

A nikkel-szennyezés, a nitrogén-trágyázás és a kalcium-karbonát adagolás hatása az angolperje (*Lolium perenne* L.) elemtartalmára

Sipos Marianna

Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma,
Mezőgazdaságtudományi Kar,
Agrokémiai és Talajtani Tanszék, Debrecen
msipos@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A növényi produkciót számos tényező határozza meg. Ezek hatása külön-külön is vizsgálatok tárgyát képezi, ám ennél fontosabbnak tartjuk a közöttük létrejövő kölcsönhatások vizsgálatát. E kölcsönhatások tanulmányozására állítottunk be tenyészedény-kísérletet, amelyben négy tényező hatását és kölcsönhatásait vizsgáltuk: talaj, nitrogén-ellátás, nikkel-terhelés, mészsodás. A kísérletet két, egymástól extrém módon eltérő tulajdonságokkal rendelkező talajtípuson állítottuk be: az egyik egy jó termékenységgel és pufferkapacitással rendelkező csernozjom, a másik humuszban szegény, csekély pufferkapacitású futóhomok talaj. A nitrogén-trágyázást és a meszezést két szinten, a nikkel-terhelést három dózisban adagoltuk a tizenkét kezeléskombinációban, mindkét talajon. A kapott zöldtömeget a tenyészidőszak során két ízben vágtuk, mértük a zöld-, illetve a szárazanyag-tömeget, majd roncsoltuk és az egyes minták elemtartalmát ICP-készülékkel mértük.

A Ca-tartalomra a futóhomok talajon mindhárom tényező hatott, illetve a nikkel- és a mészsodás kölcsönhatása is szignifikánsnak bizonyult. Mind a nitrogén, mind pedig a mészsodás fokozta a növény Ca-felvételét, amely egyrészt a megfelelő tápanyag-ellátásnak, másrészt a kedvezőbb pH-viszonyok kialakulásának köszönhető. A csernozjom talajon szintén a nitrogén és a CaCO_3 szignifikánsan növelte a kalcium-tartalmat. Ennek oka, hogy a növény tápanyag-ellátottsága javult és nőtt a felvehető Ca mennyisége.

A nikkel-tartalom a futóhomok talajon beállított kezelésekben párhuzamosan növekedett az emelkedő nitrogén-dózissal. Nagyobb mennyiségű nikkel jelenlétében szintén nőtt a növény Ni-tartalma, noha ez a növekedés eltérő léptékű a mészsodások függvényében. A csernozjom talajon a nitrogén és a nikkel növelte a felvett Ni-mennyiséget. Azonban a meszezés hatására szintén nőtt a Ni-tartalom, ami a talaj nagy kolloid-tartalmával, a nikkel-ionok adszorpciójával, majd a mészsodás hatására a Ca- és a megkötött Ni-ionok kicserélődésével magyarázható.

A növényminták kálium-tartalma a futóhomok talajon a mészsodások függvényében eltérően alakult. A nikkelmentes kezelésekben a nem meszezett és a meszezett kombinációk kálium-tartalma közel azonosnak tekinthető. A nem meszezett kezelésekben azonban nőtt a kálium-tartalom nikkel hozzáadása esetén, míg a meszezettekben nem változott. A csernozjom talajon a mészsodással csökkent a felvett K-mennyiség, ami az ionok közötti antagonizmusra vezethető vissza.

Kulcsszavak: tápanyag-ellátás, nikkel-terhelés, meszezés, tápelem-felvétel, Ca-tartalom, Ni-tartalom, K-tartalom

SUMMARY

Plant-production is determined by many production-factors. Each of these factors became subject of research-works through the years, still we state, that studying their interaction is even more important. For studying these interactions we set up a pot-experiment, within that the direct effect and the interactions of four factors was inspected: soil, nitrogen-supply, nickel-loading and liming. Experiments were carried out on two soil types with extremely different characters: one was a chernozem soil with good fertility and buffering capacity, the other was a shifting sand soil with low humus-content and buffering capacity. Nitrogen-supply and liming was added on two levels, while nickel on three within 12 combinations on each soil types. Plant production was cut two times within the vegetation period. The amount of production and dry matter was weighted, fractured and their element-content was measured by an ICP-detector.

Ca-content on the shifting sand soil was determined by all three factors, however the interaction between nickel-loading and liming was also significant. Nitrogen and liming increased Ca-uptake, that is due to appropriate nutrient-supply and improvement of a better pH-value. On the chernozem soil nitrogen and CaCO_3 also increased the Ca-content. This is caused by a better nutrient supply and a higher amount of available Ca-ions.

On the shifting sand soil nickel content was increasing parallel to higher nitrogen-dosages. In presence of higher nickel-amount the nickel-content of plants was also increasing, still according to liming, this increment was different. On the chernozem soil nitrogen a nickel increased Ni-uptake. However, liming also had a positive effect on Ni-content, that can be explained by the high amount on colloids in the soil, the adsorption of Ni-ions on them and in presence of liming material the replacement of Ca-and Ni-ions.

The potassium-content on the shifting sand soil was different in each liming-combination. In combinations without nickel the potassium-content of limed and not limed combinations was on the same level. In not limed combinations by adding nickel potassium-content was increasing, while in limed combinations no change was observed. On the chernozem soil by adding liming material the amount of uptaken potassium was decreasing, that is due to the antagonism between Ca- and K-ions.

Keywords: nutrient-supply, nickel-loading, liming, nutrient-uptake, Ca-content, Ni-content, K-content

BEVEZETÉS ÉS IRODALMI ÁTTEKINTÉS

Napjainkban ország- és világszerte folynak a fenntartható mezőgazdasággal kapcsolatos kutatások. Ezek jelentős részét a talaj termékenységének megőrzését célzó, illetve az ésszerű tápanyag-gazdálkodást elősegítő témák teszik ki. Fontos ugyanakkor megemlítenünk a környezetünket – ezen belül is a talajt – érő szennyezések hatásának vizsgálatát.

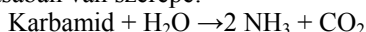
Mint ismert, a növények életét számos folyamat határozza meg. Ezek külön-külön is vizsgálatok tárgyát képezik. Ugyanakkor ismert, hogy – a Mitscherlich-elvnek (Kiss, 1978; Debreczeniné, 1999) megfelelően – hatásuk a növény növekedésére, fejlődésére komplex, egymástól nem elkülöníthető. Éppen ezért fontos a fejlődésre ható tényezők hatásai mellett azok kölcsönhatásainak vizsgálata is.

Az is tény, hogy a növénybe beépült ásványi elemek mennyiségi és minőségi viszonyai tájékoztathatnak a növény tápelem-igényéről, valamint közvetetten a talaj tápelemekben való elszegényedéséről is (Kádár, 2005). A felvett és a növény szárazanyagába raktározott anyagok mennyiségét befolyásolják a növény genetikai adottságai, igényei, azonban meghatározóak lehetnek a talajban, a növény számára felvehető formában megtalálható anyagok – ezek között a szennyezőanyagok – is. Előfordul ugyanis, hogy két ion egymásra gátló hatást fejt ki: pl. az egyik gátolja a másik felvételét, vagy funkciójának teljesítését (Kiss, 1978).

A növények szárazanyag-produkcióját, illetve elem-felvételét számos tényező befolyásolja mind pozitív, mind negatív irányba.

Közismert a nitrogén kiemelkedő szerepe a növényi produkcióban. Hatása serkenti a hajtás- és a terméshozadékot, az aminosavak és fehérjék szintézisében szintén fontos szerepe van a megfelelő N-ellátásnak. A nitrogéntrágya terméshozadék hatása annál eredményesebb, minél kiegyensúlyozottabb és kedvezőbb a növény más tápelemekkel való ellátása (Debreczeniné, 1999; Loch et al., 1992).

Nagyon kis koncentrációban a nikkel kedvezően befolyásolja a növények csírázását és a növekedését. A növények életében egyetlen fiziológiai funkció tulajdonítható a nikkelnek: az ureáz-enzim felépítésében és a karbamid-hidrolízis katalizálásában van szerepe:



Az enzim működéséhez molekulánként 6-8 Ni^{2+} szükséges. Nikkel hiányában az urea-táplálás nekrozist okoz a növény levelein, és a növekedést is gátolja. Ezek alapján a nikkel a növény életében esszenciális elemnek számít (Fodor, 1998).

A növény Ni-koncentrációja összefügg, illetve fordított arányban áll a talaj oldható és kicserélhető Ni^{2+} -tartalmával, illetve kémhatásával (Simon, 1999; Stefanovits et al., 1999). Így a túlzott Ni-felvétel ellen legkönnyebben a talaj meszezésével védekezhünk, amely csökkenti a talajban a mobilis Ni-koncentrációt és a növény által felvett Ni^{2+}

mennyiségét. A Ni-akkumulációt a szerves anyag, a foszfor és a magnézium kijuttatás is csökkentheti (Simon, 1999).

A legtöbb talaj nikkel-tartalma azonban olyan csekély, hogy toxikus hatásoktól nem kell tartani. Felhalmozódás esetén azonban gátolja a növekedést, nekrozist, esetleg nekrozist okozhat. Befolyásolja a kétszeresen pozitív töltésű kationok felvételét, ezek közül is elsősorban a vasét, illetve gátolja a vas hajtásba történő szállítását. Mindez hátrányosan befolyásolja a vízháztartást és oxidatív stresszt okoz (Fodor, 1998).

A talajsavanyúság kedvezőtlen hatásai közül elsősorban megemlítenő olyan pH-viszonyok kialakulása, amelyben a növények számára toxikus, illetve a növény élettani folyamataiban nagy változást előidéző talajalkotó elemek (alumínium, mangán, vas és nehézfémek) mobilizálódnak (Filep, 1995).

A meszezés alkalmazásának egyik fontos indoka a nehézfémek felvételét mérséklő hatása. A meszezés hatására csökken a felvett nehézfémek mennyisége (Kádár, 1992). A növény számára a toxikus ionok csekélyebb mértékű felvételén túlmenően a savanyú talajok javításának legfontosabb következménye a növény nitrogén- és foszforfelvételének, a trágyázás hatékonyságának javulása (Szakál et al., 1997).

Mindezek alapján fontosnak tartjuk e tényezők – pozitív és negatív irányú – hatásának, illetve kölcsönhatásának vizsgálatát.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A növényi szárazanyag-produkciót befolyásoló tényezők kölcsönhatásának vizsgálatára 2006-ban a Debreceni Egyetem Agrokémiai és Talajtani Tanszékének tenyészházában négytényezős tenyésztedény-kísérletet állítottunk be. Ezzel mind az egyes faktorok hatását, mind pedig az azok közötti kölcsönhatásokat figyelemmel kísérhettük. A tenyésztedény-kísérletek előnye, hogy számos tényezőt kontrollálhatunk, míg a vizsgálat tárgyát nem képező faktorok hatása általánosítható, vagy éppen figyelmen kívül hagyható. Ezen kívül pontosan ismerjük az egyes tenyésztedényekhez hozzáadott anyagok mennyiségét. Végül fontos megemlíteni, hogy az edények méretéből adódóan a növény gyökerei teljesen átszövik a tenyésztedényben elhelyezett talajt.

Az általunk vizsgált négy tényező a következő: talaj, nitrogén-ellátás, meszadagolás, illetve nehézfém- (nikkel-) terhelés.

Mivel tudjuk, hogy a növényi szárazanyag-produkciót a biológiai adottságok mellett leginkább a termőtalaj tulajdonságai határozzák meg, a kísérleteket két, egymástól extrém módon eltérő tulajdonságokkal rendelkező talajon állítottuk be. Az egyik talajtípus Debrecen-Látóképről származott: a felső, művelt 30 cm-es rétegben kilúgzott mészlepedékes csernozjom talaj, jó pufferkapacitással és termékenységgel. A másik talaj Újfehértóról származott: csekély pufferkapacitással és termékenységgel rendelkező futóhomok talaj volt.

A két talajtípus főbb jellemző paramétereit az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat

Az alkalmazott két talaj főbb paramétereit

Termőhely(1)	Debrecen-Látókép	Újfehértó
Talajtípus(2)	Mészlepedékes csernozjom(3)	Futóhomok(4)
Talaj textúra(5)	Vályog(6)	Homok(7)
Arany-féle kötöttségi szám (K _A)(8)	39	26
pH-H ₂ O	6,05	5,01
pH-KCl	5,41	3,98
pH-CaCl ₂	5,73	4,19
Hidrolitos aciditás (y _i)(9)	9,07	7,06
Összes C-tartalom (%) (10)	1,89	0,27
Térfogattömeg (kg dm ⁻³)(11)	1,19	1,49
Számított mészigény (t ha ⁻¹)(12)	6,16	3,19
Számított mészigény (g kg ⁻¹)(13)	2,07	0,86

Table 1: Basic parameters of untreated soils

Soil site(1), Soil type(2), Calcareous chernozem(3), Shifting sand(4), Soil texture(5), Loam(6), Sand(7), Hygroscopicity acc. to Arany(8), Hydrolytic acidity(9), Total C content(10), Mass volume(11), Calculated lime requirement(12), Calculated lime requirement(13)

Edényenként 1 kg tömegű légszáraz talajt mértünk be. A nitrogén-ellátás hatását két dózisban vizsgáltuk: 80, illetve 160 mg kg⁻¹ nitrogént adagoltunk az egyes kezelésekhez NH₄NO₃ oldat formájában. Három nikkel-dózist alkalmaztunk: 0, 50, valamint 100 mg kg⁻¹ adagban, NiSO₄ oldat formájában. Mindkét talaj paramétereit alapján Filep (1988) módszerével kiszámítottuk a mészigényt. A meszet finom por formájában adagoltuk. A beállított 12 kezeléskombináció összetételét a 2. táblázat mutatja be.

Minden kezeléskombinációt négy ismétlésben állítottunk be. Jelzőnövényként angolperjét (*Lolium perenne* L.) használtunk. E növény előnye, hogy jól tűri a tenyészházi körülményeket, másrészt pedig egy tenézszezión belül többször is vágható. Az evaporált, illetve transzspirált vízmennyiséget napi rendszerességgel, tömeg-kiegészítőes módszerrel pótoltuk. A csernozjom talajokon a szántóföldi vízkapacitás 75%-ára, a homoktalajon pedig 60%-ára pótoltuk a növény rendelkezésére álló vízmennyiséget, mert Loch et al. (1992) kísérletei szerint az optimális vízellátás szintje talajtípusonként eltérő.

A föld feletti zöldtömeget 33, illetve 28 nap

elteltével, összesen kétszer vágtuk, edényenként mértük, majd 60 °C-on tömegállandóságig szárítva edényenként meghatároztuk a vágásonkénti szárazanyag-termelést. Számítottuk a két vágásban mért összes száraztömeget is. A későbbiekben az egyes minták szárazanyagát salétromsavas-hidrogén-peroxidos roncsolásnak vetettük alá, majd elemtartalmukat ICP-készülékkel mértük.

2. táblázat

Az egyes talajokon beállított 12 kezeléskombináció összetétele

Kezelés-kód*(1)	N (mg kg ⁻¹)	Ni (mg kg ⁻¹)	CaCO ₃ [†]	P (mg kg ⁻¹)	K (mg kg ⁻¹)
1	80	0	0	100	160
2	80	50	0	100	160
3	80	100	0	100	160
4	80	0	1	100	160
5	80	50	1	100	160
6	80	100	1	100	160
7	160	0	0	100	160
8	160	50	0	100	160
9	160	100	0	100	160
10	160	0	1	100	160
11	160	50	1	100	160
12	160	100	1	100	160

*=A mészkezelések kódja a következő: 0=mészkezelés nincs, 1=mészadag a talajparaméterek alapján Filep (1988) módszerével számítva(2)

Table 2: Combinations of treatments

Number of combination(1), Code of liming is: 0=without CaCO₃, 1=CaCO₃ dose according to calculated lime requirement (Filep 1988)(2)

EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉS

A kapott termésre és elemtartalomra vonatkozó eredményeket elemenként, illetve talajonként 3 tényező (N, Ni, CaCO₃) varianciaanalízissel értékeltük Sváb (1981) módszere szerint, SPSS 13 statisztikai program segítségével. A kezelések hatását mindenekelőtt a felvett és a növényi szárazanyagba beépült kalcium-, nikkel-, foszfor- és kálium-mennyiség példáján mutatjuk be. A mérési adatokat táblázatos formában közöljük. Az eredmények mellett feltüntettük a varianciaanalízis során kapott segéd táblázatot is.

A kezelések hatása a növény kalcium-tartalmára

A minták kalcium-tartalmát vizsgáló ICP-vizsgálatok összesített eredményeit a 3. és 4., illetve az 5. és 6. táblázat mutatja be.

3. táblázat

A futóhomok talajon beállított kezelések hatása az angolperje Ca-tartalmára (%)

Tényezők(1)	Ni (mg/kg)	Nem meszeztett(2)	Meszeztett(3)	Átlag(4)
N=80 (mg/kg)				
	Ni=0	0,84	1,27	1,05
	Ni=50	0,73	1,17	0,95
	Ni=100	0,97	1,23	1,10
	Átlag(4)	0,85	1,22	1,04
N=160 (mg/kg)				
	Ni=0	1,12	1,58	1,35
	Ni=50	0,91	1,53	1,22
	Ni=100	1,22	1,52	1,37
	Átlag(4)	1,08	1,54	1,31
N átlag				
	Ni=0	0,98	1,42	1,20
	Ni=50	0,82	1,35	1,08
	Ni=100	1,09	1,37	1,23
	Átlag(4)	0,96	1,38	1,17

Table 3: Effect of treatment-combinations set up on the shifting sand soil on the Ca-content (%) of plants
Factors(1), Not limed(2), Limed(3), Average(4)

4. táblázat

Variancia-táblázat a futóhomok talajon beállított kezelések növényi Ca-tartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatához

Tényezők(1)	Df (2)	F	Szignifikancia(3)	P%
Főátlag(4)	1	4582,6500	$7,1 \cdot 10^{-6}$	
N	1	50,4759	0,0057	**
Ni	2	11,4537	0,0089	**
CaCO ₃	1	67,8877	0,0037	**
N * Ni	2	0,0545	0,9475	n.s.
N * CaCO ₃	1	2,1602	0,2380	n.s.
Ni * CaCO ₃	2	5,8630	0,0388	*
N * Ni * CaCO ₃	2	0,4785	0,6415	n.s.

* P=5%-os szinten szignifikáns(5)

** P=1,0%-os szinten szignifikáns(6)

n.s.=nem szignifikáns(7)

Df=szabadsági fok(2)

Table 4: Table of variance of studying the effect of combinations set up on the shifting sand soil

Factors(1), Degree of freedom(2), Significance(3), Intercept(4), *significant at P=5% level(5), **significant at P=1.0% level(6), n.s.=not significant(7)

A futóhomok talajon beállított kezeléskombinációk Ca-tartalmát vizsgálva megállapíthatjuk, hogy P=1%-os szinten mindhárom faktor szignifikánsan befolyásolta a Ca-felvételt. A statisztikai értékelés során a Ni és a mész közötti

kölcsönhatás P=5%-os szinten szignifikánsnak bizonyult.

Nagyobb mennyiségű N hozzáadásával növekedett a minták Ca-tartalma. Ez a megfelelő tápanyagellátásnak tudható be.

A mészkezelések szintén pozitívan hatottak, vagyis mindegyik nikkell- és nitrogén-kezelésnél megállapítható, hogy a meszeztett kezelések kalcium-tartalma növekedett. Ennek oka abban rejlik, hogy a mész-adagolással a növény számára kedvezőbb pH-viszonyok alakultak ki. Még egyszer utalni kell arra is, hogy a talaj savas kémhatású és csekély pufferkapacitással rendelkezik. Így a mész hozzáadásával megnőtt a növény számára felvehető Ca-mennyiség is.

Azonban mindkét nitrogén-kezelést, illetve azok átlagát, valamint a mészkezelések átlagát tekintve is szembe tűnik, hogy a nikkell nélküli kezelésekhez képest a közepes nikkell-adaggal kezelt kombinációk Ca-tartalma csökkent, majd a legnagyobb nikkell-dózissal kezelt kombinációkban ismét növekedett a növényi szervezetbe beépült Ca-mennyiség.

5. táblázat

A csernozjom talajon beállított kezelések hatása az angol perje Ca-tartalmára (%)

Tényezők(1)	Ni (mg/kg)	Nem meszeztett(2)	Meszeztett(3)	Átlag(4)
N=80 (mg/kg)				
	Ni=0	1,12	1,42	1,32
	Ni=50	1,18	1,42	1,30
	Ni=100	1,12	1,38	1,25
	Átlag(4)	1,17	1,41	1,29
N=160 (mg/kg)				
	Ni=0	1,38	1,68	1,53
	Ni=50	1,36	1,63	1,50
	Ni=100	1,33	1,65	1,49
	Átlag(4)	1,35	1,65	1,50
N				
	Ni=0	1,29	1,55	1,42
	Ni=50	1,27	1,53	1,40
	Ni=100	1,22	1,51	1,37
	Átlag(4)	1,26	1,53	1,40

Table 5: Effect of treatment-combinations set up on the chernozem soil on the Ca-content (%) of plants

Factors(1), Not limed(2), Limed(3), Average(4)

A csernozjom talajon beállított kezeléskombinációkban a kalcium-tartalomra a nitrogén P=1%-os, a CaCO₃ pedig P=0,1%-os szinten szignifikáns hatást gyakorolt.

A nagyobb mennyiségű hozzáadott nitrogén ez esetben is növelte a felvett és a növényi szárazanyagba beépített Ca mennyiségét. Noha a növekvő nikkell-adagolás mind a meszeztett, mind a nem meszeztett kezelésekben minimálisan

csökkentette a Ca-tartalmat, ez nem bizonyult statisztikailag szignifikáns hatásnak.

A mészadagolás azonban jelentősen megnövelte a minták Ca-tartalmát. Ennek oka szintén a megfelelő CaCO_3 -ellátottság, hiszen a felső 30 cm-es rétegből vettük a tenyészedenyekbe bemért talajt, és ebben a rétegben a mészlepedék már nem kimutatható a kilúgzás miatt.

6. táblázat

Variancia-táblázat a csernozjom talajon beállított kezelések növényi Ca-tartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatára

Tényezők(1)	Df(2)	F	Szignifikancia(3)	P%
Főátlag(4)	1	3766,5080	$9,5 \cdot 10^{-6}$	
N	1	62,7987	0,0042	**
Ni	2	1,2906	0,3418	n.s.
CaCO_3	1	201,9042	0,0008	***
N * Ni	2	0,2469	0,7888	n.s.
N * CaCO_3	1	1,6918	0,2843	n.s.
Ni * CaCO_3	2	0,0684	0,9346	n.s.
N * Ni *				
CaCO_3	2	0,0318	0,9688	n.s.

** P=1,0%-os szinten szignifikáns(5)

*** P=0,1%-os szinten szignifikáns(6)

n.s.=nem szignifikáns(7)

Df=szabadsági fok(2)

Table 6: Table of variance of studying the effect of combinations set up on the chernozem soil

Factors(1), Degree of freedom(2), Significance(3), Intercept(4),

** significant at P=1.0% level(5), *** significant at P=0.1% level(6), n.s.=not significant(7)

A kezelések hatása a növényi nikkeltartalmára

Az egyes talajokon beállított 12 kezeléskombináció hatását a növényminták nikkeltartalmára szintén ICP-készülékkel mértük. Ennek eredményeit a 7. és 8., illetve 9. és 10. táblázat mutatja be.

A futóhomok talajon kapott növényminták nikkeltartalmát a nitrogén- és a mészkezelések P=5%-os, a nikkeltkezelések pedig P=0,1%-os szignifikancia szinten befolyásolták. Ezen kívül a nikkelt- és a mészadagolás közti kölcsönhatás is szignifikánsnak bizonyult a statisztikai értékelés során, mégpedig P=1%-os szinten.

A táblázat adataiból jól látható, hogy mind a meszezett, mind pedig a nem meszezett kezelésekben a nagyobb nitrogéndózis hatására a minták Ni-tartalma is megnőtt.

Növekvő mennyiségű nikkelt hozzáadása mellett szembetűnően nőtt a növényminták nikkeltartalma. Ez a növekedés azonban eltérő léptékű a mészkezelések függvényében. Jól látható, hogy mind a meszezett, mind pedig a nem meszezett kezelésekben nőtt a Ni-tartalom, azonban a nem meszezett kezelésekben a növekedés mértéke jóval meghaladja a meszezett kezelésekben mérhető növekedést. Ennek főképpen az lehet az oka, hogy

Ni-adagolással a talajok, és így persze a talajoldat Ni-iontartalma igen nagy mértékben megnőtt, és ez vezetett a növények fokozott nikkeltfelvételéhez. Másodlagos hatásként azt is számításba vettük, hogy a nikkelt NiSO_4 oldat formájában adagoltuk a kezelésekhez, ami egy savanyúan hidrolizáló oldat. Ennek alapján a nagyobb mennyiségű nikkelt hozzáadásával savanyúbb környezet állt elő, és ez fokozta a nikkelt mobilitását és felvételét. Ezzel szemben a mészadagolás stabilizálta a pH-viszonyokat, valamint csökkentette a savas hidrolízis mértékét, ezzel pedig a talajoldat protonkoncentrációját. Összességében csökkent a nikkelt oldhatósága is, hiszen a talaj-pH befolyásolja a kationok adszorpciós képességét is a szerves talajkolloidok felületén.

A mészkezelések hatása szintén szignifikáns. A futóhomok talajra kiszámított mészdózis hozzáadásával a növényminták nikkeltartalma az esetek döntő többségében alacsonyabbnak bizonyult.

7. táblázat

A futóhomok talajon beállított kezelések hatása a növények Ni-tartalmára (mg kg^{-1})

Tényezők(1)	Ni (mg kg^{-1})	Nem meszezett(2)	Meszezett(3)	Átlag(4)
N=80 (mg kg^{-1})				
	Ni=0	7,05	5,73	6,39
	Ni=50	218,25	68,53	143,39
	Ni=100	567,25	118,15	342,70
	Átlag(4)	264,18	64,14	164,16
N=160 (mg kg^{-1})				
	Ni=0	26,73	66,24	46,49
	Ni=50	282,65	98,36	190,51
	Ni=100	699,83	191,85	445,84
	Átlag(4)	336,40	118,82	227,61
N átlag				
	Ni=0	16,89	35,99	26,44
	Ni=50	250,45	83,44	166,95
	Ni=100	633,54	155,00	394,27
	Átlag(4)	300,29	91,48	195,88

Table 7: Effect of treatment-combinations set up on the shifting sand soil on the Ni-content (mg kg^{-1}) of plants

Factors(1), Not limed(2), Limed(3), Average(4)

A csernozjom talajon beállított kezelések növényi szárazanyagának nikkeltartalmára a mészadagolás P=5%-os, a nitrogénadagolás P=1,0%-os, a nikkeltterhelés pedig P=0,1%-os szignifikancia-szinten hatott. Ezen kívül a nitrogén és a nikkelt közötti kölcsönhatás is P=1,0%-os szinten bizonyult szignifikánsnak.

A nitrogénadagok hatásait vizsgálva megállapíthatjuk, hogy nagyobb nitrogéndózis hozzáadása mellett a minták Ni-tartalma is nagyobb. Figyelembe véve, hogy a nitrogén és a nikkelt közötti kölcsönhatás is szignifikáns, az eltérő nikkeltadagok

függvényében a nitrogén is eltérő mértékben érvényesítette hatását. E a megállapítás fordítva is igaz.

8. táblázat

Variancia-táblázat a futóhomok talajon beállított kezelések növényi Ni-tartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatára

Tényezők(1)	Df (2)	F	Szignifikancia(3)	P%
Főátlag(4)	1	202,6549	0,0008	
N	1	15,0800	0,0303	*
Ni	2	40,6813	0,0003	***
CaCO ₃	1	24,1571	0,0161	*
N * Ni	2	0,9550	0,4364	n.s.
N * CaCO ₃	1	0,1203	0,7516	n.s.
Ni * CaCO ₃	2	18,5444	0,0027	**
N * Ni *				
CaCO ₃	2	0,4610	0,6512	n.s.

* P=5%-os szinten szignifikáns(5)

** P=1,0%-os szinten szignifikáns(6)

*** P=0,1%-os szinten szignifikáns(7)

n.s.=nem szignifikáns(8)

Df =szabadsági fok(2)

Table 8: Table of variance of studying the effect of combinations set up on the shifting sand soil

Factors(1), Degree of freedom(2), Significance(3), Intercept(4),

* significant at P=5% level(5), ** significant at P=1.0% level(6),

*** significant at P=0.1% level(7), n.s.=not significant(8)

A növekvő nikkeldózisok szintén növelték a növény szervezetébe beépült nikkelt mennyiségét. Az adagolt nikkelt mennyiségek között különbség nem mutatható ki, vagyis nagyjából arányosan növelték a minták nikkelt-tartalmát. Mind a nitrogén-kezelések, mind pedig a mészadagolás függvényében szembevetendő a nikkelt hatása.

A mészadagolás hatása szintén szignifikánsnak bizonyult. A meszezett kezelések Ni-tartalma ez alkalommal nagyobb volt, mint a mészadag nélküli kezeléseknél. Ez a következővel magyarázható: figyelemre méltó, hogy a felvett Ni mennyisége jóval kisebb, mint a futóhomok talajon. A csernozjom talaj nagy kolloid-tartalma miatt a nikkelt-ionok döntő többsége adszorbeálódott, még akkor is, ha a legnagyobb dózisban adagoltuk. Tehát a nem meszezett kezeléseknél az adszorpció miatt a talajoldatban alig található Ni²⁺-ion. Másrésztől megközelítve azonban mész hozzáadásával a pH nem változik olyan mértékben, hogy képes lenne befolyásolni az oldhatóságot. Meszezéssel megnő a Ca-ionok koncentrációja és a kolloidok felületén kicsérlődnek, majd a talajoldatba jutnak az addig adszorbeált Ni-ionok. Ezzel megnő a talajoldat Ni-koncentrációja, és növény több nikkelt vesz fel.

9. táblázat

A csernozjom talajon beállított kezelések hatása a növény Ni-tartalmára (mg kg⁻¹)

Tényezők(1)	Ni (mg/kg)	Nem meszezett(2)	Meszezett(3)	Átlag(4)
N=80 (mg/kg)				
	Ni=0	7,56	11,84	9,70
	Ni=50	20,59	23,95	22,27
	Ni=100	33,75	36,93	35,34
	Átlag(4)	20,63	24,24	22,43
N=160 (mg/kg)				
	Ni=0	8,99	13,29	11,14
	Ni=50	26,68	29,98	28,33
	Ni=100	39,25	42,25	40,75
	Átlag(4)	24,97	28,50	26,74
N átlag				
	Ni=0	8,27	12,56	10,42
	Ni=50	23,63	26,96	25,30
	Ni=100	36,50	39,59	38,04
	Átlag(4)	22,80	26,37	24,59

Table 9: Effect of treatment-combinations set up on the chernozem soil on the Ni-content (mg kg⁻¹) of plants

Factors(1), Not limed(2), Limed(3), Average(4)

10. táblázat

Variancia-táblázat a csernozjom talajon beállított kezelések növényi Ni-tartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatára

Tényezők(1)	Df (2)	F	Szignifikancia(3)	P%
Főátlag(4)	1	17002,8400	9,94*10 ⁻⁷	
N	1	150,8708	0,0012	**
Ni	2	1473,4000	8,39*10 ⁻⁹	***
CaCO ₃	1	27,2258	0,0137	*
N * Ni	2	22,1884	0,0017	**
N * CaCO ₃	1	0,0297	0,8741	n.s.
Ni * CaCO ₃	2	0,5482	0,6044	n.s.
N * Ni *				
CaCO ₃	2	0,0075	0,9926	n.s.

* P=5%-os szinten szignifikáns(5)

** P=1,0%-os szinten szignifikáns(6)

*** P=0,1%-os szinten szignifikáns(7)

n.s.=nem szignifikáns(8)

Df =szabadsági fok(2)

Table 10: Table of variance of studying the effect of combinations set up on the chernozem soil

Factors(1), Degree of freedom(2), Significance(3), Intercept(4),

* significant at P=5% level(5), ** significant at P=1.0% level(6),

*** significant at P=0.1% level(7), n.s.=not significant(8)

A kezelések hatása a növény kálium-tartalmára

A növényminták kálium-tartalmát szintén befolyásolta a nehézfém-terhelés, illetve a tápanyag-ellátás és a meszezés. A vizsgált produkciós tényezők és a felvett kálium-mennyiség közötti összefüggést az egyes talajokon a 11. és 12., illetve a 13. és 14. táblázatban mutatjuk be.

11. táblázat

A futóhomok talajon beállított kezelések hatása a K-tartalomra (%)

Tényezők(1)	Ni (mg/kg)	Nem meszezett(2)	Meszezett(3)	Átlag(4)
N=80 (mg/kg)				
	Ni=0	4,56	4,43	4,50
	Ni=50	5,21	4,54	4,88
	Ni=100	6,00	4,56	5,28
	Átlag(4)	5,26	4,51	4,89
N=160 (mg/kg)				
	Ni=0	4,69	4,62	4,66
	Ni=50	5,77	4,16	4,96
	Ni=100	6,01	4,42	5,22
	Átlag(4)	5,49	4,40	4,95
N átlag				
	Ni=0	4,63	4,53	4,58
	Ni=50	5,49	4,35	4,92
	Ni=100	6,01	4,49	5,25
	Átlag(4)	5,37	4,46	4,92

Table 11: Effect of treatment-combinations set up on the shifting sand soil on the K-content (%) of plants
Factors(1), Not limed(2), Limed(3), Average(4)

12. táblázat

Variancia-táblázat a futóhomok talajon beállított kezelések növényi K-tartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatára

Tényezők(1)	Df (2)	F	Szignifikancia(3)	P%
Főátlag(4)	1	7638,5070	0,0000	
N	1	0,1958	0,6881	n.s.
Ni	2	7,2435	0,0251	*
CaCO ₃	1	72,7248	0,0034	**
N * Ni	2	0,1523	0,8620	n.s.
N * CaCO ₃	1	6,3650	0,0860	+
Ni * CaCO ₃	2	23,9004	0,0014	**
N * Ni *				
CaCO ₃	2	4,7050	0,0590	+

+ P=10%-os szinten szignifikáns(5)

* P=5%-os szinten szignifikáns(6)

** P=1,0%-os szinten szignifikáns(7)

n.s.=nem szignifikáns(8)

Df=szabadsági fok(2)

Table 12: Table of variance of studying the effect of combinations set up on the shifting sand soil

Factors(1), Degree of freedom(2), Significance(3), Intercept(4),
+ significant at P=10% level(5), * significant at P=5% level(6),
** significant at P=1.0% level(7), n.s.=not significant(8)

13. táblázat

A csernozjom talajon beállított kezelések hatása a K-tartalomra (%)

Tényezők(1)	Ni (mg/kg)	Nem meszezett(2)	Meszezett(3)	Átlag(4)
N=80 (mg/kg)				
	Ni=0	5,80	4,99	5,39
	Ni=50	5,69	5,20	5,45
	Ni=100	5,66	5,27	5,46
	Átlag(4)	5,72	5,15	5,43
N=160 (mg/kg)				
	Ni=0	5,17	5,30	5,24
	Ni=50	5,44	5,09	5,26
	Ni=100	5,55	5,17	5,36
	Átlag(4)	5,39	5,19	5,29
N átlag				
	Ni=0	5,49	5,15	5,32
	Ni=50	5,57	5,15	5,36
	Ni=100	5,60	5,22	5,41
	Átlag(4)	5,55	5,17	5,36

Table 13: Effect of treatment-combinations set up on the chernozem soil on the K-content (%) of plants
Factors(1), Not limed(2), Limed(3), Average(4)

14. táblázat

Variancia-táblázat a csernozjom talajon beállított kezelések növényi K-tartalomra gyakorolt hatásának vizsgálatára

Tényezők(1)	Df (2)	F	Szignifikancia(3)	P%
Főátlag(4)	1	5282,3110	0,0000	
N	1	0,9954	0,3920	n.s.
Ni	2	1,7178	0,2571	n.s.
CaCO ₃	1	35,5008	0,0095	**
N * Ni	2	0,1334	0,8776	n.s.
N * CaCO ₃	1	27,6528	0,0134	*
Ni * CaCO ₃	2	0,3545	0,7153	n.s.
N * Ni *				
CaCO ₃	2	10,1262	0,0119	*

* P=5%-os szinten szignifikáns(5)

** P=1,0%-os szinten szignifikáns(6)

n.s.=nem szignifikáns(7)

Df=szabadsági fok(2)

Table 14: Table of variance of studying the effect of combinations set up on the chernozem soil

Factors(1), Degree of freedom(2), Significance(3), Intercept(4),
* significant at P=5% level(5), ** significant at P=1.0% level(6),
n.s.=not significant(7)

A futóhomok talajon beállított kezelés-kombinációkban a növényi szárazanyag kálium-tartalmára a nikkel P=5%-os, a mész pedig P=1,0%-os szignifikancia-szinten hatott. Az egyes tényezők közötti kölcsönhatás szintén bizonyítható statisztikailag. A nitrogén- és a mészadagolás,

valamint a nitrogén-, mész- és nikkel-adagolás között is kölcsönhatás mutatkozott P=10%-os szinten. A nikkelterhelés és a mészadagolás P=1,0%-os szinten kölcsönhatásban állt egymással.

A nikkel-dózisok hatását vizsgálva megállapítható, hogy a nem meszezett kezelésekben növekvő nikkel-dózis hozzáadása mellett nőtt a növényi szárazanyag kálium-tartalma. Ezzel szemben a meszezett kezelésekben a nikkel dózis nem, vagy csak csekély mértékben – nagyobb nitrogén-mennyiség mellett – befolyásolta a kálium-tartalmat. De mivel a nitrogén-kezelések hatása nem szignifikáns, ezért ezt a különbséget nem vesszük figyelembe.

Ennek alapján a mészkezelések függvényében eltérően alakult a kálium-tartalom. A nikkelmentes kezelésekben a nem meszezett és a meszezett kombinációk kálium-tartalma közel azonosnak tekinthető. A nem meszezett kezelésekben azonban nőtt a kálium-tartalom nikkel hozzáadása esetén, míg a meszezettekben nem változott.

A *csernozjom* talajon beállított kezeléskombinációkban a növényi szervezetbe beépült kálium mennyiségére a mész P=1,0%-os szinten hatott. Ezen kívül a nitrogén- és a mészadagolás, valamint a nitrogén-nikkel-mész hármas kölcsönhatás szintén szignifikáns hatást gyakorolt a kálium-tartalomra, mégpedig P=5%-os szinten.

A táblázat adatai alapján megfigyelhető, hogy a nem meszezett kezelések K-tartalma minden esetben magasabb, mint a párhuzamos, meszezett kombinációké. Ez minden bizonnyal az ionantagonizmusra vezethető vissza. Hiszen a kálium és a kalcium egymás felvételére negatívan hat. Vagyis minél nagyobb mennyiségű Ca kerül be a növényi szervezetbe, annál kevesebb K, és mivel a mészadagolás miatt a Ca túlsúlyban van, a kálium visszaszorult.

A nem meszezett kezelésekben növekvő nitrogén-adagolással valamelyest csökkent a felvett kálium-mennyiség, míg a meszezett kombinációkban nagyjából nem változott. Bár a nitrogén önmagában nem volt szignifikáns hatású, a statisztikai értékelés szerint a mésszel kölcsönhatásban P=5%-os szinten mégis hatást gyakorolt a felvett kálium mennyiségére. A mész hatása következetesnek mondható, hiszen mindkét N-szinten csökkentette a K-felvételt. A nitrogén azonban mész nélkül csökkentette, mésszel együtt, kölcsönhatásban növelte a K-tartalmat. Tehát a nitrogén hatására a kálium-felvétel ellentétes tendenciájú. Ezért is nem bizonyítható a nitrogén hatása statisztikailag, azonban a Ca*N hatás már szignifikáns, hiszen a N-szint megváltozása a kálium-felvétel tendenciáját megfordította.

IRODALOM

- Debreczeni B-né (1999): Tápanyag-gazdálkodás. (Füleky Gy. szerk.) Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Filep Gy. (1988): Talajkémia. Akadémiai Kiadó, Budapest.
- Filep Gy. (1995): A talajok savanyodása és hatása a talajtulajdonságokra. Tiszántúli Mg. Tud. Napok Kiadvány Abstracts. DATE Debrecen, 117.
- Fodor F. (1998): Növényélettan (Láng F. szerk.) ELTE Eötvös Kiadó, Budapest.
- Kádár I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei. Magyar Tudományos Akadémia Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest, 398.
- Kádár I. (2005): Műtrágyázás hatása a telepített gyepek ásványi elemfelvételére, 4; Gyepgazdálkodási Közlemények 3. Debreceni Egyetem, Debrecen, 3-10.
- Kiss I. (1978): Növényfiziológia és növénytan. (Haraszty Á. szerk.) Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest.
- Loch J.-Kiss Sz.-Vágó I. (1992): A kálium-, kalcium-, magnézium- és vízellátás hatása az őszi búza szemtermésére és magnéziumfelvételére, 4; Magyar Magnézium Szimpózium. Balatonszéplak. In: Magnesium Research 5. 238.
- Simon L. (szerk.) (1999): Talajszennyeződés, talajtisztítás. Környezetgazdálkodási Intézet Környezet- és Természetvédelmi Szakkönyvtár és Információs Központ, Budapest.
- Stefanovits P.-Filep Gy.-Füleky Gy. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Sváb J. (1981): Biometria módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Szakál P.-Schmidt R.-Reisinger P.-Hármori K.-Kerekes G. (1997): A meszezés hatása az őszi búza termésére és beltartalmi értékeire. XI. Országos Környezetvédelmi Konferencia, Siófok, 257-264.