelennek meg az esszenciális tápelemek és a nem esszenciális, toxikus nehézfémek felvételében.

A kísérleti eredmények általában egy adott termőhelyre, agroökológiai tájegységre érvényesíthetők. Az Országos Műtrágyázási Tartam Kísérletek, melyek 1967-1968-1969-ben kerültek beállításra, a különböző agroökológiai tájegységeket jellemzik (azonos korú, egységes tápanyag-kezelésű, különböző talaj- ill. agroökológiai tájegységben elhelyezett szabadföldi kisparcellás kísérletek). A talajaink termékenységét csökkentő tényezők (környezetre káros, szakszerűtlen trágyázás, alul- vagy túltrágyázott, aránytalan tápanyagellátás) hatásának vizsgálatát összefüggésben a kezeléshatás idejével szakaszosan, rotációnként elvégezhetjük. Szakmailag akkor járunk el helyesen, ha a termőhelyre vonatkozó tapasztalatokat, kutatási eredményeket, csak az adott ökológiai tájegység talajviszonyaira vonatkoztatjuk, mivel szorosabb összefüggések csak kisebb egységekben észlelhetők.

A kutatómunka célja az volt, hogy a tartós és egységes műtrágyázás és a különböző agroökológiai körzetekben található talajok fémtartalmának kapcsolatára részletes adatokkal rendelkezünk.

A talajok ásványi összetételének elemzése arra irányult, hogy a műtrágyázási tartamkísérletek eltérően kezelt parcelláinak szántott rétegében (0-20 cm) nyomon kövessük az esszenciális és toxikus elemek előfordulását a tartós műtrágyázás hatására.

A különböző agroökológiai régiókban, a különböző talajok átlagos összetételének „összevetése” is számos tanulsággal szolgálhat a nehézfémek „háttér-terhelésének” megítélése szempontjából, ill. tájgazdálkodási technológiák kidolgozásához.

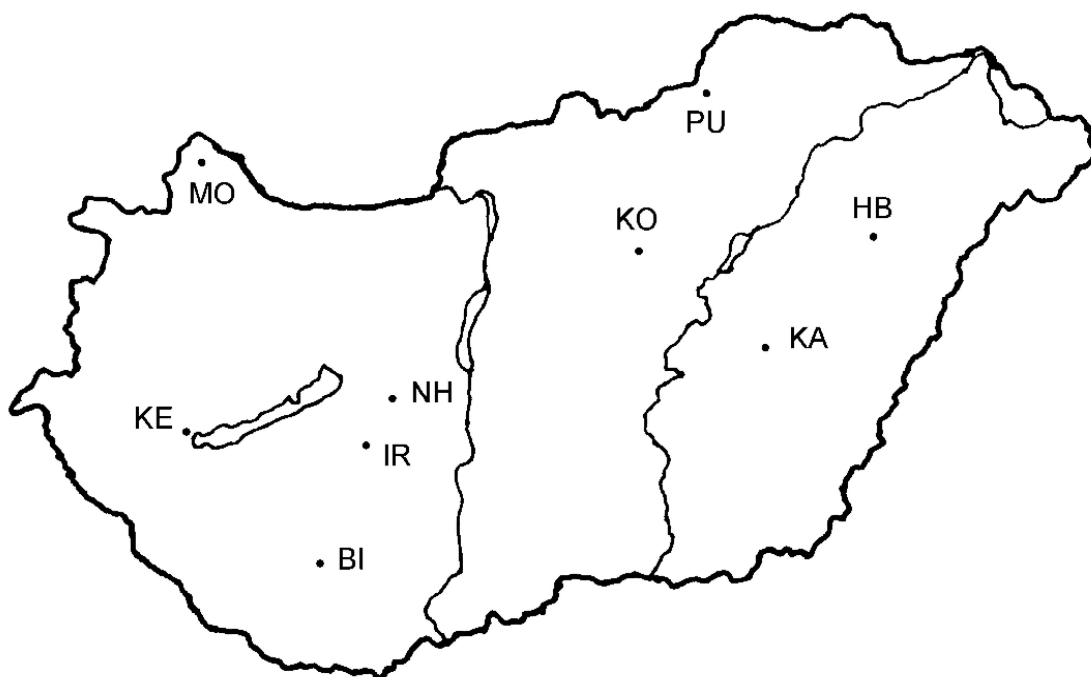
## 2. Anyag és módszer

### 2.1. Az OMTK szabadföldi kísérleti helyek bemutatása

Az Országos Műtrágyázási Tartam Kísérletek (OMTK) 1968-ban, nyolc eltérő agroökológiai körzetben kerültek beállításra (1. táblázat, 1. ábra) (Debreczeni és Debreczeniné 1994). Az OMTK kísérletek talajainak agrokémiai jellemzését a 2. táblázat tartalmazza.

#### 1. táblázat Az OMTK szabadföldi kísérleti helyek bemutatása

<i>Kísérleti helyek</i>	<i>Talajtípus</i>
1. <i>Keszthely (KE)</i>	1. agyagbemosódásos barna erdőtalaj, 2. Ramann-féle barna erdőtalaj
2. <i>Hajdúböszörmény (HB)</i>	lössön kialakult réti talaj, agyagos vályog
3. <i>Karcag (KA)</i>	csernozjom barna erdőtalaj
4. <i>Kompolt (KO)</i>	agyagbemosódásos barna erdőtalaj
5. <i>Putnok (PU)</i>	régi csernozjom
5. <i>Iregszemcse (IR)</i>	mészlepedékes csernozjom, löszös üledéken kialakult vályog
7. <i>Bicsérd (BI)</i>	csernozjom barna erdőtalaj, löszön kialakult agyagos vályog
8. <i>Nagyhörcsök (NH)</i>	mészlepedékes csernozjom, vályog



1. ábra Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek Magyarországon

2. táblázat Az OMTK talajok agrokémiai jellemzése (a 12., 16. és 20. évben vett minták átlaga), a kísérletek 0 parcelláinak átlagadatai, 0-25 cm (Debreczeni és Debreczeniné, 1994)

Jellemzők	NH*	IR	KE	HB	BI	PU	KA	KO
Talajtípus	mészlepedékes csernozjom	mészlepedékes csernozjom	Ramann-féle barna erdőtájalaj	réti talaj	csernozjom barna erdőtájalaj	agyagbemosódásos barna erdőtájalaj	réti csernozjom	csernozjom barna erdőtájalaj
Humusz %	2,7	2,4	1,7	3,5	1,9	2,0	2,7	2,6
AL-P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> mg/kg	81	103	45	37	35	30	34	51
AL-K <sub>2</sub> O mg/kg	147	150	139	139	206	167	270	213
pH <sub>KCl</sub>	7,2	7,4	6,3	6,1	5,6	4,6	4,7	3,9
CaCO <sub>3</sub> %	6,0	8,0		ny.	-	-	-	-
K <sub>A</sub>	38	37	37	54	45	41	47	44
Hidrolitos aciditás, y <sub>1</sub> meé/100 g	-	-	-	-	-	16	24	19
Leiszapolható rész% <0,01 mm	38	36	37	53	45	49	59	58
Agyag % <0,002 mm	23	22	24	35	33	28	37	41

\*Kísérleti helyek: Nagyhörcsök (NH), Iregszemcse (IR), Keszthely (KE), Hajdúböszörmény (HB), Bicsérd (BI), Putnok (PU), Karcag (KA), Kompolt (KO) \*\*Debreczeni B. és Debreczeni Bné (szerk.) (1994): Trágyázási kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó, Budapest

## 2.2. A kísérleti kezelések (NPK)

### 2.2.1. A kísérleti kezelések (NPK) a 8 OMTK kísérletben

A kísérleti kezelésekben az NPK műtrágya hatóanyag adagok a következők: N = 0-50-100-150-200-250 kg/ha/év, a P ( $P_2O_5$ ) = 0-50-100-150-200 kg/ha/év ill. a K ( $K_2O$ ) = 0-100-200 kg/ha/év. Ezek a kezelések nem minden kombinációban fordulnak elő.

A növényi sorrend négyéves vetésforgókban (őszi búza-kukorica bikultura) változik. A talajmintavétel a rotációk végén az őszi búza betakarítását követően történik a 0-20 cm-es szántott talajrétegben.

A vizsgálatokhoz az alábbi kísérleti kezeléseket választottuk ki:

- 1/ kontroll (kód: 000)
- 2/ 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 50 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 211)
- 3/ 150 kg N ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 321)
- 4/ 200 kg N ha<sup>-1</sup>, 150 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 431)
- 5/ 250 kg N ha<sup>-1</sup>, 200 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 200 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 542)

A 28 év alatt kijutatott tápanyagok összesen: 2800-4200-5600-7000 kg N ha<sup>-1</sup>, 1400-2800-4200-5600 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 2800-2800-2800-5600 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup>.

### 2.2.2. A kísérleti kezelések (NPK) a keszthelyi OMTK kísérletben

A talajmintavétel 2000-ben, a kísérlet beállítást követő 32. évben, a négyéves rotáció végén történt. N=0-50-100-150-200-250 kg/ha/év, a P ( $P_2O_5$ )= 0-50-100-150-200 kg/ha/év ill. a K ( $K_2O$ )=0-100-200 kg/ha/év. A különböző NPK műtrágyakezelések négy ismétlésben kerültek beállításra, véletlen blokk elrendezésben. A talajminták a felső 0-20 cm-es rétegből kerültek begyűjtésre. A 32 év alatt kijuttatott tápanyagok mennyisége összesen 1600-3200-4800-6400-8000 kg N/ha, 1600-3200-4800-6400-8000 kg  $P_2O_5$ /ha, 3200 kg  $K_2O$ /ha.

A vizsgálatokhoz az alábbi kísérleti kezeléseket választottuk:

- 1/ 0 kg N ha<sup>-1</sup>, 0 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 0 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 000)
- 2/ 50 kg N ha<sup>-1</sup>, 0 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 101)
- 3/ 50 kg N ha<sup>-1</sup>, 50 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 111)
- 4/ 50 kg N ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 121)
- 5/ 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 0 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 201)
- 6/ 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 50 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 211)
- 7/ 100 kg N ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 221)
- 8/ 150 kg N ha<sup>-1</sup>, 0 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 301)
- 9/ 150 kg N ha<sup>-1</sup>, 50 kg  $P_2O_5$  ha<sup>-1</sup>, 100 kg  $K_2O$  ha<sup>-1</sup> (kód: 311)

10/ 150 kg N ha <sup>-1</sup> ,	100 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 321)
11/ 150 kg N ha <sup>-1</sup> ,	150 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 331)
12/ 200 kg N ha <sup>-1</sup> ,	50 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 411)
13/ 200 kg N ha <sup>-1</sup> ,	100 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 421)
14/ 200 kg N ha <sup>-1</sup> ,	150 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 431)
15/ 200 kg N ha <sup>-1</sup> ,	200 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 441)
16/ 250 kg N ha <sup>-1</sup> ,	100 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 521)
17/ 250 kg N ha <sup>-1</sup> ,	150 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 531)
18/ 250 kg N ha <sup>-1</sup> ,	200 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	100 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 541)
19/ 200 kg N ha <sup>-1</sup> ,	200 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	200 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 442)
20/ 250 kg N ha <sup>-1</sup> ,	200 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	200 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 542)
22/ 250 kg N ha <sup>-1</sup> ,	150 kg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ha <sup>-1</sup> ,	0 kg K <sub>2</sub> O ha <sup>-1</sup>	(kód: 530)

### 2.3. Talajvizsgálatok

#### 2.3.1. Talajvizsgálatok az OMTK 8 kísérletében

A talajmintákból a 0,1M KCl + 0,05M EDTA oldható (Baranyai et al., 1987), un. „felvehető” elemtartalom meghatározása történt, ICP segítségével. Az esszenciális mikroelemek közül a cink (Zn), réz (Cu), mangán (Mn), molibdén (Mo), bór (B), a toxikus nehézfémek közül a kadmium (Cd), ólom (Pb), króm (Cr) mennyiségét vizsgáltuk a kísérleti helyek talajmintáiból.

#### 2.3.2. Talajvizsgálatok a keszthelyi OMTK kísérletben

##### 2.3.2. cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható elemtartalom

A talajminták un. „összes” cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható elemtartalmának meghatározására ICP segítségével történt.

##### 2.3.2. NH<sub>4</sub>-acetát+EDTA oldható elemtartalom

A talajminták un. a növények számára könnyebben „felvehető”, 0,5M ammónium-acetát + 0,5M ecetsav + 0,02M EDTA oldható (Lakanen-Erviö, 1971) mikroelem koncentrációját szintén ICP-vel határoztuk meg.

Mindkét kivonószerezrel meghatároztuk az esszenciális mikroelemek közül a cink (Zn), réz (Cu), mangán (Mn), molibdén (Mo), bór (B), a toxikus nehézfémek közül a kadmium (Cd), ólom (Pb), króm (Cr) mennyiségét.

### 2.4. Angolperjével (*Lolium perenne* L.) és salátával (*Lactuca sativa* L.) végzett tenyészedényes kísérletek

A tenyészedényes kísérletekben az angolperje (*Lolium perenne* L.), Gulács fajta, és saláta (*Lactuca sativa* L.) Balatonzöld fajta jelzőnövényeket alkalmaztunk. A tenyészedényekbe 1000 db angolperje, ill. 200 db saláta magot vetettünk (Chaminade, 1960, 1961). A kísérletben a szántóföldön alkalmazott NPK műtrágya adagokkal azonos, 1kg talajra átszámított műtrágya mennyiséget juttattunk ki. A saláta esetében a nitrogén, a foszfor és a kálium a vetés előtt került kijuttatásra, míg az angolperje esetében a kálium- és a foszfor műtrágyát a vetés előtt a talajba kevertük, a nitrogént pedig a vegetációs idő alatt megosztva, oldat formájában juttattuk ki. A növényeket hetente súlyra öntöztük a maximális vízkapacitás 60%-áig, naponta pedig igény szerint történt az öntözés. A vetést követő 4. héten az angolperje és a saláta föld feletti hajtását levágtuk. Mértük a növények friss-, majd szárítás után a száraz hajtás tömegét. A növéyminták feltárása koncentrált salétromsavval, mikrohullámú roncsolóban történt, és a feltárást követően meghatároztuk a növény minták elemtartalmát ICP segítségével. A 4. héten történt mintavétel után az angolperjét tovább neveltük, és további három alkalommal vágtuk a hajtást azzal a céllal, hogy vizsgáljuk az angolperje tápanyagfelvételének dinamikáját.

### 3. Kísérleti eredmények

#### 3.1. Talajvizsgálati eredmények az OMTK kísérletek 8 kísérleti helyének talajmintáiból

##### 3.1.1. Esszenciális mikroelemek

###### 3.1.1.1. Cink (Zn)

A kísérleti talajok könnyen oldható cinktartalma 0,9–2,7 mg/kg talaj közötti volt (3. táblázat). A talajok KCl+EDTA oldható cinktartalmára matematikailag igazolhatóan nem volt hatása a műtrágyázásnak. Egyedül a keszthelyi (KE) talajon volt tendenciaszerű (nem szignifikáns) változás a műtrágyázott parcellák talajának cinkkoncentrációjában. A nagyobb adagú műtrágyakezelésekben a cinktartalom lényegesen kisebb kb. fele volt, mint a kontrollban és a legkisebb adagú (211) műtrágyakezelésben. A legkisebb oldható cinktartalma a nagyhőrcsöki (NH), iregszemcsei (IR) és hajdúböszörményi talajoknak volt, ez hasonlóságot mutat a mangántartalomnál tapasztaltakkal, azzal a lényeges különbséggel, hogy itt sokkal szűkebb tartományban változtak a koncentráció értékek.



3. táblázat A kísérleti talajok KCl + EDTA oldható Zn tartalma (mg/kg talaj)

NPK kezelések	Kísérleti helyek							
	NH <sup>a</sup>	IR	KE	HB	BI	PU	KA	KO
	karbonátos	gyengén savanyú			erősen savanyú			
000	1,17	1,00	2,60	1,03	2,53	2,23	1,43	2,08
211	0,90	1,03	2,73	1,13	1,30	1,93	1,88	1,98
321	1,28	1,50	1,43	1,40	1,23	1,90	1,55	1,95
431	1,05	1,03	1,78	1,30	1,98	2,05	1,60	1,88
542	1,00	1,40	1,25	1,25	1,93	1,98	1,40	1,88
<i>Szd</i> <sub>5%</sub>	<i>0,41</i>	<i>0,81</i>	<i>2,03</i>	<i>0,68</i>	<i>2,11</i>	<i>0,61</i>	<i>0,82</i>	<i>0,48</i>

<sup>a</sup>Kísérleti helyek: NH: Nagyhörcsök; IR: Iregszemcse; BI: Bicsérd; KO: Kompolt; KA: Karcag; PU: Putnok; KE: Keszthely; HB: Hajdúböszörmény;

### 3.1.1.2. Réz (Cu)

A kísérleti talajok könnyen oldható réztartalma 1,45–7,8 mg/kg talaj volt, lényegesen szélesebb tartományban változott, mint a Zn tartalom (4. táblázat).

A talajok KCl+EDTA oldható réztartalmára, matematikailag igazolhatóan nem volt hatása a műtrágyázásnak, hasonlóan a cinkhez. A legkisebb oldható réztartalma a karbonátos nagyhörcsöki (NH) és iregyszemcsei (IR) talajoknak volt. A semleges (KE), gyengén savanyú (HB, BI) és erősen savanyú (PU, KA, KO) kémhatású talajokon többszörös (3-3,5 szeres) volt az oldható réztartalom, mint a karbonátos talajokon. A legnagyobb könnyen oldható réztartalmat a gyengén savanyú talajoknál találtuk.

4. táblázat A kísérleti talajok KCl+EDTA oldható Cu tartalma (mg/kg talaj)

NPK kezelések	Kísérleti helyek							
	NH <sup>a</sup>	IR	KE	HB	BI	PU	KA	KO
	karbonátos	gyengén savanyú			erősen savanyú			
000	1,45	2,20	4,80	6,15	6,25	4,45	4,60	5,10
211	1,75	2,53	4,85	7,65	5,93	4,10	4,38	4,65
321	2,20	3,25	4,40	7,80	6,00	4,10	4,90	4,58
431	1,98	2,03	4,70	6,70	6,63	4,40	4,45	4,63
542	1,48	3,10	5,23	6,08	6,53	4,25	4,25	4,60
<i>Szd</i> <sub>5%</sub>	<i>0,98</i>	<i>1,79</i>	<i>1,11</i>	<i>3,42</i>	<i>1,31</i>	<i>0,51</i>	<i>0,61</i>	<i>0,53</i>

<sup>a</sup>Kísérleti helyek: NH: Nagyhörcsök; IR: Iregszemcse; BI: Bicsérd; KO: Kompolt; KA: Karcag; PU: Putnok; KE: Keszthely; HB: Hajdúböszörmény;

### 3.1.1.3. Mangán (Mn)

A kísérleti talajokban a vizsgált esszenciális mikroelemek közül a mangán fordult elő a legnagyobb mennyiségben és a mangán mennyisége változott a legszélesebb koncentráció tartományban. A talajok KCl+EDTA oldható mangántartalma 34–465 mg/kg talaj között változott. A legnagyobb mennyiségben a meszet nem vagy csak nyomokban tartalmazó bicsérdi (BI), a karcagi (KA) és a keszthelyi (KE) talajokban volt kimutatható. A meszes nagyhorcsöki és iregszemcsei talajokban kisebb KCl+EDTA oldható mangán koncentrációkat mértek. A legkisebb mennyiségben a hajdúböszörményi (HB) talajban fordult elő 34,6–44,3 mg/kg talaj. Feltehetően a csekély oldható Mn tartalom összefüggésben van ennek a talajnak a nagy ásványi kolloid (agyag) és nagy szervesanyag tartalmával. A talajok oldható mangántartalma és a műtrágyakezelések között egyértelmű kapcsolat még tendenciaszerűen sem mutatható ki. A talajok könnyen oldható mangántartalmát alapvetően a talajtulajdonságok határozták meg.

### 3.1.1.4. Molibdén (Mo)

A vizsgált elemek közül a molibdént tartalmazták a kísérleti talajok a legkisebb mennyiségben. Az OMTK kísérleti talajok KCl+EDTA oldható molibdén koncentrációja 0,01 és 0,15 mg/kg talaj közötti volt. A kísérleti talajok között a legnagyobb molibdén koncentráció Bicséreden fordult elő, ahol 0,12-0,17 mg/kg talaj volt. A legkisebb molibdén mennyiség, a kimutathatóság határán, pedig Iregszemcsén, valamint Nagyhorcsökön, a meszes talajokon található.

A műtrágya kezelések hatására a kísérleti talajokban tendenciáját tekintve megállapítható, hogy a foszforműtrágya adagok befolyásolják a talajok molibdén tartalmát. A növények foszfor igényét nem kielégítő, kisadagú foszforkezelésekben (211, 321) a talajok molibdén koncentrációja a legtöbb kísérleti helyen, esetenként feltűnő mértékben csökkent. A nagyobb foszforellátottságot biztosító kezelésekben (431, 542) a molibdén oldhatóságának javulása következtében a talajok Mo koncentrációja növekedést mutatott (Iregszemcse kivételével).

Megállapítható tehát, hogy a kísérleti talajok KCl+EDTA oldható molibdén ellátottsága a legtöbb kísérleti helyen jelentős mértékben növekedett a foszforellátottsággal összefüggésben, a kölcsönhatás pozitív.

### 3.1.1.5. Bór (B)

A bór volt a második legkisebb koncentrációjú elem a talajokban, a molibdénhez viszonyítva így is, kb. 5-30 szoros mennyiségben volt jelen. A kísérleti talajok KCl+EDTA

oldható bórtartalma 0,16–0,74 mg/kg talaj között változott. A legkisebb bór koncentráció (0,2 mg/kg talaj) a kompolti (KO) talajban fordult elő. Nem sokkal többet tartalmazott a putnoki (PU) talaj 0,2-0,3 mg/kg mennyiséget. Valamivel több volt a meszes talajokon (NH, IR), valamint Bicséreden 0,3-0,4 mg/kg közötti. Legnagyobb mennyiségben Hajdúböszörményben (0,74 mg/kg talaj) és Karcagon fordult elő (0,5 mg/kg talaj), amelynek altalaja szikes. Megállapítható, hogy a műtrágya adagok növelésének hatására néhány talajon a bórtartalom csökkent pl. Keszthelyen és Hajdúböszörményben.

Összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a talajok könnyen oldható mangántartalmát alapvetően a talajtulajdonságok határozták meg. A talajok oldható mangántartalma és a műtrágyakezelések között egyértelmű kapcsolat még tendenciaszerűen sem volt kimutatható. A talajok KCl+EDTA oldható *mangántartalma* széles koncentráció tartományban 34– 465 mg/kg talaj között változott.

A kísérleti talajok könnyen oldható *cink*tartalma 0,9–2,7 mg/kg talaj közötti volt. A talajok KCl+EDTA oldható, ún.”felvehető” cinktartalmára sem volt matematikailag igazolható hatása a műtrágyázásnak.

A tápanyag kezelések hatására a kísérleti talajokban tendenciáját tekintve nőtt az KCl+EDTA oldható *molibdén*tartalom, elsősorban a foszforműtrágya adagok befolyásolták a talajok molibdén tartalmát. A nagyobb adagú foszforkezelések talajaiban több volt az oldható molibdéntartalom.

A műtrágya adagok növelésének hatására néhány talajon, pl. Keszthelyen és Hajdúböszörményben csökkent a *bórtartalom*.

### 3.1.2. Toxikus nehézfémek

#### 3.1.2.1. Kadmium (Cd)

A KCl+EDTA oldható, ún.”felvehető” kadmiumtartalom a kísérleti talajokban 0,06-0,16 mg/kg talaj között változott (5. táblázat). Hajdúböszörményben (HB) és Karcagon (KA) volt a talajmintákban a legnagyobb, Putnokon, Iregszemcsén és Nagyhorcsökön a legkisebb mennyiségben. Megbízható mértékű kezeléshatás a kísérleti talajok felső rétegének Cd tartalmában nem volt kimutatható egyik kísérleti helyen sem.

A 28 éven keresztül alkalmazott, növekvő foszforműtrágya adagok hatására sem észlelhető jelentős különbség a könnyen oldható Cd tartalomban. Sajnos a kísérleti talajok beállításkori, eredeti nehézfém-tartalmát nem ismerjük.

5. táblázat A kísérleti talajok KCl + EDTA oldható Cd tartalma (mg/kg talaj)

NPK kezelések	Kísérleti helyek							
	NH <sup>a</sup>	IR	KE	HB	BI	PU	KA	KO
	karbonátos		gyengén savanyú			erősen savanyú		
000	0,09	0,10	0,13	0,13	0,14	0,08	0,12	0,14
211	0,09	0,09	0,13	0,11	0,14	0,08	0,11	0,14
321	0,09	0,10	0,13	0,12	0,16	0,07	0,11	0,16
431	0,11	0,10	0,15	0,12	0,15	0,09	0,12	0,14
542	0,08	0,11	0,14	0,13	0,15	0,08	0,13	0,15
<i>Szd</i> <sub>5%</sub>	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01	0,03	0,07

<sup>a</sup>Kísérleti helyek: NH: Nagyhörcsök; IR: Iregszemcse; BI: Bicsérd; KO: Kompolt; KA: Karcag; PU: Putnok; KE: Keszthely; HB: Hajdúböszörmény;

### 3.1.2.2. Ólom (Pb)

A tartamkísérleti talajok KCl+EDTA oldható ólomtartalma, elsősorban termőhelyi adottságtól függően alakult a nyolc kísérleti helyen 2–10 mg/kg talaj között (6. táblázat). A talajok közötti különbség az oldható ólomtartalom szerint 4-5-szörös. Az ólomterhelés, mivel a közúti forgalomban keletkezett legnagyobb mértékben, a kísérleti helyek talajai közül, az autót út közelsége miatt, Keszthelyen mutatott nagyobb értékeket.

A növekvő mennyiségű, 28 éve tartó de mindenhol azonos NPK műtrágya adagok felhasználását követően, kezeléshatás a kísérleti talajok felső 20 cm-es rétegében megbízható különbséggel nem volt igazolható. A 200-250 kg nitrogén és 150-500 kg foszforadag kissé megemelte az ólomtartalmat a savanyú kémhatású talajokban (Kompolt, Putnok, Keszthely), a meszes talajokon pedig (Nagyhörcsök, Iregszemcse) igazolódni látszik, az a megállapítás, hogy a mész csökkenti az ólom oldhatóságát.

6. táblázat A kísérleti talajok KCl + EDTA oldható Pb tartalma (mg/kg talaj)

NPK kezelések	Kísérleti helyek							
	NH <sup>a</sup>	IR	KE	HB	BI	PU	KA	KO
	karbonátos		gyengén savanyú			erősen savanyú		
000	2,21	2,39	5,95	6,19	6,25	5,83	8,29	7,32
211	2,08	2,25	5,72	4,76	6,25	5,95	8,96	7,64
321	2,49	2,66	6,04	4,86	6,76	5,57	8,05	7,85
431	3,03	2,53	6,11	6,1	6,84	6,85	10,35	7,62
542	2,57	2,67	6,45	6,22	6,85	6,59	9,75	7,48
<i>Szd</i> <sub>5%</sub>	0,73	0,59	0,84	0,65	0,48	1,19	4,88	3,53

<sup>a</sup>Kísérleti helyek: NH: Nagyhörcsök; IR: Iregszemcse; BI: Bicsérd; KO: Kompolt; KA: Karcag; PU: Putnok; KE: Keszthely; HB: Hajdúböszörmény;

### 3.1.2.3. Króm (Cr)

A kísérleti talajok KCl+EDTA oldható krómtartalma jelentős különbségeket mutat úgy a kísérleti talajok szerint, mint a tápanyagkezelések szerint, széles tartományban változott a mennyisége: 0,05–0,28 mg/kg talaj között (7. táblázat). Egyedül a karcagi talajon nem volt kezeléshatás. Szignifikánsan nagyobb krómtartalmúak a kisebb műtrágya adagokkal kezelt parcellák talajai hét kísérleti hely esetében.

Tartam kísérleteink talajainak vizsgálatánál igazoltnak tekinthető az irodalomban közölt megállapítás, miszerint a talaj foszfor tartalma, nagy hatással lehet a talaj krómtartalmának oldhatóságára. Kísérleteinkben a nagyobb foszfor műtrágya adagokkal kezelt parcellák talajaiban lényegesen kisebb oldható króm mennyiségek voltak kimutathatók. A 28 éves tartam műtrágyázás hatása, a talajok krómtartalmának változásában volt kimutatható a legnagyobb mértékben.

7. táblázat A kísérleti talajok KCl + EDTA oldható Cr tartalma (mg/kg talaj)

NPK kezelések	Kísérleti helyek							
	NH <sup>a</sup>	IR	KE	HB	BI	PU	KA	KO
	Karbonátos		gyengén savanyú			erősen savanyú		
000	0,05	0,06	0,15	0,13	0,25	0,11	0,12	0,06
211	0,18	0,17	0,34	0,22	0,25	0,23	0,23	0,16
321	0,18	0,19	0,30	0,22	0,26	0,23	0,25	0,17
431	0,09	0,04	0,18	0,12	0,27	0,11	0,13	0,06
542	0,07	0,06	0,17	0,12	0,28	0,11	0,13	0,06
<i>Szd</i> <sub>5%</sub>	0,04	0,02	0,06	0,02	0,03	0,02	0,03	0,02

<sup>a</sup>Kísérleti helyek: NH: Nagyhörcsök; IR: Iregszemcse; BI: Bicsérd; KO: Kompolt; KA: Karcag; PU: Putnok; KE: Keszthely; HB: Hajdúböszörmény;

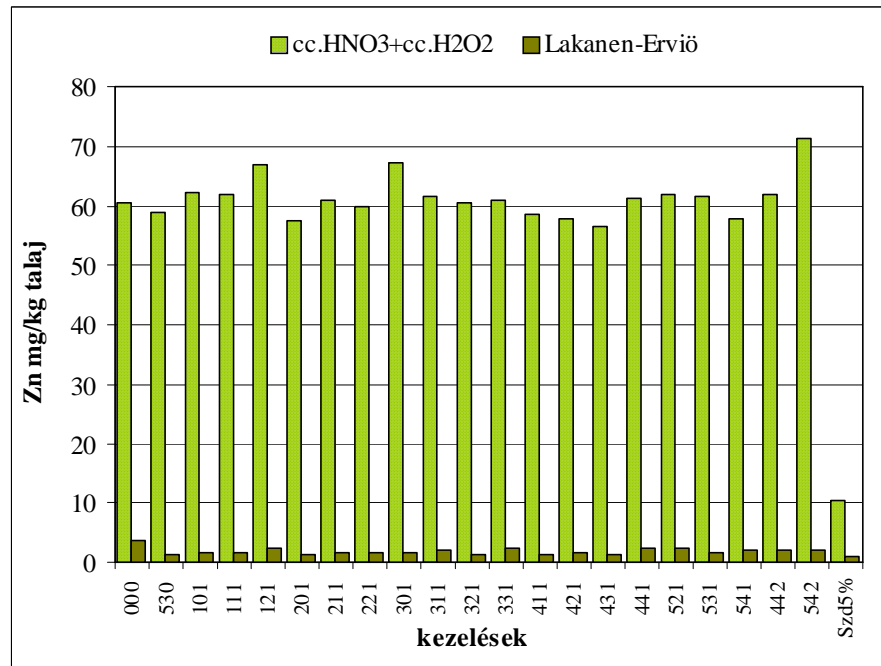
## 3.2. Talajvizsgálati eredmények a Keszthelyi OMTK kísérletben, a talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és NH<sub>4</sub>-acetát+EDTA oldható elemtartalma

### 3.2.1. Esszenciális elemek

#### 3.2.1.1. Cink (Zn)

A keszthelyi kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Zn tartalma 56,6-71,2 mg/kg talaj között változott (2. ábra). Hasonlóan a talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható réz tartalmához, a talajminták cink tartalma között is csupán 1,26-szoros különbséget tapasztaltunk. A vizsgált terület Zn ellátottsága jónak mondható (MÉM NAK, 1978). A hazai

talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható cinktartalma Győri (1984) szerint talajtípustól függően 30-150 mg/kg talaj. A vizsgált talaj cinktartalma a felső határértékhez viszonyítva, annak 38-48%-a. Az 542-es kezelésben a talajminták cinktartalma az alsó határértékhez volt közelebb.



2. ábra A kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö kivonatban oldható

#### Zn tartalma

Irodalmi adatok szerint a kultúrnövények 20 mg/kg Zn tartalomnál ill. ez alatt Zn hiányban szenvednek, 20-200 mg/kg között megfelelő a növények cinktartalma, 200 mg/kg felett pedig már feleslegben van (Bergmann, 1966). Megállapítható, hogy a vizsgált talaj cink ellátottsága a kultúrnövények szempontjából megfelelő.

A talajokban maximálisan megengedhető cink koncentrációt a 10/2000. (VI.2.) KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendeletben szabályozzák. Ez a maximálisan megengedhető szennyezettség határérték cink esetében 200 mg/kg talaj. A kísérlet talajmintáinak cinktartalma ennek a határértéknek csupán 28-35%-a, jelentősen a megengedett maximális határérték alatti, cinkkel nem szennyezettek.

A legalacsonyabb cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Zn tartalmat a 431-es, a legmagasabbat pedig az 542-es kezelésben mértük. Matematikailag is igazolható szignifikáns különbséget tudunk kimutatni a talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható cink tartalmában a következő kezelések között: a 201-es, a 411-es, a 421-es, a 431-es, az 541-es kezelés és az 542-es kezelés között.

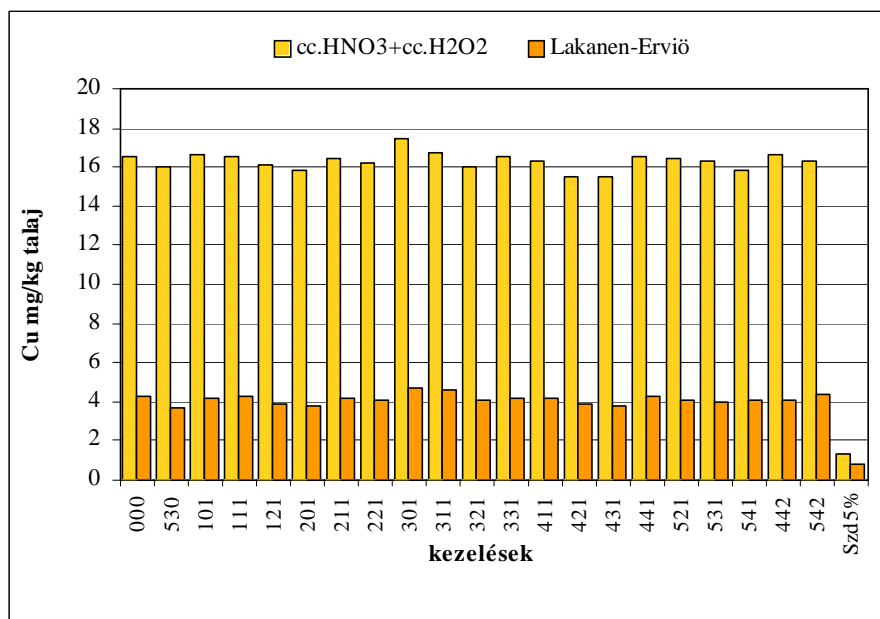
A talajok összes cink tartalma azonban csak részben hozzáférhető a növények számára. A kísérleti talajminták Lakanen-Erviö-féle kivonatban oldható cinktartalma 1,35-2,28 mg/kg

talaj intervallum között változott. A legkisebb koncentrációt a 431-es kezelésben a legmagasabbat pedig a 331-es kezelésben mértük. Ez az érték a talajok  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható cink tartalmának 2,3-5,9%-a, amely 1-4,5%-kal magasabb érték, mint amit a szakirodalomban találtunk (Györi 1984; Szabó et al. 1987). Györi (1984) eredményei szerint a talajok  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható cinktartalmának a növények számára könnyebben hozzáférhető, mozgékony forma csupán 1%-a.

Matematikailag igazolható szignifikáns különbséget a talajminták Lakanen-Erviö oldható cinktartalma között nem találtunk. A kísérleti talajminták „összes” és könnyen oldható cinktartalma között, matematikailag igazolható összefüggést nem tudtunk kimutatni.

### 3.2.1.2. Réz (Cu)

A keszthelyi kísérleti talajminták  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható un. „összes” réz tartalma 15,48-17,48 mg/kg talaj közötti tartományban változott (3. ábra). Györi (1984) vizsgálatai szerint a hazai talajok összes réz tartalma 3,2-38,0 mg/kg talaj között változik. Ennek az értéknek az általunk vizsgált talajok réz tartalma 41-46%-a.



3. ábra A kísérleti talajok  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  és Lakanen-Erviö kivonatban oldható

#### Cu tartalma

A 10/2000. (VI.2.) KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendelet alapján rézre megadott szennyezettség határértéknek (75 mg/kg talaj) 21-23%-a. A talajminták rézzel nem szennyezettek. A talajminták  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható réztartalma a 301-es kezelésben volt a legmagasabb (17,5 mg/kg talaj), az 421-es kezelésben pedig a legalacsonyabb (15,5 mg/kg talaj). A kezelések közötti legnagyobb különbség 1,1-szeres volt. Matematikailag is

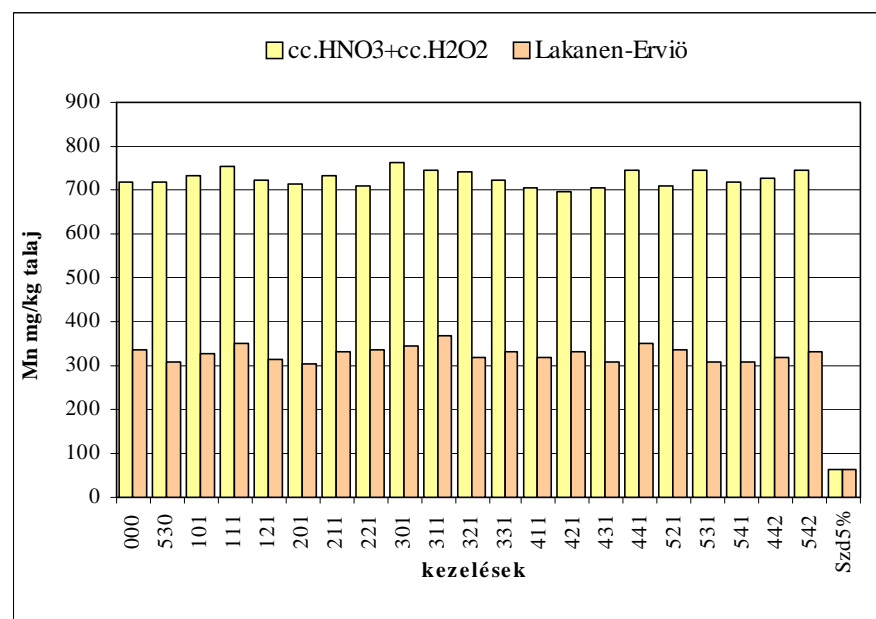
igazolható szignifikáns különbség volt a következő kezelések között: a 201-es, a 421-es, a 431-es, az 541-es kezelésben szignifikánsan kevesebb értéket mértünk, mint a 301-es kezelésben. A szakirodalmi adatok szerint, a talajban előforduló kétértékű kationok közül a Cu adszorbeálódik a legerősebben a talajkolloidok felületén (Győri 1984; Stefanovits 1999). Vizsgálatainkban a kísérleti talajok Lakanen-Erviö-féle oldható Cu tartalma 3,72-4,66 mg/kg talaj között változott. Ez a mobilis mennyiség 20-27 %-a a kísérleti talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható réztartalmának. A legkisebb Lakanen-Erviö oldható réz tartalmat a 530-as kezelésben, míg a legmagasabbat, hasonlóan a talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható réztartalmához, a 301-es kezelésben mértük.

A talajminták Lakanen-Erviö-féle oldható réz tartalmában tapasztalt kezelésenkénti legnagyobb különbség 1,25-szörös volt. Ez a különbség nem volt matematikailag igazolható, szignifikáns különbség.

A kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö-féle oldható réztartalma között összefüggést nem tudtunk kimutatni, matematikailag igazolni.

### 3.2.1.3. Mangán (Mn)

A keszthelyi kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Mn tartalma 697-762 mg/kg talaj között változott a 21 különböző dózisu NPK műtrágyakezelésekben (4. ábra). Ez a szűk intervallum, amely között a talajminták mangántartalma változik, csupán 1,1-szeres legnagyobb különbséget jelent a kezelések között.



4. ábra A kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö kivonatban oldható Mn tartalma



Győri (1971) vizsgálati eredményei szerint a talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Mn tartalma 100-1100 mg/kg talaj, az általunk vizsgált talajminták Mn tartalma a felsőhatárérték 63-69%-a. A legkisebb cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Mn tartalmat a 421-es kezelésben mértük, a legmagasabbat, pedig a 301-es kezelésben.

A 21 különböző NPK dózisú műtrágyakezelésből származó talajminták mangántartamát vizsgálva megállapítható, hogy a NPK műtrágyakezelések a talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Mn tartalmát nem befolyásolták, köztük matematikailag igazolható szignifikáns különbség nem volt kimutatható. A talajok maximálisan megengedhető mangán tartalmát rendeletben nem szabályozzák. A mérési eredményeket figyelembe véve megállapítható, hogy a keszthelyi Műtrágyázási Tartamkísérlet talajának felső 20cm-es rétegében a cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható mangán eloszlása egyenletes.

A kísérleti talajok Lakanen-Erviö-féle oldható Mn tartalma 303-366 mg/kg talaj érték között változott. A legnagyobb kezelésenkénti különbség 1,2-szeres volt. A legkisebb mangán tartalmat, az cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Mn tartalomtól eltérően, a 201-es kezelésben, míg a legmagasabbat a 311-es kezelésben mértük. A növények számára könnyebben felvehető, Lakanen-Erviö-féle (LE) oldható mangántartalom a kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható mangántartalmának 41-49%-a volt. A szakirodalmi adatok szerint az „összes” mangántartalomnak a mobilis, a növények számára könnyen hozzáférhető forma (LE oldható), csupán 0,1-1%-a (Győri, 1971). A talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö-féle oldható mangántartalma között matematikailag igazolható összefüggést nem tudtunk kimutatni.

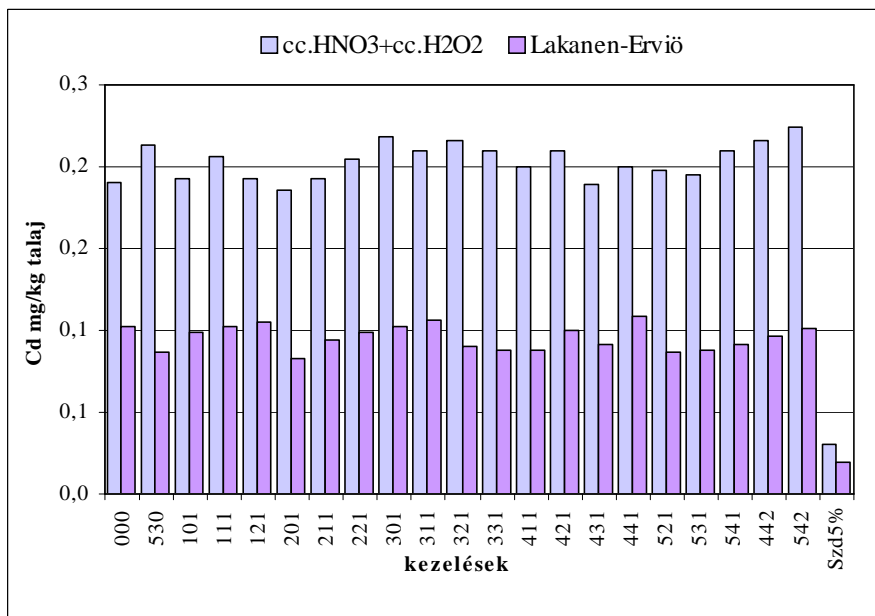
A különböző dózisú, hosszú évtizedeken át alkalmazott NPK műtrágyakezelések a keszthelyi kísérlet talajának cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö-féle oldható Mn tartalmát nem befolyásolták.

### 3.2.2. Toxikus elemek

#### 3.2.2.1. Kadmium (Cd)

A talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Cd tartalma szűk intervallumon belül változott (0,19-0,23 mg/kg talaj), és nagyságrendekkel kisebb értéket mutatott, mint a többi vizsgált elem. Magyarországon jelenleg is érvényben lévő 10/2000. (VI.2.) KÖM-EÜM-FVM-KHVM együttes rendelet szabályozza az esszenciális elemek (Cu, Zn, Mn) mellett a toxikus elemek, köztük a kadmium talajbeli maximálisan megengedhető mennyiségét, ami 1 mg/kg talaj. Mérési eredményeink szerint a talajminták *kadmium*tartalma ennek az értéknek 19-23%-a.

A talajminták  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható Cd tartalmában 1,2-szeres különbséget tapasztaltunk. A legkisebb mennyiséget a 201-es, tehát 1968 óta foszforműtrágya kezelésben nem részesült parcelláról begyűjtött talajmintákban mértük. A legnagyobbat pedig az 542-es kezelésben mértük, ahol a parcellákra 32 éven át  $200 \text{ kg/ha/év}$  foszforműtrágya került kijuttatásra (5. ábra).



5. ábra A kísérleti talajok  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  és Lakanen-Erviö kivonatban oldható Cd tartalma

Tendenciaszerű összefüggés megfigyelhető a talajminták  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható Cd tartalma és a foszforműtrágyázás között, de a vizsgált talajokban a tartós műtrágyázás matematikailag igazolható szignifikáns különbségeket nem eredményezett. Az NPK műtrágyakezelések, de főként a foszfor műtrágyakezelések nem növelték statisztikailag igazolható mértékben a talajok  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható kadmium tartalmát a keszthelyi Műtrágyázási Tartamkísérletben, Ramann-féle barna erdőtalajon.

A Magyarországon forgalomba hozott műtrágyák kadmium tartalma csak 1,1-1,4 mg/kg kadmiumot tartalmaz (Csathó, 1994; Kádár, 1995). Mivel hazánkban egészen a közelmúltig az alacsony Cd tartalmú Kola-foszfát volt a szuperfoszfát gyártás nyersanyaga, így a P műtrágyázás útján, csak minimális Cd dúsulás következhet be a mezőgazdasági, így a keszthelyi tartamkísérlet területén is. Ezt a kedvező állapotot a jövőben is feltétlenül szükséges fenntartani.

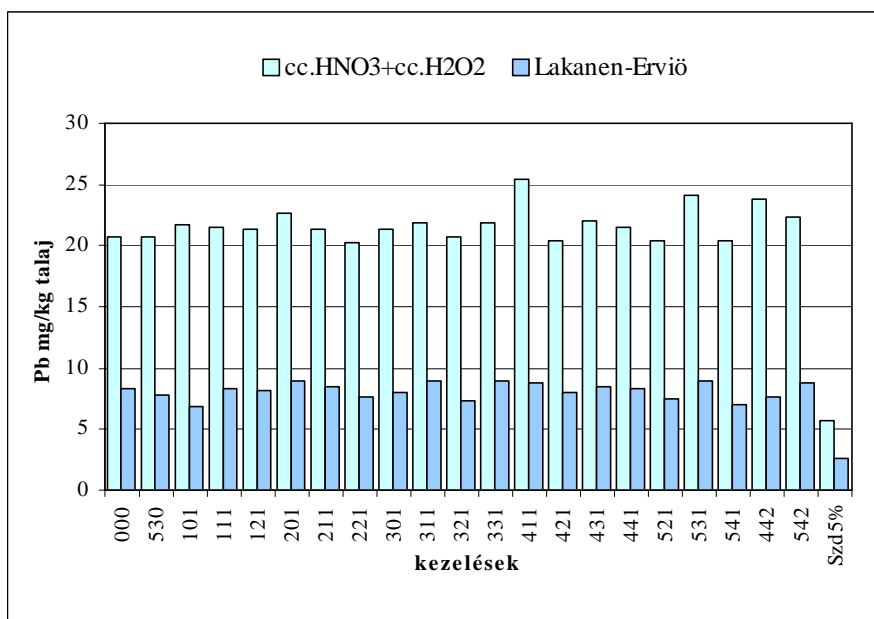
A talajminták Lakanen-Erviö-féle oldható Cd tartalma a  $\text{cc.HNO}_3+\text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható Cd tartalomnak 41-56%-a, abszolút értékben kifejezve 0,08-0,11 mg/kg talaj (7. ábra). A szakirodalomban rendelkezésünkre álló adatok szerint (Lehoczky et al., 1998, 2000; Kádár,

1995; Csathó, 1994; Kiss et al., 2003a,b) a talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Cd tartalmának jelentős része oldható formában van jelen a talajban, ezért a növények általi felvétel jelentős mértékű lehet. Ezáltal pedig akár a friss fogyasztású zöldségféléken, különösen a levélzöldségeken, akár a takarmánynövényeken keresztül bekerülhet a táplálékláncba. A Cd veszélyességét növeli, hogy a növények képesek látható tünetek nélkül felhalmozni (Lehoczky et al. 1996).

A talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö-féle oldható Cd tartalma között pozitív lineáris összefüggést nem tudtunk kimutatni. Mérési eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy a vizsgált talajmintákban a Cd nem jelent veszélyforrást az élő szervezetek számára.

### 3.2.2.2. Ólom (Pb)

A vizsgált elemek közül a talajmintákban, a Cd és a Cr tartalom után az ólom fordult elő a legkisebb mennyiségben: 20-25 mg/kg talaj (6. ábra).



6. ábra A kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö kivonatban oldható

#### Pb tartalma

Az ólom talajbeli megengedhető maximális mennyiségét a 10/2000. (VI.2.) KÖM-EÜM-FVM-KHVM rendelet szabályozza. A talajban megengedhető maximális ólom tartalom 100 mg/kg talaj. A vizsgált talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Pb tartalma ennek a határértéknek az 1/4-1/5-e. A talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Pb tartalmát vizsgálva a kezelések közötti legnagyobb különbség 1,26-szoros. A talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Pb tartalmában matematikailag igazolható szignifikáns különbséget nem tudtunk

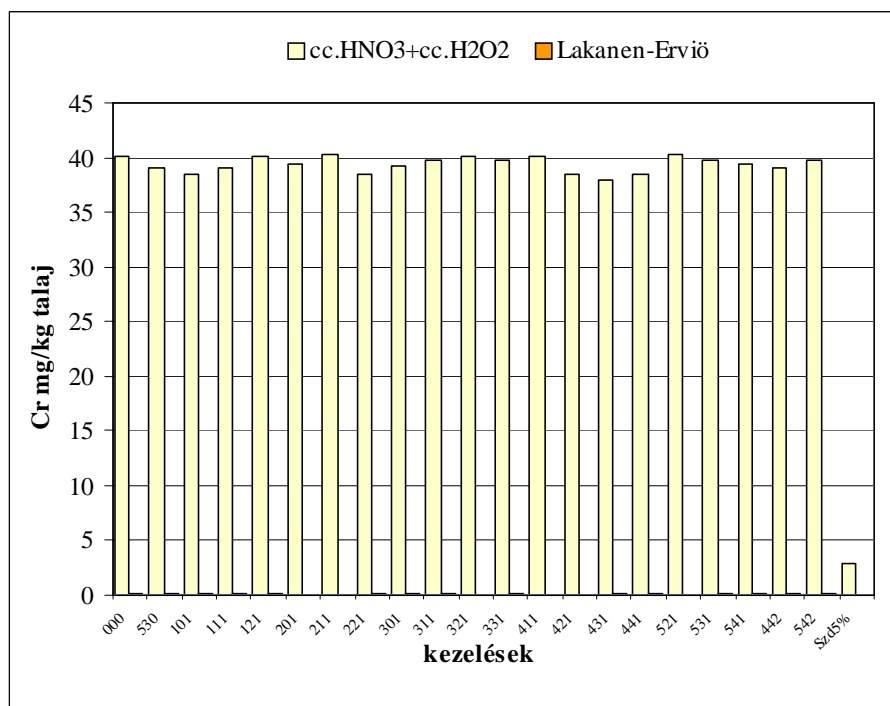
kimutatni, továbbá az ólomtartalom és a különböző NPK műtrágyakezelések közötti összefüggés sem volt kimutatható. A legkisebb cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Pb tartalmat a 221-es kezelésben, míg a legmagasabbat a 411-es kezelésben mértük.

A talajminták Lakanen-Erviö-féle oldható Pb tartalma 6,89-8,92 mg/kg talaj között változott, ami a talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Pb tartalmának 34-35%-a. A szakirodalomban található adatok, és az általunk mért Lakanen-Erviö-féle oldható ólom tartalom közeli értéket mutat. Lehoczky és munkatársai (2002) eredményei szerint a talajban lévő cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható ólomnak 13-46%-a található mobilis, a növények számára könnyebben hozzáférhető formában.

A talajminták Lakanen-Erviö-féle oldható ólomtartalma és a műtrágyakezelések között matematikailag igazolható összefüggést nem tudtunk kimutatni.

### 3.2.2.3. Króm (Cr)

A kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Cr tartalma 37,9-40,3 mg/kg talaj volt. A hazai talajokban maximálisan megengedhető összes Cr tartalom, hasonlóan a rézhez, 75 mg/kg talaj. A kísérleti talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Cr tartalma ennek 50-53%-a. Megállapítható, hogy a vizsgált talajok krómmal nem szennyezettek (7. ábra).



7. ábra A kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö kivonatban oldható Cr tartalma

A kezelések közötti legnagyobb különbség 1,06-szoros. A legkisebb króm koncentrációt a 431-es, a legmagasabbat az 521-es kezelésben mértük. Matematikailag igazolható

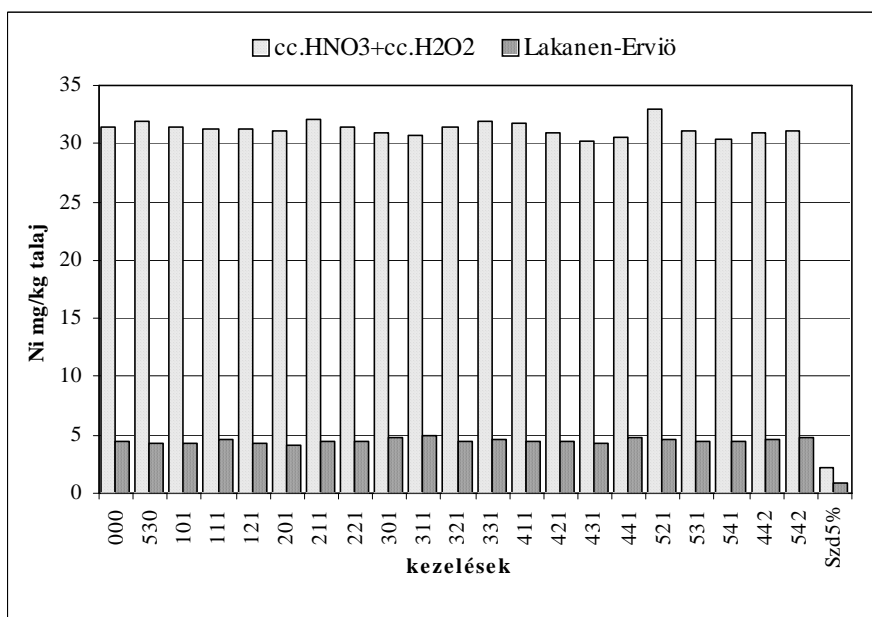
szignifikáns különbséget a kezeléisenkénti cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható króm tartalomban nem tudtunk kimutatni.

A talajminták Lakanen-Erviö-féle oldható krómtartalma a cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható króm tartalmuk 0,2-0,3%-a, azaz 0,07-0,12 mg/kg talaj.

Megállapítható, hogy a talajminták mobilis, a növények számára hozzáférhető króm tartalma nagyon kis mennyiség, ezért a vizsgált területen termesztett növények, jelen esetben őszi búza és kukorica, króm felvétele elenyésző lehet, toxicitással nem kell számolnunk. A kezelések közötti legnagyobb különbség 1,5-szeres volt, matematikailag igazolható szignifikáns különbséget a talajminták Lakanen-Erviö-féle oldható krómtartalma között nem tudtunk kimutatni.

#### 3.2.2.4. Nikkel (Ni)

A kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Ni tartalma nagyságrendekkel nagyobb volt, mint a talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Cd, Pb tartalma. A talajmintákban mért cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Ni tartalom 30,3-32,9 mg/kg talaj között változott (8. ábra).



8. ábra A kísérleti talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> és Lakanen-Erviö kivonatban oldható

#### Ni tartalma

A talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Ni tartalma és az NPK kezelések között matematikailag igazolható összefüggést nem tudtunk kimutatni. A 10/2000. (VI.2.) KÖM-EÜM-FVM-KHVM rendeletben megadott a talajok maximálisan megengedhető Ni tartalma 40 mg/kg talaj. A kísérleti talajmintákban mért értékek ezt a határértéket megközelítik, annak 75-82 %-a.

Az összefüggés vizsgálatok hasonló eredményt adtak a talajminták Lakanen-Erviö-féle kivonatban (LE) mérhető Ni tartalma esetében is, mint a talajok cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Ni tartalmában.

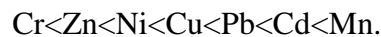
A műtrágyakezelések nem befolyásolták a talajminták LE oldható nikkeltartalmát, köztük matematikailag igazolható összefüggést nem tudtunk kimutatni. Megállapítható továbbá, hogy a vizsgált talajokban lévő „összes” Ni mennyiségnek - ellentétben a kadmiummal - csak kis hányada van a növények által hozzáférhető, mobilis formában.

### 3.2.3. A különböző kivonószerekkel kapott eredmények összehasonlítása

A vizsgált keszthelyi talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható Cu, Zn, Mn, Cd, Pb, Cr, Ni tartalma között jelentős, nagyságrendi különbségeket kaptunk, ami összhangban van a szakirodalom adataival. A talajmintákban a vizsgált elemek cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható mennyisége szerint a következő sorrendet állíthatjuk fel:



A talajok mobilis, a növények számára hozzáférhető forma mennyisége szerint a következő Lakanen-Erviö-féle oldhatósági sorrendet állíthatjuk fel:



## 3.3. Tenyészedényes kísérletek vizsgálati eredményei

### 3.3.1. Angolperjével végzett kísérletek vizsgálati eredményei

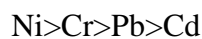
Az esszenciális elemek között érdekes különbség mutatkozott aszerint, hogy az angolperje növényben a vágási időpontokban hogyan változott a koncentrációjuk. Szembetűnő különbséget tapasztaltunk a Mn koncentráció, valamint a Cu és Zn koncentráció alakulásában. A mangán esetében az első vágás idején (4. hét) volt az angolperje föld fölötti részében a legkisebb a koncentráció, a 2., 3. és 4. vágások növénymintáiban akár 2-6-szoros volt a Mn koncentráció. A réz és a cink esetében a felvétel dinamikája ezzel ellentétes tendenciát mutatott. Ezeknek az elemeknek (Cu, Zn) a koncentrációja az első vágás idején volt nagyobb és a 2., 3. és a 4. vágás idejére csökkent. A réz esetében kifejezettebb volt a csökkenés, mint a cink esetében, ahol néhány kezelésben (111, 201) a második vágás idején magasabb volt az angolperje cink koncentrációja, valamint néhány kezelésben közel azonos, mint az első vágás idején.

A vágások Mn koncentrációja közötti különbség a növekvő Mn koncentráció, részben a biomassa tömeg csökkenéséből következett, ugyanakkor az egyes vágásoknál a növények által felvett mennyiségében nincs a biomassa tömeghez hasonló szintű csökkenés. Érdekes,

hogy a második vágás idején volt a legnagyobb szintű csökkenés a Mn felvételben, a 3. és 4. vágások Mn tartalma az első vágásnál kapott mennyiségekhez hasonló volt. Mindezek alapján megállapíthatjuk, hogy az angolperjét a tenyésztidőszakban egy kiegyenlített intenzív Mn felvétel jellemzi.

A réz és a cink felvételénél azt tapasztaltuk, hogy az angolperjét egy kezdeti intenzív felvétel jellemzi, a tenyésztidőszak későbbi szakaszaiban a biomassa produkcióhoz hasonlóan a réz és cink felvételében is csökkenést figyelhattunk meg.

A 4 vizsgált toxikus nehézfém közül az angolperje hajtásaiban a következő sorrendben csökkent a toxikus elemek koncentrációja:



A vizsgált elemek közül a kadmium koncentrációjában tapasztaltuk a legkisebb változásokat a négy vágás között. A vágásonkénti ólomkoncentráció kisebb mértékben változott, mint a króm és nikkel koncentrációja. Megállapíthatjuk, hogy a kadmium és a nikkel esetében az első vágás utáni növedékekben, a kezelések átlagában, növekedett a koncentrációjuk. Az ólom és króm koncentrációjának időbeli változása ezekkel ellentétes tendenciájú volt, azaz csökkent.

A toxikus nehézfémek felvett mennyisége a hajtástömeg változásához hasonlóan csökkenő mértékű volt az első vágáshoz viszonyítva. Az angolperje által felvett összes kadmium mennyisége a nagyobb NPK adagú kezelésekben (411-542) lényegesen több volt, átlagosan a többi NPK kezelésekhez viszonyítva 1,5-2-szeres, a kontrollhoz viszonyítva 7-8-szoros volt. A biomassa produkció szerint nem voltak ekkora különbség a kezelések között, vagyis egyértelműen a megnövekedett kadmium felvételből következnek ezek a különbségek.

Az angolperje által felvett toxikus nehézfémek mennyiségét vizsgálva megállapíthatjuk, hogy kadmiumból vette fel a legkisebb mennyiséget. A növények ólom- és krómtartalma egymáshoz hasonlóan mondható, a felvett kadmiumhoz viszonyítva pedig 4-6-szoros mennyiségű volt.

### 3.3.2. Salátával végzett kísérletek vizsgálati eredményei

A saláta levél réz koncentrációja szűkebb intervallumon belül változott, mint a másik két esszenciális (Zn, Mn) elem. A saláta réz felvétele kisebb mértékű volt, mint a cink és a mangán felvétele. A vizsgált esszenciális elemek közül a mangán koncentrációja volt a legmagasabb a salátában, valamint a mangán koncentráció változott a legszélesebb tartományban. Hasonlóan a rézhez és a cinkhez, a saláta mangán koncentrációja egyik

kezelésben sem haladta meg a talajminták  $\text{cc.HNO}_3 + \text{cc.H}_2\text{O}_2$  oldható mangán tartalmát, amit a transzfer koefficiensek (0,26-0,51) is alátámasztanak.

A keszthelyi műtrágyázási tartamkísérletből származó talajokon nevelt saláta kadmium koncentrációjában matematikailag igazolható szignifikáns különbséget tudtunk kimutatni. A transzfer koefficiensek (3,62-6,22) egyaránt arra engednek következtetni, hogy a saláta nagymértékben képes leveleiben felhalmozni a kadmiumot.

A saláta ólom felvétele kisebb mértékű, mint például a kadmiumé, ami az elem fizikai-kémiai sajátosságaiból következik. A transzfer koefficiensek (0,03-0,08) egyaránt a saláta kismértékű ólom koncentrációját mutatták, ami a felvett ólom mennyiségében is megnyilvánult. A vizsgálat során megállapítható, hogy ebben a kísérletben, a salátában króm akkumuláció nem történt, amit a rendkívül kis transzfer koefficiensek is mutatnak (0,04-0,14).

### 3.3.3. Az angolperje és a saláta nehézfém koncentrációjának, a transzfer koefficiensek és a növények által felvett nehézfémek mennyiségének összehasonlító értékelése

Az angolperje és a saláta átlagos (kezelések átlagában) esszenciális és toxikus nehézfém koncentrációja között lényeges különbségeket találtunk (8. táblázat).

8. táblázat Az angolperje és a saláta nehézfém koncentrációja a kezelések átlagában

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
	<b>mg/kg sz.a.</b>						
angolperje	14,59	32,61	79,29	0,22	1,39	1,83	3,70
Saláta	6,79	19,92	109,62	0,98	1,21	3,72	3,74

A réz esetében megállapíthatjuk, hogy az angolperje növények átlagos Cu koncentrációja kétszer nagyobb volt, mint a saláta leveleké. Hasonló megfigyelést tettünk az angolperje és a saláta cink koncentrációjának vizsgálatakor is. A két növény között eszerint kisebb volt a különbség, az angolperje Zn koncentrációja 1,6-szerese volt a salátáénak. A mangán koncentráció vizsgálata során ettől eltérő eredményeket kaptunk. A saláta levelekben a Mn koncentráció 30%-kal nagyobb volt, mint az angolperjében.

A toxikus nehézfémek vizsgálati eredményei szerint a saláta átlagos Cd koncentrációja 4,5-szerese, a króm koncentrációja pedig 2-szerese volt az angolperjének, a két növény ólom és nikkell koncentrációja a kezelések átlagában közel azonos volt.

A saláta levelek Cd koncentrációja alacsony volt, de ebben a négyhetes fejlettségi állapotban meghaladta a friss zöldségnövényeknél megengedett 0,03 mg/kg koncentrációt (Kádár 1995), átlagosan a friss tömegre vonatkoztatva 0,067 mg/kg volt.



Kiszámoltuk a vizsgált nehézfémek transzfer koefficiensét is a kísérleti növények esetében (9. táblázat).

Megállapíthatjuk, hogy a talaj un. „összes” nehézfém tartalmához viszonyított növényi koncentráció az egyes elemek esetében és növényenként is különböző volt. A legkevésbé mobilisnak a mangán bizonyult, ahol az angolperje esetében 0,11 volt a transzfer koefficiens értéke, ennek háromszorosa volt a salátánál kapott érték.

9. táblázat Az angolperje és a saláta transzfer koefficiensei a kezelések átlagában

	<b>Cu</b>	<b>Zn</b>	<b>Mn</b>	<b>Cd</b>	<b>Pb</b>	<b>Cr</b>	<b>Ni</b>
angolperje	0,89	0,53	0,11	1,10	0,07	0,05	0,13
saláta	0,41	0,33	0,34	4,87	0,06	0,09	0,16

A transzfer koefficiensek közötti legkisebb különbséget a két kísérleti növény esetében a cinknél tapasztaltuk. Ezen a kísérleti talajon a szakirodalomban talált értékeknél, amelyek szerint a cink esetében ez 1-10 közötti (Kloke et al., 1994), lényegesen kisebb 0,33 és 0,53 volt, ami kisebb mértékű felvételre utal.

A réz esetében az angolperje transzfer koefficiense 0,89, ami a három elemet összehasonlítva a legmagasabb érték volt és megközelítette az egyet. Tehát az angolperje esetében közel megegyező volt a talaj és a növény réz koncentrációja.

A toxikus nehézfémek közül a kadmiumnál kapott transzfer koefficiens értékek mindkét növénynél meghaladták az egyet, tehát ezek között a körülmények között megállapítható a növényi Cd akkumuláció. A kadmium rendkívül mobilis elemnek bizonyul a talaj-növény rendszerben, amit még jelentősen befolyásolnak a növények élettani sajátosságai is.

A saláta leveleiben közel 5-szörös volt a kadmium koncentrációja, mint a talajban. A saláta nagymértékben képes akkumulálni a szöveiteiben ezt a toxikus elemet. A növényi elemfelvételt a talaj összes elemtartalmán kívül számos tényező, talajtulajdonság befolyásolhatja.

A salátánál a kadmium esetében kapott transzfer koefficiens értékek felhívják a figyelmet arra, hogy kis kadmium tartalmú, gyengén savanyú talajokon is akkumulálódhat a saláta növényben ez a toxikus elem. Ezek az eredmények figyelmet érdemlőek az élelmiszer biztonság szempontjából is, rámutatnak arra, hogy a toxikus, környezetterhelő nehézfémek esetében kiemelt figyelmet kell fordítani ezeknek az elemeknek a talajbeli koncentrációjára összefüggésben a mobilitást befolyásoló talajtulajdonságokkal (pH, szervesanyag tartalom, stb.) és a termesztett növény fajjal.

A vizsgált nehézfémek közül a króm és az ólom transzfer koefficiense volt a legkisebb, ezek az elemek bizonyultak a legkevésbé mobilisnak a talaj-növény rendszerben, ugyanakkor az eredményeink a szakirodalomban megadott értékekhez hasonlóak, annak a felsőhatárértékét közelítők voltak. A két növénynél számított króm és a nikkel transzfer koefficiens a saláta esetében volt nagyobb (10. táblázat).

A növények által a talajból felvett elemek mennyiségét vizsgálva a következő sorrendet állíthatjuk fel a saláta esetében: Mn>Zn>Cu>Cr≈Ni>Pb>Cd.

Ez a sorrend az angolperjénél a következőképpen alakult: Mn>Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd.

10.táblázat Az angolperje és a saláta nehézfém felvétele a kezelések átlagában

	Cu	Zn	Mn	Cd	Pb	Cr	Ni
	µg/tenyészedény						
angolperje	23,77	54,94	132,47	0,38	2,28	3,11	6,88
saláta	11,69	35,59	198,39	1,77	2,22	6,74	6,55

Az angolperje által felvett króm mennyisége mindössze fele volt a felvett nikkel mennyiségének. A két növényt összehasonlítva megállapíthatjuk, hogy a felvett mennyiségek az elemek koncentrációjának vizsgálatkor tapasztalt tendenciákkal megegyezően alakult, ami abból is következett, hogy a négy hetes angolperje és saláta növények átlagos száraz biomassza tömege (g/tenyészedény) majdnem azonos volt. A friss biomassza tömegben több mint kétszeres különbséget találtunk a saláta javára, ami ennek a növénynek a rendkívül magas víztartalmából következett.

#### 4. Következtetések, javaslatok

A talajok un. „összes” (cc. HNO<sub>3</sub> + cc. H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható) és Lakanen-Erviö-féle oldható Cu tartalmában a 32 éven át tartó, évente azonos adagú NPK kezelések hatására nem történt matematikailag igazolható változás a kontrollhoz viszonyítva. Az összes Cu tartalom 21-27%-a volt mobilis a talajban.

A nem műtrágyázott kontroll és a 32 éven át, évente azonos adagú NPK műtrágyával kezelt talajokban az összes Zn tartalomban szignifikáns különbség volt kimutatható. A legnagyobb adagú NPK kezelésben (542) volt a legnagyobb a talaj „összes” Zn tartalma, ettől szignifikánsan kevesebb volt a kontroll, 101, 201, 221, 321, 411, 421, 431, 541 kezelésekben. A Lakanen-Erviö-féle kivonatban mért un. „mobilis” Zn tartalom mindössze 2,3-5,9%-a volt az összesnek.

A talajok un. „összes” Mn tartalma 697-762 mg/kg, a „mobilis” Mn tartalom 303-366 mg/kg között változott. Az NPK kezelések hatására nem következett be változás a talajok összes és mobilis Mn tartalmában. Az összes Mn tartalom 41-49%-a volt az un. mobilis (Lakanen-Erviö-féle kivonatban mérhető), növények számára felvehető mennyiség.

Az összes Cd tartalom a talajokban 0,186-0,225 mg/kg közötti volt. Ezek az értékek nem érték el a magyarországi talajok átlagos háttér koncentrációjának (0,5 mg/kg) felét sem. A legnagyobb Cd tartalmat a legnagyobb adagú NPK kezelésekben (542) mértük, ami szignifikánsan több volt, mint a kontroll parcellák és a kisadagú kezelések közül a 101, 121, 201 és 211 kezelések talajában mért értékek. A vizsgálati eredmények alapján az „összes” Cd 42-56%-a volt „mobilis”. A mobilis Cd tartalomban nem volt szignifikáns különbség a különböző NPK kezelésű talajokban. Eredményeink azt igazolják, hogy a toxikus nehézfémek közül a Cd jelentős hányada, 42-56%-a mobilis formában van jelen a vizsgált talajokban.

Az un. „összes” ólom mennyisége a talajban viszonylag szűk intervallumon belül 20,2-24,1 mg/kg között változott. Nem volt a talajok Pb tartalmában különbség az NPK kezelések hatására sem a kontrollhoz, sem egymáshoz viszonyítva. Az összes Pb 31-41%-a volt un. „mobilis” formában.

Az angolperje biomassa produkciója a 4. héten, az első vágás idején volt a legnagyobb, az utónövedékek (2.,3.,4. vágás) tömege lényegesen elmaradt ettől, a kezelések átlagában együttesen annyi volt, mint az első vágás idején, egyes kezelésekben még kevesebb. Általában a nagyobb tápanyagellátást biztosító kezelésben a 4. és a 12. hét közötti összes biomassa produkció elérte, vagy kis mértékben meghaladta az első vágás hajtástömegét.

Az esszenciális elemek között érdekes különbség mutatkozott aszerint, hogy az angolperje növényben a vágási időpontokban hogyan változott a koncentrációjuk. Szembetűnő különbséget tapasztaltunk a Mn koncentráció, valamint a Cu és Zn koncentráció alakulásában. A mangán koncentráció az első vágás idején (4. hét) volt az angolperje föld fölötti részében a legkisebb, a 2., 3. és 4. vágások növénymintáiban ehhez viszonyítva 2-6-szoros volt a Mn koncentráció. A réz és a cink esetében a felvétel dinamikája ezzel ellentétes tendenciát mutatott.

A réz és a cink felvételénél azt tapasztaltuk, hogy az angolperjét egy kezdeti intenzív felvétel jellemzi, a tenyészidőszak későbbi szakaszaiban a biomassa produkcióhoz hasonlóan a réz és cink felvételében is csökkenést figyelhetünk meg.

Az angolperjénél a vágások Mn koncentrációja közötti különbség, a növekvő Mn koncentráció, részben a biomassa tömeg csökkenéséből következett, ugyanakkor az egyes

vágásoknál a növények által felvett mennyiségében nincs a biotömeghez hasonló szintű csökkenés.

A toxikus nehézfémek felvett mennyisége a hajtástömeg változásához hasonlóan, csökkenő mértékű volt az első vágáshoz viszonyítva.

A vizsgált elemek közül a kadmium koncentrációjában tapasztaltuk a legkisebb változásokat a négy vágás között. A vágásonkénti ólomkoncentráció kisebb mértékben változott, mint a króm és nikkel koncentrációja. Megállapíthatjuk, hogy a kadmium és a nikkel esetében az első vágás utáni növedékekben, a kezelések átlagában, növekedett a koncentráció. Az ólom és króm koncentrációjának időbeli változása ezekkel ellentétes tendenciájú volt, azaz csökkent.

Az angolperje kadmium koncentrációja 0,13-0,30 mg/kg sz.a. között változott. Az angolperje által felvett összes (négy vágás összesen) kadmium mennyisége a nagyobb NPK adagú kezelésekben (411-542) lényegesen több volt, átlagosan a többi NPK kezelésekhez viszonyítva 1,5-2-szeres, a kontrollhoz viszonyítva 7-8-szor több kadmiumot vett fel a növény. A biotömeg szerint nem voltak ekkora különbségek a kezelések között, vagyis egyértelműen a nagyobb mértékű kadmium felvételtől következtek ezek a különbségek.

A 4 vizsgált toxikus nehézfém közül az angolperje hajtásokban a következő sorrendben csökkent a toxikus elemek koncentrációja: Ni>Cr>Pb>Cd.

Az angolperje által felvett toxikus nehézfémek mennyiségét vizsgálva megállapíthatjuk, hogy kadmiumból vette fel a legkisebb mennyiséget. A növények ólom- és krómtartalma hasonlóan mondható, a felvett kadmiumhoz viszonyítva 4-6-szoros mennyiség. A felvett ólom és króm mennyiségét 3-4-szeresen haladta meg a felvett nikkel mennyisége.

Hasonlóan az angolperjéhez, a salátának is a mangán koncentrációja volt a legnagyobb a három vizsgált esszenciális nehézfém közül. A műtrágyakezelések hatására szignifikáns Mn koncentrációváltozás volt igazolható egyes kezelések között. A saláta átlagos Mn koncentrációja 30%-kal nagyobb volt, mint az angolperjéé. A saláta réz koncentrációja a talajminták réz tartalmának 35-49%-a, és a növények számára könnyebben hozzáférhető formának, a Lakanen-Erviö-féle oldható mennyiségnek a 134-204%-a. Réz akkumuláció a salátában nem volt megfigyelhető, amit a transzfer koefficiensek is mutatnak (0,35-0,49).

A saláta cink koncentrációja 2,7-3,4-szer magasabb volt, mint a saláta réz koncentrációja. A kezelések között a saláta cink koncentrációjában matematikailag igazolható szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni.

A saláta kadmium koncentrációja 0,78-1,21 mg/kg sz.a. volt. A kadmium felvétele jelentős volt 0,95-2,32 µg/t.e. között változott.

A talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható ólom tartalmának a saláta ólom koncentrációja 4-9%-a, míg a talajminták Lakanen-Erviö-féle oldható ólom tartalmának 10-22%-a. A transzfer koefficiens értéke (0,03-0,08) a saláta kismértékű ólom felvételét mutatta.

A saláta króm koncentrációja 4-14 %-a a talajminták cc.HNO<sub>3</sub>+cc.H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> oldható króm tartalmának, és több mint 16-68-szorosa a talajminták Lakanen-Erviö-féle oldható króm tartalmának. Megállapítható, hogy a saláta króm felvétele kismértékű volt, amit a transzfer koefficiensek is alátámasztanak (0,04-0,14).

A saláta nikkeltartalma 1,69-5,98 mg/kg sz.a. közötti intervallumban változott.

A növények által a talajból felvett elemek mennyiségét vizsgálva a következő sorrendet állíthatjuk fel a saláta esetében: Mn>Zn>Cu>Cr≈Ni>Pb>Cd. Ez a sorrend az angolperjénél a következőképpen alakult: Mn>Zn>Cu>Ni>Cr>Pb>Cd.

Kiszámoltuk a vizsgált nehézfémek transzfer koefficiensét is a kísérleti növények esetében. Megállapíthatjuk, hogy a talaj ún. „összes” nehézfém tartalmához viszonyított növényi koncentráció az egyes elemek esetében és növényenként is különböző volt. A legkevésbé mobilisnak a mangán bizonyult, amelynél az angolperje esetében 0,11 volt a transzfer koefficiens értéke, ennek háromszorosa volt a salátánál kapott érték. A transzfer koefficiensek közötti legkisebb különbséget a növények között a cinknél tapasztaltuk.

A toxikus nehézfémek közül a kadmiumnál kapott transzfer koefficiens értékek mindkét növénynél meghaladták az egyet, tehát ezek között a körülmények között megállapítható a növényi Cd akkumuláció.

A kadmium rendkívül mobilis elemnek bizonyul a talaj-növény rendszerben, amit még jelentősen befolyásolnak a növények élettani sajátosságai is. Megállapíthatjuk, hogy a saláta leveleiben közel 5-szörös volt a kadmium koncentrációja, mint a talajban. A saláta nagymértékben képes akkumulálni a szövetekben ezt a toxikus elemet. A növényi elemfelvételt a talaj összes elemtartalmán kívül számos tényező, talajtulajdonság befolyásolhatja. A salátánál kapott transzfer koefficiens értékek felhívják a figyelmet arra, hogy kis kadmium tartalmú, gyengén savanyú talajokon is akkumulálódhat a saláta növényben ez a toxikus elem.

A vizsgált nehézfémek közül a króm és az ólom transzfer koefficiense volt a legkisebb, ezek az elemek bizonyultak a legkevésbé mobilisnak a talaj-növény rendszerben

Az eredményeink alapján megállapíthatjuk, hogy a talajokban a vizsgált nehézfémek mennyisége és a különböző adagú és kombinációjú műtrágyakezelések (NPK) között nem voltak igazolhatók tendenciájában következetes összefüggést mutató változások.

Az eredményeink azt igazolják, hogy a kísérletben az elmúlt 32 évben felhasznált, illetve kijuttatott műtrágya mennyiségek hatására (N: 50-100-150-200-250 kg/ha/év dózisonak 1600-3200-4800-6400-8000 kg/ha; P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>:50-100-150-200 kg/ha/év dózisonak 1600-3200-4800-6400 kg/ha; K<sub>2</sub>O: 100 kg/ha/év dózisonak 3200 kg/ha felel meg) a talajban jelentős nehézfém dúsulás nem igazolható.

A vizsgált toxikus elemek esetében, amelyek a foszfor műtrágya szennyező elemeiként is előfordulhatnak, nem tudtunk igazolni összefüggést a műtrágya adagok és a talaj nehézfém tartalma között. Ebben meghatározó szerepe volt a kísérletben felhasznált műtrágyák minőségi mutatóinak (szennyező elem tartalom).

A toxikus elemek táplálékláncba kerülésének lehetősége szempontjából a Cd kiemelt figyelmet érdemel, mivel mind a szakirodalmi, mind a keszthelyi talajokkal végzett kísérleti eredményeink alapján, rendkívül mobilisnak bizonyult a talaj-növény rendszerben. A táplálékláncba történő bekerülése szempontjából meghatározó lehet a talaj Cd tartalmának ismeretén túl, a természetű növény nehézfémfelvételi sajátosságainak ismerete.

Eredményeink alapján a gyakorlati szakemberek számára javasoljuk továbbra is, hogy a felhasználásra kerülő műtrágyák megválasztásánál fontos szempont legyen a minél kisebb szennyező elem tartalom. Ennek a szempontnak az érvényesítése távlatilag is az élelmiszer biztonságot szolgálja.

## 6. Hivatkozott irodalom

- Baranyai F., Fekete A., Kovács I. (1987): Magyarországi tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Bergmann, W. (1966): Die Mineralversorgung von Pflanzen und Tier. 85. pp. 11-49.
- Csathó P. (1994): A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézete, Budapest. pp. 5-176.
- Chaminade, R. (1960): Experimentation en petits vases de vegetation types d'essais pour tester l'efficacite des engrais humiques. Annales Agronomiques, II: pp. 121-131.
- Chaminade, R. (1964): Diagnostic des carances minerales du sol par L' experimentation en petites vases de vegetation. Science du Sol, II: pp. 157-167.
- Debreczeni B., Debreczeni Bné (1994): Trágyázási Kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó, Budapest. 411 pp.
- Győri D. (1984): A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Győri D. (1971): A mikrotápanyagok szerepe a talajtermékenység kialakulásában. Doktori értekezés, Keszthely.
- Kádár I. (1995): Adatok a közlekedés, település és az ipar által okozott talajszennyezés megítéléséhez. Növénytermelés. 42. 185-190.

Kiss, Zs., Lehoczky, É., Németh, T., Baczó, Gy. (2003): Effect of a long-term fertilization experiment on heavy metal uptake by ryegrass and lettuce. 14<sup>th</sup> International Symposium of Fertilizers. 1. pp. 343-349.

Lehoczky, É., Marth, P., Szabados, I., Palkovics, M., Lukács, P. (2000): Influence of soil factors on the accumulation of cadmium by lettuce. Commun. of Soil Sci. and Plant Anal. 31. 11-14. pp. 2425-2431.

Lehoczky, É., Marth, P., Szabados, I., Szomolányi, A. (1998a): Effect of liming on the heavy metal uptake by lettuce. Agrokémia és Talajtan. Tom.47. 1-4. 229-234.

MÉM NAK (1978): Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest.

Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.

Szabó S.A., Regiusné Mócsényi Á., Győri D., Szentmihályi S. (1987): Mikroelemek a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.