

Nitrogén, réz és molibdén kölcsönhatások lucerna kultúrában (*Medicago sativa* L.)

KÁDÁR Imre

MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézet, Budapest

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A rezet régóta széleskörűen hasznosítjuk, ezért szóródása és akkumulációja nyomon követhető a környezeti elemekben. Komló és szőlő kultúrákban a talajok Cu-készlete a feltalajban akár nagyságrenddel megnőhet a Cu-tartalmú növényvédőszeres tartós használata miatt. Először Franciaországban 1882-ben kezdték a CuSO_4 5%-os oldatát alkalmazni gyomirtószerként Bordeaux város közelében, ezért vált „bordói” léként ismertté. Később 0,1-0,2%-os oldata is elterjedt mint gombaölő szer. A Cu-toxikózis mérsékelhető szervestrágyázással, meszezéssel, illetve az antagonisták P, Fe, Mo elemek bevitelével. A Cu-többletre különösen érzékenyek lehetnek a lucerna, a herefélék és a mák (BOWEN 1979).

A Cu túlsúlya természetszerűen kiugró lehet rézbányák közelében, meddőhányókon. Újkori Cu-terhelést jelenthet a sertéstrágya. A sertések takarmányát rézsókkal egészítik ki a jobb takarmányhasznosulás céljából. A takarmány Cu-tartalma elérheti akár a $250 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ értéket. A sertéstrágya Cu-készlete ebből adódóan nagyságrendekkel nőhet, mely a talaj nemkívánatos Cu-terhelését eredményezheti. Saját elemzéseink szerint egy vizsgált sertéshizlalda trágyájában ($n = 8$) $380\text{-}530 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cu-tartalmat mértünk a szárazanyagban (KÁDÁR 2011).

A Cu hiánya is gyakori. A gabonafélék tözeges talajon gyakran nem fejlesztenek kalászt. Felléphet másodlagos vagy indukált Cu-hiány rétláp talajokon a Mo-felesleg miatt. TÖLGYESI (1965) vizsgálatai rámutattak arra is, hogy pl. a keszthelyi lápon termelt növényekben egyidejűleg fennállhat a Cu hiánya és a Mo többlete. A szervesanyagban gazdag talajok ugyanis Mo-ban is gazdagok, míg a rezet megkötik. Az élettanilag kívánatos 5-10 körüli Cu:Mo arány a takarmányban akár 0,1-0,2 értékre szűkülhet Mo-toxikózist okozva. A legeltetett juh és marha anémiás lépbetegségét a Cu-hiányra, illetve a Mo-bőségre vezetik vissza (BERGMANN 1992).

A hazai talajok összes Cu-tartalma $10\text{-}110 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ mennyiségre tehető a szántott rétegben GYÖRI (1984) adatai alapján, aki $3\text{-}38 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ összes Cu-készletet talált eltérő talajokban. Egy nemzetközi FAO felmérésben a hazai talajok ($n = 250$) NH_4 -acetát+EDTA oldható Cu-tartalma $1\text{-}15 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ tartományban ingadozott. Hazánk az $5,4 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ átlagos értékkel a nemzetközi rangsor „középmezőnyében” foglalt helyet. A vizsgált talajokon termelt bokrosodáskori búza ($n = 144$) $8,5 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, míg a 4-6 leveles korú kukorica hajtása ($n = 106$) $15,0 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ átlagos Cu-

Postai cím: KÁDÁR IMRE, MTA ATK TAKI, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15.
E-mail: kadar.imre@agr.ar.mta.hu

koncentrációt mutatott illeszkedve a nemzetközi középértékhez (SILLANPÄÄ 1982, KÁDÁR 1995). Megemlíthető, hogy lápi termőhelyek nem voltak képviselve a magyar FAO mintákban.

Mezőföldi mészlepedékes csernozjom vályogtalajon beállított műtrágyázási tartamkísérletünkben a pillangósnélküli gyepszéna Cu-tartalma $2,1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékről $4,7 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékre nőtt igazolhatóan a N-trágyázással. A PK ellátottsági szintek érdemi hatással nem voltak a Cu-tartalomra. A Mo koncentrációja ugyanakkor a kontrollon mért $0,44 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -ról $0,05 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ -ra csökkent az együttes, bőséges NPK-kínálat nyomán. A széna eredeti 5 körüli Cu:Mo aránya így 94 körülire tágult. Tehát a széna relatíve Mo-hiányossá vált az NPK műtrágyázással. Valójában a talaj Mo-készlete nem módosult, csupán a növényi Mo-felvételt gátolta. A jelenség tehát talajvizsgálatokkal nem ismerhető meg, csak a növényelemzés tárhatja fel a mechanizmust (KÁDÁR 2013, KÁDÁR és CSATHÓ 2017).

A N x Cu elemek közötti kölcsönhatásokat tenyészedény kísérletekben is vizsgáltuk meszes homok és vályog talajokkal, árpa és köles jelzőnövényvel. A CuSO_4 formában adott Cu-terhelést a KCl+EDTA oldható Cu-tartalom jól tükrözte mindkét talajban. A növényi hozamokat a Cu-trágyázás nem befolyásolta. A mintegy $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ Cu-adaggal a tavaszi árpa gyökereinek Cu-tartalma vályogtalajon $10\text{-}15 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, homoktalajon $30\text{-}40 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékkel nőtt meg. A földfeletti hajtás Cu-koncentrációja ugyanakkor nem módosult érdemben, a Cu növényen belüli transzportja gátolt volt. A N-bőség bizonyos határig igazolhatóan növelte a Cu beépülését a gyökerekbe (KÁDÁR és SHALABY 1985).

Bizonyos talajokon a bőséges P-trágyázás szintén növelheti a Mo növényi felvételét, míg a Cu-felvételt gátolja, hiányt indukálva. A Cu beépülését az állati szervezetbe a kénbőség szintén akadályozhatja, amennyiben a bendőben felvehetetlen CuS keletkezhet. Az előregedő füvek Cu-tartalma is gyakran csökken, mely a jelenséget erősítheti. A műtrágyázás drasztikus beavatkozást jelenthet a talajba és a rajta termő gyepre. A szakszerűtlen és ellenőrizhetetlen műtrágyahasználat katasztrofális következményeire már közel fél évszázaddal ezelőtt rámutatott VOISIN (1965) Franciaországban. A szerző szerint a talaj-növény-állat-ember sorsa összefügg. A humán civilizációs betegségek sem függetlenek végső soron a műtrágyázás gyakorlatától, nem beszélve a legelő állatnál megfigyelt anyagcsere és hiánybetegségekről.

A Mo bár esszenciális elem, hiányát ritkán sikerül kimutatni növényben, állatban, emberben, mert az élővilág rendkívül kis mennyiségben igényli. A túlsúly azonban problémát jelenthet. A talajban nem kötődik meg, így száraz vidékeken a Na, B, Se és egyéb mobilis elemekkel együtt a feltalajban dúsul. A talaj/növény rendszerben a szűrő nem működik, a növény hiperakkumulátorként halmozza fel a tömegárammal bejutó Mo-t. A Mo túlsúlya a takarmányban, legelőfüben mérgezést, molibdenózist, a legelőhasmenés tünetegyüttesét okozza. A vizet áteresztő kilúgzásos talajokon nem lép fel Mo toxicitás.

A szokásos Mo-tartalom a növényekben $0,1\text{-}2 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ közötti. Az egészségügyi maximum a takarmányban $10\text{-}20 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ CHANEY (1982), KLOKE et al. (1988), SAUERBECK (1985) szerint. Humántoxikológiai szempontból viszonylag

„békés” elemnek tekintik a Mo-t. Ivóvizekre nincs is határkoncentráció megadva. Az 50/2001. (IV.3.) Korm. rendelet szerint a szennyvizekben $0,02 \text{ mg l}^{-1}$, szennyvíziszapokban 20 mg kg^{-1} a megengedett mezőgazdasági felhasználás esetén. A talaj ilyen módon $0,2 \text{ kg ha}^{-1} \text{ év}^{-1}$ Mo mennyiséggel terhelhető maximum 7 mg kg^{-1} összes Mo-tartalom eléréséig a szántott rétegben. A kísérlet főbb eredményeit önálló kiadványban is összefoglaltuk (KÁDÁR és CSATHÓ 2017)

Anyag és módszer

A N x Cu kölcsönhatásokat vizsgáló kéttényezős kísérletet 1988 tavaszán állítottuk be az MTA ATK TAKI nagyhorcsöki kísérleti telepén. A kísérlet talaja löszön képződött meszes csernozjom mely a kísérlet beállítása előtt 1988. március elején végzett talajvizsgálataink szerint mintegy 5% CaCO_3 -ot és 3% humuszt tartalmazott a szántott rétegben. A $\text{pH}(\text{KCl}) = 7,3$; az $\text{AL-P}_2\text{O}_5$ 128 mg kg^{-1} , $\text{AL-K}_2\text{O}$ 243 mg kg^{-1} , KCl-Mg $150-180 \text{ mg kg}^{-1}$, az EDTA-Mn 127 mg kg^{-1} , az EDTA-Cu $2-3 \text{ mg kg}^{-1}$, EDTA-Zn $1-2 \text{ mg kg}^{-1}$ értékekkel jellemezhetők. A $\text{KCl-oldható NH}_4\text{-N}$ 9, $\text{NO}_3\text{-N}$ 12 mg kg^{-1} a feltalajban. A BUZÁS et al. (1979) által elfogadott módszerek és határértékek alapján ezek az adatok a talaj jó Ca, Mg, K, Mn; kielégítő Cu, valamint gyenge P és Zn ellátottságáról tanúskodnak. A talajvíz szintje 13-15 m mélyen helyezkedik el, a terület aszályérzékeny. Éghajlata az Alföldéhez hasonlóan szárazságra hajló, átlagos középhőmérséklete $11 \text{ }^\circ\text{C}$, éves átlagos csapadékösszege 576 mm.

A kísérlet osztott parcellás (split-plot) elrendezésű $4\text{N} \times 3\text{Cu} = 12$ kezeléssel és 3 ismétléssel, összesen 36 parcellával. A parcellák mérete $4,9 \times 15 = 73,5 \text{ m}^2$ volt. Az alaptrágyázás évente $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ és $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ adagot jelentett szuperfoszfát és kálisó formájában. A N-t 25%-os pétisó ($\text{Ca-NH}_4\text{NO}_3$), a Cu trágyát 25,5%-os $\text{CuSO}_4 \times 5\text{H}_2\text{O}$ formában alkalmaztuk. A PK műtrágyákat és a N felét az elővetemény lucerna törésére szórtuk ki 1987 őszén és leszántottuk, míg a N másik felét és a CuSO_4 trágyát 1988 tavaszán kevertük a talajba vetés előtt. Az 5. évben 1992 tavaszán a 15 m hosszú parcellákat megfeleztük és egy 1 m-es úttal elválasztottuk. Az osztott parcellás (split-plot) elrendezésű kísérletünk háromtényezősé vált $4\text{N} \times 3\text{Cu} \times 2\text{Mo} = 24$ kezeléssel x 3 ismétléssel = 72 parcellával. A felezett parcellákra 48 kg ha^{-1} Mo-t szórtunk ki N-fejtrágyával egyidőben. A Mo trágyát $(\text{NH}_4)_6 \text{ Mo}_7\text{O}_{24} \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ formában adagoltuk. A N és a Mo sókat a következő napok csapadéka a talajba mosta. Tehát a Cu-trágyázás 1988-ban, Mo-trágyázás 1992-ben történt egyszeri alkalommal. A N, P és K műtrágyákat évente adtuk.

Vizsgált tényezők az alábbiak:

1. tényező (főparcellák):

$\text{N}_0 =$ kontroll
 $\text{N}_1 = 100 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1} \text{ N}$
 $\text{N}_2 = 200 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1} \text{ N}$
 $\text{N}_3 = 300 \text{ kg ha}^{-1} \cdot \text{év}^{-1} \text{ N}$

2. tényező (alparcellák):

$\text{Cu}_0 =$ kontroll
 $\text{Cu}_1 = 50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Cu}$ 1988-ban
 $\text{Cu}_2 = 100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ Cu}$ 1988-ban

3. tényező (al-alparcellák)

Mo = kontroll
 Mo = 48 kg ha^{-1} 1992-ben

A kísérlet 1. évében 1988-ban tavaszi árpa, 1989-ben őszi búza, 1990-ben őszi árpa, 1991-ben kukorica, 1992-ben tritikále, 1993-ban burgonya, 1994-ben zab, 1995-ben rozs volt a termesztett növény. A kísérlet 15 éven át folyt, a növényi sorrendet 1988-2002 között az 1. táblázat ismerteti.

1. táblázat

A N x Cu tartamkísérlet növényi sorrendje 1988-2003 között
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Kísérlet	Növényfaj	Fajta	Kísérlet	Növényfaj	Fajta
éve (1)	(forgó) (2)	(hibrid) (3)	éve (1)	(forgó) (2)	(hibrid) (3)
1988	tavaszi árpa (4)	Opal	1996	lucerna(12)	Szarvasi-1
1989	őszi búza (5)	MV-15	1997	lucerna(12)	Szarvasi-1
1990	őszi árpa (6)	MV-35	1998	lucerna(12)	Szarvasi-1
1991	kukorica (7)	Pi 3732	1999	lucerna(12)	Szarvasi-1
1992	triticale (8)	Presto	2000	repce (13)	Wester
1993	burgonya (9)	Desirée	2001	mák (14)	Kék Duna
1994	zab(10)	Leanda	2002	napraforgó (15)	IHNK hibrid
1995	rozs(11)	Kisvárdai-1	2003	tavaszi árpa (4)	Orbit

Laboratóriumi vizsgálatok az MTA ATK Talajtani és Agrokémiai Intézetben történtek az alább ismertetett módszerekkel:

Növényelemzés: A bemért 0,5 g légszáraz anyaghoz 5 cm³ cc.HNO₃ + 1 cm³ cc.H₂O₂ adagolása, majd 15 perces roncsolás a mikrohullámú berendezésben. Az ásványi elemek mérése ICP-AES készüléken. A N meghatározása: 0,5 g légszáraz anyaghoz 10 cm³ cc.H₂SO₄ + cc.H₂O₂ szükség szerint adagolva az ISO 11261 (1995), illetve a módosított KJELDAHL (1891) eljárással.

Talajelemzés: A KCl + EDTA oldható Cu-tartalmat, az AL-oldható PK-tartalmat EGNÉR et al. (1960), valamint az 1 mol·L⁻¹ KCl-kicserélhető NH₄-N és NO₃-N tartalmakat a MÉM NAK (1978), illetve BARANYAI et al. (1987) által ismertetett eljárásokkal vizsgáltuk. Az NH₄-acetát+EDTA oldható ásványi elemeket LAKANEN ÉS ERVIÖ(1971), a humuszt TYURIN (1937), az összes N-t az ISO 11261 (1995), illetve módosított KJELDAHL (1891) által ismertetettek alapján határoztuk meg.

Csapadékellátottság. A rozs elővetemény aratása 1995. július 20-án történt. Az év végéig még 201 mm eső esett. Az 1995-1999 közötti évek havi csapadékadatait és az éves csapadékösszegeket a 2. táblázat tekinti át.

2. táblázat

A havi csapadékadatok és évi csapadékösszegek 1995-1999 között, mm
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Hónapok (1)	Évek (2)					50 éves átlag (3)
	1995	1996	1997	1998	1999	
Január	12	4	0	54	15	29
Február	53	15	8	0	44	29
Március	33	3	13	28	17	31
Április	38	11	8	104	87	42
Május	37	63	53	79	77	47
Június	89	41	60	37	192	71
Július	30	15	50	63	129	54
Augusztus	7	25	8	61	60	60
Szeptember	87	160	4	114	19	47
Október	7	0	37	73	53	40
November	22	28	28	48	96	52
December	68	42	50	22	42	40
Éves összes (4)	483	407	319	682	830	536

Látható, hogy a lucerna vetéséig 1996. április közepéig 1996-ban szárazság uralkodott, az év egészében 407 mm eső hullott. Az éves csapadékhozamokat tekintve legszegényebb év az 1997 volt, míg csapadékban bővelkedett az 1999. Megemlíthető, hogy a vizsgált vályogtalaj 1 m rétegének szabadföldi vízkapacitása (VKsz) 300 mm körüli. A holtvíztartalom (HV) 140 mm, a hasznosítható vagy diszponibilis vízkészlet (DV) pedig 160 mm mennyiségre tehető. Ez az induló vízkészlet részben rendelkezésére állhatott a lucernának, amennyiben az elővetemény betakarítása és a lucerna vetése között eltelt közel 9 hónap alatt lehullott 234 mm csapadék döntően a fedetlen talajba szivárgott és a párolgástól is eltekintünk.

A vetés 1996. április 17-én történt Szarvasi 1 fajtával 1-2 cm mélyen gabona sortávra, 1200 db m⁻² csíraszámval és 24 kg·ha⁻¹ vetőmagnormával. Az állomány bonitálásokat és a kaszálásokat zöldbimbós állapotban végeztük. Kaszálásenként és parcellánként 15-20 helyről gyűjtött növényi átlagminta anyaga szolgált analitikai célokra. Az értékelt nettó parcella méret 7 x 1,5 = 10,5 m² volt a gépi kaszálásnak megfelelően. A kísérletben alkalmazott agrotechnikai műveletekről és módszertani beavatkozásokról, illetve megfigyelésekről a 3. táblázat tájékoztat.

3. táblázat

Agrotechnikai műveletek és megfigyelések a N x Cu lucerna tartamkísérletben 1996-1999 között (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Műveletek megnevezése (1)	Időpont (2)	Egyéb megjegyzés (3)
1. Őszi műtrágyázás (NPK)	1995.10.20.	Parcellánként kézzel
2. Egyirányú szántás	1995.11.14.	MTZ-80+Lajta eke
3. Tavaszi N-műtrágyázás	1996.04.10.	Parcellánként kézzel
4. Vetőágykészítés	1996.04.11.	MTZ-80+kombinátor
5. Vetés (Szarvasi 1)	1996.04.17.	MTZ-80+Lajta vetőgép
6. Magtakarás	1996.04.17.	T4K-14+sima henger
7. Állomány sorol vontatottan	1996.05.06.	Egész kísérletben egységesen
8. Gazoló kaszálás	1996.07.31.	T4K+fűkasza
9. Bonítás zöldbimbós korban	1996.09.30.	Parcellánként 1-5 skálán
10. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1996.09.30.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
1. Műtrágyázás (NPK)	1997.04.02.	Parcellánként kézzel
2. Bonítás zöldbimbós korban	1997.05.20.	Parcellánként 1-5 skálán
3. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1997.05.20.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
4. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1997.06.30.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
5. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1997.08.05.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
6. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1997.09.15.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
1. Műtrágyázás (NPK)	1998.03.12.	Parcellánként kézzel
2. Bonítás zöldbimbós korban	1998.05.15.	Parcellánként 1-5 skálán
3. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1998.05.15.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
4. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1998.06.22.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
5. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1998.07.22.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
6. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1998.09.02.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
1. Műtrágyázás (NPK)	1999.03.26.	Parcellánként kézzel
2. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1999.05.17.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
3. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1999.06.29.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
4. Kaszálás (T4K+fűkasza)	1999.07.29.	Parcellánként 7 x 1,5 = 10,5 m ²
5. Tartlőhántás	1999.08.17.	MTZ-80+tárca
6. Repce vetése	1999.09.14.	

Megjegyzés: Vetés 1-2 cm mélyre, gabona sortávra 1200 db/m² csíraszámával és 24 kg·ha⁻¹ vetőmagnormával

Kísérleti eredmények

Ezen a humuszos vályog csernozjom termőhelyen a N, Cu és Mo kezelések hatása a lucerna hozamaiban nem volt igazolható, ezért a szénaterméseket kaszálásonként és évenként közöljük 1996-1999 között a 4. táblázatban. Az első évben 1996. július végén egy gyomirtó kaszálásra került sor, a termést nem értékeltük. A szeptember végén végzett 2. kaszáláskori sarjú 1,5 t·ha⁻¹ légszáraz tömeget adott.

4. táblázat

Átlagos szénatermés kaszálásonként és évenként 1996-1999 között, t·ha⁻¹
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Mezőföld, Nagyhörcsök)

Évek (1)	1.kaszálás (2)	2.kaszálás (3)	3.kaszálás (4)	4.kaszálás (5)	Együtt (6)
1996	gyomirtó (7)	1,4	-	-	1,4
1997	4,4	4,0	2,0	0,6	11,0
1998	4,0	2,8	1,8	0,8	9,4
1999	4,8	3,0	2,6	-	10,4
Együtt (6)	13,2	11,2	6,4	1,4	32,2

Megjegyzés: A N, Cu, Mo kezelések a termés tömegét nem befolyásolták. A zöldbimbós állapotban betakarított lucerna átlagosan 20-25% légszáranyaggal rendelkezik

Az adatokat elemezve megállapítható, hogy a maximális hozamok az 1. kaszálásokhoz köthetők, majd az előregedő lucerna termése csökken. Valójában a szeptemberi 4. kaszálás gazdaságossága 1997-ben és 1998-ban megkérdőjelezhető. Maximális teljesítményt a lucerna a 2. évben nyújtotta 11 t·ha⁻¹ légszár széna tömeggel. A 4 év alatt összesen 32,2 t·ha⁻¹ széna képződött. Az adatokból az is látható, hogy az éves csapadékösszeg és a terméstömeg között nem volt összefüggés, hiszen a 2. éves maximális teljesítmény a csapadékban legszegényebb évhez kötődik.

5. táblázat

N-szintek hatása a lucernaszéna elemtartalmára 1997-ben kaszálásonként
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

(1) N-szint kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	N %				NO ₃ -N, mg·kg ⁻¹			
	05.20.	06.30.	08.05.	09.15.	05.20.	06.30.	08.05.	09.15.
0	3,29	2,82	3,01	3,19	0,56	0,87	0,46	0,14
100	3,63	2,82	3,17	3,24	1,71	0,87	0,51	0,15
200	3,97	3,02	3,26	3,21	2,42	1,65	0,85	0,19
300	3,81	3,14	3,27	3,27	2,64	1,89	1,20	0,25
(2) SzD _{5%}	0,21	0,24	0,17	0,17	0,53	0,23	0,18	0,02
(3) Átlag	3,67	2,95	3,18	3,23	1,83	1,32	0,76	0,18
(1) N-szint kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	K %			Ca %	Mg %			Na mg·kg ⁻¹
	05.20.	06.30.	08.05.	08.05.	06.30.	08.05.	09.15.	05.20.
0	3,26	2,46	2,41	1,94	0,28	0,30	0,61	188
100	3,09	2,32	2,27	2,02	0,29	0,34	0,76	286
200	3,17	2,36	2,22	2,21	0,31	0,36	0,72	452
300	2,96	2,29	2,11	2,26	0,31	0,34	0,73	548
(2) SzD _{5%}	0,16	0,11	0,16	0,18	0,03	0,03	0,05	144
(3) Átlag	3,12	2,36	2,25	2,11	0,30	0,34	0,70	368

A N-kínálattal általában igazolhatóan emelkedett 1997-ben a széna összes N-készlete, ezen belül kifejezetten a NO₃-N mennyisége. A nitrát forma tartaléktápanyagnak minősül, hűen tükrözi a túlkínálatot 2-4-szeres akkumulációt mutatva. A K %-a visszaesett, míg az antagonista Ca, Mg, Na elemek beépülése megnőtt. Különösen a mobilis Na kationé. A N és a NO₃-N változása mind a négy kaszálás idején kimutatható, míg a K és a Mg változása három-három, a Ca és Na koncentrációjának módosulása csupán 1-1 kaszálás idején. A Ca az előregedő szövetekben mérsékelten növekszik augusztusban, míg a Na a fiatal hajtásban többszöröződik a N-kínálattal az 5. táblázat adatai szerint.

6. táblázat

N-szintek hatása a lucerna széna elemtartalmára 1998-ban és 1999-ben kaszálásonként (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

(1) N-szint kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	N %		K %	Ca %	Mg %	NO ₃ -N mg·kg ⁻¹		
	05.15.	06.22.	06.22.	06.22.	06.22.	05.15.	06.22.	07.22.
1998-ban (2)								
0	3,78	3,57	2,23	2,27	0,34	0,76	0,68	0,59
100	3,91	3,57	2,04	2,28	0,38	1,22	0,73	0,58
200	4,12	3,80	2,11	2,36	0,38	2,14	1,25	0,87
300	4,62	3,79	2,00	2,51	0,37	2,64	1,58	1,28
(3) SzD _{5%}	0,28	0,14	0,18	0,10	0,02	0,15	0,30	0,13
(4) Átlag	4,11	3,68	2,09	2,35	0,37	1,69	1,06	0,83
(1) N-szint kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	N%			K%			NO ₃ -N kg·ha ⁻¹	
	05.17.	06.29.	07.29.	05.17.	06.29.	07.29.	05.17.	07.29.
1999-ben (5)								
0	3,47	3,15	3,49	2,40	2,27	2,69	0,65	0,81
100	3,72	3,37	3,64	2,25	2,22	2,64	0,94	0,79
200	4,05	3,30	3,90	2,22	2,13	2,56	1,33	0,93
300	4,15	3,62	3,82	2,21	2,03	2,42	1,58	1,00
(3) SzD _{5%}	0,27	0,20	0,19	0,09	0,13	0,14	0,32	0,14
(4) Átlag	3,85	3,36	3,71	2,27	2,16	2,58	1,13	0,88

Hasonlóképpen jelentkezik a N-trágyázás hatása 1998-ban: nőtt a N és a NO₃-N, illetve ezzel együtt a Ca és Mg, illetve mérséklődött a K beépülése. A N és a NO₃-N akkumulációja és a K-felvétel gátlása 1999-ben is több kaszálás idején megfigyelhető (6. táblázat).

7. táblázat

Légszáraz lucerna széna átlagos makroelemtartalma kaszálásonként és évenként, %
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Vizsgált elemek (1)	1997-ben (2)			
	05.20-án	06.30-án	08.05-én	09.15-én
Ca	1,83	1,84	2,11	2,77
K	3,12	2,36	2,25	1,29
P	0,33	0,30	0,28	0,22
S	0,36	0,38	0,38	0,45
Mg	0,22	0,30	0,34	0,70
Vizsgált elemek (1)	1998-ban (3)			
	05.15-én	06.22-én	07.22-én	09.02-án
Ca	2,07	2,35	2,27	2,49
K	2,69	2,09	2,53	1,65
P	0,37	0,31	0,31	0,31
Mg	0,29	0,37	0,34	0,61
Vizsgált elemek (1)	1999-ben (4)			1996-ban (5)
	05.17-én	06.29-én	07.29-én	09.30-án
Ca	2,00	1,63	1,98	3,18
K	2,27	2,16	2,58	2,41
P	0,35	0,29	0,34	0,42
Mg	0,23	0,25	0,30	0,49

Tanulságos megvizsgálni hogyan változik a lucerna széna néhány makroelemének tartalma a kaszálások és évek, illetve az előregedés függvényében. A 7. táblázat eredményei szerint a Ca és Mg koncentrációja nő a korrallal és a kaszálások idejével. A Ca és Mg az „előregedés” eleme. A K ezzel szemben közismerten fiatalít, élettanilag aktív, nedvdús fiatal szövetekben halmozódik fel. A P-tartalom változása nem egyértelmű, hol csökkent, hol nőtt az előregedő növényben. A S esetében nem volt elég adatunk ahhoz, hogy megbízható következtetéseket vonjunk le.

A kísérlet indulásakor, 1988 tavaszán CuSO_4 formában beszántott sóból a lucerna a 9-12. év után is képes volt a rezet felvenni és a hajtás, illetve a széna Cu-tartalmát $2-4 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékkel, átlagosan 30-50%-kal növelni. Megemlítjük, hogy a Cu felvételét 1997-ben, az 1. és a 2. kaszálások idején igazolhatóan serkentette a N-trágyázás is átlagosan $1 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ értékkel.

A Mo hasonló karbonátos talajban megtartja mobilitását és molibdenát formában marad a talajban. A Mo-nel nem szennyezett talajon a lucerna széna $2-5 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ közötti koncentrációkat mutatott és az előregedéssel a Mo-tartalom mérséklődött a szénában. Az 1992-ben adott $48 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Mo-trágyázás nyomán a széna Mo készlete általában egy nagyságrenddel megemelkedett. A koncentráció csökkenése a korrallal itt is megfigyelhető (8. táblázat).

8. táblázat

Mo-szintek hatása a légszáraz lucerna széna Mo-tartalmára kaszálásonként és évenként, $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Vizsgált évek (1)	Kaszálások száma (2)			
	Első (3)	Második (4)	Harmadik (5)	Negyedik (6)
Mo = 0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$				
1997	3,2	3,7	1,8	1,9
1998	4,8	1,8	2,0	3,2
1999	2,9	3,0	3,6	-
Átlag	3,6	2,8	2,5	2,5
Mo = 48 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 1992-ben (8)				
1997	69	39	30	22
1998	29	26	26	24
1999	36	18	24	-
Átlag (7)	45	28	27	23

9. táblázat

Mo-szintek hatása a lucerna széna egyéb elemtartalmára 1997-ben és 1998-ban (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

(1) Mo-szint $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 1992^{-1}$	K^3	Ca^3	Mg_1	$\text{NO}_3\text{-N}^3$	Cu^3	Cu^4
	%		$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$		$\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$	
1997-ben (2)						
0	2,32	1,99	2,15	0,86	7,91	6,39
48	2,19	2,22	2,30	0,65	7,26	6,04
SzD _{5%} (3)	0,09	0,15	0,11	0,07	0,50	0,20
Átlag (4)	2,25	2,11	2,23	0,76	7,58	6,21
(1) Mo-szint $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot 1992^{-1}$	N^1	N^3	Ca^3	N^1	N^3	$\text{NO}_3\text{-N}^3$
	%			$\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$		
1998-ban (5)						
0	3,94	3,50	2,21	3,67	3,51	0,95
48	4,27	3,61	2,33	4,02	3,91	0,81
SzD _{5%} (3)	0,22	0,11	0,08	0,18	0,16	0,06
Átlag (4)	4,11	3,56	2,27	3,85	3,71	0,88

Megjegyzés: Az elemek indexe az adott kaszálás idejére mutat. Pl: K^3 = K %-a a 3. kaszáláskor

A széna takarmányozásra alkalmatlanná vált a Mo-kezelés eredményeképpen. A nemzetközi szakirodalom a $10 \text{ mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ feletti Mo-tartalmat már az egészségügyi határértéket meghaladónak, károsnak minősíti a takarmányban, mely tartós fogyasztás esetén molibdenózist, hasmenéssel járó mérgezést okozhat az állatban.

Egyidejűleg Cu hiányát indukálva, amennyiben a 10 körüli optimális Cu/Mo arány drasztikusan módosul (CHANEY 1982, SAUERBECK 1985, KLOKE et al. 1988).

A Mo-kezelés egyéb elemek beépülését is módosította. Mérséklődött a K, Cu és a NO₃-N, valamint nőtt a Ca és a Mg a szénában 1997-ben. Az összes N igazolhatóan dúsult 1998 és 1999-ben. Kimutatható volt még a Ca emelkedése és a NO₃-N csökkenése 1997-hez hasonlóan. A N-Mo elemek közötti szinergizmus ismert. A N-kötő talajbani mikroorganizmusok specifikus katalizátora a Mo. A talaj N-kínálata tehát nőhet a Mo-trágyázással. A növények NO₃-redukciójához szintén Mo szükséges. A Mo-trágyázással a NO₃-N mérséklődhet, míg a fehérjeképződés javulhat, melyet az összes N-tartalom emelkedése is jelezhet (9. táblázat).

10. táblázat

A lucerna széna minimum-maximum és átlagos elemtartalma, illetve összes és fajlagos elemfelvétele 1996-1999 között (Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Elem jele (1)	Mértékegység (2)	Min/max. tartalom (3)	Átlagos tartalom (4)	Mértékegység (2)	Összes felvétel (5)	Fajlagos 1 t szénára (6)
N	%	2,82-4,62	3,72	kg·ha ⁻¹	1190	37
K	%	1,65-3,26	2,46	kg·ha ⁻¹	787	25
Ca	%	1,63-3,18	2,40	kg·ha ⁻¹	768	24
Mg	%	0,22-0,73	0,48	kg·ha ⁻¹	154	5
S	%	0,36-0,45	0,40	kg·ha ⁻¹	128	4
P	%	0,22-0,42	0,32	kg·ha ⁻¹	102	3
Na	mg·kg ⁻¹	188-548	368	g·ha ⁻¹	11776	368
Fe	mg·kg ⁻¹	80-433	256	g·ha ⁻¹	8192	256
Al	mg·kg ⁻¹	34-316	175	g·ha ⁻¹	5600	175
Sr	mg·kg ⁻¹	92-152	122	g·ha ⁻¹	3904	122
Mn	mg·kg ⁻¹	40-108	74	g·ha ⁻¹	2368	74
B	mg·kg ⁻¹	42-89	66	g·ha ⁻¹	2112	66
Zn	mg·kg ⁻¹	9-17	13	g·ha ⁻¹	416	13
Ba	mg·kg ⁻¹	6-12	9	g·ha ⁻¹	288	9
Cu	mg·kg ⁻¹	6-12	8	g·ha ⁻¹	256	8
Mo	mg·kg ⁻¹	2-5	3	g·ha ⁻¹	96	3
Mo*	mg·kg ⁻¹	18-69	35	g·ha ⁻¹	1131	35

Megjegyzés: 32 t·ha⁻¹ összes szénahozammal és átlagos tartalommal számolva. A Ni 0,4-0,6 mg·kg⁻¹ között változott, az As, Cd, Co, Cr, Hg, Pb, Se általában 0,1-0,5 mg·kg⁻¹ kimutatási határ alatt maradt. Mo* szennyezett talajon

A lucerna széna extrém és becsült átlagos elemtartalmáról és a 4 év alatt a 32 t·ha⁻¹ összes szénahozamba épült elemek mennyiségéről a 10. táblázat informál. Látható, hogy a minimum és a maximum koncentrációk széles határok között

ingadozhatnak a kezelések, kaszálások és az évek függvényében. A hiperakkumulációt jelző Mo esetében a Mo-kezelések bemutatásától eltekintettünk. A 12 kaszálással becsléseink szerint 1190 kg N, 787 kg K (944 kg K_2O), 768 kg Ca (1075 kg CaO), 154 kg Mg (257 kg MgO), 128 kg S, 102 kg P (234 kg P_2O_5), kereken 12 kg Na, 8 kg Fe, 5-6 kg Al, 4 kg Sr, 2 kg Mn és B távozatott hektáronként.

Az 1 t széna képződéséhez szükséges úgynevezett fajlagos elemigény kísérletünkben az alábbiak adódott: 37 kg N, 25 kg K (28 kg K_2O), 24 kg Ca (34 kg CaO), 5 kg Mg (8 kg MgO), 3 kg P (7 kg P_2O_5). Adataink felhasználhatók a lucerna elemigényének számításakor a szaktanácsadásban. Hasonló talajon a N pótlásától eltekinthetünk, hiszen kísérletünkben N-hatásokat nem kaptunk. Lucerna N-igényét a légköri N-kötés fedezheti. A hazai szaktanácsadás számára ANTAL (2005) az alábbi fajlagosokat közli: 27 kg N, 15 kg K_2O , 35 kg CaO, 7 kg P_2O_5 , 3 kg MgO. Összevetve megállapítható, hogy a szaktanácsadásnak ajánlott fajlagosok közül a N, K, Mg jelentősen eltér, kisebb értéket képvisel az ajánlás. Kísérleti körülményeink között a N-bősséggel túlzott elemakkumuláció járt együtt.

Összefoglalás

Mészlepedékes csernozjom vályogtalajon beállított szabadföldi kísérletben vizsgáltuk a $Nx3Cu$ elemek közötti kölcsönhatásokat 1996-1999-ben lucernával. Termőhely talaja a szántott rétegben 3% humuszt, 5% körüli $CaCO_3$ -ot és 20% körüli agyagot tartalmazott. Talajelemzések alapján a terület jó Ca, Mg, K, Mn, kielégítő Cu, valamint gyenge-közepes P és Zn ellátottságú volt. A talajvíz 13-15 m mélyen található, a terület aszályérzékeny. A kísérletet $4N \times 3Cu = 12$ kezelés \times 3 ismétlés = 36 parcellával állítottuk be osztott parcellás (split-plot) elrendezéssel. A N 0, 100, 200, 300 $kg \cdot ha^{-1}$, a Cu 0, 50, 100 $kg \cdot ha^{-1}$ adagokat jelentett Ca-ammóniumnitrát, illetve $CuSO_4$ formájában. A kísérlet 5. évében a 15 m hosszú parcellákat megfeleztük és 1 m-es úttal elválasztottuk. A kísérlet sávos split-plot elrendezésűvé vált $4Nx3Cu2Mo = 24$ kezelés \times 3 ismétlés = 72 parcellával. A 48 $kg \cdot ha^{-1}$ Mo-t $(NH_4)_6Mo_7O_{24} \cdot 4H_2O$ formában alkalmaztuk. Főbb eredmények:

- Ezen a humuszos vályog csernozjom talajon az alkalmazott N, Cu, Mo kezelések hatása nem jelentkezett. A vizsgált 4 év (1996-1999) alatt összesen 32 $t \cdot ha^{-1}$ széna képződött. Maximális hozamok (4-5 $t \cdot ha^{-1}$) az 1. kaszálásokhoz kötődtek. Éveket tekintve a 2. lucernaév teljesítménye volt a legnagyobb 11 $t \cdot ha^{-1}$ hozammal.

- A N-kínálattal nőtt a N, NO_3-N , Ca, Mg, Na és esetenként a Cu, valamint mérséklődött a K beépülése a szénába. A $CuSO_4$ 10-12 éves utóhatása nyomán a széna eredeti Cu-tartalma 30-50%-kal, 2-4 $mg \cdot kg^{-1}$ koncentrációval javult.

- A 48 $kg \cdot ha^{-1}$ egyszeri Mo-adag 5-8 év után is egy nagyságrenddel emelte a széna Mo-készletét, 18-69 $mg \cdot kg^{-1}$ tartományba. Korral, kaszálásokkal a Mo-tartalom csökkent. Ennek ellenére a széna takarmányozásra alkalmatlanná vált. A Mo-trágyázás az egyéb elemek beépülését is módosította: igazolhatóan növelte a N, Ca, Mg, illetve mérsékelte a K, NO_3-N , Cu felvételét.

- A N-kötő talajbani mikroorganizmusok specifikus katalizátoraként a Mo növelheti a talaj N-kínálatát és így a növényi N-tartalmat. A növények NO₃-redukciójához is Mo szükséges, így a NO₃-N csökken, beépülve a fehérjékbe a Mo hatásra. Kísérletünkben érvényesült a N-Mo, N-Cu szinergizmus, illetve Mo-NO₃ antagonizmus.

- Az évek, kaszálások és a kezelések nyomán a minimum-maximum elemtartalmak széles sávban változtak a szénában. A 12 kaszálással hektárra számolva a 4 év alatt összesen 1190 kg N, 787 kg K, 768 kg Ca, 154 kg Mg, 128 kg S, 102 kg P, 12 kg Na, 8 kg Fe, 5 kg Al, 4 kg Sr, 2 kg Mn és B felvétel történt. A beépült Zn 416, Ba 288, Cu 256, Mo 96 g·ha⁻¹ mennyiségnek adódott. A Mo-nal kezelt talajon a Mo felvétele 1131 g·ha⁻¹-t tett ki.

- Az 1 t széna képződéséhez szükséges úgynevezett fajlagos elemtartalom 37 kg N, 25 kg K, 24 kg Ca, 5 kg Mg, 3 kg P (7 kg P₂O₅) mennyiséget tett ki. Kísérleti viszonyaink között a túlzott N-bősséggel emelkedettebb fajlagos tartalom járt együtt. Lucerna N-igényét e talajon a légköri N-kötés fedezheti.

Kulcsszavak: Nitrogén Réz és Molibdén kölcsönhatások, tartamkísérlet, lucerna, mészlepedékes csernozjom talaj

Irodalom

- ANTAL J. 2005. Növénytermesztéstan 1-2. Mezőgazda Kiadó. Budapest
- BARANYAI F. FEKETE A. & KOVÁCS I. 1987. A magyarországi talaj tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BERGMANN, W. 1992. Nutritional Disorders of Plants. Gustav Fischer Verlag. Jena-Stuttgart- New York.
- BOWEN, H.J.M. 1979. Environmental chemistry of the elements. Academic Press. New York.
- BUZÁS I., FEKETE A. BUZÁS INÉ, CSENGERI PNÉ & KOVÁCS ANÉ: 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest.
- CHANEY, R.L. 1982. 9. Fate of toxic substances in sludge applies to cropland. In: Proc. Int. Symp. "Land Application of Sewage Sludge". 259-324. Tokyo, Japan.
- EGNÉR, H., RIEHM, H. - DOMINGO, W.R. 1960. Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. K-Lantbr. Högsk. Ann. **26**:199-215.
- GYÖRI D. 1984. A talaj termékenysége. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- ISO 11261. 1995. Soil Quality Determination of total nitrogen. Modified Kjeldahl method. I.V.
- KÁDÁR I. 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM-MTA TAKI. Budapest.

- KÁDÁR I. 2013. A gyepek műtrágyázásáról. MTA TAKI. Akaprint. Budapest. 357 p.
- KÁDÁR I. – CSATHÓ P. 2017. A főbb makro- és mikroelemek közötti kölcsönhatások kísérletes vizsgálata. MTA TAKI. Budapest. 292 p.
- KÁDÁR I. – SHALABY, M.H. 1985. N és Cu trágyázás hatása a talaj és a növény tápelemtartalmára. Növénytermelés. **34**(2): 119-126.
- KJELDAHL, J. 1891. Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Zeitschr. f. analyt. Chemie. **22**:366-382.
- KLOKE ET AL. 1988. Das Drei-Bereiche-System für die Beurteilung von Böden mit Schadstoffbelastung. VDLUFA Schriftenreihe 28/2. Kongressband 1117-1127. VDLUFA-Verlag. Darmstadt.
- LAKANEN, E. & ERVIÖ, R. 1971. A comparison of eight extractants for the determination of plant available microelements in soils. Acta Agr. Fenn. **123**:223-232.
- MÉM NAK. (1978): A TVG tápanyagvizsgáló laboratórium módszerfüzete. MÉM Növényvédelmi és AGROKÉMIAI KÖZPONT. BUDAPEST.
- SAUERBECK, D. 1985. Funktionen, Güte und Belastbarkeit des Bodens aus agrisch-chemischer Sicht. Materialien zur Umweltforschung. Kohlhammer Verlag. Stuttgart.
- SILLANPÄÄ M.: 1982. Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. FAO Soils Bulletin N. 48. Rome
- TÖLGYESI GY. 1965. A keszthelyi lápon termelt szálatakarmányok réz és molibdén tartalmának takarmányozási vonatkozásai. Magyar Állatorvosok Lapja. **20**: 502-506.
- TYURIN, I.V. 1937. Organicseszkoe vesesesztvo pocsvü. Szel'hozgiz. Moszkva.
- VOISIN, A. 1965. Fertilizer application. Soil, plant, animal. Crosby Lockwood. London.

Interactions between nitrogen, copper and molybdenum in alfalfa (*Medicago sativa* L.)

I. KÁDÁR

Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry, Centre for Agricultural Research,
Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

Interactions between the elements N, Cu and Mo were studied on alfalfa in 1996-1999 in a field experiment set up on chernozem loam soil with lime deposits. The ploughed layer of the soil contained 3% humus, around 5% CaCO₃ and around 20% clay. Soil analysis showed that the area was well supplied with Ca, Mg, K and Mn had satisfactory Cu content, but was only poorly or moderately supplied with P

and Zn. The groundwater depth was 13–15 m and the area was prone to drought. The experiment was originally set up in a split-plot design with $4N \times 3Cu = 12$ treatments in three replications, giving a total of 36 plots. The N rates, applied as calcium ammonium nitrate, were 0, 100, 200 and 300 kg·ha⁻¹ and the Cu rates, in the form of CuSO₄, were 0, 50 and 100 kg·ha⁻¹. In the 5th year of the experiment the 15 m long plots were halved and the two half-plots were separated by a 1 m path. The experiment thus became a strip-split-plot design, consisting of $4N \times 3Cu \times 2Mo = 24$ treatments in three replications, giving a total of 72 plots. The 48 kg·ha⁻¹ Mo was applied in the form of (NH₄)₆Mo₇O₂₄·4H₂O. The main results were as follows:

- In this chernozem loam soil the N, Cu, Mo treatments did not affect the yield of alfalfa. During the four years studied (1996–1999), a total of 32 t·ha⁻¹ of hay was harvested, with maximum yields (4–5 t·ha⁻¹) at the first mowing. Considering the years, the 2nd year of alfalfa was the most successful with a yield of 11 t·ha⁻¹.

- With increasing rates of N, the incorporation of N, NO₃-N, Ca, Mg, Na, and sometimes Cu increased, while that of K decreased in the hay. Due to the 10–12-year residual effect of CuSO₄ the original Cu content of the hay improved by 30–50%, i.e. 2–4 mg·kg⁻¹.

- A single dose of 48 kg·ha⁻¹ Mo raised the hay Mo content by an order of magnitude to 18–69 mg·kg⁻¹ even after 5–8 years. The Mo content decreased with age and the number of mowings. Nevertheless, the hay became unsuitable for use as animal feed. Mo fertilization also influenced the incorporation of other elements, demonstrably increasing the uptake of N, Ca and Mg and moderating that of K, NO₃-N and Cu.

- As a specific catalyst for the N-binding microorganisms in the soil, Mo is able to increase the soil N supply and thus the N content of the plants. Mo is also necessary for NO₃ reduction, so the quantity of NO₃-N is reduced through incorporation into proteins in response to Mo. In the present experiment, N-Mo and N-Cu synergism and Mo-NO₃ antagonism were manifested.

- Due to the influence of the different years, mowings and treatments, the minimum and maximum element contents of the hay varied over a wide range. In 12 mowings over the course of four years a total of 1190 kg N, 787 kg K, 768 kg Ca, 154 kg Mg, 128 kg S, 102 kg P, 12 kg Na, 8 kg Fe, 5 kg Al, 4 kg Sr and 2 kg each of Mn and B was taken up per hectare, together with 416 g Zn, 288 g Ba, 256 g Cu and 96 g Mo per ha. The uptake of Mo was 1131 g·ha⁻¹ on Mo-treated soil.

- The specific nutrient content of 1 t hay was 37 kg N, 25 kg K, 24 kg Ca, 5 kg Mg and 3 kg P (7 kg P₂O₅). N abundance was associated with elevated specific nutrient content under the given experimental conditions. On this soil atmospheric N fixation was able to cover the N requirements of alfalfa.

Key words: N×Cu×Mo interactions, long-term experiment, alfalfa, calcareous chernozem soil

Tables and figures

- Table 1.* Crop sequence in the long-term N × Cu experiment between 1988 and 2003 (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) Year. (2) Crop species. (3) Cultivar/hybrid. (4) Spring barley. (5) Winter wheat. (6) Winter barley. (7) Maize. (8) Triticale. (9) Potato. (10) Oats. (11) Rye. (12) Alfalfa. (13) Rape. (14) Poppy. (15) Sunflower.
- Table 2.* Monthly and annual precipitation sums between 1995 and 1999, mm (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) Month. (2) Year. (3) 50-year mean. (4) Annual total.
- Table 3.* Agronomic operations and observations in the long-term N × Cu experiment between 1996 and 1999 (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) Agronomic operations. (2) Date. (3) Other remarks.
- Table 4.* Mean hay yield per mowing and year between 1996 and 1999, t ha⁻¹ (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) Year. (2) 1st mowing. (3) 2nd mowing. (4) 3rd mowing. (5) 4th mowing. (6) Total. (7) Herbicide. *Note:* The N, Cu and Mo treatments did not influence the yield quantity. Alfalfa harvested in the green bud stage had a mean air-dry matter content of 20–25%.
- Table 5.* Effect of N levels on the element content of alfalfa hay in each mowing in 1997 (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) N level. (2) LSD_{5%}. (3) Mean.
- Table 6.* Effect of N levels on the element content of alfalfa hay in each mowing in 1998 and 1999 (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) N level. (2) In 1998. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. (5) In 1999.
- Table 7.* Mean macroelement content of air-dry alfalfa per mowing and year, % (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) Element. (2) In 1997. (3) In 1998. (4) In 1999. (5) In 1996.
- Table 8.* Effect of Mo levels on the Mo content of air-dry alfalfa per mowing and year, mg kg⁻¹ (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) Year. (2) Mowing. (3) First. (4) Second. (5) Third. (6) Fourth. (7) Mean. (8) In 1992.
- Table 9.* Effect of Mo levels on the contents of other elements in 1997 and 1998 (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) Mo level applied in 1992. (2) In 1997. (3) LSD_{5%}. (4) Mean. (5) In 1998. *Note:* Numbers in superscript indicate the number of the mowing. e.g. K³ = K% in the third mowing.
- Table 10.* Minimum, maximum and mean element contents in alfalfa hay and the total and specific element uptake between 1996 and 1999 (calcareous chernozem loam soil, Nagyhorcsök). (1) Element. (2) Unit. (3) Min/max content. (4) Mean content. (5) Total uptake. (6) Specific uptake for 1 t hay. *Note:* Calculated for 32 t ha⁻¹ total hay yield and average content. The Ni content ranged from 0.4–0.6 mg kg⁻¹, while that of As, Cd, Co, Cr, Hg, Pb and Se was generally below the 0.1–0.5 mg kg⁻¹ detection limit. Mo* on polluted soil.