

Nitrogén, réz és molibdén kölcsönhatása a zabra (*Avena sativa* L.)

KÁDÁR Imre

MTA ATK Talajtani és Agrokémiiai Intézet, Budapest

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A zab főként a hűvösebb, csapadékos éghajlatú északi országok gabonanövénye. Őshazája Elő-Ázsia. A bronzkortól termesztett és ismert. Értékes stratégiai termény volt évszázadokon át a hadsereg, a lovasság számára. Ahol a nyári aszály kifejezett, ott az árpa helyettesíti. Nem hatol annyira északra, mint az árpa, mert a tenyészideje hosszú. Ukrajnában a leszosztyepp-övezet növénye. A Bajkálon túl Szibériában már csak a tavaszi zab vethető a zordabb klíma miatt, az ősziék visszaszorulnak. Hazánkban a Dunántúlon és az Északi-középhegység csapadékosabb tájain terem. Az 1800-as évek közepéig mintegy 250 ezer hektáron termesztették, majd a gépi vonóerő elterjedésével, illetve a lótarás visszaszorulásával területe 1/10-ére csökkent (CSERHÁTI 1901, GRÁBNER 1948).

Esős években, amikor az árpa és a búza sínylődik, a zab a rozssal együtt buján fejlődik. Száraz tavaszon viszont alacsony és ritka marad. A nyári aszály után pedig sok a léha zab. A tavaszi árpával együtt a legkorábban február 25 – március 15. között vethető és a legkésőbb júliusban aratható. Jó gyomelnyomó képességgel rendelkezik. Szalmája kedvelt takarmány és silózási adalék a marha és a juh számára a tavaszi árpa szalmájához hasonlóan. A júliusi késői érés ellenére a szalma még általában zöld. Ezért volt ajánlott korábban a kétmenetes aratás, amikor a lekaszált állomány 1-2 napig a tarlón száradt (ANTAL 2000, JAKUSKIN 1947, RADICS 2003).

Erőteljes gyökérzete hasznosítja a nyers talajok (gyeptörés, erdőirtás), kötöttebb termőhelyek tápelem és vízkészletét. Ideális számára a humuszban, nitrogénben, tápanyagban gazdag vályogtalaj. A többi gabonához viszonyítva főként N-igényével tűnik ki. Homokos és tözegetes talajon K-igényessé válik. A N-igényére utal, hogy a hagyományos szakirodalom szerint a legjobb termés az istállótrágyázott kapás után várható. Hasonlóképpen kedvező, ha a zab pillangós takarmány vagy hüvelyes után következik (LÁNG 1976, MITROFANOV és MITROFANOVA 1970, KATALÜMOV 1960).

A szalma tömege általában 1,5-2,0-szerese a mag tömegének. A pelyvával együtt nemcsak értékes szálastakarmány, hanem a papír és keményítő gyártásának alapanyaga is. Zölden önmagában vagy bükkönnyel vetve jelentős keményítőértékével és emészthető fehérjetartalmával tűnik ki. A magtermés sokoldalúan hasznosítható. Azon túl, hogy a lovak, valamint a növedék és tejelő állatok kiváló koncentrált abraktakarmánya, humán táplálkozásra és élelmiszeripari feldolgozásra is alkalmas. Gazdag keményítőben, fehérjében, zsírban, E-vitaminban. A zabpelyhely, zabliszt könnyen emészthető erőtápszer/csecsemőtápszer,

melynek jelentős Ca és P készlete a csontképzést is segíti. Magjából néhol sört is erjesztettek. A mag 13-14% fehérjét, 7-8% nyerszsírt és 60-70% N-mentes kivonható anyagot tartalmazhat (PRIMOST 1965, MENGEL 1976, PRJANISNYIKOV 1931, SCHMIDT 1961).

Agrotechnikája gyakorlatilag a tavaszi árpáéval egyező. A kora márciusi vetés 4-5 cm mélyre történik 55-60 db szem/fm, gabonaszor-távra 4-5 millió csíra/ha, illetve 130-150 kg·ha⁻¹ vetőmagnormával. A hektolitersúly 40-60 kg, az ezermagtömeg 20-40 g körüli. A korábbi hazai irodalom 1-2 t·ha⁻¹ szemtermésekről tudósít általában (CSERHÁTI 1901, GRÁBNER 1948, MURAKÖZI 1958). ANTAL (2000) ÉS JOLÁNKAI (2005) az újabb termesztési körülmények között a 2-6 t·ha⁻¹ termésszinteket feltételez a termőhelyek függvényében. Megemlíthető, hogy kiugró termésekről ad számot JAKUSKIN (1947) a korábbi Szovjetunió területén, aki szerint Novoszibirszk körzetében a „Trudovnyik” kolhoz 7 t·ha⁻¹ feletti szemterméseket ért el.

A hazai növénytermesztési szakirodalom a zab fajlagos, 1 t szem + a hozzátartozó melléktermés elemigényét 28-12-29-6-2=N-P₂O₅-K₂O-CaO-MgO kg-ban jelöli meg átlagosan. Saját kísérletünkben, mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon, a műtrágyázás függvényében mért fajlagos elemtartalom jól egyezett az ANTAL (2000) ÉS JOLÁNKAI (2005) által ajánlottakkal és az alábbi értékek között ingadozott: N-23-33 kg, P₂O₅ 9-16 kg K₂O 24-36 kg, CaO 5-10 kg, MgO 3-5 kg (KÁDÁR és LÁSZTITY 1997B). Az emelkedett Ca és Mg fajlagos mutató esetünkben a meszes termőhelyre vezethető vissza. A viszonylag kedvező csapadékos évben a szem 4-6 t·ha⁻¹, szalma 4-7 t·ha⁻¹, az összes földfeletti biomassza 8-13 t·ha⁻¹ között változott az NPK adagok nyomán (KÁDÁR ÉS LÁSZTITY 1997A).

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 % CaCO₃-ot és 3 % humuszt tartalmazott a szántott rétegben. A pH(KCl) = 7,3; az AL-P₂O₅ 128 mg·kg⁻¹, AL-K₂O 243 mg·kg⁻¹, KCl-Mg 150-180 mg·kg⁻¹, az EDTA-Mn 127 mg·kg⁻¹, az EDTA-Cu 2-3 mg·kg⁻¹, EDTA-Zn 1-2 mg·kg⁻¹ értékekkel jellemezhetők. A KCl-oldható NH₄-N 9, NO₃-N 12 mg·kg⁻¹ a feltalajban. A BUZÁS et al. (Szerk.: 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 °C, éves átlagos csapadékösszege 576 mm.

A kísérlet osztott parcellás (split-plot) elrendezésű 4N×3Cu=12 kezeléssel és 3 ismétléssel, összesen 36 parcellával. A parcellák mérete 4,9 x 15 = 73,5 m² volt. Az

alaptrágyázás évente $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ és $100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ K}_2\text{O}$ adagot jelentett szuperfoszfát és kálisó formájában. A N-t 25%-os pétisó ($\text{Ca}\cdot\text{NH}_4\text{NO}_3$), 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 $\times 3$ ismétléssel = 72 parcellával. A felezett parcellákra $48 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ Mo}$ -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:

<u>1. tényező</u> (főparcellák):	<u>2. tényező (alparcellák):</u>	<u>3. tényező</u> (al-alparcellák):
$\text{N}_0 = 0 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1} \text{ N}$ $\text{N}_1 = 100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1} \text{ N}$ $\text{N}_2 = 200 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1} \text{ N}$ $\text{N}_3 = 300 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{év}^{-1} \text{ N}$	$\text{Cu}_0 =$ kontroll $\text{Cu}_1 = 50 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ Cu}$ 1988-ban $\text{Cu}_2 = 100 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1} \text{ Cu}$ 1988-ban	$\text{Mo}_0 =$ kontroll $\text{Mo}_1 = 48 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ 1992-ben

A tartamkísérletben termesztett növények

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 volt a termesztett növény. Jelen cikk az 1994-ben termesztett zab eredményeit mutatja be. A növényi sorrendet a 16 év folyamán az 1. táblázat tünteti fel.

1. táblázat

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

Kísérlet éve	Növényfaj (forgó)	Fajta (hibrid)	Kísérlet éve	Növényfaj (forgó)	Fajta (hibrid)
1988	tavaszi árpa	Opal	1996	lucerna	Szarvasi-1
1989	őszi búza	MV-15	1997	lucerna	Szarvasi-1
1990	őszi árpa	MV-35	1998	lucerna	Szarvasi-1
1991	kukorica	Pi 3732	1999	lucerna	Szarvasi-1
1992	tritikále	Presto	2000	repce	Wester
1993	burgonya	Desirée	2001	mák	Kék Duna
1994	zab	Leanda	2002	napraforgó	IHNK hibrid
1995	rozs	Kisvárdai-1	2003	tavaszi árpa	Orbit

Mintavétel és laboratóriumi vizsgálatok

A parcellák nettó területéről bokrosodás végén és aratás előtt 4-4 fm, azaz 0,5m² területről földfeletti növénymintákat vettünk a kémiai analízis, a tömegmérés, az aratáskori szem/szalma, illetve szem/pelyva arányának megállapítása céljából. A növényi anyagokat 40-50°C-on szárítottuk, majd finomra őröltük. A minták laboratóriumi előkészítése a kísérleti telepen történt. Mintavételek előtt a növényállományt fejlettségre bonitáltuk 1-5 skálán. Aratás a parcellák nettó területéről, 7 x 2,1 = 14,7 m² kombájnolt csíkokból nyert termést jelentette. Az 1000-szem súlyát 4 x 500 db mag mérésével állapítottuk meg szintén parcellánként. 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 MSZ 20135(1999), illetve a módosított KJELDAHL (1891) eljárással.

Talajelemzés: A KCl + EDTA oldható Cu-tartalmat, valamint az 1 mol/L 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 ammoniumlaktát+ecetsav oldható elemeket EGNÉR et al. (1960), az összes N-t az ISO 11261 (1995), illetve a módosított KJELDAHL (1891) által ismertetettek alapján határoztuk meg.

A zab vetésére március 3-án került sor. Az állományt bonitáltuk fejlettségre bokrosodás idején május 9-én, majd a fellépő vetésfehérítő bogár kártételére május 30-án. Aratás előtt július 21-én parcellánként 4-4 fm, azaz 0,5m² területről mintakévévettünk a terméselemek vizsgálatára, illetve a laborelemzés céljaira. A kísérletben alkalmazott agrotechnikai műveletekről és módszertani beavatkozásokról, illetve megfigyelésekről az 2. táblázat nyújt áttekintést.

Csapadékellátottság: Az elővetemény burgonya a talajt kiszárította. A burgonya szeptember eleji betakarítása és a zab március elejei vetése között eltelt 6 hónap alatt azonban összesen 367 mm csapadék hullott, mely a talaj vízkészletét pótolhatta. A zab tenyészideje alatt márciusban 13, áprilisban 50, májusban 35, júniusban 17, júliusban 22, azaz a 4,5 hónap alatt (140 nap) mindösszesen 137 mm eső esett 1994-ben.

2. táblázat
Agrotechnikai műveletek és megfigyelések a zab kísérletben 1994-ben
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Műveletek megnevezése	Időpontja	Egyéb megjegyzések
1. Őszi műtrágyázás (N, P, K)	1993.11.08.	Parcellánként kézzel
2. Egyirányú szántás	1993.11.08.	MTZ-50+Lajta eke
3. Talaj elmunkálása	1994.03.01.	MTZ-50+fogas
4. Tavaszi N-műtrágyázás	1993.03.04.	Parcellánként kézzel
5. Vetőágykészítés	1994.03.04.	MTZ-80+kombinátor
6. Vetés gabonastávolságra	1994.03.04.	MTZ-50+Lajta 32 vetőgép
7. Vetés hengerezése	1994.03.05.	MTZ-50+gyűrűshenger
8. Vetés egyenletesen sorol	1994.03.24.	Az egész kísérletben
9. Bonitálás fejlettségre	1994.05.09.	Parcellánként 1-5 skálán
10. Mintavétel bokrosodásban	1994.05.09.	Parcellánként 4-4 fm = 0,5m ²
11. Permetezés vetésfehérítő ellen	1994.05.25.	MTZ-50+NOVOR (DIMELRON)
12. Bonitálás vetésfehérítőre	1994.05.30.	Parcellánként 1-5 skálán
13. Permetezés vetésfehérítő ellen	1994.05.30.	MTZ+50+MONOR (DIMELRON)
14. Szabadföldi kísérleti bemutató	1994.06.07.	Országos szakmai részvétel
15. Bonitálás aratás előtt	1994.07.20.	Parcellánként 1-5 skálán
16. Mintakéve vétele aratáskor	1994.07.21.	Parcellánként 4-4 fm = 0,5 m ²
17. Kombájnolás	1994.07.21.	Parcellánként 7 x 2,1 = 14,7 m ²
18. Mintakévek cséplése	1994.08.18.	Parcellánként feldolgozás

Megjegyzés: Bakonyalja fajta elvetve 4-6 cm mélyre 50-60 db/fm, illetve 150 kg·ha⁻¹ vetőmagnormával

Kísérleti eredmények

A kísérlet első évében 1988-ban tavaszi árpát termesztettünk lucerna elővetemény után. A N-trágyázás 20-25%-os szemterméscsökkenést eredményezett az aszályos évben. A Cu-trágyázás hatástalan maradt. A második évben közepes csapadékkellátottság mellett kielégítő 6 t·ha⁻¹ körüli őszi búzaszem és szalma tömeget mértünk. A N és Cu trágyahatások elmaradtak. A harmadik évben termett őszi árpa szemtömegét a 100 kg·ha⁻¹/év N-adag közel 40%-kal növelte, míg a N-túltrágyázás már igazolható, mérsékelt depressziót eredményezett. Csapadékban szegénynek minősült az 1991-es negyedik kísérleti év is. A kukoricában a trágyahatások elmaradtak. A tritikále 1992-ben a 100 kg·ha⁻¹/év N-trágyázást meghálálta. Az e feletti N-adagok és a Cu-trágya a terméseket nem befolyásolta. Az aszályos 1993-ban a burgonya terméscsökkenéssel reagált a N-kezelésekre. A Cu és Mo kezelések csak a termés elemösszetételére voltak hatással (KÁDÁR és CSATHÓ 2013, KÁDÁR 2016).

A zab tenyészideje alatt kifejezett volt a csapadékhiány. A talaj tárolt vízkészlete a tenyészidő első felében azonban kielégítette a növény igényét. Bonitálási adataink, illetve a hajtás tömegének mérése szerint bokrosodás végén a kontroll parcellák zöld termését több mint kétszeresére növelte a bőséges N-

adagolás. Depresszió nem jelentkezett. A légszáraz hozam kevésbé látványosan emelkedett, mert a N-bősséggel nagyobb víztartalom járt együtt, illetve a növényi szövetek szárazanyag tartalma drasztikusan csökkent. A fellépő vetésfehérítő kártétele becsléseink szerint a N-bősséggel megáldott növényeken többszöröződött. A szalma tömege aratás idején részben az aszály, részben a vetésfehérítő kártétele miatt mérsékelt maradt és a bokrosodáskori N-hatások is jórészt elenyésztek. Eredményeinket a 3. táblázat foglalja össze.

3. táblázat

N-szintek hatása a zabra 1994-ben
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

N-szintek kg·ha ⁻¹ ·év ¹	¹ Bonitálás 05.09-én	² Bonitálás 05.30-án	³ Hajtás* 05.09-én	Lész.anyag 05.09-én	Aratáskor 07.21-én, t·ha ⁻¹		
					Szalma	Pelyva	Együtt
0	1,0	1,3	6,9	18,8	3,23	0,67	3,90
100	3,1	2,9	11,1	15,2	3,74	0,69	4,43
200	4,7	4,6	1,7	14,4	3,79	0,60	4,39
300	4,9	4,6	12,0	14,0	3,78	0,55	4,33
SzD _{5%}	0,2	0,8	9	0,5	0,33	0,15	0,40
Átlag	3,4	3,4	10,4	15,6	3,64	0,63	4,27

¹Bonitálás 05.09-én (1= gyengén, 5= jól fejlett állomány); ²Bonitálás 05.30-án (1= 10% alatti, 5= 40-50%-os kártétel), ³Hajtás (légszáraz tömeg g/0,5m²)

A generatív fejlődési fázisban egyértelművé válik a N-okozta depresszió. Mérséklődik a területegységre eső kalászok száma, szemek száma, az ezerszem és a hektáronkénti szemtermés tömege. Ezzel együtt a szalma/szem, illetve a melléktermés/szemtermés aránya 1-ről a 2-re tágul. Megemlítjük, hogy a pelyva tömege átlagosan 0,63 t·ha⁻¹ mennyiséget tett ki, míg az aratáskori átlagos növénymagasság 77-80 cm volt a kezelésektől függetlenül. A Cu és a Mo kezelések a korábbi évekhez hasonlóan a termések tömegét igazolhatóan nem befolyásolták. A N-szintek aratáskori terméselemekre gyakorolt hatását a 4. táblázat adatain tanulmányozhatjuk.

4. táblázat

N-szintek hatása az aratáskori terméselemekre 1994-ben(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld) Megjegyzés: átlagos növénymagasság 77 cm

N-szintek kg·ha ⁻¹ ·év	Kalász db/0,5 m ²	Szem 1000 db/m ²	1000-szem g	Szem termés t·ha ⁻¹	Szalma Szem	Pelyva Szem	Melléktermés Szem
0	225	12,5	30,1	3,75	0,86	0,18	1,04
100	175	12,2	27,0	3,28	1,14	0,21	1,35
200	149	9,3	27,2	2,53	1,51	0,24	1,75
300	140	7,8	27,4	2,14	1,77	0,26	2,03
SzD _{5%}	20	1,2	1,2	0,24	0,41	0,05	0,62
Átlag	172	10,4	27,9	2,92	1,32	0,22	1,54

A N-trágyázás egyéb elemek felvételét serkentő befolyása látványosan jelentkezik. Bokrosodáskor igazolhatóan nő a N, K, Ca, P, S, Mg, Na elemek koncentrációja a hajtásban. Legkifejezettebben a Na-é, mely megkétszereződik. Ez alól csak a Ba kivétel, mely feleződik a N-bősséggel. Az aratás idején a szalmában mintegy a 3-szorosára emelkedik a Ni, kétszeresére a N és a P, de erőteljesen nő a S és Mg tartalom is. A szalma Na-készlete ugyanakkor esetenként nagyságrenddel megugrik a bokrosodás idején mérthez képest, de a N-bősséggel drasztikusan visszaesik, közel a felére. A mag genetikailag védett, összetétele kevésbé módosul. A szalmához viszonyítva dúsul N, P, Ni elemekben, illetve elszegényedik K, Ca, Na, Ba elemekben. A mag átlagos S és Mg készlete kiegyenlítettnek tűnik a vegetatív és a generatív szervekben (5. táblázat).

5. táblázat

N-szintek hatása a zab elemtartalmára 1994-ben
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

N-szint kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	%						mg·kg ⁻¹	
	N	K	Ca	P	S	Mg	Na	Ni
Bokrosodáskori hajtás 05.09-én								
0	4,28	3,89	0,68	0,40	0,32	0,14	111	2,8
100	5,28	4,40	0,73	0,40	0,36	0,15	131	2,1
200	5,30	4,71	0,71	0,43	0,43	0,18	205	2,3
300	5,67	4,90	0,71	0,45	0,45	0,19	224	2,8
SzD _{5%}	0,34	0,33	0,04	0,02	0,03	0,03	48	0,8
Átlag	5,10	4,48	0,70	0,42	0,39	0,16	168	2,2
Szalma aratáskor 07.21-én								
0	0,39	1,59	0,43	0,07	0,13	0,13	1898	0,3
100	0,60	1,72	0,46	0,08	0,15	0,14	1383	0,5
200	0,76	1,82	0,53	0,12	0,20	0,17	1179	0,8
300	0,88	1,90	0,64	0,13	0,22	0,18	1005	1,0
SzD _{5%}	0,88	0,13	0,07	0,02	0,02	0,02	485	0,3
Átlag	0,66	1,76	0,52	0,10	0,17	0,15	1366	0,6
Szem aratáskor 07.21-én								
0	1,90	0,47	0,10	0,40	0,18	0,13	80	2,8
100	2,10	0,48	0,10	0,40	0,19	0,14	75	3,6
200	2,17	0,49	0,11	0,44	0,20	0,15	69	4,6
300	2,25	0,50	0,13	0,46	0,21	0,16	68	5,3
SzD _{5%}	0,14	0,05	0,01	0,03	0,01	0,01	11	0,4
Átlag	2,10	0,49	0,11	0,42	0,19	0,14	73	4,0

A növény tápláltsági állapotát értékelve levéldiagnosztikai szempontból korábban megállapítottuk, hogy a zab kielégítően ellátott NPK elemekkel, amennyiben a bokrosodáskori földfeletti hajtása szárazanyagra számítva 4-5% N és K, 0,4-0,5% P elemet tartalmaz. Az optimális N/P és K/P aránya tehát 10 körüli (KÁDÁR és LÁSZTITY 1997B). BERGMANN (1992) az alábbi tágabb optimumokat közli a zab bokrosodáskori összetételére: N 3-5%, K 4-6%, P 0,3-0,6%; Ca 0,5-1,0%; Mg 0,2-0,3%; Mn 40-100, Zn 25-70, B és Cu 6-12, Mo 0,15-0,40 mg·kg⁻¹. Az 5. táblázat adataiból megállapítható, hogy az állomány a N, P, K, Ca, valamint a S és Mg elemekkel egyaránt kielégítően ellátott volt.

6. táblázat

N-szintek hatása a zab B, Ba és Al tartalmára 1994-ben, mg·kg⁻¹
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

N-szintek kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹	Hajtás 05.09-én			Szalma 07.21-én		Szem 07.21-én	
	Al	Ba	B	Al	Ba	Ba	B
0	51	3,1	3,9	44	14	1,8	1,2
100	43	2,2	4,2	58	10	1,4	1,1
200	35	1,9	4,7	60	8	1,3	1,0
300	39	1,3	4,8	66	7	1,1	1,0
SzD _{5%}	9	0,6	0,4	9	2	0,2	0,1
Átlag	42	2,1	4,4	57	10	1,4	1,1

A 6. táblázat eredményei alapján arra következtethetünk, hogy a N-bőséggel az Al és Ba koncentrációja hígult a nagyobb tömegű hajtásban, míg a B-felvétel javult. Az aratáskori szalmában nőtt az Al tartalom a Ba-tartalom egyidejű csökkenése mellett. Annak ellenére, hogy a zab szemtermése aratáskor drasztikusan visszaesett, a Ba és B elem tartalma mérséklődött a trágyázatlan kontrollhoz képest.

A Cu beépülését mind a N, mind a Cu kínálata serkenti. Bokrosodáskor a pozitív kölcsönhatások eredményeként a kontrollon mért 4 mg·kg⁻¹ közel a 3-szorosára ugrik. Érdekes megemlíteni, hogy a N-trágyázás kifejezettebben növeli a Cu akkumulációját, mint a Cu-trágya. A szalma összetételében is a N-hatások dominálnak. A szem esetében a hatások kiegyensúlyozottnak tűnnek: BERGMANN (1992) szerint a Cu-tartalom optimuma a hajtásban 6-12 mg·kg⁻¹ tartományban van, tehát a kiváltott Cu-koncentráció emelkedése előnyös lehet (7. táblázat).

7. táblázat

N x Cu szintek hatása a zab Cu-tartalmára 1994-ben, mg·kg⁻¹
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Cu-szintek kg·ha ⁻¹	N-szintek, N kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹				SzD _{5%}	Átlag
	0	100	200	300		
Hajtás bokrosodásban 05.09-én						
0	4,0	6,9	9,2	8,5		7,2
50	6,3	6,9	11,0	12,7	3,7	9,2
100	6,6	9,9	9,5	13,9		10,0
SzD _{5%}	1,8					1,3
Átlag	5,6	7,9	9,9	11,7	2,0	8,8
Szalma aratáskor 07.21-én						
0	2,2	2,8	3,3	3,8		3,0
50	2,8	3,3	4,2	5,1	1,2	3,8
100	2,7	3,3	4,0	4,6		3,7
SzD _{5%}	0,9					0,6
Átlag	2,6	3,1	3,8	4,5	0,7	3,5
Szem aratáskor 07.21-én						
0	3,8	4,1	3,7	3,9		3,9
50	3,8	4,5	4,8	5,0	0,5	4,5
100	4,4	4,5	4,8	5,2		4,7
SzD _{5%}	0,5					0,3
Átlag	4,0	4,4	4,4	4,7	0,3	4,4

A N némileg növelte a növényi szövetek Mo-készletét szennyezetlen talajon. A két évvel korábbi egyszeri adag 48 kg·ha⁻¹ Mo-adag nyomán az eredeti Mo-tartalom a vegetatív részekben két nagyságrenddel dúsult. De a szemtermésben is megnégyszereződött (8. táblázat). Korábbi, e talajon végzett vizsgálataink igazolták, hogy a Mo a Se elemhehez hasonlóan hiperakkumulációra képes és nagyságrendekkel dúsulhat (KÁDÁR 1995). A Mo-nel trágyázott talajon fejlődött zab takarmányozási célokra és humán fogyasztásra egyaránt alkalmatlanná vált. A vegetatív növényi részek molibdenozist okozhatnak az állatban. Közvetve Cu-hiány is indukálódik, amennyiben a normális 10 körüli, Cu/Mo aránya drasztikusan megváltozik.

8. táblázat
N x Mo szintek hatása a zab Mo-tartalmára 1994-ben, mg·kg⁻¹
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Mo-szintek kg·ha ⁻¹	N-szintek kg·ha ⁻¹ ·év ⁻¹				SzD ₅ %	Átlag
	0	100	200	300		
Hajtás bokrosodásban 05.09-én						
0	2,5	4,4	5,8	5,1		4,5
67	89,2	94,5	95,8	92,3	3,6	92,9
SzD _{5%}	54,4					33,2
Átlag	45,9	49,4	50,8	48,7	2,2	48,7
Szalma aratásban 07.21-én						
0	0,3	0,4	0,5	0,9		0,5
67	27,7	33,4	47,8	41,7	12,4	37,6
SzD _{5%}	24,6					14,0
Átlag	14,0	16,9	24,2	21,3	9,2	19,1
Szem aratásban 07.21-én						
0	2,0	2,3	2,7	3,2		2,5
67	12,1	10,8	12,3	11,4	1,2	11,7
SzD _{5%}	4,2					2,5
Átlag	7,0	6,6	7,5	7,3	0,8	7,1

A 9. táblázat áttekintést ad a légszáraz zab átlagos összetételéről a vizsgált 24 elemre növényi részenként. Látható, hogy a fiatal hajtás a leggazdagabb N, K, Ca, S, Mn, Fe, B, Cu, Pb elemekben. Szalmában a Na, Al, Sr, Ba, míg a szemtermésben a Zn, Mo, Ni, Se, Cr elemek dúsultak. Ami az aratáskori termésrel távozó elemek mennyiségeit illeti megállapítható, hogy a szemtermésbe épült a felvett N, P, Zn, Mo, Ni, Se, Cr nagyobb része, mely kombájn aratáskor távozik a tábláról. Amennyiben a szalmát beszántjuk, a K, Ca, Mg, S, Na, Fe, Mn, Al, Sr, Ba, B, Pb elemek döntően visszakerülnek a talajba. Az 1 t szem + a hozzátartozó melléktermés úgynevezett fajlagos elemigénye 30 kg N és K, 8-10 kg Ca, 5-6 kg P (11-13 kg P₂O₅), 4-5 kg S és 3-4 kg Mg mennyiségnek adódott a kísérlet átlagában. Adataink felhasználhatók a szaktanácsadásban a tervezett termés elemigényének becslésekor.

9. táblázat
A zab átlagos összetétele és elemfelvétele 1994-ben
(Mészlepedékes csernozjom vályogtalaj, Nagyhörcsök, Mezőföld)

Elem jele	Mérték-egység	Hajtás 05.09-én	Szalma 07.21-én	Szem 07.21-én	Mérték-egység	Szalma 07.21-én aratáskor	Szem 07.21-én aratáskor	Együtt 07.21-én aratáskor	Fajlagos
N	%	5,10	0,66	2,10	kg·ha ⁻¹	28,2	61,3	89,5	31
K	%	4,48	1,76	0,49	kg·ha ⁻¹	75,2	14,3	89,5	31
Ca	%	0,70	0,64	0,11	kg·ha ⁻¹	27,3	3,2	30,5	10
P	%	0,42	0,10	0,42	kg·ha ⁻¹	4,3	12,3	16,6	6
S	%	0,39	0,17	0,19	kg·ha ⁻¹	7,3	5,5	12,8	4
Mg	%	0,16	0,15	0,15	kg·ha ⁻¹	6,4	4,4	10,8	4
Mn	mg·kg ⁻¹	189	105	61	g·ha ⁻¹	448	178	626	214
Fe	mg·kg ⁻¹	150	118	92	g·ha ⁻¹	504	269	773	265
Na	mg·kg ⁻¹	168	1366	73	g·ha ⁻¹	5833	213	6046	2070
Al	mg·kg ⁻¹	42	57	9	g·ha ⁻¹	243	26	269	92
Sr	mg·kg ⁻¹	24	24	4	g·ha ⁻¹	102	12	114	39
Ba	mg·kg ⁻¹	2	10	1	g·ha ⁻¹	43	3	46	16
Zn	mg·kg ⁻¹	10	5	19	g·ha ⁻¹	21	55	76	26
B	mg·kg ⁻¹	4,4	3,4	1,1	g·ha ⁻¹	14,5	3,2	17,7	6
Cu	mg·kg ⁻¹	7,2	3,0	4,4	g·ha ⁻¹	12,8	12,8	25,6	9
Mo	mg·kg ⁻¹	4,5	0,5	2,5	g·ha ⁻¹	2,1	7,3	9,4	3
Ni	mg·kg ⁻¹	2,2	0,6	4,0	g·ha ⁻¹	2,6	11,7	14,3	5
Se	mg·kg ⁻¹	0,8	0,5	0,8	g·ha ⁻¹	2,1	2,3	4,4	2
Pb	mg·kg ⁻¹	0,6	0,5	0,2	g·ha ⁻¹	2,1	0,6	2,7	1
Cr	mg·kg ⁻¹	0,2	<0,1	0,4	g·ha ⁻¹	<1,0	1,0	1,0	<1
Cd	mg·kg ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	g·ha ⁻¹	<1,0	<1,0	<1,0	<1
Co	mg·kg ⁻¹	<0,1	<0,1	<0,1	g·ha ⁻¹	<1,0	<1,0	<1,0	<1

Megjegyzés: szalma+pelyva 4,27 t·ha⁻¹, szem 2,92 t·ha⁻¹ tömeggel számolva

Figyelembe kell venni azonban, hogy a N-túltrágyázás és az aszály okozta kicsi termésekben a tápelemek betöményednek. Mindez a fajlagos elemtartalmakat torzítja, növeli. Különösen kiugrónak minősülhetnek a 36 kg K₂O, illetve főként a 11-14 kg CaO és 4-6 kg MgO emelkedett értékei. Utóbbihoz a meszes, Ca és Mg elemekben gazdag termőhely elemkínálata is hozzájárul. Ismert az is, hogy a Ca méregtelenítő, sejtfalat záró funkciót is betölt. Mérgezés esetén a Ca (részben a Mg) extrém módon feldúsulhat a sejtekben és az érintett szövetekben. Ebből adódik, hogy a hazai szaktanácsadásban ajánlott fajlagos CaO és MgO tartalmak kétszeresét mértük kísérletünkben.

Összefoglalás

Mészlepedékes csernozjom vályogtalajon beállított szabadföldi kísérletben vizsgáltuk a N, Cu és Mo elemek közötti kölcsönhatásokat 1994-ben zab növénnyel. 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 $4\text{N} \times 3\text{Cu} = 12$ kezelés $\times 3$ ismétlés = 36 parcellával állítottuk be osztott parcellás (split-plot) elrendezéssel. A N 0, 100, 200, 300 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$, a Cu 0, 50, 100 kg/ha 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 $4\text{N}\times 3\text{Cu}\times 2\text{Mo} = 24$ kezelés $\times 3$ ismétlés = 72 parcellával. A 48 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Mo-t $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}\cdot 4\text{H}_2\text{O}$ formában alkalmaztuk. Főbb eredmények:

- Az aszályos évben mindössze 137 mm eső esett a zab 140 napos tenyészideje alatt. A N-trágyázásra a kontrollon mért 3,8 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ szemtermés 2,1 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ -ra zuhant. A Cu és a Mo kezelések a terméstömeget nem befolyásolták, hasonlóan a korábbi évekhez.

- A N-bőséggel emelkedett a N, Ca, K, P, S, Mg, Ni koncentrációja a bokrosodáskori hajtásban, aratáskori szalmában és szemben egyaránt, míg a Na és Ba mennyisége visszaesett aratás idején.

- A Cu beépülését mind a Cu, mind a N kínálata serkentette. A fiatal hajtás Cu-tartalma a pozitív $\text{N}\times\text{Cu}$ kölcsönhatás nyomán megháromszorozódott. A N-trágyázás kifejezettebben növelte a Cu-tartalmat, mint a Cu-trágya.

- A két évvel korábban adott 48 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ Mo-adag nyomán a zab vegetatív részeinek Mo-koncentrációja két nagyságrenddel dúsult és a magban is többszörösére nőtt. A termés állati fogyasztásra alkalmatlanná vált.

- Az 1 t szem + a hozzátartozó melléktermés fajlagos elemtartalma 30 kg N, 36 kg K_2O , 11-13 kg P_2O_5 , 11-14 kg CaO, 4-6 kg MgO mennyiségnek adódott. A N túltrágyázás okozta depresszió (kis termések) miatt az elemtartalom megnőtt (betöményedett) a növényi szövetekben. Az extrém nagy CaO és MgO fajlagos értékek létrejöttéhez a meszes, Ca és Mg elemekben gazdag termőhely is hozzájárulhatott.

Kulcsszavak: Nitrogén Réz Molibdén kölcsönhatások, tartamkísérlet, zab, csernozjom talaj

Irodalom

- ANTAL J. 2000. Növénytermesztők zsebkönyve. Falugazdász Könyvek. Mezőgazd. Kiadó. Budapest.
- BARANYAI F., FEKETE A. & KOVÁCS I. 1987. A magyarországi talaj tápanyagvizsgálatok eredményei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- BERGMANN, W. 1992. Nutritional Disorders of Plants. G. Fischer Verlag. Jena, Stuttgart, New York.
- BUZÁS I. et al. (Szerk:1979): Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.
- CSERHÁTI S. 1901. Általános és különleges növénytermelés. II. Magyar-Óvár. Czéh Sándor-féle Könyvnyomda.
- 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.
- GRÁBNER E. 1948. Szántóföldi növénytermesztés. Pátria Rt. Budapest.
- ISO 11261. 1995. Soil Quality Determination of total nitrogen. Modified Kjeldahl method.
- JAKUSKIN, I.V. 1947. Rasztenievodsztvo. Szel'hozgiz. Moszkva.
- JOLÁNKAI M. 2005. 8. Fejezet. Zab. 277-283. In: A növénytermesztés alapjai. Szerk.: ANTAL J. Gabonafélék. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
- KÁDÁR I. 1995. A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM - MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I. 2016. A $NxCuMo$ kezelések hatása a tiritikáléra. Agrokémia és Talajtan. Megjelenés alatt.
- KÁDÁR I. & CSATHÓ P. 2013. A N-Cu kölcsönhatások szabadföldi tavaszi árpa kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 62(2): 345-358.
- KÁDÁR I. & LÁSZTITY B. 1997a. A zab szárazanyagfelhasználásának és tápelemtartalmának változása a tenyésztő folyamán. Növénytermelés. 46(3): 267-274.
- KÁDÁR I. & LÁSZTITY B. 1997b. A zab tápelemlévétele a tenyésztő folyamán. Növénytermelés. 46(5): 529-538.
- KATALÜMOV, M.V. (1960): Szpravocsnik po Mineral'nüm Udobrenijam. Gosz. Izd. Sz/h Literaturü. Moszkva.
- KJELDAHL, J. (1891): Neue Methode zur Bestimmung des Stickstoffs in organischen Körpern. Zeitschr. f. analyt. Chemie. 22:366-382.
- 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.
- LÁNG G. 1976. Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MENGEL K. 1976. A növény táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MÉM NAK. 1978. A TVG tápanyagvizsgáló laboratórium módszerfüzete. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ. Budapest.

- MITROFANOV, A.SZ. & MITROFANOVA, K.SZ. 1970. A zab. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- MURAKÖZI T. (Szerk.: 1958). Mezőgazdasági Lexikon. L-Z. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- PRIMOST, E. 1965. Hafer (*Avena sativa* L.). In: Handbuch der Pflanzenernährung und Düngung. Springer Verlag. Wien.
- PRJANISNYIKOV, D. N. 1931. Csasztnoe Zemledelie. Rasztenija Polevoj Kulturü. Szel'hozgiz. Moszkva- Leningrád.
- SCHMIDT, D. R. 1961. Dry matter and nitrogen content of oat harvested at various stages. *Agron. J.* 53: 8-10.
- Radics L. (Szerk.: 2003). Szántóföldi növénytermesztés. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.
- TYURIN, I.V. 1937. Organicseszkoje vesesesztvo pocsvü. Szel'hozgiz. Moszkva

**Effect of nitrogen, copper and molybdenum treatments on oat
(*Avena sativa* L.)**

I. KÁDÁR

Institute for Soil Sciences and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of
Sciences, Budapest**Summary**

Interactions between the elements N, Cu and Mo were studied in oat in 1994 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 × 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×3Cu×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 the droughty year the rainfall sum was only 137 mm during the 140-day growing season of oat. The grain yield decreased from 3.8 t·ha⁻¹ on the control plot to 2.1 t·ha⁻¹ in response to N fertilization. As in previous years, Cu and Mo fertilization had no effect on the yield.

Plentiful N supplies led to a rise in the concentration of the elements N, Ca, K, P, S, Mg and Ni in the stem at tillering and in the straw and grain at harvest, whereas the Na and Ba contents declined up to harvest.

Cu uptake was enhanced by both Cu and N supplies. Due to the positive N×Cu interaction, the Cu content of the young shoots was tripled. N fertilization caused a much greater increase in Cu content than Cu fertilization.

The Mo concentration was two orders of magnitude higher in the vegetative parts of oat and was also many times greater in the grain in response to the application of 48 kg·ha⁻¹ Mo two years earlier. The yield became unfit for animal consumption.

The specific nutrient content of 1 t grain yield + associated by-products averaged 30 kg N, 36 kg K₂O, 11–13 kg P₂O₅, 11–14 kg CaO and 4–6 kg MgO. Due to the yield depression caused by excessive N fertilization, the elements became highly concentrated in the plant tissues. The calcareous habitat, rich in Ca

and Mg, could also have contributed to the extremely high specific values of CaO and MgO.

Table 1. Crop sequence in the N × Cu long-term experiment between 1988 and 2002 (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary).

Table 2. Agronomic measures and observations in the oat experiment in 1994 (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary). Note: Cultivar Bakonyalja sown at a depth of 4–6 cm with a seed norm of 50–60 seeds/m or 150 kg ha⁻¹.

Table 3. Effect of N levels on oat in 1994 (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary). ¹Scoring on 9 May (1 = poorly, 5 = well/developed stand); ²scoring on 30 May (1 = below 10%, 5 = 40–50% damage); ³shoot (air-dry mass, g/0.5 m²).

Table 4. Effect of N levels on yield components at harvest in 1994 (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary). Note: mean plant height: 77 cm.

Table 5. Effect of N levels on the element contents of oat in 1994 (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary).

Table 6. Effect of N levels on the B, Ba and Al content of oat in 1994, mg kg⁻¹ (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary).

Table 7. Effect of N and Cu levels on the Cu content of oat in 1994, mg kg⁻¹ (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary).

Table 8. Effect of N and Mo levels on the Mo content of oat in 1994, mg kg⁻¹ (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary).

Table 9. Mean composition and element uptake of oat in 1994 (chernozem loam soil with lime deposits, Nagyhörcsök, Hungary). Note: calculated in terms of 4.27 t ha⁻¹ straw + husks, 2.92 t ha⁻¹ grain.

Keywords: interactions, long-term experiment, oat, calcareous chernozem soil