

DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Giczi Zsolt

MOSONMAGYARÓVÁR

2020

SZÉCHENYI ISTVÁN EGYETEM
MEZŐGAZDASÁG- ÉS ÉLELMISZERTUDOMÁNYI KAR
VÍZ- ÉS KÖRNYEZETTUDOMÁNYI TANSZÉK

WITTMANN ANTAL NÖVÉNY-, ÁLLAT- ÉS ÉLELMISZER- TUDOMÁNYI
MULTIDISZCIPLINÁRIS

DOKTORI ISKOLA

HABERLANDT GOTTLIEB NÖVÉNYTUDOMÁNYI DOKTORI PROGRAM

DOKTORI ISKOLA VEZETŐ:
PROF. DR. ÖRDÖG VINCE DSC
EGYETEMI TANÁR

PROGRAMVEZETŐ:
PROF. DR. ÖRDÖG VINCE DSC
EGYETEMI TANÁR

TÉMAVEZETŐ:
PROF. DR. SZAKÁL PÁL CSC EGYETEMI TANÁR
DR. HABIL. KALOCSAI RENÁTÓ EGYETEMI DOCENS

Levéltrágyaként alkalmazott réz-komplex vegyület hatása őszi búza
(*Triticum aestivum* L.) hozamára és beltartalmi mutatóira

KÉSZÍTETTE:
GICZI ZSOLT

MOSONMAGYARÓVÁR

2020

Levéltrágyaként alkalmazott réz-komplex vegyület hatása őszi búza (*Triticum aestivum* L.) hozamára és beltartalmi mutatóira

Írta:

Giczi Zsolt

Készült a Széchenyi István Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar
Wittmann Antal Növény-, Állat- és Élelmiszer- tudományi Multidiszciplináris
Doktori Iskola

Haberlandt Gottlieb Növénytudományi Doktori Programja keretében

Témavezető: Prof. Dr. Szakál Pál CSc egyetemi tanár
Dr. habil. Kalocsai Renátó egyetemi docens

Elfogadásra javaslom (igen / nem)

(aláírás)

A jelölt a doktori szigorlaton..... %-ot ért el,

Mosonmagyaróvár,

.....
a Szigorlati Bizottság Elnöke

Az értekezést bírálóként elfogadásra javaslom (igen/nem)

Első bíráló (Dr.) igen/nem

(aláírás)

Második bíráló (Dr.) igen/nem

(aláírás)

Esetleg harmadik bíráló (Dr.) igen/nem

(aláírás)

A jelölt az értekezés nyilvános vitáján %-ot ért el.

Mosonmagyaróvár,

A Bírálóbizottság elnöke

Doktori (PhD) oklevél minősítése.....

Az EDT elnöke

TARTALOMJEGYZÉK

KIVONAT	6
ABSTRACT	8
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK	10
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS	14
2.1. A réz	14
2.2. A réz előfordulása	16
2.3. Réz a talajban	17
2.4. Réz a növényekben	24
2.5. A réz biológiai szerepe	28
2.6. Réz-utánpótlás	31
2.7. A búza betegségei	36
2.7.1. Fuzáriumos megbetegedések	37
2.7.2. Helmintospóriumos megbetegedések	38
2.7.3. Növényvédelem	41
2.8. A növényvédelemben engedélyezett réz-tartalmú szerek	41
2.9. Az őszi búza	43
2.10. A búza minősége	44
3. ANYAG ÉS MÓDSZER	48
3.1. Szántóföldi kisparcellás kísérletek	49
3.1.1. Termőhely talajának jellemzése	49
3.1.2. Termőhely klimatikus jellemzése	53
3.1.3. Termesztett fajták, agrotechnológia	57
3.1.4. Alkalmazott kezelések	58
3.1.5. Betakarítás	61
3.1.6. Terményvizsgálat	63
3.1.7. Terményminősítés	64
3.1.8. Adatok értékeléséhez használt statisztikai módszerek	65

3.2.	Fungicid hatás vizsgálata agardiffúziós lyukteszt módszerrel	66
3.2.1.	Kórokozók kiválasztása	67
3.2.2.	Felhasznált tenyészetek	68
3.2.3.	Tenyészetek előkészítése	68
3.2.4.	Agar-diffúziós módszer	70
3.2.5.	Lyukteszt kivitelezése	70
3.2.6.	Felhasznált anyagok	72
3.2.7.	Adatok értékeléséhez használt statisztikai módszerek	74
4.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK.....	74
4.1.	Szántóföldi kisparcellás kísérletek	75
4.1.1.	A 2012. évi kezelések eredményei.....	76
4.1.2.	A 2013. évi kezelések eredményei.....	90
4.1.3.	A 2014. évi kezelések eredményei.....	105
4.1.4.	A 2012-2014. évi kezelések eredményei	120
4.2.	Agardiffúziós vizsgálatok eredményei.....	136
4.2.1.	A réz-oxiklorid kezelések eredményei	136
4.2.2.	A réz-szacharózt tartalmazó kezelések eredményei	141
4.2.3.	Két készítmény összehasonlítása	146
4.2.4.	Agardiffúziós vizsgálatok eredményeinek összefoglalása ..	149
	JAVASLATOK.....	151
	ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	152
	ÖSSZEFOGLALÁS	154
	PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK.....	157
	IRODALOMJEGYZÉK.....	161
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	172

Levéltrágyaként alkalmazott réz-komplex vegyület hatása őszi búza (*Triticum aestivum* L.) hozamára és beltartalmi mutatóira

KIVONAT

Az értekezés tárgya napjaink egyik égető kihívásához, az egyre növekvő emberi népesség megfelelő minőségű élelmiszerral történő ellátásához kapcsolódik. Termőterületeink kiegyensúlyozott, mikroelemekre is megfelelő figyelmet fordító tápanyagutánpótlása elengedhetetlen az egyenletesen kiváló minőségű és mennyiségű élelmiszer előállításához. A mikrotápelemek közül a természetett növényeink, így az őszi búza számra hazánk talajtani adottságait is figyelembe véve a réz az egyik kritikus pont.

A dolgozatban tárgyalt három éves (2012-2014) kísérletsorozat keretében a Komárom-Esztergom megyei Komáromban beállított kispárcellás szántóföldi kísérletek keretében vizsgáltuk a réz kezelések hatását az őszi búzára szűkebb környezetünkben is jellemző gyengén lúgos, közepes mésztartalmú és közepes humuszellátottságú öntéstalajon. A kísérletekhez felhasznált készítmény réz-só, szacharóz, nátrium-hidroxid és karbamid felhasználásával készült.

Az elvégzett és értékelt munka alapján bizonyítást nyert, hogy az alkalmazott réz kezelések már $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ réz dózistól kezdődően az őszi búza hozamát és egyes fontosabb beltartalmi mutatóit is pozitívan befolyásolják. Az alkalmazott kezelések a hozamban 15 %-os, a nyersfehérje tartalomban 10 %-os, a sikértartalomban 15 %-os növekedést eredményeztek. A szintén vizsgált keményítőtartalomban és réztartalomban nem sikerült a kísérletek során szignifikáns különbségeket

kimutatni. A kísérlet körülményei között a maximális hozam eléréséhez szükséges dózisnak a 2,89 kg ha⁻¹ adódott.

A szántóföldi kísérletek során vizsgált készítmény réz hatóanyaga a növény táplálásban betöltött jelentős szerepe mellett régóta ismert növényvédelmi (fungicid) hatással is rendelkezik. A dolgozatban szintén bemutatásra került *in vitro* tesztek során kettő kiválasztott kórokozó (*Fusarium graminearum* Schwabe (1839) és *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964)) esetében vizsgáltuk a szántóföldi kísérletek során alkalmazott dózisok hatékonyságát.

A bemutatott kísérleti eredmények alapján az alkalmazott készítmény az 1 kg ha⁻¹ dózisnak megfelelő koncentrációsinttől kezdve mutatott gátló hatást mindkét kiválasztott kórokozóra. A kimutatott gátló hatás 2 kg ha⁻¹ dózisnak megfelelő koncentrációsinttől volt 95 %-os szinten szignifikáns.

A vizsgálatok során az alkalmazott készítmény összehasonlításra került egy kereskedelmi forgalomban is kapható, réz-oxiklorid hatóanyagot tartalmazó készítménnyel is. A kapott eredmények alapján a készítmény kevésbé hatékony, mint a réz-oxiklorid, de a növény táplálásban kimutatott szerepe mellett a jövőben növényvédelmi hatásait is érdemes figyelembe venni, főleg nagyobb dózisú kezelések esetében.

Effect of copper complex compound as a foliar fertilizer on yield and raw protein content of winter wheat (*Triticum aestivum* L.)

ABSTRACT

The subject of the dissertation is related to one of the most pressing challenges of our time, to provide the growing human population with food of the right quality. Balanced nutrient replenishment of our production areas – with attention to micronutrients as well – is essential to produce the required high quality and quantity of food. Among the micronutrients – considering the soil characteristics – copper is one of the critical points for our cultivated plants, such as winter wheat.

Within the framework of the three-year experimental series (2012-2014) discussed in the dissertation, we investigated the effect of copper treatments on a slightly alkaline alluvial soil with medium lime and humus content – which is typical in our narrower region – on winter wheat in a small-plot field experiment in Komárom-Esztergom County. The foliar fertilizer used for the experiments was prepared using copper salt, sucrose, sodium-hydroxide and urea.

Based on our work done, it was proved that the applied copper treatments have a positive effect on the yield of winter wheat as well as on some of the important quality indicators starting from 0,5 kg ha⁻¹ copper dose. The treatments applied resulted a 15 % increase in yield, a 10 % increase in raw protein content and a 15 % increase in gluten content. No significant differences were found in the starch content and in the copper content. Under the conditions of the experiment, the dose required to reach the maximum yield was 2,89 kg ha⁻¹.

In addition to its important role in plant nutrition, the copper compounds has a long-known fungicidal effect. In the *in vitro* tests also discussed in this dissertation we investigated the efficacy of the foliar fertilizer in the field doses on two selected pathogens (*Fusarium graminearum* Schwabe (1839) and *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964)).

Based on the presented experimental results, the foliar fertilizer inhibited both selected pathogens at a concentration level corresponding to 1 kg ha⁻¹ dose. The inhibition effect was significant at 95 % from the concentration level corresponding to 2 kg ha⁻¹ dose.

The foliar fertilizer was also compared with a commercially available fungicide containing copper-oxychloride. Based on the obtained results, the foliar fertilizer is less effective than copper-oxychloride, but in addition to its positive effect in plant nutrition, its plant protection effects also should be taken into account, especially at higher doses.

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A Föld népessége folyamatosan, a múlt század közepétől pedig robbanásszerűen növekszik. A jelenlegi 7,6 milliárd fős népesség az előrejelzések alapján 2050-ig 9,8 milliárd főre nő (KSH, 2018a). Az egyre gyarapodó népesség – megfelelő mennyiségű és minőségű, valamint biztonságos – élelmiszerrel történő ellátása önmagában is jelentős kihívás. Ebben megkerülhetetlen szerepe van a mezőgazdaságnak és azon belül a szántóföldi növénytermesztésnek.

Az egységnyi termőterületen megtermelt élelmiszer mennyiségét sajnálatos módon csökkenteti a talajok minőségének romlása, beleértve a talajok szerkezetének degradációját és a kémiai összetétel kedvezőtlen változását. A talajok porosodása (a talaj aggregátumok szétesése mechanikai – például művelőeszköz - hatásokra), és ezáltal a talaj háromfázisú polidiszpersz rendszerének eltolódása miatt annak víz-, hő- és levegőgazdálkodása romlik. A fenti folyamatok eredőjeként a talaj mikrobiális tevékenysége gátoltá válik. Ezen folyamat, illetve a talaj kémiai összetételre ható egyéb kedvezőtlen hatások (kilúgozódás, mésztartalom csökkenése a felszíni és felszín közeli rétegekben, a tápanyagarányok kedvezőtlen eltolódása) együttesen rontják talajaink tápanyagszolgáltató képességét, ami negatívan befolyásolja a termesztett növények fejlődését és így hozamát is.

A növénytermesztéssel szemben támasztott mennyiségi követelmények/elvárások mellett a 21. században a mezőgazdaságnak további, legalább hasonlóan fontos kihívásoknak is meg kell felelnie.

Rendkívül fontos – és a vásárlók tudatosságának növekedésével egyre fontosabb – feladat az élelmiszerminőségi és élelmiszerbiztonsági

követelményeknek történő megfelelés is. A piacon a vevői igényeknek – és a szabályozó hatóságok előírásainak – megfelelően egyre inkább csak a kiváló minőségű és biztonságos élelmiszereknek jut hely. Szintén fontos feladat a napjaink környezetvédelmi kihívásainak való megfelelés. A növénytermesztés által okozott környezeti terhelés több területen is problémás. A károsanyag-kibocsátásra vonatkozó egyre szigorúbb határértékek mellett a napjainkban megfigyelhető klímaváltozás – aminek részben a növénytermesztés emissziója is az oka – is visszahat a növénytermesztésre.

A fenti kihívások, annak ellenére, hogy a gazdálkodóktól extra erőforrások bevonását igénylik – sikeres alkalmazkodás esetén – megalapozhatják a hosszú távon is sikeres és fenntartható növénytermesztést – ez mindannyiunk és a jövő nemzedékek közös érdeke. A fenntarthatóság biztosításához azonban figyelembe kell venni, hogy a talaj „feltételesen megújuló (megújítható) természeti erőforrás”. Amennyiben ésszerűen használjuk, úgy nem történik benne irreverzibilis változás, azonban megújulása nem automatikus, tudatos tevékenységet követel a megőrzése (*Várallyay és Csathó, 2005*).

Az intenzív növénytermesztés mellett a növényi tápanyagok természetes módon történő feltáródása már nem elegendő, a kivont tápanyagokat pótolnunk kell – így talajaink termékenységét az okszerű tápanyagellátás határozza meg (*Horváth et al., 2010*). A mezőgazdasági gyakorlatban rendszerint csak a makro tápelemek (elsősorban nitrogén, esetleg foszfor és kálium) visszapótlása történik meg. Az intenzív növénytermesztés tápelem-igénye azonban csak a három legfontosabb tápelem pótlásával nem biztosítható. A mikroelemek, például a réz relatív

hiánya is gátja lehet a terméseredmények növekedésének a kutatások szerint (Szakál és Barkóczy, 1989).

Gazdasági növényeink közül a gabonafélék – köztük az őszi búza – a legfontosabb és legnagyobb területen termesztett növények világviszonylatban és Magyarországon is. A búzát legnagyobb mennyiségben élelmezési célokra használjuk fel, de emellett fontos a szerepe takarmányozásban is, illetve egyéb ipari folyamatok alapanyaga. Gazdasági tekintetben fontos – talajaink tápanyagforgalmát azonban sajnálatos módon hátrányosan érintő – szempont, hogy a búzatermesztés és feldolgozás melléktermékei (itt: minden, a termelés célját és eredményét jelentő termék mellett kiküszöbölhetetlenül megjelenő egyéb biomassza) is fontos alapanyagok. A fő mezőgazdasági hasznosítási irányok a talajerő visszapótlás illetve a takarmányozási célú felhasználás; főbb ipari lehetőségek az energetikai célú alkalmazás (szalmatüzelésű erőművek) illetve a cellulóztartalom felhasználása. Az egyéb – nem tápanyag visszapótlást célzó – felhasználás miatt egyre nagyobb a szántóföldről elhordott biomassza – és ezzel együtt az eltávolított ásványi tápanyagok – mennyisége, ami kedvezőtlenül befolyásolja a talaj tápanyagmérlegét.

Kiemelt fontossága miatt vizsgálataink során az őszi búzát (*Triticum aestivum* L.) választottuk tesztnövénynek. Kísérleteink során azt vizsgáltuk, hogy a búza számára esszenciális tápelemek közül a réz lombtrágyakénti alkalmazása hogyan befolyásolja az őszi búza hozamát és egyes beltartalmi paramétereit. Munkánk során az alábbi célokat tűztük ki:

- Megvizsgálni, hogy a karbamidot tartalmazó réz-szacharóz-típusú oldatok alkalmazhatóak-e a levélfelületen keresztül történő réz tápanyag utánpótlására.
- Megvizsgálni, hogy az előállított réztartalmú készítmény rézhiányos talajon alkalmazva befolyásolja-e az őszi búza hozamát.
- Megvizsgálni, hogy az előállított készítmény hatással van-e az őszi búza egyes beltartalmi mutatóira (nyersfehérje tartalom, sikértartalom, keményítő tartalom és réz tartalom).
- Megvizsgálni, hogy a réztartalmú készítmény alkalmazása esetén megfigyelhető-e a réz növényvédelmi hatása az *in vitro* vizsgálatokhoz kiválasztott *Fusarium graminearum* Schwabe (1839) és a *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964), korábbi nevén *Helminthosporium sativum* Pammel C.M. King & Bakke (1910), *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (1959) törzsekkel szemben.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A réz

A réz (Cu) egy könnyen megmunkálható fém, amely a természetben elemi formában is előfordul. Ennek köszönhetően ez volt az első fém, amit az ember megismert. Első használata – becslések szerint – időszámításunk előtt 5000-re, vagy még korábbra tehető. A Sínai-félszigetről i.e. 3500-ig datálhatók vissza réz olvasztásra utaló leletek: az egyiptomiak bázisos réz-karbonátból (malachit – $\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) olvasztottak rezet. Nem sokkal ezután jelent meg a bronz is, ami a réz és az ón ötvözet. Augustus császár idejéből (i.e. 27 – i.sz. 14) ismert a réz és cink ötvözet, a sárgarézt első ismert előfordulása. Jóval később az elektromossággal kapcsolatos felfedezések adtak új lökést a réz felhasználásának (Massey, 1975).

A réz és a réz ötvözetek rendkívül kedvező tulajdonságainak, mint hajlékonyság, alakíthatóság, szilárdság, korrózióállóság, jó termikus és elektromos vezetőképesség köszönhetően rendkívül sokrétűen felhasználhatók, mindemellett attraktív megjelenéssel is bírnak. Szintén széles körben felhasználhatók a vegyületei, mint katalizátorok homogén és heterogén reakciókban, fa tartósítószerként, pigmentek festékekben és üvegekben, magas hőmérsékletű szupravezetőkben, illetve a mezőgazdaságban fungicidként és mint esszenciális tápelem (Conry, 2005).

A réz a periódusos rendszerben a 29. elem, relatív atomtömege 63,546. Két stabil izotópja van, a ^{63}Cu (69,17 %) és a ^{65}Cu (30,83 %), illetve ismert 9 mesterségesen előállított radioaktív izotópja 59 és 69 tömegszám között

31 másodperc és 2,58 nap közötti felezési idővel. A fém réz olvadáspontja 1083 °C, forráspontja 2573 °C, sűrűsége 8,95 g cm⁻³ (Conry, 2005).

A réz vegyületeiben leggyakrabban +1 vagy +2 oxidációs állapotban található meg. A réz(I) ionok vizes oldatban gyorsan (<1 s) diszproporcionálódnak Cu(0) és Cu(II) formára. Moffett és Zika (1987) szerint a tengervízben fotokémiai reakciók során keletkező Cu(I) vegyületek néhány óráig stabilak lehetnek, ezért csak a nagyon alacsony oldhatóságú vegyületek stabilak vizes közegben (például CuCl). Különböző ligandumokkal képzett komplex vegyületeiben a réz 0 és +4 közötti oxidációs állapotban fordulhat elő, amelyek közül a +2 (kupri) és a +1 (kupro) a leggyakoribbak, a +2 túlsúlyával (megfelelő ligandumok jelenlétében a réz(I) állapot is stabilizálódhat) (Cotton *et al.*, 1980; Conry, 2005).

Mivel a réz(I) ionnak nincs d-d átmenete, ezért komplexei – kivéve ahol a ligandum az M→L vagy az L→M töltéstranszfert lehetővé teszi – színtelenek. A réz(II) ion által képzett komplexek jellemzően kék, vagy zöld színűek egy 600 és 900 nm között található abszorpciós sáv miatt (a kivételt jelentő esetekben megfigyelhető egy intenzív UV töltéstranszfer sáv, amelynek a látható tartomány kék szélére esik a vége) (Cotton *et al.*, 1980).

A réz(I) gyenge Lewis savként komplex vegyületeiben a „soft” ligandumokat (például kén), a réz(II) keményebb savként az oxigén és nitrogén donoratomokkal rendelkező ligandumokat részesíti előnyben. Ez a réz élő szervezetekben betöltött funkcióiban fontos szerepet játszó fehérjékben elsősorban a ciszteint (Cys, Cys⁻) és metionint (Met) jelenti a Cu⁺ számára, illetve a keményebb bázisok, mint tirozin (Tyr, Tyr⁻), treonin

(Thr), hisztidin (His), OH⁻ és H₂O oxigén illetve nitrogén atomjait a Cu²⁺ számára (Messerschmidt, 2010).

2.2. A réz előfordulása

A réz a Naprendszer 25. leggyakoribb eleme (Anders és Ebihara, 1982; Lodders, 2003). Több irodalmi forrást áttekintve a földkéregre és különböző kőzettípusokra vonatkozó értékek az egyes szerzőknél eltérnek. A gyűjtött adatokat az 1. táblázat tartalmazza.

1. táblázat: Réz mennyisége a földkéregben
Table 1.: Amount of copper in Earth's crust

Kőzet fajta	Érték / mg kg ⁻¹	Forrás
Átlagos adat	55	<i>Huheey et al. (1993)</i>
	14-100	<i>Smith és Huyck (1999)</i>
	68	<i>Conry (2005)</i>
	25-90	<i>Taylor és McLennan (2009)</i>
	60	<i>Haynes et al. (2017)</i>
Gránit	10	<i>Linder (1991)</i>
	10	<i>Smith és Huyck (1999)</i>
	4-30	<i>He et al. (2005)</i>
Bazalt	100	<i>Linder (1991)</i>
	100	<i>Smith és Huyck (1999)</i>
	30-160	<i>He et al. (2005)</i>
Mészkö	4	<i>Linder (1991)</i>
	4	<i>He et al. (2005)</i>
Homokkő	30	<i>Linder (1991)</i>
	2	<i>He et al. (2005)</i>
Agyag és agyagpala	45	<i>Linder (1991)</i>
	18-120	<i>He et al. (2005)</i>

Molnár (2008) szerint a réz jelentősebb ásványai az azurit (Cu₃(CO₃)₂(OH)₂), bornite (Cu₅FeS₄), covellin (CuS), digenit (Cu₉S₅), enargit-luzonit (Cu₃AsS₄, Cu₃SbS₄), kalkozin (Cu₂S), kalkopirit (CuFeS₂), kuprit (Cu₂O), malachit (Cu₂CO₃(OH)₂), tennantit (Cu₁₂S(AsS₃)₄), tenorit

(CuO), tetraedrit ($\text{Cu}_{12}\text{S}(\text{SbS}_3)_4$). A világ réztermelése 2011-ben 16,1 millió tonna volt (USGS, 2013). A több mint 150 ismert rézászványból a kalkopirit és a kalkozin adja a bányászott réz legnagyobb részét.

A U.S. Department of Health and Human Services – Agency for Toxic Substances and Disease Registry (ATSDR) toxikológiai célú elemzése szerint a természetes vizekben a réz medián koncentrációja $4\text{-}10 \mu\text{g L}^{-1}$. Ennek túlnyomó része Cu(II) formában található, részben komplex formában, vagy szerves anyaghoz erősen kötötten, és csak egy kis része van könnyen felszabadítható formában. Az elérhető szabad réz mennyiségét a komplexképződés, az adszorpció és a csapadékképződés folyamatai szabályozzák (ATSDR, 2004). Kádár és Csathó (2017) szerint Magyarországon a TIM pontok talajainak talajvizeiben ($n=41$) $0,2\text{-}20 \mu\text{g L}^{-1}$, a Balaton vizében $3\text{-}5 \mu\text{g L}^{-1}$, esővíz mintákban $4\text{-}20 \mu\text{g L}^{-1}$ réztartalmat találtak.

A réz természetes (talajokból szélerezózióval, vulkánkitörésekből) és antropogén (tüzelőberendezések, rézet tartalmazó anyagokat gyártó vagy feldolgozó ipari üzemek, bányászati tevékenység) forrásokból is bekerülhet a levegőbe. Az ATSDR szerint vidéki és városi helyszíneken $5\text{-}200 \text{ ng m}^{-3}$ közötti a levegő réztartalma, Kabata-Pendias (2011) $2,5$ és 200 ng m^{-3} közötti értékeket adott meg Amerikára, Európára és Japánra.

2.3. Réz a talajban

A talajok réztartalma széles határok között változik. A réztartalomra Swaine és Mitchell (1960) szerint a legnagyobb hatást az alapkőzet gyakorolja. Bowen (1985) szerint a talajok átlagos réztartalma $26\text{-}30 \text{ mg kg}^{-1}$, az ATSDR (2004) szerint $5\text{-}70 \text{ mg kg}^{-1}$, Kabata-Pendias (2011)

szerint a mintavétel helyétől függően (Svédország, Japán, Brazília, USA, Európa) 17-109 mg kg⁻¹, magyarországi talajok esetében *Stefanovits et al.* (1999) szerint 1-191 mg kg⁻¹. *Adriano* (1986) szerint a mezőgazdasági talajok jellemző réztartalma 1-50 mg kg⁻¹, ebből a könnyen extrahálható kivonószertől függően jellemzően 0,1-10 mg kg⁻¹. Györi et al. (cit. *Barkóczy*, 2004) szerint a mozgékony rézforma az összes réztartalom 1-2 %-a.

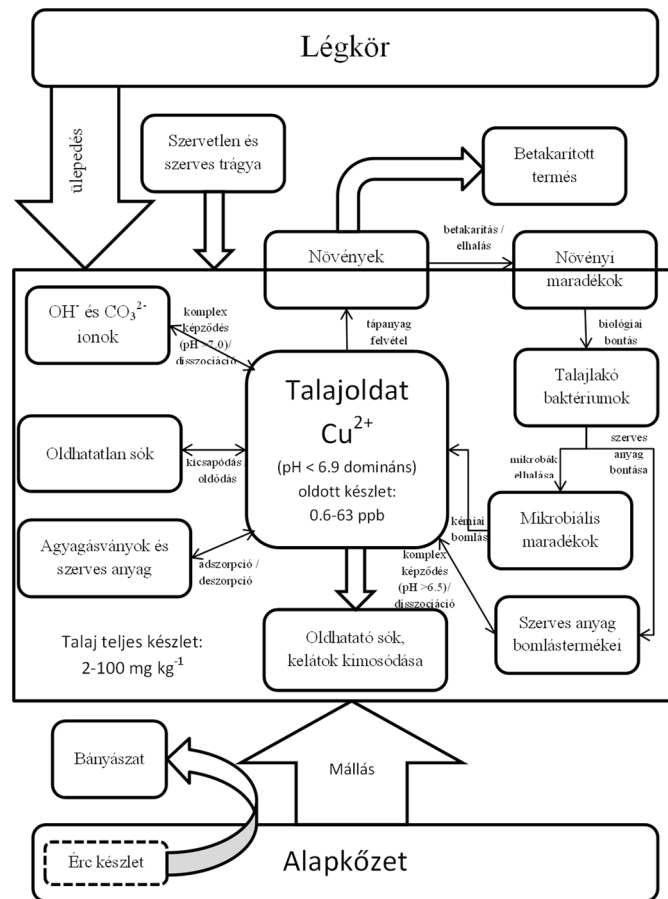
A FAO 30 országra kiterjedő felmérése szerint a világszerte begyűjtött és vizsgált 3538 talajminta alapján az átlagos extrahálható (savas ammónium-acetát – EDTA oldat: 0,5 mol dm⁻³ CH₃COONH₄ + 0,5 mol dm⁻³ CH₃COOH + 0,02 mol dm⁻³ Na₂EDTA) réztartalom 6,0 mg kg⁻¹, a magyarországi mintavételi pontokra kapott átlag érték 5,4 mg kg⁻¹ (n=201). A magyarországi talajokra kapott minimum és maximum értékek 0,6 mg kg⁻¹ illetve 14,6 mg kg⁻¹ (*Sillanpää*, 1982).

Kádár (1992) szerint a FAO felmérésben vizsgált minták esetében a MÉM-NAK laboratóriumai által a szokásos módszerekkel végzett vizsgálatok során kapott átlagos extrahálható réz tartalom 4,0 mg kg⁻¹ (n=133). A vizsgálatok eredményei alapján a felvehető réz tartalom emelkedett a talajok kötöttségével, azonban ezt nem követte a növények által felvett réz mennyisége. Ez alapján véleménye szerint a talajok EDTA oldható réztartalma önmagában nem elegendő a talajok réz ellátottságának megítélésére.

A mezőgazdasági területek talajainak réztartalmára jelentős hatást gyakorolhat az alkalmazott agrotechnológia is. Ez különösen jelentős lehet állókultúrákban, ahol hosszú távon, akár évtizedes időtartamban kerülhetnek réz tartalmú növényvédőszer felhasználatra. Több más szerző mellett például Brazíliában *Farias et al.* (2013), Szerbiában *Ninkov*

et al. (2014) talált jelentős mennyiségű rezet ($490,3 \text{ mg kg}^{-1}$ és $200,1 \text{ mg kg}^{-1}$) szőlő kultúrában. Mindkét szerző rendkívül magas ($320,7 \text{ mg kg}^{-1}$ és $82,1 \text{ mg kg}^{-1}$) EDTA oldható réztartalomról is beszámolt. *Wightwick et al.* (2013) szerint ez károsan befolyásolja a talajok mikrobiális tevékenységét és ezen keresztül termékenységét, azonban *Ruyters et al.* (2013) vizsgálati eredményeik alapján megjegyzik, hogy – feltételezhetően az eltérő biológiai elérhetőség miatt – a szennyezett talajok a frissen adalékolt talajokkal szemben nem feltétlenül gyakorolnak szignifikáns hatást.

Már a 19. században vizsgálta Mohr egyes elemek geokémiai körforgását (*Mohr*, 1866). Az azóta eltelt idő tapasztalatai alapján – tekintettel az emberi tevékenység jelentős formáló hatására – indokoltabb antropogeokémiai körforgásról beszélni, különösen az olyan elemek (mint például a réz, szemben a makro tápelemekkel) esetében, ahol arányaiban nagyobb az emberi tevékenység mobilizáló hatása (*Rauch és Gradel*, 2007). A talaj-növény rendszerben *Fageria* (2013) tárgyalja részletesen a réz körforgását (1. ábra).



1. ábra: A réz körforgása *Fageria* (2013) alapján, kiegészítve (*Giczi et al.*, 2018)

Figure 1.: Cycle of copper based on *Fageria* (2013), amended (*Giczi et al.*, 2018)

A talaj réz készletének legfontosabb forrása az alapkőzet mállása, de emellett számolni kell a légkörből történő ülepedéssel valamint a szerves- illetve szervesen trágyák réztartalmával. A réz mérlegben veszteségként jelenik meg a betakarított terméssel és melléktermékekkel a szántóföldről elvitt mennyiség, illetve az oldható sók és komplex vegyületek kimosódása által okozott veszteség. Azt, hogy a talaj teljes réz készletének

a növények számára mekkora a felvehető része, számos tényező befolyásolja.

A talajokban a szerves vagy szervesetlen adszorpciós felületeken lekötvén található a Cu^{2+} legnagyobb része. Ezen kívül előfordulhat komplex kötésben szerves molekulákkal, szilikátok kristályrácsában, vagy egyes nehezen oldható vegyületek (foszfátok, szulfátok, karbonátok, szulfidok) formájában (Loch és Nosticzius, 2004).

Mengel *et al.* (2001) szerint a kétértékű rézion affinitása nagyobb a talaj szerves anyagához, mint más kétértékű fémionoké ($\text{Cu} > \text{Ni} > \text{Pb} > \text{Co} > \text{Ca} > \text{Zn} > \text{Mn} > \text{Mg}$). A rézionok egyensúlyi koncentrációja a talajoldatban alacsonyabb, mint amit a mérsékelten oldódó réz sók fenntarthatnának, ezért ezek jellemzően nem vesznek részt a réz oldékonyságának korlátozásában, azt a talaj szerves és szerves részecskéihez történő adszorpció szabályozza. Fenti összefüggés miatt a réz a talajban nagyon immobilis, kimosódására csak nagyon extrém körülmények között kell számolni.

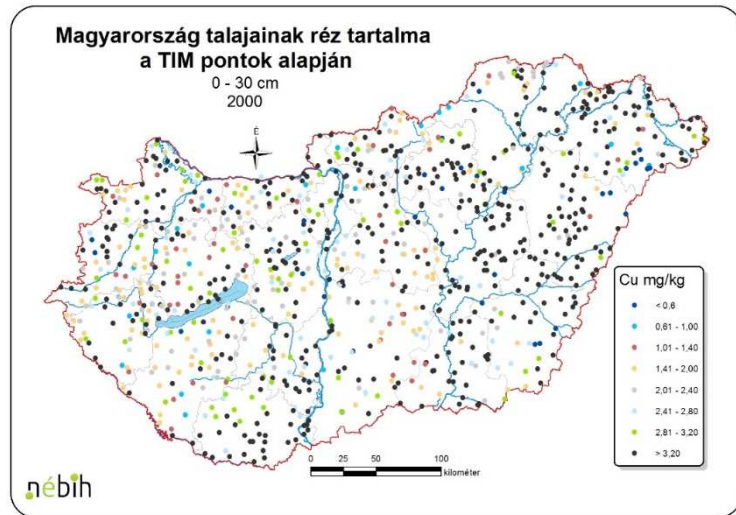
A réz növények általi felvételét legmarkánsabban a talaj pH értéke befolyásolja. Az alkalmazott agrotechnológia minden olyan eleme, amely befolyásolja a talaj pH értékét, befolyásolja a réz felvehetőségét is. Túlmeszezt (vagy természetesen erősen meszes) talajon réz hiánnyal kell számolni, a műtrágyázás savanyító hatása viszont növeli a réz mobilitását. Szintén fokozza a réz felvételét a nitrogéntrágyázás (viszont ilyenkor a növekvő termés miatt esetenként látszólagos antagonizmus jelentkezhet), a bőséges foszfortrágyázás azonban bizonyos talajokon réz hiányt indukálhat (Martens és Westermann, 1991, Kádár, 2008, Benton Jones, 2012, Kádár és Csathó, 2017).

Általában a növények réz tartalma alacsony, a felvett mennyiséget a legtöbb talaj biztosítani tudja. Szélsőséges esetekben, mint alacsony réz tartalmú alapkőzet vagy nagyon erős kilúgozódás esetén, azonban probléma lehet a rézellátottsággal. A rézhiány gyakoribb olyan talajoknál, ahol a talaj a leköttetés miatt nem tud elegendő mennyiségű felvehető rézet biztosítani. Ilyenek a szerves- és tőzeges talajok, az erősen meszes talajok és egyes nagyon magas agyagtartalmú talajok (*Mengel et al.*, 2001). *Flemming* és *Trevors* (1989) megjegyzik, hogy – habár a réz esszenciális mikroelem – nagy mennyiségben toxikussá is válhat. Mivel a réz a környezetben viszonylag nagy mennyiségben van jelen és a felvehetőségét befolyásoló tényezők könnyen és széles határok között változhatnak, ezért a rézhiány mellett a réz toxikussá válásával is számolni kell.

A FAO felmérés (*Sillanpää*, 1982) keretében a világ talajainak réz ellátottságának gyakorisági eloszlását is vizsgálták. A vizsgálati eredmények értékelése alapján a rézellátottság vonatkozásában Magyarország talajainak 99 %-a átlagos, 1 %-a jó minősítést kapott. Világviszonylatban a rézhiány Afrikában és Finnország illetve Új-Zéland egyes területein jelentős, a vizsgálatba bevont többi területen viszonylag ritka. (Fontos megjegyezni, hogy az értékelés során a kritikus rézhiányhoz és toxicitáshoz köthető határértékeket nem vették figyelembe, a szinteket statisztikailag határozták meg.)

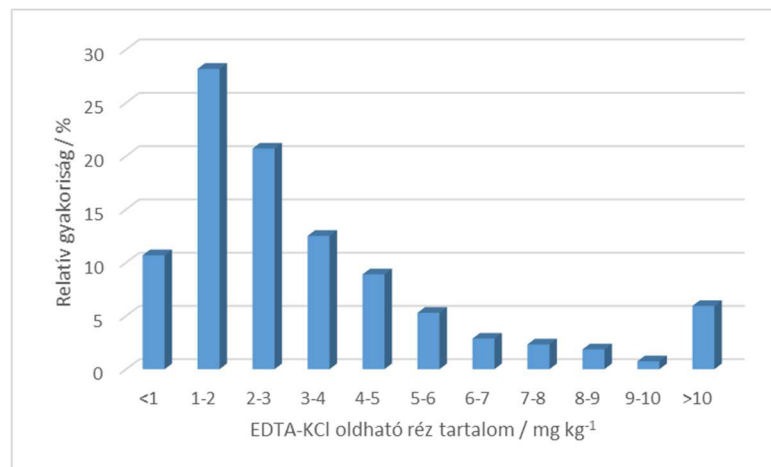
Kádár (2008) szerint Magyarországon a talajok 9 százalékának gyenge a réz ellátottsága, de megyénként jelentősek az eltérések (Békés megyében 23 %, Szabolcs-Szatmárban 17 %, Fejér, Győr-Moson-Sopron és Tolna megyékben 10-13 %). A meszes alapkőzeten kialakult talajokon gyakori a réz hiány, de savanyú talajokon is előfordul.

A Talajvédelmi Információs és Monitoring (TIM) rendszer adatai alapján a rézellátottság szempontjából a hazai talajok nagyobb része (88 %-a) jól ellátott, 12 %-a gyengén ellátott. A mérési pontokat a 2. ábra, a vizsgálati eredmények gyakorisági eloszlását a 3. ábra mutatja.



2. ábra: Talajaink réz-tartalma a TIM pontok alapján (EDTA-KCl) (Forrás: *TIM*, 2019)

Figure 2.: Cu-content of soils at TIM sites (EDTA-KCl) (Source: *TIM*, 2019)



3. ábra: Talajok réztartalmának gyakorisági megoszlása (Forrás: *TIM*, 2019)

Figure 3.: Frequency distribution of soil Cu content (Source: *TIM*, 2019)

2.4. Réz a növényekben

Az emberiség évezredek óta végez mezőgazdasági tevékenységet, amely során számos megfigyelés és gyakorlati tapasztalat gyűlt össze. Ennek ellenére a talajok termékenységével és a termesztett növények táplálásával kapcsolatos tudományos igényű kutatások csak néhány évszázadra tekintenek vissza. Kádár szerint az elsők között Liebig munkásságát érdemes kiemelni (Kádár, 1992). A Liebig által 1840-ben megfogalmazott minimum törvény értelmében az egyes tápelemek hiánya nem pótolható más tápelemmel, ezért az optimális hozam eléréséhez a tápanyagok kiegyensúlyozott biztosítása szükséges (Whitcomb *et al.*, 2014), a hozamot a minimumban lévő tápelem határozza meg. A minimum törvényt vizuálisan szemlélteti a „Liebig-hordó” (4. ábra).

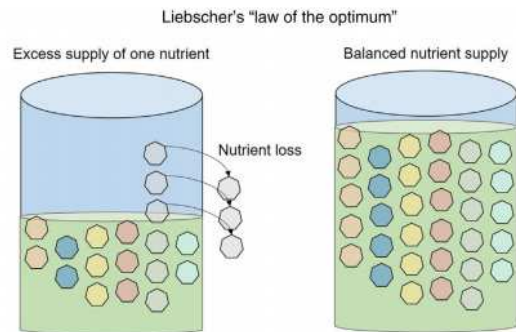


4. ábra: „Liebig-hordó”. Mindig a minimumban lévő tápelem korlátozza a biotermelési termelést (Forrás: K+S Kali GmbH, 2014)

Figure 4.: „Liebig barrel”. Always the nutrient in minimum limiting the biomass production. (Source: K+S Kali GmbH, 2014)

A minimum törvény nem veszi figyelembe az egyes tápelemek közötti bonyolult kölcsönhatásokat, amelyek miatt a minimum törvény szigorú értelemben véve nem érvényes (Fodor, 2013).

Az optimum törvény (1895-ben Liebscher, 5. ábra) szerint az egyes tápelemek hatása akkor érvényesül nagyobb mértékben, ha a többi termést befolyásoló tényező az optimumhoz közel van (de Wit, 1992). Egy tápelem túlzott mennyisége a többi tápelem igényét is növeli. A biomassza mennyiségének növelését csak kiegyensúlyozott tápanyag ellátással lehet megvalósítani, egy elem feleslege veszteségként jelenik meg (Reich, 2017).



5. ábra: Liebscher optimum törvénye (Forrás: Reich, 2017)
Figure 5.: Liebscher's optimum law (Source: Reich, 2017)

Az optimumhoz közeledve az alkalmazott trágya dózisok hatásfoka egyre kisebb lesz (Mitscherlich törvénye), ezért az adagok növelése gazdaságilag csak bizonyos határig ésszerű (Loch és Nosticzius, 2004). A hozam a tápanyagok mennyiségének függvényében tipikus optimumgörbét ír le, a túlzott ellátottság terméscsökkenést, szélsőséges esetben akár a növény pusztulását is okozhatja (Fodor, 2013).

Arnon és *Stout* (1939) definíciója szerint azokat az elemeket tekinthetjük esszenciálisak a növények számára, amelyek az alábbi három feltételt teljesítik:

- hiánya esetén a növény nem képes arra, hogy befejezze életciklusának vegetatív vagy reprodukív fázisát
- hiánya specifikus az adott elemre, és az csak az adott elem pótlásával előzhető meg, vagy korrigálható
- közvetlenül szükséges a növény táplálásához, azaz hatását nem a termeszto közeg (talaj vagy tápközeg) valamely kedvezőtlen kémiai vagy biológiai tulajdonságának javításával fejt ki.

A bioszférában 90 stabil elem van jelen, ezek közül a növényi szövetekben mintegy 40–50 elem mutatható ki, azonban ezek közül csak néhány tekinthető nélkülözhetetlennek, vagyis esszenciálisnak (*Fodor*, 2013).

Az esszenciális tápelemeket a növények szárazanyagában mérhető mennyiségeik alapján makro- és mikro tápanyagokra oszthatjuk (fontos megjegyezni, hogy ez csak mennyiségi felosztás, a mikroelemek biológiai jelentősége hasonlóan fontos, mint a makroelemeké). Jellemzően azokat a tápelemeket tekintjük makroelemnek, amelyek szárazanyag tartalomra vonatkoztatva 0,01 %-nál nagyobb mennyiségben találhatóak meg a növényekben (*Kalocsai et al.*, 2006). Az egyes elemek besorolása – különösen a mikroelemek esszenciális voltának megítélése miatt – nem egységes (*Debreczeniné és Sárdi*, 1999, *Subedi és Ma*, 2009)

- organogén elemek: C, H, O
- makroelemek: N, P, K, Ca, Mg, S
- mikroelemek: B, Cu, Fe, Mn, Zn

Szerzőtől függően a mikroelemek közé tartozik a Cl, Co, Mo, V. Ezen makro- és mikroelemek mellett egyes szerzők hasznos elemeket (például Na, Si, Se és Co) is megkülönböztetnek, amelyekről egyes fajok esetében bizonyítható, hogy esszenciálisak, de az összes növény számára nem – vagy nem bizonyíthatóan – szükségesek (*Pilon-Smits et al.*, 2009).

Az régóta ismert tény, hogy a réznek szerepe lehet az élő szervezetekben, mivel növényi és állati eredetű mintákban is kimutatták a jelenlétét már az 1800-as évek elején. Azt viszont, hogy a réz esszenciális, csak később (McHargue 1925-1927, majd hamarosan több más kutatócsoport is) mutatták ki (*Linder*, 1991).

Noha a réz a növények számára nélkülözhetetlen, nagyobb mennyiségben toxikussá válhat. A legtöbb növény számára az optimális tartomány szűk, azonban egyes növények képesek a réz – és egyéb nehézfémek – felhalmozására, így felhasználhatók fitoremediációs célokra is (*Jiang et al.*, 2004, *Karczewska et al.*, 2015, *Kumari et al.*, 2016 illetve *Kádár*, 2012).

Benton Jones (2012) szerint a növények számára rézből – szárazanyagra vonatkoztatva – 3-7 mg kg⁻¹ az optimális tartomány, 20-30 mg kg⁻¹ felett már toxikus. *Csathó* (1994) szerint az egészséges levelekben 5-20 mg kg⁻¹ réz a jellemző koncentráció, *Loch és Nosticzius* (2004) szerint különböző növényekben illetve növényi részekben 2-16 mg kg⁻¹.

A növények réztartalma – nagy adagú rézkezelés alkalmazása esetén is – csak ritkán haladja meg a 30 mg kg⁻¹ értéket (*Richardson*, 1997). Saját kísérletei során hasonló eredményre jutott *MacKay et al.* (1966), *Sorteberg és Oijord* (cit. *Richardson*, 1997) és *Miner et al.* (1997) is. *Miner et al.* (1997) többváltozós regressziós modellel is csak gyenge ($r^2 \sim 0,3$) korrelációt talált a talajok felvehető réztartalma (Mehlich 3, EDTA

valamint DTPA) és a növények által felvett réz mennyisége között. (A rézzel szemben a korreláció sokkal jobb, ~ 0,8-0,9 körüli kadmium és cink elemek esetében.) *Ginocchio et al.* (2002) azonban arra hívja fel a figyelmet, hogy különösen savanyú talajon megnövekedik a növények rézfelvétele, de a szerzők vizsgálataiban a koncentráció nem érte el növényre toxikus szinteket.

2.5. A réz biológiai szerepe

Holm et al. (1996) illetve *Thomson és Gray* (1998) becslése szerint a fehérjék mintegy fele tartalmaz fém alkotórészt. *Holm et al.* (1996) szerint annak ellenére, hogy az általuk feldolgozott adatbázist (Brookhaven Protein Data Bank) ismétlődések torzítják, az arány mindenképpen impresszív.

Noha a fémek közül a réz esszenciális szerepe a növényekben már ismert volt, biológiai hatásait, biokémiáját csak az 1960-as évektől kezdve kezdték jobban megérteni. Több szerző szisztematikusan vizsgálta különböző növényi életfolyamatokban a réz szerepét: *Rasheed és Seeley* (1966) a protein szintézisben; *Judel* (1972) valamint *Rahimi és Bussler* (1973) a lignifikációban; *Baszynski et al.* (1978) és *Droppa et al.* (1987) a fotoszintézisben és a lipidszintézisben; *Zinkiewicz* (1985) a sötétlézésben vagy *Wood és Robson* (1984) a mikroorganizmusok elleni védekezésben.

Messerschmidt (2010) szerint a réz tartalmú enzimek előfordulása és funkciója alapján az valószínűsíthető, hogy az atmoszféra oxigénnel történő feldúsulása után kaptak szerepet. A fotoszintetikus folyamatokhoz kapcsolódó elektrontranszferben szerepet játszó fehérjék valószínűleg később kerültek be a láncba, miután a fotoszintézis során keletkező oxigén

megváltoztatta a fémek oldhatóságát. (Az oxigénmentes közegben a réz az uralkodó Cu^+ formában jellemzően vízben oldhatatlan sókat képezett, míg a vas oldható Fe^{2+} formában biológiailag elérhető volt. Az oxigén feldúsulásával mindkét fém magasabb oxidációs állapotba került, a réz Cu^{2+} formában mobilizálódott és elérhetővé vált, míg a vas vízben rosszul oldódó $\text{Fe}(\text{OH})_3$ formává alakult.)

A réz fontos alkotója fotoszintézis fényreakciójában elektronszállító molekulaként részt vevő plasztocianinnak, fontos szerepe van a légzési-elektrontranszfer láncban (citokróm oxidáz), peroxidáz- (szuperoxid-dizmutáz, diamin-oxidáz, fenol-oxidázok) és oxidáz (aszcorbinsav-oxidáz, difenol-oxidáz) hatású enzimekben (*Fodor, 2013*).

Messerschmidt (2010) a réz tartalmú enzimek három alapvető típusát (1-es, 2-es, 3-as) különbözteti meg, illetve további jellegzetes típusokat említ egyes enzimekben, például az aszcorbinsav-oxidázban (hárommagvú), a citokróm-c-oxidázban (Cu_A , Cu_B) vagy a dinitrogén-oxid-reduktázban (Cu_Z). A 2. táblázat a hivatkozott források alapján összegzi a különböző típusok egyes jellemzőit.

2. táblázat: A réz tartalmú enzimek alapvető típusai (Giczi *et al.*, 2018)Table 2.: Types of Copper Enzymes (Giczi *et al.*, 2018)

Típus (1)	1-es típus (vagy kék) ^a	2-es típus ^b	3-as típus (két Cu mag) ^c
UV-VIS spektrum (2)	Erős abszorpció ~600 nm-en, (S(Cys)→Cu(II) töltéstranszfer)	Hiányoznak az intenzív ligandum→fém töltés transzferhez kapcsolható átmenetek	Oxigént kötő formában erős abszorpció sáv ~590 nm és ~345 nm, deoxi forma színtelen
EPR spektrum (3)	gyenge Cu csatolás	Hiányoznak az 1-es és 3-as típusok, és a többmagú fehérjék jellemzői, nagy mértékben hasonlít a szokásos Cu(II) tetragonális komplexekre	Nem detektálható (antiferromágneses csatolás)
Jellemző ligandumok (4)	2 His (N), Cys (S) ekvatoriális pozícióban; Met(S) esetleg ritkán Gln(O) axiális pozícióban (egyes esetekben koordinálatlan is maradhat)	N és O ligandumok (His, Tyr, peptid karbonil vagy N csoportok, H ₂ O, -OH)	Mindkét Cu atomhoz 3 His kapcsolódik
Aktív centrum geometriája (5)	torzult tetraéderes, esetleg trigonális	tetragonális, 5 vagy 6 ligandummal	trigonális planáris ^d
Példák (6)	kupredoxinok: plasztocianin, azurin pszeudo-azurin, amicianin, rusticianin, halocianin, szulfocianin, auracianin fitocianinok: stellacianin, uclacianin, plantacianin	szuperoxid- dizmutáz, amin oxidáz, lizil oxidáz, galaktóz oxidáz, dopamin-β- monooxygenáz, peptidil-glicin monooxygenáz	hemocianin, catechol oxidáz, tirozináz, pszeudo- hemocianinok, kriptocianinok, hexamarinok

(1) Type, (2) UV-VIS spectra, (3) EPR spectra, (4) Typical ligands (5) Active –centre geometry (6) Examples

^a Hart *et al* (2005); ^b McGuirl és Dooley (2005); ^c Decker (2005); ^d Messerschmidt (2010)

Holm et al. (1996), *Hart et al.* (2005), *McGuirl és Dooley* (2005), *Decker* (2005) és *Messerschmidt* (2010) felhasznált munkáiban illetve az eddigieken túl *Linder* (1991), *Malmström és Leckner* (1998) illetve *Solomon, et al.* (2014) munkájában is további részletes információk találhatóak a réz tartalmú enzimekről.

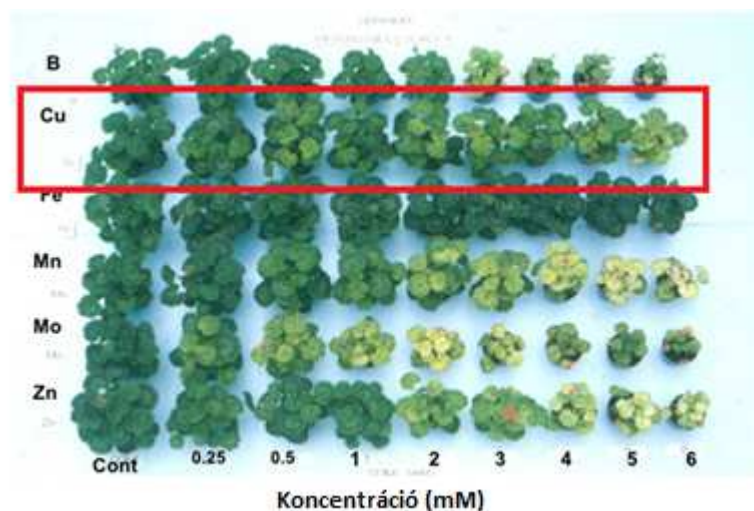
2.6. Réz-utánpótlás

Réz hiányában a növények növekedése lelassul, a levelek szürkészöldek, klorotikusak lesznek, a növekedési pontok elhálnak, a fiatal levelek torzulnak, a növények satnyák lesznek (*Kalocsai, 2006; Benton Jones, 2012*). *Kalocsai* (2006) szerint gabonafélék esetében a rézhiány először a levelek fehéredésében mutatkozik meg, illetve a „fehérkalászúság” is további jellegzetes tünet. A gabona állományokban a rézhiány a gátolt buga- és kalászképzés, illetve a léha szemek arányának növekedése jelentős gazdasági veszteséget okoz (6. ábra).



6. ábra: Rézhiány búzában (Forrás: *Hardee, 2015*)
Figure 6.: Copper deficiency in wheat(Source: *Hardee, 2015*)

A réz a talajokban nagymértékben lekötődik, így rézfeleslegre csak ritkán, elsősorban erősen savanyú talajokon kell számítani. A réztöbblet hatása a satnya gyökérnövekedés, a gyökércsúcs-pusztulás és lassú növekedés (7. ábra). A túlzó réz ellátottság klorózist és Fe hiányt okozhat (Kalocsai, 2006; Benton Jones, 2012).



7. ábra: Mikroelemek toxikus hatása muskátli növényre a koncentráció (mM) függvényében (Forrás: Ansai, 2012)

Figure 7.: Toxic effect of micronutrients on geranium plant as a function of copper concentration (Source: Ansai, 2012)

Maksymiec (1997) és *Yruela* (2005) szerint a rézhiány (vagy felesleg) a morfológiai változásokon túl sejtszinten is hat a növényekre. A réz toxicitását okozhatja a fehérjék merkaptó-csoportjaihoz való kötődés (így az enzim elveszti funkcióját), más tápelemek felvételének vagy funkciójának gátlása, a sejt szállítási folyamatainak károsodása vagy oxidatív károk. *Yruela* (2005) szerint különösen a fotoszintézis elektrontranszportja változik meg réz hiány vagy többlet hatására. A toxikus mennyiségű réz által okozott problémák kiküszöbölésére az

élőlények különböző stratégiákat dolgoztak ki /például *Murell et al.*, (2000) – metán-oxidáló baktériumok, *Merchant et al.* (2006) – *Chlamydomonas reinhardtii*; *Yamasaki et al.*, (2008) – Arabidopsis)/.

Debreczeniné és Sárdi (1999) szerint a gabonafélék, napraforgó, lucerna, egyes zöldségfélék és rostonövények érzékenyek a rézhiányra, viszont a cukorrépa meg a réz feleslegére károsodik könnyen. *Kalocsai* (2006) a kukoricát, a zabot, a hereféléket, a sárgarépat, a céklát és több gyümölcsöt jelölte meg, mint rézre érzékeny növény. *Benton Jones* (2012) szerint a gabonafélék, a kukorica, a napraforgó, a zab, a lucerna, a hagyma, a spenót, a görögdinnye, a citrusfélék érzékenyek rézhiányra. *Adriano* (1986) számos termesztett növényt sorol be a rézhiányra vonatkozó relatív érzékenységük alapján. A szerző szerint a fontosabb gazdasági növények közül a búza, lucerna, árpa és napraforgó érzékeny rézhiányra.

Mivel a növények réztartalma alacsony, jellemzően kevesebb, mint 10 mg kg⁻¹ abszolút szárazanyagra vonatkoztatva, ezért a talajból felvett réz mennyisége is kevés (*Mengel et al.*, 2001). A tápanyagmérleg azonban így is negatív (*Pais*, 1980). *Pais* (1980) szerint Magyarországon a teljes növényvel a talajból kivont réz mennyisége gabonaféléknél 50-70 g ha⁻¹, burgonyánál 40-60 g ha⁻¹, cukorrépánál 80-120 g ha⁻¹, takarmányrépánál 80-120 g ha⁻¹, lóherénél 70-90 g ha⁻¹, lucernánál 70-90 g ha⁻¹, fűféléknél 30-60 g ha⁻¹. A teljes tápelem mérleg rézre -100 g ha⁻¹ év⁻¹.

Régóta, még *McHargue* réz esszencialitását igazoló vizsgálatai előtt ismertek voltak olyan kutatási eredmények, amelyek arra utaltak, hogy a Bordeaux-i lével (réz-szulfát és mésztej keveréke) történő kezelések olyan hatással is vannak a termésre, amely nem hozható összefüggésbe a réz fungicid hatásával (*Richardson*, 1997). A korai magyarországi kutatások közül *Keresztény Béla* Mosonmagyaróvári Agrártudományi Egyetemen

végzett kutatásait és Tölgyesi György munkásságát érdemes kiemelni (*Barkóczy*, 2004). A réz utánpótlása, illetve az azzal kapcsolatos kutatások még napjainkban is aktuális kérdést jelentenek, mivel a szerves trágyák visszaszorulásával és az intenzív növénytermesztéssel járó nagymértékű szintetikus műtrágya használattal és megnövekedett hozamokkal még jobban eltolódott a tápanyag mérleg (*Peczник*, 1976 cit. *Forró-Rózsa*, 2014).

A réz utánpótlására több lehetőség van:

- vetőmag kezelésével
- talajon keresztüli utánpótlással
- levéltrágyaként történő alkalmazással

A vetőmag kezelésével elsősorban a növény életének kezdeti szakaszában szükséges tápanyag pótolható. A vetőmagot a megfelelő oldatba áztatva (*Khalid és Malik* (1982) – réz-szulfát, *Malhi* (2009) – Cu-EDTA) a szerzők pozitív eredményeket értek el. *Khalid és Malik* (1982) ezzel szemben megjegyzik, hogy az általuk áttekintett irodalomban már nem egységes a kezelések hatásosságának megítélése, mind sikeres, mind negatív eredményekről számoltak be. Ezen túlmenően *Malhi* (2009) összehasonlító vizsgálatai alapján arra a következtetésre jutott, hogy a vetőmag kezelése ugyan hatásos, de kisebb mértékben, mint a talajon vagy levélen keresztüli alkalmazás esetén.

A réz talajon keresztüli utánpótlásánál a leggyakrabban alkalmazott forma a vízben oldható réz-szulfát ($\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ – 25,5 % Cu). Ezen kívül egyéb források, mint a réz-oxidok (CuO – 75 % Cu illetve Cu_2O – 89 % Cu), a bázisos réz-szulfát ($\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$ – 13 % – 53 % Cu) valamint a bázisos réz-karbonát ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$ – 55 %-57 % Cu) is elterjedtek, illetve különböző réz-keletok, mint Na_2CuEDTA – 13 % Cu)

is alkalmazhatóak (*Adriano*, 1986). *Kalocsai* (2006) szerint a talajon keresztül – a talaj kötöttségétől és az alkalmazott nitrogén dózisoktól függően – 3-20 kg ha⁻¹ az adagolandó réz mennyiség. *Adriano* (1986) Locascio-ra hivatkozva ásványi talajon 2,25-9 kg ha⁻¹ illetve tőzeges és kotus láptalajra 22,5-45 kg ha⁻¹ réz adagokat javasol, de megjegyzi, hogy ez több évre megfelelő réz ellátást biztosíthat.

A réz levéltrágyakénti alkalmazása szintén történhet só (réz-szulfát, réz-oxiklorid, réz-oxid) vagy kelát formájában (*Mengel et al.*, 2001), azonban az alkalmazás hatékonysága függ az alkalmazás időpontjától is (*Martens és Westermann* (1991). A két forma közül a kelát formát tartalmazó lombtrágyák általában már alacsonyabb dózisokban is használhatóak, mint a szervesetlen sókat tartalmazó készítmények (*Martens és Westermann*, 1991). *Brennan* (1990) kísérleteiben hasonló eredményre jutott. A kelát formájú (Cu-EDTA – 15 % Cu) illetve két szervesetlen só (réz-szulfát és réz-oxiklorid) összehasonlító vizsgálatai alapján a kelát forma bizonyult a leginkább hatásosnak, a réz-szulfátra vonatkoztatott relatív hatékonysága 1,72-2,24, míg a réz-oxikloridé 0,47-0,63.

Több levélen és talajon keresztüli réz tápanyagutánpótlási módszert hasonlítottak össze *Malhi et al.* (2005). Tapasztalataik alapján a talajon keresztül adagolandó dózisoknál kisebb dózisokkal érhető el gyors hatás levélen keresztüli tápanyagutánpótlással.

A tápanyagutánpótlás területén – annak jelentősége okán – a Széchenyi István Egyetem Mezőgazdasági- és Élelmiszertudományi Karán (korábban Nyugat-Magyarországi Egyetem) is kiterjedt kutatások folytak/folynak. A kutatások többek között a makro- és mezoelemekre is kiterjednek (*Giczi et. al*, 2006, *Kalocsai et. al*, 2006), de a munka fókuszában a különböző mikroelemek találhatók, köztük a szelén

(*Tóásó et al.*, 2004, *Tóásó et al.*, 2007, *Tóásó et al.*, 2008), a mangán (*Szakál et al.*, 2007) a cink (*Giczi et al.*, 2005), a többelemes készítmények (*Kalocsai et al.*, 2004), és – elsősorban – a réz (*Schmidt et al.*, 2005, *Szakál et al.*, 2005, *Barkóczy et al.*, 2006, *Forró-Rózsa et al.*, 2017).

A réz utánpótlása ezen túl is aktuális kutatási terület mind a mai napig a hazai (a fentiekén túl például *Kádár*, 2017a, *Kádár*, 2017b) illetve a nemzetközi szakirodalomban is (többek között *Tang et al.*, 2009, *Barbosa et al.*, 2013, *López-Rayó et al.*, 2013 vagy *Solimanzadeh et al.*, 2014, illetve további hivatkozások találhatóak *Tóth et al.* (2018) munkájában).

Az elérhető eredmények alapján *Richardson* (1997) közölt részletes áttekintést a réz kezelések hatékonyságát befolyásoló tényezőkről (talajtípus, szervesanyag tartalom, pH, tápelemek kölcsönhatásai, kijuttatás módja, hőmérséklet, nedvesség, genotípus, fenológiai fázis). Szintén részletes áttekintést közölt *Mengel et al.* (2001) és *Martens* és *Westermann* (1991). További információk érhetőek el *Mortvedt* (1986), *Malhi* és *Karamanos* (2006) dolgozatában illetve a hazai kutatásokról *Forró-Rózsa* (2014) munkájában.

2.7. A búza betegségei

A búza az egyik legfontosabb és egyik legnagyobb területen termesztett gazdasági növényünk, így növényvédelme is kiemelten fontos, hiszen a kieső hozamok vagy az egyre szigorodó minőségi- és élelmiszerbiztonsági előírásokat nem teljesítő termék komoly anyagi károkat okozhat a gazdálkodóknak.

A hazai kalászosgabona-termesztésben a legfontosabb betegségek a gabonalisztharmat, a szártőbetegségek, a fuzáriózis, valamint a rozsda és

üszög által okozott betegségek (*Glits et al.*, 1996). A helmintosporiumos megbetegedések főleg az árpa kultúrákat fertőzik, de e mellett a búzát, a rozst, a rizst és a zabot is fertőzheti (*Ábrahám et al.*, 2011).

2.7.1. Fuzáriumos megbetegedések

Puskás (2013) szerint a vonatkozó irodalmat áttekintve a fuzáriumos betegségek közül éghajlati körülményeink között a *Fusarium graminearum* Schwabe (teleomorf alakja *Gibberella zae* (Schwein.) Petch) a legjelentősebb a fertőzés mértéke és az agresszív törzsek nagy aránya miatt. (Agresszivitása miatt szintén kiemelt helyen kezelendő a *Fusarium culmorum*, noha a faj felbukkanása csökkenő tendenciát mutat).

A *Fusarium* fajok előidézhetnek csírapusztulást, hópenészt (elsősorban *Fusarium nivale* – Magyarországon ritkább, inkább a hűvösebb északi tájakra jellemző), szár- és gyökérrothadást, azonban hazánkban a kalászfuzáriózis a legjelentősebb (*Glits et al.*, 1996, *Puskás*, 2013).

A gyökér vagy a szár fertőzése esetén a gyökéren, a szár alapján illetve az alsó náduszokon nagy területen barnulások és sötét csíkok jelennek meg. A növények törékennyé válnak, felületükön láthatóvá válik a rózsaszínű a spóra tömege. A micéliumszövedék kitölti a szár belsejét (*Glits et al.*, 1996).

A kalász fertőzésekor (8. ábra) a korai tünetek megjelenésekor pár milliméteres barna foltok figyelhetők meg a kalászkák pelyvavevelén, majd a fertőzés előrehaladtával a kalászkák megbarnulnak, vagy fakóbbak, klorotikusak lesznek, végül akár a teljes kalászok megfertőződhetnek. Ezek a tünetek csak rövid ideig figyelhetők meg, a fertőzött kalászkák elpusztulnak és kiszáradnak. Az elpusztult kalász az érett kalász színét

veszi fel, és így könnyen megkülönböztethető a még zöld, egészséges kalászkóttól. Amennyiben a fertőzés felfelé nem halad végig a teljes kaláson, a fertőzési pont feletti rész akkor is elhalhat, mivel a fertőzött kalászsorban megszűnik a tápanyag- és vízszállítás. A fertőzést követően – időjárástól függően – 1-2 héten belül a micéliumszövedék is megfigyelhetővé válik (Puskás, 2013).



8. ábra: Búza fuzáriumos kalászfertőződésének tünetei (Forrás: Puskás, 2013)

Figure 8.: Symptoms of wheat fusarium infection (Source: Puskás, 2013)

A *Fusarium* fajok esetében külön problémát jelentenek az egyes fajok által termelt toxinok. Ezek – elfogyasztásuk után – az emberi és állati szervezetet is károsítják, így mind humán- mind állategészségügyi szempontból jelentősek. A termés értékét, értékesíthetőségét a toxinszennyezés csökkenti, így közvetlen gazdasági károkat is okoz (Kerekes, 2005).

2.7.2. Helmintospóriumos megbetegedések

A helmintospóriumos megbetegedések minden gabonatermesztő országban ismertek. A helmintosporiózis a búza vegetatív és generatív

részeinek károsodását okozhatja. A betegségek kórképei igen változatosak, így nehéz a diagnózis, azonban néhány jellegzetes tünet előfordul (Glits *et al.*, 1996, Ábrahám *et al.*, 2011):

- *Drechslera graminea*: levélcsíkoság
- *Drechslera teres*: hálózatos levélfoltosság
- *Drechslera tritici-repentis*: fahéjbarna levélfoltosság
- *Bipolaris sorokiniana* (vagy *Drechslera sorokiniana*): barna levélfoltosságot és szártőbetegséget is okoz



9. ábra: *Drechslera sorokiniana* fertőzésének tünetei (Forrás: Mikhailova, 2004)

Figure 9.: Symptoms of *Drechslera sorokiniana* infection (Source: Mikhailova, 2004)

A kórokozók közül régi nevén *Helminthosporium sativum*, új nevén *Bipolaris sorokiniana* vagy *Drechslera sorokiniana* elsősorban az árpát betegíti meg, de az egyéb gabonaféléket is károsítja.

Az általa okozott megbetegedés (9. ábra) esetén először általában az alsó leveleken jelennek meg kis, szabálytalan barna foltok formájában, klorotikus tüneteket mutató széllel. Az idő elteltével a foltok megnőnek néhány milliméteres átmérőig, gyakran összeérve nagy nekrotikus foltokat okozva. A foltokon – különösen megfelelő hőmérséklet és

csapadékviszonyok esetén – penészes bevonat figyelhető meg. A levelek – általában alulról – elszáradnak. A fertőzött növények a koraérés tüneteit mutatják, a szemképződés jelentősen csökken, és a szemek összetöporódnak (*Bazlur Rashid et al.*, 1987).

Szepessy (1977) szerint a búza szártövének megbetegedését többféle kórokozó, köztük a *Drechslera sorokiniana* is előidézheti. A betegség már ősszel fertőzhet – vetőmaggal vagy elhalt növényi maradványokon keresztül, de nagyobb mértékben tavasszal. A fertőzés tünetei tavasztól láthatóak, de – mivel az egészségesnek tűnő állományban nem vizsgáljuk folyamatosan a szártöveket – a betegség általában kalászosítás után tűnik szembe. Nedves időben nyálkás rothadás figyelhető meg a szár talajjal érintkező részén, a levélhüvely is elhal, hozzátapad a szárhoz, illetve a szár meghúzásával a gyökerek is kiszakadnak. Mivel a gyökerek közötti talajt a micélium összefogja, ezért a gyökérrel együtt a kis földlabdát is kihúzzuk. A szártő és gyökér károsítása miatt a szárok idő előtt sárgulni, száradni kezdenek, a kalász pedig sárga vagy fehér és üres marad (*Szepessy*, 1977).

2.7.3. Növényvédelem

A betegségek elleni védekezésben gazdasági és környezetvédelmi megfontolásokból egyre nagyobb mértékben növekszik az egyéb – kémiai védekezésen túlmutató – megoldások alkalmazása. Ilyen az egyes agrotechnikai elemek, mint a vetésváltás, a megfelelő magágy-előkészítés, a vetés időzítése, a megfelelő tápanyag-gazdálkodás, a megfelelő fajtaválasztás (rezisztenciára nemesítés) tudatos használata és a biztonságos, egészséges vetőmag alkalmazása is.

Mindezek mellett a növénypatogén gombák ellen általában a kémiai védekezés a leghatásosabb. Használatuk nem mellőzhető, de törekedni kell az észszerű vegyszerhasználatra, hogy a környezeti terhelést csökkenthessük (*Ábrahám et al.*, 2011).

2.8. A növényvédelemben engedélyezett réz-tartalmú szerek

A réz a növények számára megfelelő mennyiségben esszenciális mikroelem (*Linder*, 1991). Hiánya a termés csökkenését, szélsőséges esetben a növény pusztulását okozza. A növénytáplásban jól ismert szerepe mellett legalább hasonlóan fontos a réz-tartalmú szerek növényvédelmi célú felhasználása.

Noha a réz a növényekre is toxikussá válhat nagy koncentrációk esetén, a növények a fungicidként történő kezelést még tolerálni tudják (*Benton Jones*, 2012). Rendszeres alkalmazása esetén annak vizsgálata is szükséges, hogy más tápelemek felvételét hogyan befolyásolja a nagy mennyiségű réz (*Azeez et al.*, 2015). A réz vegyületek használhatóságát

javítja, hogy a gombaspórák felhalmozzák a környezetükben található rézionokat (Ábrahám *et al.*, 2011).

A réztartalmú készítmények fungicid hatása régóta ismert és kutatott terület. Már a 18. században (Schulthess 1761-ben és Tessier 1779-ben) alkalmaztak réz-szulfátot búza kőüszög ellen. Millardet 1882-ben vezette be a „bordeaux-i lé” (réz-szulfát és mésztej keveréke) használatát szőlőben peronoszpóra ellen (Ainsworth, 1981). Több kutató vizsgálta réz tartalmú készítmények baktericid hatását is pozitív eredménnyel (Kerekes, 2005). A réztartalmú vegyületek számos gombás megbetegedés kórokozójával szemben hatékonyak (kivéve a liztharmat gomba), illetve jelenleg az egyetlen hatóanyagcsoport, amely baktériumos betegségek ellen is használható, azonban alkalmazásánál a különböző növényi kultúrák eltérő réz érzékenységet is (Ábrahám *et al.*, 2011).

A réz különböző funkciós csoportokhoz (például foszfát, szulfhidril, hidroxil) kapcsolódik, amelyek számos fehérjében előfordulnak. A réz nem specifikusan a sejtmembrán szintjén, denaturálja a szerkezeti és enzim fehérjéket és megváltoztatja a membrán szemipermeabilitását. A növények felületén található nedvesség filmben oldott rézionok bejuthatnak a kórokozók sejtjeinek protoplazmájába. A sejten belül a Cu^{2+} számos enzimreakciót zavar, blokkolja a légzési láncot. Hatását elsősorban a piruvát-dehidrogenáz enzimrendszer gátlásával feje ki, de a citrát-ciklust is befolyásolja. A csírázó spórák szintén felveszik a rezet, ami utána gátolja a csírázást (Kerekes, 2005, Husak, 2015, La Torre *et al.*, 2018).

A réz nem specifikus hatása miatt valószínűtlen (nehéz) a rezisztencia kialakulása. A Fungicide Resistance Action Committee (FRAC) jelentése szerint gombákban nem ismert rezisztencia (FRAC, 2018), azonban egyes

bakteriális patogéneknél megfigyelték a kialakulását (*La Torre et al.*, 2018)

2.9. Az őszi búza

Az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) a pászitfűfélék (Gramineae) családjába, a *Triticum* – búza – nemzetségbe tartozik. Termesztési területe a trópustól egészen a sarkvidékekig húzódik. Az emberiség egyik legrégebb óta termesztett növénye. Jelentősége a széles elterjedési területnek és a sokirányú felhasználási lehetőségének köszönhető. Legalapvetőbb felhasználása a lisztte őrlés majd kenyér és tésztafélék készítése. Ezen kívül fontos a takarmányozási célú felhasználása is. A szemtermésen kívül a búzatermesztés- és feldolgozás melléktermékei (például szalma alomanyagként vagy a korpa abraktakarmányként) is jól hasznosíthatók (*Csajbók*, 2012).

Az őszi búza biztonsággal termesztethető a -20 és $+40$ °C közötti hőmérséklet-tartományban. A hideg telet hótakaró védelmében jobban viseli, azonban a hosszú (90 napot meghaladó) hóborítás már káros lehet. Csapadékigénye minimálisan 300–350 mm, az optimális fejlődéséhez azonban 500–600 mm csapadékra van szüksége. A csapadék mennyisége mellett fontos annak megfelelő eloszlása is: a szárba indulástól a szemfejlődés időszakáig igényel jó vízellátást, a száraz tavasz csökkentheti a termést, hasonlóan a betakarításkori csapadékhoz (*Antal és Jolánkai*, 2005).

Az őszi búza a mély termőrétegű, jó víz- és tápanyag-gazdálkodású, semleges körüli kémhatású talajokat kedveli. Igényeinek a csernozjom talaj, a kilúgozottabb löszháti csernozjomok, a jobb termőképességű réti

talajok, a mészben nem szegény öntéstalajok és a jobb minőségű réti szolonyec talajok felelnek meg (*Csajbók*, 2012).

A hazai őszi búza termesztés uniós szinten jó pozíciókkal rendelkezik, azonban világviszonylatban ez a kép már árnyaltabb, elsősorban a kontinentális elhelyezkedésből eredő magasabb szállítási költségek miatt. A versenyképességben több tényező, például a kedvező talaj- és éghajlati adottságok, illetve a szakmai tapasztalat is szerepet játszik (*Buzás*, 2017). Magyarországon a *KSH* (2018b) adatai alapján a mintegy 7,3 millió hektár termőterület – ami az ország területének körülbelül 79 %-a – mintegy 60 %-a, körülbelül 4,3 millió hektár szántó. A 2012-2016 időszak átlagában ennek a szántóterületnek 64 %-a, körülbelül 2,8 millió hektár volt a gabonafélék vetésterülete. A gabonafélék közül a búzafélék – a kukorica után – a második legnagyobb területen termesztett növények, a vetésterületük 1 millió hektár körül (24,8 %) alakul.

2.10. A búza minősége

A mérsékelt égöv legfontosabb kenyérgabonája a búza és a rozs. A kenyérgabonák minősítésekor a tárolhatóságot, a feldolgozási tulajdonságokat és a malmi termékek felhasználását módosító tényezőket vizsgálják. A legfontosabb tulajdonságok:

- egészségi állapot, nedvességtartalom és keverékesség a tárolás szempontjából
- héj- és magbelső aránya (a nyerhető liszt mennyisége) a feldolgozás szempontjából
- a nyert liszt és a takarmány minősége, beltartalmi értéke

A búzával szemben támasztott követelményeket a mezőgazdaság elsősorban a hozam szempontjából vizsgálja. A mezőgazdaság célja, hogy adott területen minél nagyobb hozamot érjen el, így biztonságosan minél nagyobb jövedelmet adjon. A búza élelmiszeripari nyersanyag, így a mezőgazdaságnak az élelmiszeripar kívánalmait is figyelembe kell vennie (*Tormay, 1970*).

Szükséges ugyanakkor megjegyezni, hogy (*Pepó és Sárvári, 2011*) szerint a korábbi egydimenziós minőségfelfogással szemben napjainkban támasztott egyéb követelményeknek – fenntarthatóság, környezetvédelem, élelmiszerbiztonság, hatékonyság, jövedelmezőség – történő megfelelés szükségessé teszi a technológiai és környezeti minőség értékelését is.

Magyarországon a búza minősítése az MSZ 6383 számú „Búza és durumbúza élelmezési célra” című szabvány szerint történik. A szabvány legújabb kiadását a gabonafélékre, hüvelyesekre és a belőlük származó termékekre, valamint a malomipari és sütőipari termékekre vonatkozó szabványokat kezelő MSZT/MB 604 Magyar Nemzeti Szabványosító Műszaki Bizottság 2017-ben adta ki (*MSZ 6363:2017*).

A szabvány a **búza minőségének jellemzésére** számos paramétert felsorol. Ezek közül vizsgálataink során a nyersfehérje tartalmat és a nedves sikértartalmat értékeltük. Ezeken kívül a laboratóriumi vizsgálatok során a keményítőtartalom és réztartalom került meghatározásra.

A **nyersfehérje** tartalom a Kjeldahl-módszerrel meghatározott összes nitrogéntartalom, 5,7-es szorzóval figyelembe vett, száraz anyagra számított, százalékban kifejezett értéke (*MSZ EN ISO 20483:2014*).

A búza **sikérképző** fehérjéi (gliadin és glutein 2:1 arányban) nedvesítés hatására duzzadnak és az egymás melletti lisztzemcséket összekötve sikérhálónak alakulnak. A sikér biztosítja a sütőipari termékek formáját

(Lakatos, 2013). A nedves siker a tésztából meghatározott körülmények között kimosott, főleg vízben nem oldódó, de hidratálódó fehérjékből álló képlékeny, rugalmas anyag. A vizsgálat során 24 g lisztből vízzel tésztát gyúrnak, majd vízszugárral selyemszítán keresztül a vízdoldható anyagokat kimosás. A visszamaradt, vízben nem oldható alkotórész a nedves siker, mennyiségét százalékban határozzák meg. A siker mennyisége a búzafajták nagyon fontos minőségi mutatója. A magas, 34 %-nál nagyobb sikértartalmú lisztből javító minőségű liszt nyerhető. A javító minőségű liszt alkalmas a gyengébb minőségű lisztek feljavítására (Csajbók, 2012). A kézi vizsgálati módszert az *MSZ EN ISO 21415-1:2007* (az *MSZ ISO 5531:1993* helyett) szabvány részletezi.

A **keményítő** a búzaszem kb. 80 %-át kitevő magbelső fő tömegét adó liszttest (albumin) legnagyobb tömegarányú frakciója, a búzaliszt tömegének 70-85 %-a. A tésztakészítés hőmérsékletén a keményítő nagy mennyiségű (száraz tömegének mintegy 50 %-a) vizet köt meg. A folyamat végére a kialakuló sikérvázat a megduzzadó keményítő (és cellulóz) veszi körül, ez tartja vissza a fermentáció során keletkező gázokat és akadályozza meg a kenyér összeesését a sütés és hűlés alatt. A keményítóből 60-65 °C felett keletkező gél biztosítja a kenyérbél porózus vázszerkezetét, magasabb hőmérsékleten pedig a kenyér héjának kialakulását (Lakatos, 2013, Onyango, 2016).

A minőséget meghatározó paraméterek döntő vizsgálati módszerei laboratóriumi vizsgálati módszerek, azonban a gyakorlatban elterjedtek a gyorsvizsgálati módszerek is, amelyek a gyakorlat számára megfelelő pontosságot tudnak biztosítani. Ilyen gyorsvizsgálati módszer például a NIR vizsgálat.

A közeli infravörös (NIR) tartomány a 780 és 2500 nm közötti hullámhossz tartományt jelenti. A víz, a szénhidrátok, a zsírok és a fehérjék jellegzetes abszorpciós sávokkal rendelkeznek ebben a tartományban (*Ignat, 2012, Salgó és Gergely, 2012*). A szerves molekulák alapvető építőelemeit jelentő O-H, C-H és N-H kötések vibrációs sávjai a közép infravörös (MIR) tartományban jelentkeznek, a NIR tartományban ezek felhang- és kombinációs rezgései intenzívek (*Ph. Hg. VIII, 2014*). A NIR és NIT (közel infravörös reflexiós és transzmissziós) módszerek gyors, lényegében roncsolásmentes technológiát biztosítanak különböző gabona minták beltartalmi értékeinek meghatározásához. Ma már egyre több munkacsoport foglalkozik ezeknek a technikáknak az alkalmazásával olyan összetett biológiai rendszerek minőségi paramétereinek jellemzésére, mint a búza vagy kukorica nedvesség-, keményítő-, olaj-, hektoliter-, illetőleg fehérjetartalmának a meghatározása (*Kiss, 2013*). Szintén vizsgálható a búza sikértartalma is.

Az irodalomban számos hivatkozás található arra vonatkozóan, hogy trágyázási kísérletekben sikeresen javították az őszi búza minőségét, hasonlóan kutatócsoportunk korábbi makro- és mezoelemes (kén - *Kalocsai et al., 2006*) mind mikroelemes (Cu, Zn – *Schmidt et al., 2005* és *Forró-Rózsa et al., 2017*; Cu: *Barkóczi et al., 2006* Mn: *Szakál et al., 2007*) kísérleti eredményeihez.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

Kutatásaink során **réz-szacharóz típusú készítmény** hatását vizsgáltuk az őszi búza (*Triticum aestivum* L.) termésének mennyiségi és egyes minőségi mutatóinak alakulására.

Vizsgálatainkat szántóföldi kisparcellás kísérlet keretében, a régióban jellemző meszes Duna öntéstalajon végeztük.

Kutatásaink során arra kerestük a választ, hogy

- a készítmény alkalmazható-e levélfelületen keresztül történő réz tápanyag utánpótlásra
- a készítményt rézhiányos talajon alkalmazva befolyásolja-e az őszi búza hozamát
- hatással van-e a készítmény az őszi búza egyes beltartalmi mutatóira (nyersfehérje tartalom, sikértartalom, keményítő tartalom és réz tartalom).

A kisparcellás szántóföldi kísérletek során is alkalmazott réztartalmú készítmény esetében megvizsgáltuk az esetleges növényvédelmi hatásokat is.

Az *in vitro* tesztek során

- *Fusarium graminearum* Schwabe (1839) és
- *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964), korábbi nevén *Helminthosporium sativum* Pammel C.M. King & Bakke (1910), *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (1959)

kórokozókkal vizsgáltuk a készítmények hatékonyságát. A gombafajok kiválasztásánál azok gazdasági jelentősége és több gazdasági növény károsítására való képessége játszott szerepet.

3.1. Szántóföldi kisparcellás kísérletek

Vizsgálataink során **4 ismétléses véletlen blokk** elrendezésű szántóföldi kisparcellás kísérletet állítottunk be a **réz-szacharóz típusú készítmény** hatásának tesztelésére **2011/2012, 2012/2013 és 2013/2014** gazdasági években, Komáromban, a Solum Mezőgazdasági, Ipari és Kereskedelmi Zrt. területén. Az alkalmazott vetésforgónak megfelelően a kísérletek beállítása a 2011/2012-es és a 2012/2013-as gazdálkodási években a 7a jelű táblán, a 2013/2014-es gazdálkodási évben a 7a táblával szomszédos 10b jelű táblán történt. A kísérleti táblák elhelyezkedését a 10. ábra mutatja. A kísérleti **parcellák mérete** 10 m² volt. A kísérleti terület talaja közepes mésztartalmú középkötött agyagos vályog / vályog talaj, a terület éghajlata kontinentális jellegű.



10. ábra: Kísérleti területek elhelyezkedése
Figure 10.: Location of experimental area

3.1.1. Termőhely talajának jellemzése

A kísérletbe bevont területen a vizsgálatok megkezdése előtt talajvizsgálatot végeztünk. A mintavételezés a szántóföldi mintavételezési

előírásoknak megfelelően a **termőréteg felső 0-30 cm** rétegből történt, átlós mintavételi módszerrel az MSZ-08-0202:1977 szabvány szerint. A pontmintákból képzett átlagmintát a synlab Umweltinstitut Ungarn Kft. mosonmagyaróvári laboratóriumában vizsgáltuk.

A vizsgált talaj paraméterek a mezőgazdasági gyakorlatban elterjedten alkalmazott **bővített talajvizsgálati** csomagnak megfelelően az alábbiak voltak:

- a talaj kémhatása (pH KCl)
- Arany-féle kötöttségi szám (KA)
- vízdoldható összes sótartalom (Só%)
- szénsavas mésztartalom (CaCO₃%)
- humusztartalom (H%)
- AL-oldható P, K és Na tartalom
- KCl-oldható Mg, NO₂+NO₃-N és SO₄ tartalom
- EDTA-KCl-oldható Cu, Mn, Zn

A kísérleti területről származó talajminta vizsgálata során alkalmazott vizsgálati módszereket a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: Alkalmazott talajvizsgáló módszerek

Table 3.: Soil analysis methods

Paraméter	Vizsgáló módszer	
pH KCl	MSZ-08-0206-2:1978 2.1. szakasz	potenciometria
KA	MSZ-08-0205:1978 5.1 szakasz	plaszticitásvizsgálat
Só%	MSZ-08-0206-2:1978 2.4. szakasz	konduktometria
CaCO ₃ %	MSZ-08-0206-2:1978 2.2. szakasz	gázvolumetria
H%	MSZ-08-0210:1977 2.1. szakasz	spektrofotometria
P ₂ O ₅	MSZ 20135:1999 4.2.1. és 5.1. szakasz	ICP-AES
K ₂ O	MSZ 20135:1999 4.2.1. és 5.1. szakasz	ICP-AES
Na	MSZ 20135:1999 4.2.1. és 5.1. szakasz	ICP-AES
Mg	MSZ 20135:1999 4.2.2. és 5.1. szakasz	ICP-AES
NO ₂ +NO ₃ -N	MSZ 20135:1999 4.2.2. és 5.4.5. szakasz	FIA spektrofotometria
SO ₄	MSZ 20135:1999 4.2.2. és 5.4.1.2. szakasz	FIA spektrofotometria
Cu	MSZ 20135:1999 4.2.3. és 5.1. szakasz	ICP-AES
Mn	MSZ 20135:1999 4.2.3. és 5.1. szakasz	ICP-AES
Zn	MSZ 20135:1999 4.2.3. és 5.1. szakasz	ICP-AES

A talajvizsgáló eredményeinket a **MÉM-NAK tápanyagutánpótlási rendszer** szerint elemeztük. A vizsgáló eredményeket és értékelésük eredményeit a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Talajvizsgálati eredmények értékelése, Komárom

Table 4.: Assessment of soil analysis results, Komárom

Táblanév:			7a	Termőhely kategória:			meszes öntéstalaj		
Vizsgálati paraméter	Érték	Egység	Értékelés	igen gyenge	gyenge	közepes	jó	igen jó	túlzott
pH KCl	8,05	-	gyengén lúgos						
KA	43	-	agyagos vályog - vályog alacsony						
Só%	0,02	m/m%	sótartalmú						
CaCO ₃ %	8,55	m/m%	közepesen meszes						
H%	2,81	m/m%	közepes						
P ₂ O ₅	195	mg kg ⁻¹	jó						
K ₂ O	226	mg kg ⁻¹	közepes						
Na	43,4	mg kg ⁻¹	-						
Mg	205	mg kg ⁻¹	jó						
NO ₂ +NO ₃ -N	25,7	mg kg ⁻¹	-						
SO ₄	32,4	mg kg ⁻¹	-						
Cu	1,06	mg kg ⁻¹	gyenge						
Mn	33,9	mg kg ⁻¹	kielégítő						
Zn	2,15	mg kg ⁻¹	gyenge						

Táblanév:			10b	Termőhely kategória:			meszes öntéstalaj		
Vizsgálati paraméter	Érték	Egység	Értékelés	igen gyenge	gyenge	közepes	jó	igen jó	túlzott
pH KCl	7,86	-	gyengén lúgos						
KA	43	-	agyagos vályog - vályog alacsony						
Só%	0,03	m/m%	sótartalmú						
CaCO ₃ %	9,18	m/m%	közepesen meszes						
H%	2,45	m/m%	közepes						
P ₂ O ₅	216	mg kg ⁻¹	jó						
K ₂ O	176	mg kg ⁻¹	közepes						
Na	28,9	mg kg ⁻¹	-						
Mg	255	mg kg ⁻¹	jó						
NO ₂ +NO ₃ -N	35,2	mg kg ⁻¹	-						
SO ₄	21,4	mg kg ⁻¹	-						
Cu	1,15	mg kg ⁻¹	gyenge						
Mn	44,6	mg kg ⁻¹	kielégítő						
Zn	2,38	mg kg ⁻¹	gyenge						

A talajvizsgálati eredmények alapján megállapítható, hogy a vizsgált terület talaja a környékre jellemzően gyengén lúgos, közepes

mésztartalmú és közepes humuszellátottságú. Az EDTA-KCl kivonat analíziséből kapott vizsgálati eredmények alapján szintén látható, hogy a terület **réz ellátottsága nem megfelelő** (5. táblázat).

A gyengén lúgos pH és a réztartalom lekötésében szintén jelentős szerepet játszó karbonát- és humusztartalom, valamint a jó foszfor ellátottság miatt a kísérleti területen várható a réztartalom lekötődése, ami csökkenti a réz hozzáférhetőségét a növények számára (*Mengel et al., 2001, Kádár, 2008, Benton Jones, 2012*).

5. táblázat: A talaj EDTA-KCl-oldható Cu ellátottságának megítélése (mg kg⁻¹) (Buzás, 1983)

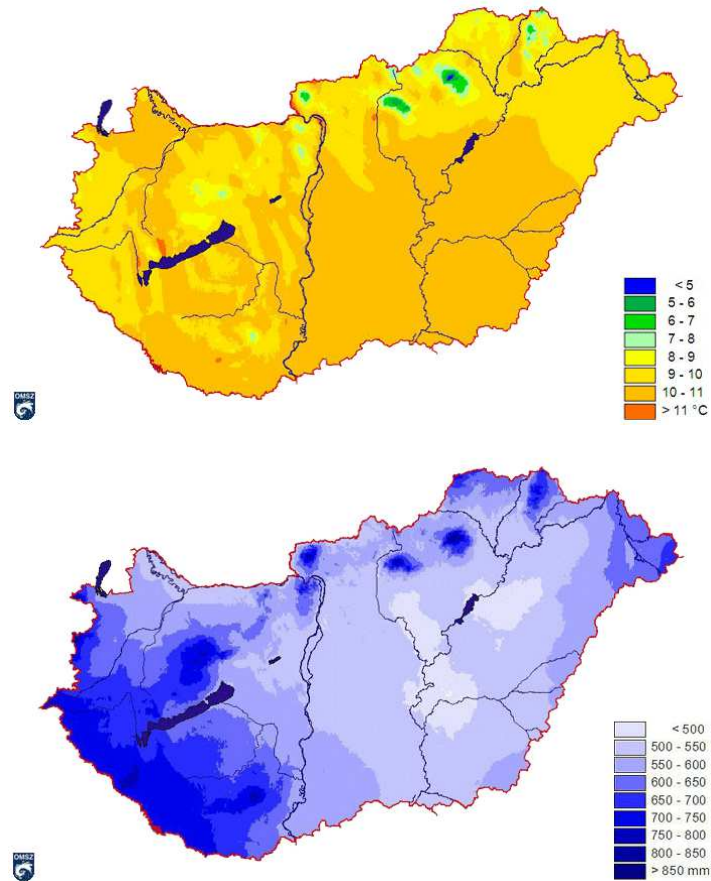
Table 5.: Assessment of EDTA-KCl soluble Cu content in soils (mg kg⁻¹) (Buzás, 1983)

Kötöttség (K _A)	Kielégítő Cu ellátottság (mg/kg)		
	Humusz (%)		
	<1	1-3	3<
<30	0,2	0,3	0,6
30-42	0,3	0,6	1,4
>42	0,6	1,2	3,2

A kísérleti terület adottságai és a kísérleti parcellák kis mérete miatt a parcellák kijelölését a domborzati viszonyok nem befolyásolták, a kísérleti eredményeket számottevően befolyásoló hatással nem számoltunk.

3.1.2. Termőhely klimatikus jellemzése

A kísérletek eredményét az időjárási körülmények is befolyásolják. A terület éghajlata mérsékelt övi, nedves kontinentális. Négy évszakkal rendelkezik, a meleg nyárral, a hideg téllal és két átmeneti évszakkal, a csapadékmaximum koranyári. Az évi középhőmérséklet 10 °C körüli, az éves csapadékösszeg átlagosan 550 mm (11. ábra).

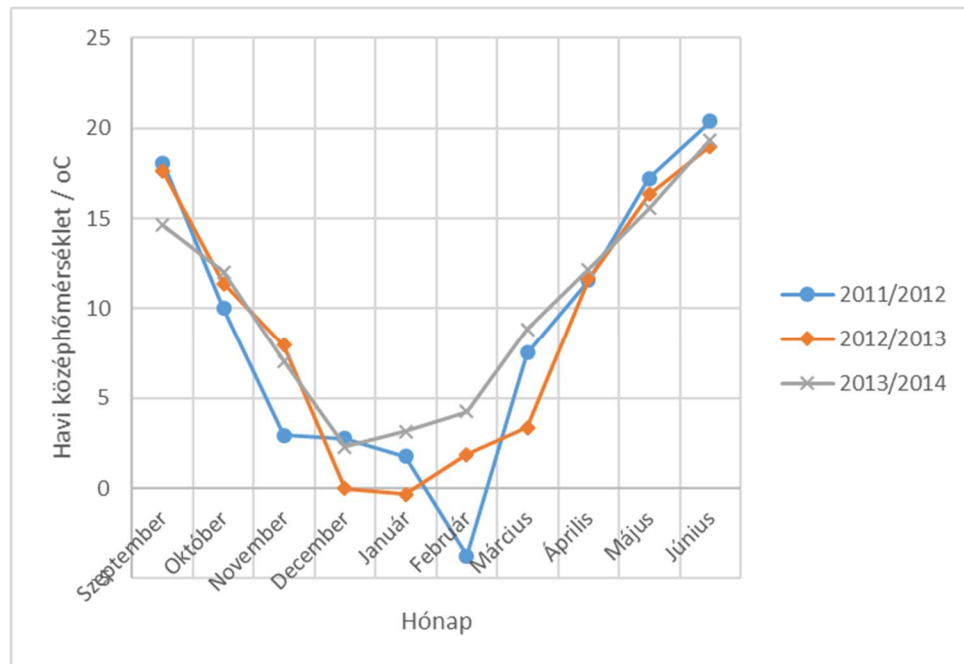


11. ábra: Évi átlagos középhőmérséklet és éves csapadékösszeg Magyarországon az 1971–2000 közötti időszak alapján (Forrás: *Országos Meteorológiai Szolgálat (OMSZ) 2018a, OMSZ 2018b*)

Figure 11.: Annual mean temperature and average annual precipitation in Hungary based on the 1971–2000 period (Source: *OMSZ 2018a, OMSZ 2018b*)

A kísérleti területre vonatkozó hőmérsékleti adatok az OGIMET (www.ogimet.com) időjárás adatbázis Tata állomásáról (északi szélesség 47°39', keleti hosszúság 18°19', magasság 128 m, WMO index: 12836) származnak. A mérési pont távolsága a kísérleti területtől mintegy 17 km légvonalban.

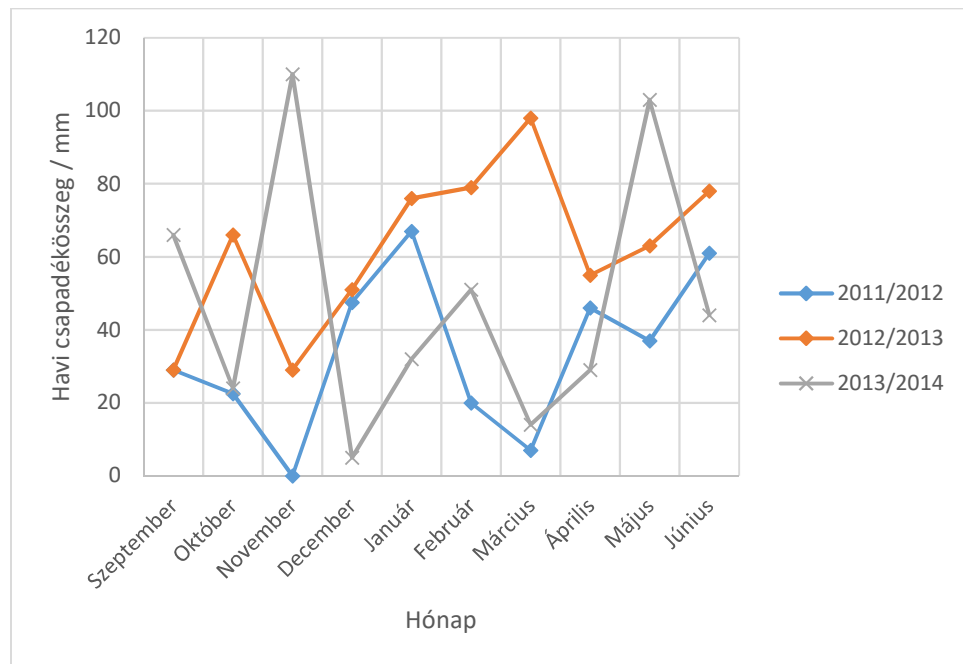
A kapott adatokat a 12. ábra mutatja. A **2011/2012 és 2012/2013** gazdálkodási években a tenyésztidőszakra vonatkozó **átlagos középhőmérsékletek megegyeznek** (8,84 °C illetve 8,88 °C). A **2013/2014-es** gazdálkodási évben kapott átlagos középhőmérséklet (9,93 °C) **mintegy 1 °C-al magasabb**, mint az első kettő kísérleti évben.



12. ábra: Átlagos havi középhőmérséklet a tenyésztidőszakban (Forrás: *OGIMET*, 2018)

Figure 12.: Monthly mean temperature during vegetation period (Source: *OGIMET*, 2018)

A kísérleti évek során **a csapadék mennyisége erősen változó volt**. A tenyésztidőszakra vonatkozó csapadékösszegeket havi bontásban a 13. ábra adja közre.



13. ábra: Havi csapadékösszegek a tenyészedőszakban (Forrás: *Solum Zrt.*, 2018)

Figure 13.: Average monthly precipitation during vegetation period (Source: *Solum Zrt.*, 2018)

A **2011/2012** gazdálkodási évben a terület csapadékellátottsága **szélsőségesen elmaradt a sokévi átlagtól**, a tenyészedőszakban a csapadékösszeg mindössze 337 mm volt (az őszi búza vízigénye *Antal és Jolánkai* (2005) szerint minimálisan 300-350 mm a tenyészedőszakban, az optimális növekedéshez azonban 500-600 mm szükséges). A **2012/2013**-as gazdálkodási év ezzel szemben **rendkívül csapadékos volt**. A tenyészedőszakban a felszínre érkezett 624 mm csapadék mennyisége és a tavaszi időszakban hullott 216 mm is jóval meghaladja a térségre jellemző mennyiséget. A **2013/2014-es évben a csapadék mennyisége megfelelő (478 mm) volt, viszont eloszlása**, különösen a márciusi 14 mm és az

áprilisi 29 mm **kedvezőtlen**. A szélsőséges csapadékösszegeket az OGIMET adatbázisból (OGIMET, 2018) elérhető adatok is megerősítik.

3.1.3. Termesztett fajták, agrotechnológia

A kísérleti területen 2011-ben és 2012-ben **GK Csillag**, 2013-ban **Hystar** fajta került vetésre. A vetés napja 2011-ben október 17-19, 2012-ben október 01-04, 2013-ban október 1 volt.

A területeken a Solum Zrt. az általa folytatott intenzív gazdálkodásnak megfelelően **rendszeresen** végzett **tápanyagutánpótlást** a területen. A kísérleti évek alatt egyszer (2011) történt istállótrágya kijuttatás, illetve egyszer (2012 – mustár) zöldtrágya alkalmazása. A másik két évben az elővetemény betakarításra került. Ezen kívül rendszeresen történt műtrágya (NPK komplex, MAS, DAM, Nikrol-28) kijuttatás is. (6. táblázat) A növényvédelmi kezelésre mindhárom évben három alkalommal került sor. Az alkalmazott szereket a 7. táblázat tartalmazza.

6. táblázat: Főbb agrotechnológiai adatok
Table 6.: Main agrotechnological data

Kísérleti év	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Fajta	GK Csillag	GK Csillag	Hystar
Vetési időpont	2011.10.17-19.	2012.10.01-04.	2013.10.01.
Istállótrágya	+	-	-
Zöldtrágya	-	+	-
Műtrágya	NPK komplex 80 kg ha^{-1} MAS 300 kg ha^{-1} DAM 150 kg ha^{-1}	NPK komplex 100 kg ha^{-1} MAS 200 kg ha^{-1} Nikol-28 120 kg ha^{-1} DAM 90 kg ha^{-1}	MAS 150 kg ha^{-1}
Növényvédelem	3x	3x	3x

7. táblázat: Alkalmazott növényvédelmi kezelések
Table 7.: Applied plant protection treatments

Dátum	Készítmény	Dózis
2012.04.18.	SEKATOR OD ^a	0,15 L ha ⁻¹
2012.05.08.	FALCON 460 EC ^b	0,63 L ha ⁻¹
2012.05.29.	Zantara ^b + FURY 10 EC ^c	1,5 L ha ⁻¹ + 0,1 L ha ⁻¹
2013.04.26-28.	BIATHLON STAR ^a + FURY 10 EW ^c	0,1 csomag ha ⁻¹ + 0,1 L ha ⁻¹
2013.05.14.	Falcon Pro ^b + FURY 10 EW ^c	0,75 L ha ⁻¹ + 0,15 L ha ⁻¹
2013.06.07.	PROSARO ^b + KARATE ZEON 5 CS ^c	1 L ha ⁻¹ + 0,15 L ha ⁻¹
2014.04.01.	BIATHLON STAR ^a	50 g ha ⁻¹ + 1 L ha ⁻¹
2014.04.24.	Falcon Pro ^b + FURY 10 EW ^c	0,8 L ha ⁻¹ + 0,1 L ha ⁻¹
2014.05.28.	Cherokee ^b + FURY 10 EW ^c	1,5 L ha ⁻¹ + 0,1 L ha ⁻¹

^a Gyomirtószer; ^b Gombaölőszert; ^c Inszekticid

3.1.4. Alkalmazott kezelések

A kezeléseket mindhárom évben **kalászhányás végén/virágzás elején** végeztük. A korábbi (*Barkóczy*, 2004) réz vegyületekkel végzett kísérletek során alkalmazott virágzaskori kezelésekhez képest eltérő kezelési időpontot a kalászt károsító kórokozók elleni korábbi fellépés indokolta.

A kísérleti parcellákon az alkalmazott **réz dózisok 0 – 0,1 – 0,3 – 0,5 – 1,0 – 2,0 kg ha⁻¹** voltak. Az első év hozam eredményei alapján a kezelés – hozam görbe nem mutatott maximumot, ezért a **második és harmadik években újabb 4,0 kg ha⁻¹ kezelési szint** is beállításra került. A **parcellák elrendezését** az egyes években a 14. ábra mutatja.



14. ábra: Kísérleti parcellák elhelyezkedése 2011/2012, 2012/2013 és 2013/2014 években
 Figure 14.: Location of experimental plots in years 2011/2012, 2012/2013 and 2013/2014

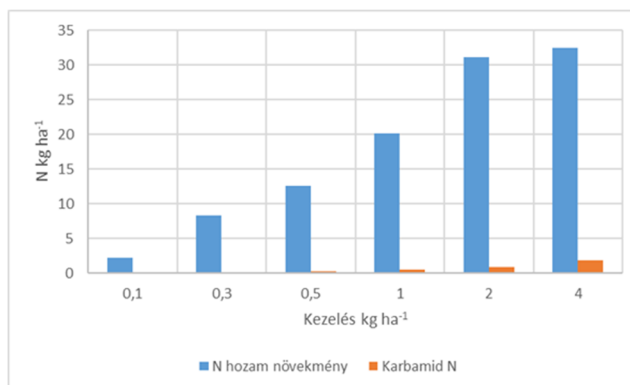
Az alkalmazott kezelések kijuttatását 2,5 L-es nagynyomású **kézi permetezővel** végeztük. A kijuttatott oldatok koncentrációját úgy állítottuk be, hogy a **kijuttatott oldat** mennyisége a 10 m²-es parcellákon **0,6 dm³ legyen minden parcellára**. A nem kezelt kontroll parcellák esetében csak az oldatok készítéséhez használt ioncserélt víz került kijuttatásra.

A kijuttatott készítmények előállítását a zavaró hatások kizárása érdekében analitikai reagens minőségű alapanyagokból a Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Környezettudományi Intézet Kémia Tanszékén Dr. Szakál Pál vezetésével

végeztük. A készítmény a tároláshoz és felhasználáshoz szükséges stabilitás biztosításához kis mennyiségű karbamid adalékanyagot tartalmazott. A kijuttatott oldatokban a réz koncentrációja az alkalmazott dózisoknak megfelelően $0,17 \text{ g L}^{-1}$ és $6,67 \text{ g L}^{-1}$ között változott. Az oldatok a karbamidot a rézhez képest 1:1 mólarányban tartalmzták. A beállított kezeléseket a 8. táblázat mutatja be. Mivel a kezeléseket során nitrogén hatóanyag is kijuttatásra került az alkalmazott készítménnyel, ezért a 3 év eredményeinek ismeretében megvizsgáltuk, hogy a kijuttatott karbamid okozhatta-e a kapott növekedést a nyersfehérje tartalomban (15. ábra). Kapott eredményeink alapján a kezeléseket során kijuttatott nitrogén hatóanyag mennyisége elhanyagolható a kontrolkezeléshez képest kapott nitrogén tartalom növekményéhez képest.

8. táblázat: Alkalmazott kezeléseket
Table 8.: Applied treatments

Dózis kg Cu/ha	Cu g/parcella	Oldat konc. g Cu/L	Karbamid g/parcella	Törzsoldat mL	Víz mL
0	0	0.00	0.00	0	600
0.1	0.1	0.17	0.09	15	585
0.3	0.3	0.50	0.28	45	555
0.5	0.5	0.83	0.47	75	525
1	1	1.67	0.95	150	450
2	2	3.33	1.89	300	300
4	4	6.67	3.78	600	0



15. ábra: A kezelésekkel kijuttatott és a kontroll kezeléshez képest felvett többlet nitrogén aránya

Figure 15.: Ratio of nitrogen applied with treatments and excess in nitrogen uptake compared to control treatment

A törzsoldatok minden alkalommal a kijuttatás előtti napon kerültek elkészítésre, a kijuttatott oldatok hígítása a helyszínen történt.

A kezeléseket az egyes években az alábbi napokon végeztük:

- 2012.05.16.
- 2013.05.15.
- 2014.05.19.

A **levélkezelések a korareggeli órákban** történtek, amikor a sztómák nyitottak és a levelek kutikulája a hajnali harmat hatására lazultabb, ami segítheti a készítmény növény általi felvételét.

3.1.5. Betakarítás

A betakarítást minden egyes parcella **2,5 m²**-es részterületéről **kézzel** végeztük, az egyes években az alábbi napokon:

- 2012.07.03.
- 2013.07.11.

➤ 2014.07.11.

A jobb áttekinthetőség miatt táblázatos formában is közlöm a betakarításhoz kapcsolódó információkat (9. táblázat).

9. táblázat: A betakarításhoz kapcsolódó információk
Table 9.: Data related to harvest

Kísérleti év	2011/2012	2012/2013	2013/2014
Kontrol / kg ha ⁻¹	0	0	0
Kezelések / kg ha ⁻¹	0,1-0,3-0,5-1-2	0,1-0,3-0,5-1-2-4	0,1-0,3-0,5-1-2-4
Mintaszám	24	28	28
Betakarítás	2012.07.03.	2013.07.11.	2014.07.11.

A betakarított termést Mosonmagyaróvárra szállítottuk, ahol a parcellakombájn segítségével kicsépeztük.

A betakarított termést használtuk fel a további vizsgálatok elvégzéséhez.

3.1.6. Terményvizsgálat

A **hozam**, a **nedves sikér** és **keményítőtartalom** vizsgálatokat a Nyugat-magyarországi Egyetem Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Környezettudományi Intézet Kémia Tanszéken, a **nyersfehérje** és **réztartalom** vizsgálatokat a synlab Umweltinstitut Ungarn Kft mosonmagyaróvári laboratóriumában végeztük.

3.1.6.1. Hozam mérése

A betakarításkor minden parcelláról begyűjtött mintánál a termés tömegéből az alábbi képlet segítségével meghatároztuk a **hozamot** majd elvégeztük a termés egyes minőségi jellemzőinek vizsgálatát.

$$\text{Hozam (t ha}^{-1}\text{)} = \frac{10000 * \text{Mért tömeg (g)}}{2,5} * 10^{-6}$$

3.1.6.2. Nedves sikér és keményítőtartalom meghatározása

A Kémia Tanszéken található Perten Inframatic 9200 típusú gabonaanalizátor készülékével végeztük el a termés **nedves sikér** és **keményítő tartalmának** vizsgálatát. Az analizátor az elektromágneses sugárzás közeli infravörös (NIR) tartományában, 1100 és 1400 nm között adott sávokon rögzíti a minták által visszavert elektromágneses sugárzást. A berendezés a kapott adatok jellegzetességei alapján – megfelelő kalibráció után – alkalmas gabonafélék szemterméséből több paraméter vizsgálatára külön mintaelőkészítési lépés nélkül.

3.1.6.3. Nyersfehérje tartalom meghatározása

A **nyersfehérje** tartalom meghatározásához a minta 0,5 g-os részletét 10 mL katalizátor oldattal (Se, CuSO₄, Na₂SO₄ tömény kénsavban oldva) és 5 mL H₂O₂ oldattal 400 °C hőmérsékleten elroncsoltuk majd a minta hígítása után az oldat ammónium-ion tartalmát UV/VIS spektrofotometriás módszerrel az MSZ ISO 7150-1:1992 szabvány szerinti eljárással határoztuk meg Analytik Jena gyártmányú Specord 200 PLUS típusú spektrofotométerrel. A kapott összes nitrogén tartalmat 5,7 szorzófaktorral számítottuk át nyersfehérje tartalomra.

3.1.6.4. Réztartalom meghatározása

A **réztartalom** meghatározásához a minta 5,00 g-os részletét ammónium-nitrát oldat hozzáadása után elhamvasztottuk majd a hamut 10 m/m%-os sósav-oldatban oldottuk, ezt követően 50 mL-es mérőlombikba történő átmosás és jelre töltés után szűrtük. A szűrletből a réztartalom meghatározását MSZ-08-1783-34:1985 szabvány szerint Varian gyártmányú 720-ES ICP-AES spektrométerrel végeztük. A mérések 324,754 nm-es hullámhosszon történtek.

3.1.7. Terményminősítés

A termés beltartalmi paramétereinek közül a **nyersfehérje tartalom** és **sikértartalom** értékelését az *MSZ 6383:2017* szabvány szerint végeztük.

Az értékelés során azt vizsgáltuk, hogy az adott beltartalmi mutató értéke melyik minősítési kategóriának felel meg (10. táblázat).

10. táblázat: Búza minőségi követelmények MSZ 6383:2017 szerint
Table 10.: Wheat quality requirements according to MSZ 6383:2017

Minőségi jellemző	Közönséges búza			Durumbúza
	Prémium-búza	Malmi búza		
		I.	II.	
A nedves siker mennyisége, legalább %(m/m)	34,0	30,0	26,0	30,0
Nyersfehérje-tartalom, legalább %	14,0	12,5	11,5	12,5

3.1.8. Adatok értékeléséhez használt statisztikai módszerek

A kísérleti adatok elemzése során a szórások homogenitásának vizsgálata (F-próba) és csoportképzés (kontroll – többi kezelés) után egytényezős varianciaanalízissel ellenőriztük a kezelések hatásosságát. A varianciaanalízis után meghatároztuk a legkisebb szignifikáns differenciákat (SzD, LSD) a hatásos dózisok meghatározásához. Az évjárat hatás kiküszöbölésére az analízist az egyes kísérleti évekre külön-külön, illetve a három év átlagában is elvégeztük. Az optimálisan alkalmazható dózis meghatározásához a három év átlagadataira a legkisebb négyzetek módszerével illesztettünk görbét. A kísérleti adatokra másodfokú polinomiális görbe ($f(x) = a * x^2 + b * x + c$, ahol x az alkalmazott Cu dózis $f(x)$ pedig a vizsgált paraméter) illeszkedett a legjobban. Az optimális dózis meghatározásához a görbék maximum helyeit határoztuk meg. Az alkalmazott dózisok és a vizsgált paramterek közötti hatást páronkénti korrelációanalízissel vizsgáltuk.

A statisztikai számításokat Sváb (1973), Clewer és Scarisbrick (2001) és Szűcs (2002) szerint végeztük. A kísérleti eredmények értékeléséhez a Microsoft Office Excel 2016 programcsomagot használtuk fel.

3.2. Fungicid hatás vizsgálata agar diffúziós lyukteszt módszerrel

A kiválasztott két növénypatogén kórokozó, a *Fusarium graminearum* Schwabe (1839) NCAIM F.00730 törzse és a *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964) (korábbi nevén *Helminthosporium sativum* Pammel C.M. King & Bakke (1910), *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.) Shoemaker (1959)) NCAIM F.00745 törzse esetében vizsgáltuk agar diffúziós módszer alkalmazásával a növénytáplálási szempontból fontos réz-szacharóz típusú készítmény esetleges antifungális hatását. Kísérleteink célja a szántóföldi alkalmazások során használt dózisok (rézre vonatkoztatva 0 – 0,1 – 0,3 – 0,5 – 1,0 – 2,0 – 4,0 kg ha⁻¹) gátló hatásának vizsgálata volt. Munkánk során ezért ennek megfelelően állítottuk be a felhasznált oldatok koncentrációit, ami a kísérlet körülményei között 0 – 0,17 – 0,50 – 0,83 – 1,67 – 3,33 – 6,67 g L⁻¹ réz koncentrációknak felel meg. A kereskedelmi forgalomban elérhető réz tartalmú növényvédőszeresek közül egy réz-oxikloridot tartalmazó készítményt (Rézoxiklorid 50WP /Agroterm Kft/, 50 % réz hatóanyag tartalommal) alkalmaztunk szerkontrollként.

3.2.1. Kórokozók kiválasztása

A két tesztelt kórokozó kiválasztásánál azok gazdasági jelentőségét vettük figyelembe, azaz mennyire elterjedtek, illetve képesek-e több kultúrnövény károsítására.

A fertőzés fontosabb tünetei – a fertőzés időpontjától is függően – a csírákori pusztulás, gyökérrothadás, szár barnulása, fekete csíkok megjelenése, a kalászok részleges, vagy teljes kifehéredése, a fertőzött kalászkák léhasága, késői fertőzés esetén koraérés. A *Fusarium* fertőzés által okozott termés kiesés miatti gazdasági kár mellett további problémát okoz a kórokozó által termelt mikotoxinok megjelenése nemcsak a szántóföldön, hanem később, a raktározás során is. A fuzáriózis gazdasági jelentőségét tovább növeli, hogy a tünetek búza mellett további növényeken is (például kukorica) megfigyelhetők (Kerekes, 2005).

A helmintospóriumos betegségek közül a barna levélfoltosság minden fejlettségi állapotban kialakulhat. Tünetei a levélen és levélhüvelyen kialakuló sötétbarna foltok, amelyeket időnként sárga udvar vesz körül. A foltok megnövekedve összefolynak, majd a levél elszárad. Tartósan kedvező időjárási körülmények között a kalász is fertőződhet. A fertőzött termésből kikelő csíranövények megfeketednek és elpusztulnak. A penészgomba árpa mellett a búzát, a rozst, a rizst és a zabot is fertőzheti (Ábrahám *et al.*, 2011).

3.2.2. Felhasznált tenyészetek

A vizsgálatok során:

- *Fusarium graminearum* Schwabe (NCAIM F.00730) és
- *Drechslera sorokiniana* (NCAIM F.00745)

törzseket alkalmaztunk modell mikroorganizmusként. A két kiválasztott törzset a Mezőgazdasági és Ipari Mikroorganizmusok Nemzeti Gyűjteménye (National Collection of Agricultural and Industrial Microorganisms - NCAIM) biztosította a kísérletekhez.

Az NCAIM a törzsgyűjtemény értékes genetikai erőforrásait jelentő törzseket a begyűjtést követő vizsgálatok után a lehető legkevesebb passzázst alkalmazva főként liofilezési és fagyasztásos tartósítási eljárásokkal letárolja, megakadályozva a törzsek kihalását és genetikai állományuk változását. A kereskedelmi célú törzsek dupla **ampullás, liofilezett preparátum**, illetve ferde agaros tenyészet formájában álltak rendelkezésre, melyek közül kísérleteinkben az előbbit alkalmaztuk.

3.2.3. Tenyészetek előkészítése

A **liofilezett törzsek felélesztése** a törzsgyűjtemény ajánlott protokollja szerint történt: a liofilizált preparátumhoz 0,3 mL 6,5 g NaCl/1000 ml koncentrációjú sóoldatot adtunk, majd 20 perc rehidratálódás után dolgoztuk fel a szuszpenziót.

A **felélesztett törzsek további kezelése**: a törzseket burgonya-dextróz (Potato-dextrose-agar – PDA PH EUR – USP /Biolab®/; összetétel: 20,0 g L⁻¹ glükóz, 4 g L⁻¹ burgonya kivonat és 15 g L⁻¹ agar – lemezöntés előtt 121 °C-on 15 percig autoklávozva) agarra szélesztettük és 24±1°C-on 72-

120 óráig aerob körülmények között inkubáltuk (3. naptól naponta ellenőrizve a lemezeket). Az így kapott tenyészetekből 10-10 ampullát saját protokoll alapján, védőkolloidokat tartalmazó tápközegben liofilizáltunk. Az ezekből kitenyésztett második szubkultúra képezte további vizsgálataink alapját.

Vizsgálatok: Minden vizsgálat előtt új, liofilezett tenyészetből indultunk ki, melyet burgonya-dextróz agarra szélesztettünk és $24\pm 1^\circ\text{C}$ -on 72-120 óráig aerob körülmények között inkubáltuk (3. naptól naponta ellenőrizve a lemezeket).

Az agar felszínen kifejlődött telepeket $6,5 \text{ g L}^{-1}$ NaCl tartamú sóoldattal lemostuk, majd steril kémcsőbe pipettáztuk.

A sejtszámot Densicheck® készülékkel, illetve Bürker-kamrás sejtszámlálással is ellenőriztük.

Az inokulum spóraszámait minden kísérlet alkalmával mindkét vizsgált törzs esetében – szükség esetén hígítással – 10^7 mL^{-1} nagyságrendre állítottuk be.

3.2.4. Agar-diffúziós módszer

Az agar-diffúziós módszer onnan kapta a nevét, hogy a vizsgálandó vegyületek az agarlemezben diffundálni képesek és hatékonyságuktól függő mértékben váltják ki a teszt mikroorganizmusok szaporodás-gátlási zónáját. A gátlási zóna nagysága függ a vegyület diffúziós sebességétől, koncentrációjától, valamint a mikroba érzékenységétől. Az eljárás lényege: az előre elkészített táptalajba külső hordozóanyag segítségével (pl. korong, tableta), vagy anélkül (lyuktesztnél egyszerűen vizes oldatban), diffúzióval juttatjuk be a hatóanyagot (Ásványi-Molnár, 2009; Ph. Hg. VIII, 2009).

3.2.5. Lyukteszt kivitelezése

A módszer a következő lépéseket tartalmazta:

Az előzetesen beállított sejtszámú szuszpenziókból 1 mL-t steril petri csészékbe pipettáztunk, majd burgonya-dextróz agar (PDA) felhasználásával lemezeket öntöttünk. Ügyeltünk arra, hogy a leoltáskori hígulást figyelembe véve az inokulum végső koncentrációja a petri csészékben 10^5 mL^{-1} nagyságrendben legyen. Lemezenként 20 ± 1 g volt a táptalaj mennyisége.

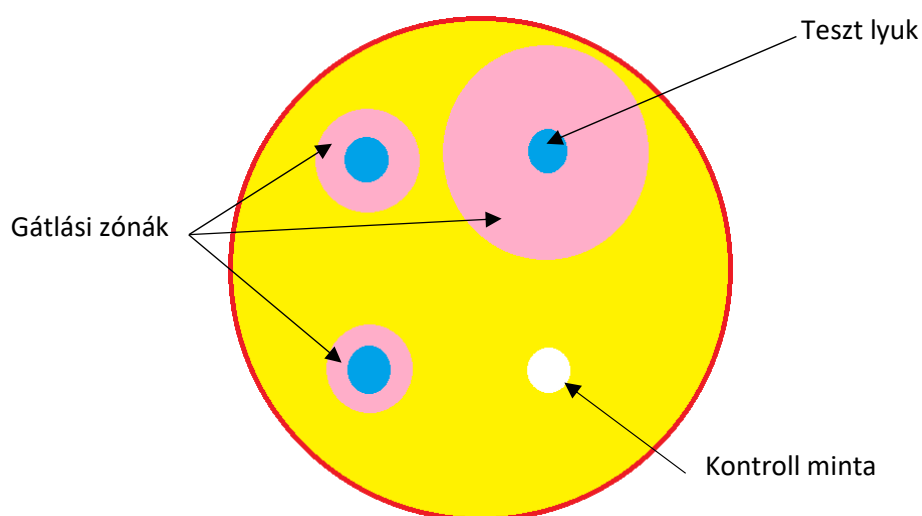
A lemezek megszilárdulását követően előzetesen sterilizált agarfúróval, lamináris fülke alatt 4 darab 12 mm átmérőjű lyukat vágunk az agar lemezekbe.

A lyukakba a vizsgálandó anyag vizes oldatából készített hígítási sor tagjaiból azonos mennyiségeket pipettáztunk ($200 \mu\text{L}$).

Ezt követően a Petri-csészéket 0-8 °C-os hőmérsékletű hűtőszekrénybe tettük és 4 órán át ott tartottuk. Az így lassított szaporodási ciklus alatt a vizsgálandó anyag az agarba diffundált.

A lemezeket $24\pm 1^\circ\text{C}$ -os termosztátba helyeztük.

48-120 órás inkubációt követően (48 órát követően naponta ellenőrizve) nóniusz skálás mérőeszközzel megmértük a lyukak körül kialakuló gátló, vagy serkentő zónák átmérőjét, amelyből következtettünk a gátlóanyag antifungális hatására (16. ábra).



16. ábra: Kialakuló gátlási zónák sematikus rajza (*Kerekes (2005) nyomán*)
Figure 16.: Schematic drawing of inhibition zones (based on *Kerekes (2005)*)

A kísérleteket **három ismétlésben** végeztük el. A vizsgálatokat a tenyészetek **leoltásával** az alábbi napokon kezdtük meg:

- 2019.01.29.
- 2019.02.06.
- 2019.02.15.

3.2.6. Felhasznált anyagok

A kísérletek során felhasznált oldatokat minden esetben a kísérlet beállításának napján frissen, a szuszpenziók alapját jelentő tenyészeteket pedig 48-72 órával a kísérletek megkezdése előtt készítettük.

A lemezekből külön pozitív és negatív kontrollokat is beállítottunk a táptalajok és hígítófolyadékok ellenőrzése céljából.

A kontroll kísérlet beállításához kereskedelmi forgalomban kapható növényvédőszer (réz-oxiklorid) használtunk, a tesztelt hatóanyag a laboratóriumban készült analitikai reagens, vagy azzal egyenértékűnek tekinthető tisztaságú vegyszerek felhasználásával.

3.2.6.1. Réz-oxiklorid

A referencia vizsgálathoz használt réz-oxiklorid ($3\text{*Cu(OH)}_2\text{*CuCl}_2$) kereskedelmi forgalomban kapható (az engedély tulajdonosa Agroterm Kft., kiszerelője KEVI-KEM Kft.), nedvesíthető por (WP), kontakt hatásmódú gombaölő permetezőszer 88 % réz-oxiklorid hatóanyag tartalommal, ami 50 % réznek felel meg.

A hígítási sor készítéséhez a porból kevés vízzel történő szuszpendálás után réz tartalomra vonatkoztatva 10 g L^{-1} koncentrációjú szuszpenziót

készítettünk, majd a szuszpenziót egy további lépésben 3000 mg L⁻¹ réz koncentrációra hígítottuk. A hígítási sor további két tagja 2000 mg L⁻¹ és 1000 mg L⁻¹ réz koncentrációval a 3000 mg L⁻¹ koncentrációjú szuszpenzióból készült. Az alkalmazott kezeléseket a 11. táblázat mutatja.

11. táblázat: Alkalmazott kezelések

Table 11.: Applied treatments

Jelölés	Oldat konc. mg Cu/L	Törzsoldat mg Cu/L	Oldat hígítás	
			t.o. / mL	Víz / mL
A1	3000	-	1,500	0,000
A2	2000	3000	1,000	0,500
A3	1000	3000	0,500	1,000
O	0	-	0,000	1,500

3.2.6.2. Réztartalmú készítmény

Analitikai reagens tisztaságú réz-szulfát pentahidrátból (CuSO₄ x 5H₂O) kiindulva 6,67 g L⁻¹ réz koncentrációra beállítva készítettük el a törzsoldatot. A hígítási sor további tagjai ebből a törzsoldatból készültek hígítással. Az alkalmazott kezeléseket a 12. táblázat mutatja.

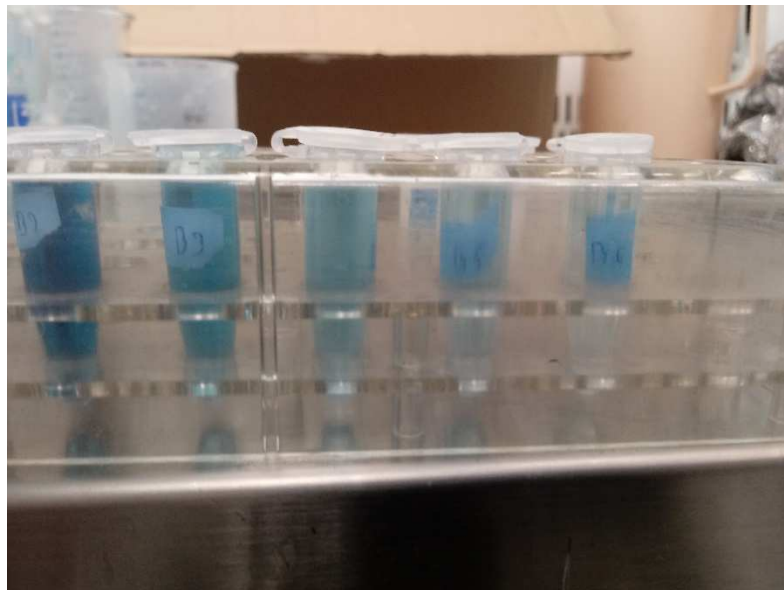
12. táblázat: Alkalmazott kezelések

Table 12.: Applied treatments

Jelölés	Dózis kg/ha	Oldat konc. mg Cu/L	Törzsoldat mg Cu/L	Oldat hígítás	
				t.o. / mL	Víz / mL
B1	4	6674	-	1,500	0,000
B2	2	3337	6674	0,750	0,750
B3	1	1668	6674	0,375	1,125
B4	0,5	834	1668	0,750	0,750
B5	0,3	501	1668	0,450	1,050
B6	0,1	167	1668	0,150	1,350
O	0	0	-	0,000	1,500

A vizsgált oldatok (17. ábra) koncentrációit a szántóföldi növénytáplálási kísérletben alkalmazott oldatok koncentrációinak

megfelelően állítottuk be. A számításoknál a szántóföldi kísérletek 10 m²-es parcelláira kijuttatott 0,6 L oldattérfogattal számoltunk.



17. ábra: Réz-szacharóz oldatok kísérlethez előkészítve
Figure 17.: Copper-sacharose solutions prepared for test

3.2.7. Adatok értékeléséhez használt statisztikai módszerek

A kísérleti adatok elemzése során páronkénti kétmintás t-próbával ellenőriztük a kezelések hatásosságát. Az esetleges hatás koncentrációfüggését és a koncentrációfüggés jóságát regresszióanalízissel vizsgáltuk.

A statisztikai számításokat Sváb (1973), Clewer és Scarisbrick (2001) és Szűcs (2002) szerint végeztük. A kísérleti eredmények értékeléséhez a Microsoft Office Excel 2016 programcsomagot használtuk fel.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

4.1. Szántóföldi kisparcellás kísérletek

A kísérletek mindhárom évében vizsgáltuk a kezelések hatását az őszi búza hozamára és egyes beltartalmi-, minőségi paramétereire (nyersfehérje tartalom, nedves sikértartalom, keményítő tartalom és réztartalom). Az egyes kísérleti évek eredményeiben a környezeti körülményeknek – elsősorban a tenyészidőszakban hullott csapadék mennyiségének – köszönhetően voltak eltérések. Emiatt a kezelések hatásosságának megállapításához a három kísérleti év eredményeinek átlagát is külön értékeltük.

A kísérleti eredmények értékelése során minden egyes vizsgált paraméterre meghatároztuk a kapott eredmények alap statisztikai mutatóit (átlag, szórás). F-próbával 95 %-os szignifikancia szinten megvizsgáltuk, hogy a kapott eredmények varianciája különbözik-e szignifikánsan.

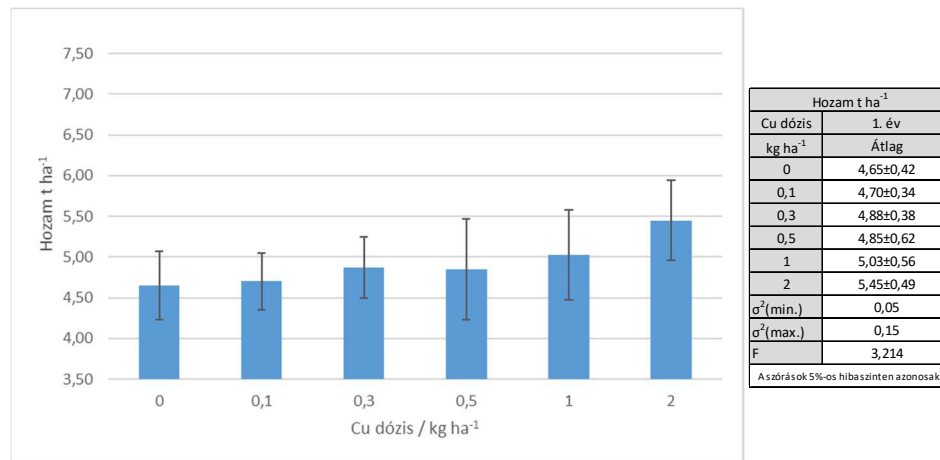
A kapott eredmények alapján sem az egyes éveknél, sem a három év átlagában a varianciák nem különböztek szignifikánsan, ezért paraméterenként kéttényezős varianciaanalízissel vizsgáltuk a kezelések eredményességét az adott vizsgált paraméterre, majd meghatároztuk az egymástól szignifikánsan különböző eredményeket.

A fenti elemzést az egyes évjáratokra külön-külön illetve a három kísérleti év átlagában is elvégeztük, továbbá a kísérleti évek átlagában vizsgáltuk a kezelések és egyes vizsgált jellemzők közötti kapcsolatot.

4.1.1. A 2012. évi kezelések eredményei

4.1.1.1. A kezelések hatása a hozamra

A kezelések hatására a kapott hozamok növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok függvényében (18. ábra). (Az ábrán – és valamennyi hasonló ábrán is – a kezelések hatására kapott relatív kis eltérések jobb szemléltetése érdekében az y tengely skáláját a kapott kísérleti eredményekhez igazítva külön-külön állítottuk be.)



18. ábra: Kezelések hatása a hozamra, 2012
Figure 18.: Effect of treatments on yield, 2012

A kapott hozam adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 13. és 14. táblázatok foglalják össze.

13. táblázat: 2012. évi kezelések varianciaanalízise
Table 13.: Analysis of variances of treatments in 2012

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	3.3050	23			
Ismétlés	0.3917	3	0.1306	1.588	
Kezelés	1.6800	5	0.3360	4.086	**
Kontroll-Többi	0.3630	1	0.3630	4.415	*
Többi kezelés	1.3170	4	0.3292	4.004	**
Hiba	1.2333	15	0.0822		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

14. táblázat: Szignifikáns eltérések a hozamban, 2012
Table 14.: Significant differences in yield, 2012

Cu dózis kg ha ⁻¹	Hozam t ha ⁻¹					
	0	0.1	0.3	0.5	1	2
0	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-
1	*	ns	ns		-	-
2	***	***	**	***	*	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 0.36

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 0.43

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 0.60

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

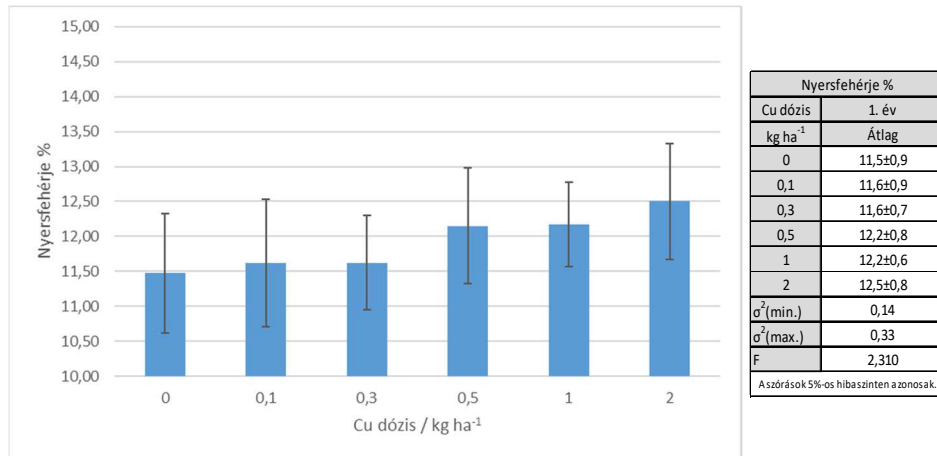
A kapott kísérleti eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza hozamára hatásosak voltak 95 %-os szignifikancia szinten. A 2012. évi kísérletek során a hozamot mérési eredményeink alapján minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján az elvégzett kontroll kezeléshez képest 90 %-os szignifikancia szinten hatásosnak bizonyult az 1 kg ha⁻¹ dózisú kezelés és 95 %-os szignifikancia szinten bizonyult hatásosnak a 2 kg ha⁻¹ réz kezelés.

Az elvégzett kezelések során a legnagyobb hozamot a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott hozam $5,45 \pm 0,49 \text{ t ha}^{-1}$ volt, ez a kontrollként elvégzett kezeléshez képest majdnem 20 %-os növekedést jelentett a hozamban.

A 2011/2012-es gazdálkodási évben a kísérleti terület csapadékellátottsága szélsőségesen elmaradt a sokévi átlagtól, ez jelentős hatással volt a kapott hozamokra. Az elvégzett réz kezelések azonban még a tapasztalt szélsőséges körülmények között is hatásosnak bizonyultak, kísérleti eredményeink alapján sikerült a hozamokban statisztikailag igazolható növekedést kimutatni. A kedvezőtlen időjárási körülmények hatása a későbbiekben látványosan jelentkezik az első és a további kísérleti évek során kapott hozam eredmények különbségeiben.

4.1.1.2. A kezelések hatása a nyersfehérje tartalomra

A kezelések hatására a kapott nyersfehérje tartalmak növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok függvényében (19. ábra).



19. ábra: Kezelések hatása a nyersfehérje tartalomra, 2012
Figure 19.: Effect of treatments on raw protein content, 2012

A kapott nyersfehérje tartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 15. és 16. táblázatok foglalják össze.

15. táblázat: 2012. évi kezelések varianciaanalízise
Table 15.: Analysis of variances of treatments in 2012

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	7.7650	23			
Ismétlés	0.3250	3	0.1083	0.393	
Kezelés	3.3050	5	0.6610	2.398	*
Kontroll-Többi	0.9720	1	0.9720	3.526	*
Többi kezelés	2.3330	4	0.5832	2.116	
Hiba	4.1350	15	0.2757		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

16. táblázat: Szignifikáns eltérések a nyersfehérje tartalomban, 2012
Table 16.: Significant differences in raw protein content, 2012

Cu dózis kg ha ⁻¹	Nyersfehérje %					
	0	0.1	0.3	0.5	1	2
0	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-
0.5	*	ns	ns	-	-	-
1	*	ns	ns		-	-
2	**	**	**	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 0.65

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 0.79

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 1.09

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

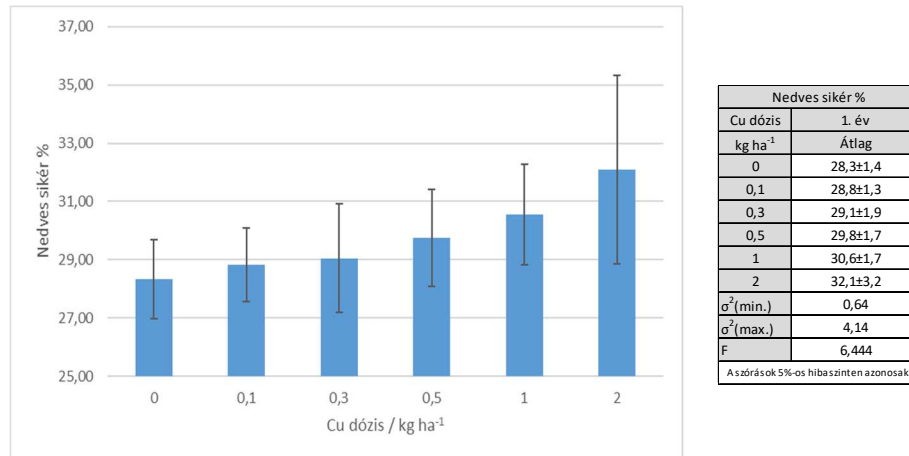
A kapott vizsgálati eredményeink alapján az elvégzett kezelések az őszi búza nyersfehérje tartalmára hatásosak voltak 90 %-os szignifikancia szinten. Eredményeink alapján a 2012. évi kísérletek során a nyersfehérje tartalmat minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kontrollként elvégzett kezeléshez képest 90 %-os szignifikancia szinten hatásos a 0,5 kg ha⁻¹ és az 1 kg ha⁻¹ dózisú kezelés és 95 %-os szignifikancia szinten hatásos a 2 kg ha⁻¹ réz kezelés.

A kezelések során a legnagyobb nyersfehérje tartalmat a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott nyersfehérje tartalom $12,5 \pm 0,5 \%$ volt, ez a kontrolkezeléshez képest majdnem 10 %-os növekedést jelent a nyersfehérje tartalomban.

A 2011/2012-es gazdálkodási évben a tenyészedőszakban a kísérleti területen hullott, a szokásos csapadékellátottságtól szélsőségesen elmaradó csapadék a hozamokat negatívan befolyásolta, illetve a hozamok mellett a betakarított termés minőségére is hatással volt: a termés minősége a nyersfehérje tartalom alapján a legnagyobb dózisú kezelés esetén is éppen hogy eléri a malmi I-es minősítést, a többi kezelés esetében vizsgálataink alapján alatta maradt. Alkalmazott kezeléseinkkel azonban a kedvezőtlen környezeti feltételek mellett is sikerült a kísérleti évben statisztikailag igazolható növekedés elérni az őszi búza nyersfehérje tartalmában.

4.1.1.3. A kezelések hatása a nedves siker tartalomra

A kezelések hatására a kapott sikértartalmak ugyancsak növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok hatására (20. ábra).



20. ábra: Kezelések hatása a sikértartalomra, 2012
Figure 20.: Effect of treatments on gluten content, 2012

A kapott sikértartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 17. és 18. táblázatok foglalják össze.

17. táblázat: 2012. évi kezelések varianciaanalízise
Table 17.: Analysis of variances of treatments in 2012

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	65.6933	23			
Ismétlés	0.3433	3	0.1144	0.063	
Kezelés	38.1483	5	7.6297	4.207	**
Kontroll-Többi	9.9763	1	9.9763	5.501	**
Többi kezelés	28.1720	4	7.0430	3.884	**
Hiba	27.2017	15	1.8134		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

18. táblázat: Szignifikáns eltérések a sikértartalomban, 2012
Table 18.: Significant differences in gluten content, 2012

Cu dózis kg ha ⁻¹	Nedves sikér %					
	0	0.1	0.3	0.5	1	2
0	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-
1	**	*	ns		-	-
2	***	***	***	**	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 1.67

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 2.03

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 2.81

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

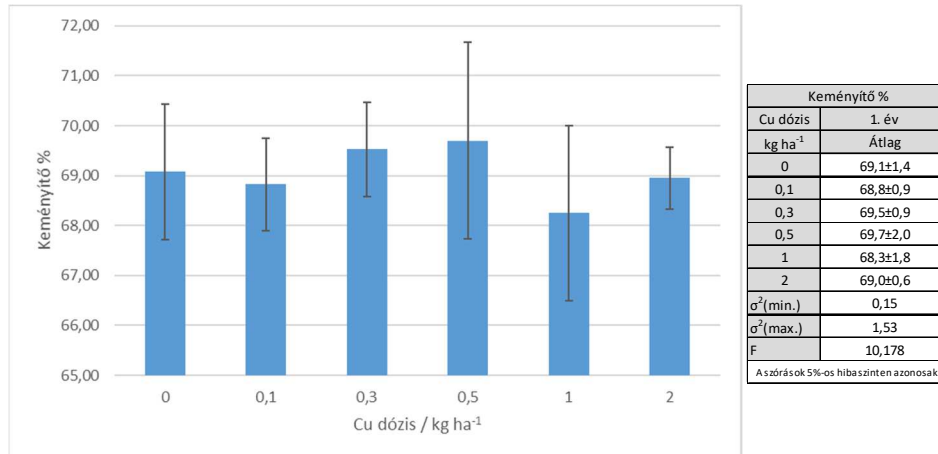
A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza sikértartalmára hatásosak voltak 95 %-os szignifikancia szinten. A 2012. évi kísérletek során a sikértartalmat minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kezeletlen kontrollhoz képest 95 %-os szignifikancia szinten hatásos az 1 kg ha⁻¹ dózisú kezelés és a 2 kg ha⁻¹ réz kezelés.

A kezelések során a legnagyobb sikértartalmat a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott sikértartalom $32,1 \pm 3,2 \%$ volt, ez a kontrollhoz képest több mint 10 %-os növekedést jelent.

A 2011/2012-es gazdálkodási év szélsőségesen kedvezőtlen csapadékmennyisége (messze elmaradt a tenyészidőszakban szokásos mennyiségtől) a hozamokat és a nyersfehérje tartalmat is negatívan befolyásolta. Az őszi búza nyersfehérje és sikértartalma közötti korreláció miatt ez a kísérleteink során kapott sikértartalom eredményeken is látszódik. A három kísérleti év során az első évben kaptuk a legalacsonyabb nedves sikértartalom eredményeket (a kapott eredmények csak az 1 kg ha^{-1} és a 2 kg ha^{-1} dózisú kezelések esetében haladta meg a malmi I-es minősítéshez szükséges értéket), viszont az alkalmazott kezelések pozitív hatása itt is kimutatható volt statisztikailag.

4.1.1.4. A kezelések hatása a keményítő tartalomra

A kezelések hatására a kapott keményítő tartalmak gyenge korreláció mellett enyhén csökkenő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisos függvényében (21. ábra).



21. ábra: Kezelések hatása a keményítő tartalomra, 2012
Figure 21.: Effect of treatments on starch content, 2012

A kapott keményítő tartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 19. és 20. táblázatok foglalják össze.

19. táblázat: 2012. évi kezelések varianciaanalízise
Table 19.: Analysis of variances of treatments in 2012

Tényező	SQ	FG	MQ	F
Összes	18.3596	23		
Ismétlés	2.0513	3	0.6838	0.940
Kezelés	5.3971	5	1.0794	1.484
Kontroll-Többi	0.0021	1	0.0021	0.003
Többi kezelés	5.3950	4	1.3487	1.854
Hiba	10.9112	15	0.7274	

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

20. táblázat: Szignifikáns eltérések a keményítő tartalomban, 2012
Table 20.: Significant differences in starch content, 2012

Cu dózis kg ha ⁻¹	Keményítő %					
	0	0.1	0.3	0.5	1	2
0	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-
1	ns	ns	*	**	-	-
2	ns	ns	ns	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 1.06

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 1.29

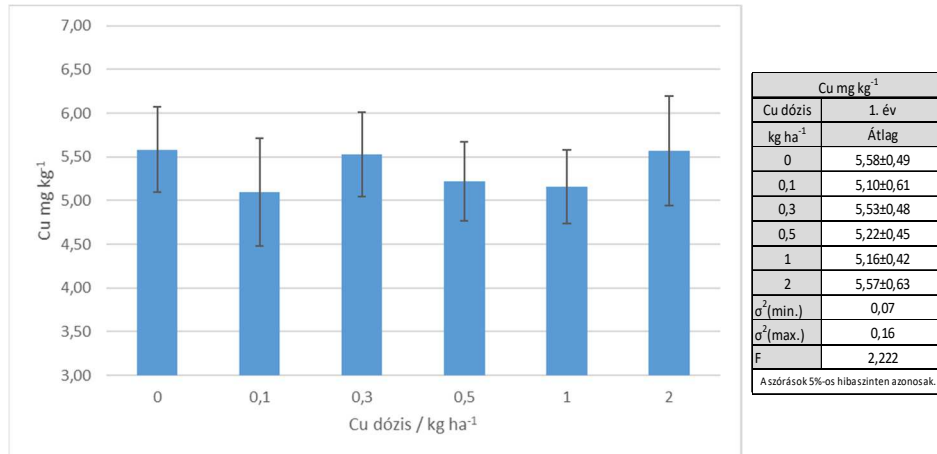
*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 1.78

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza keményítő tartalmára nem voltak 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak. A 2012. évi kísérletek során a legnagyobb keményítő tartalmat a 0,5 kg ha⁻¹ réz dózisu kezelés esetén értük el, a legalacsonyabbat az 1 kg ha⁻¹ réz dózisu kezelés esetén. Az így kapott keményítő tartalmak 69,7±2,0 % illetve 68,3±1,8 % voltak

4.1.1.5. A kezelések hatása a réztartalomra

A kezelések hatására a búza termésében mért réztartalmak nem mutattak értelmezhető tendenciát a növekvő réz dózisok függvényében (22. ábra).



22. ábra: Kezelések hatása a réztartalomra, 2012
Figure 22.: Effect of treatments on copper content, 2012

A kapott réztartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 21. és 22. táblázatok foglalják össze.

21. táblázat: 2012. évi kezelések varianciaanalízise
Table 21.: Analysis of variances of treatments in 2012

Tényező	SQ	FG	MQ	F
Összes	2.9310	23		
Ismétlés	0.1340	3	0.0447	0.374
Kezelés	1.0062	5	0.2012	1.686
Kontroll-Többi	0.2376	1	0.2376	1.990
Többi kezelés	0.7686	4	0.1921	1.609
Hiba	1.7908	15	0.1194	

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

22. táblázat: Szignifikáns eltérések a réztartalomban, 2012
Table 22.: Significant differences in copper content, 2012

Cu dózis kg ha ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹					
	0	0.1	0.3	0.5	1	2
0	-	-	-	-	-	-
0.1	*	-	-	-	-	-
0.3	ns	*	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-
1	ns	ns	ns		-	-
2	ns	*	ns	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 0.43

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 0.52

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 0.72

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza réztartalmára 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

A kezelések során a legnagyobb réztartalmat a 0 kg ha⁻¹ réz dózisével a kontroll kezelés esetén értük el. Az így kapott réztartalom 5,58±0,49 mg kg⁻¹ volt. A legalacsonyabb réztartalom 5,10±0,61 mg kg⁻¹ volt, amit a 0,1 kg ha⁻¹ réz dózisével a kezelés esetén kaptunk.

Kísérleteink során a búza termésében mért réztartalomra kapott eredményeink függetlennek bizonyultak az alkalmazott réz kezelésektől.

Ennek oka valószínűleg az volt, hogy a kísérleteink során hozamokban pozitív választ kaptunk, ami miatt a rendelkezésre álló réz mennyiség a nagyobb biomassza tömegben „felhígult”.

4.1.1.6. A 2012. évi eredmények összefoglalása

Az elvégzett kezelések hatására a hozamban sikerült szignifikáns növekedést elérni az 1 kg ha⁻¹-os dózisonál 90 %-os szignifikancia szinten, a 2 kg ha⁻¹-os dózisonál 95 %-os szignifikancia szinten. A maximális hozamot a legmagasabb dózisu a 2 kg ha⁻¹-os kezeléssel érték el.

Szintén szignifikáns volt a kezelések hatása a nyersfehérje és a nedves siker tartalomra a 0,5 kg ha⁻¹-os illetve az 1 kg ha⁻¹-os dózisoktól kezdve. Mindkét esetben a legnagyobb növekedést a 2 kg ha⁻¹ réz dózisu kezelés esetén érték el, hasonlóan a hozamhoz. A legnagyobb nyersfehérje tartalom 12,5±0,5 % volt, ami a kontrolkezeléshez képest majdnem 10 %-os növekedést jelent.

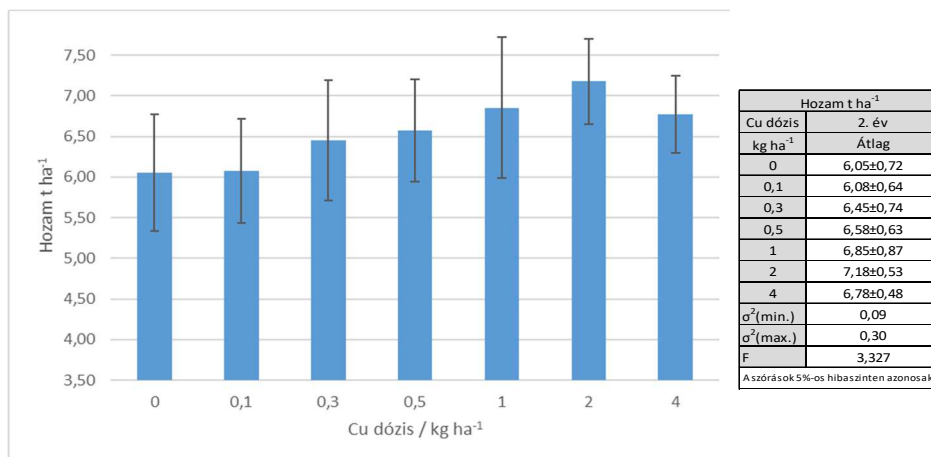
A mért keményítő- és réztartalmakban nem sikerült szignifikáns különbségeket kimutatnunk.

4.1.2. A 2013. évi kezelések eredményei

Az előző évi adatok értelmezése alapján a 2013-as évben egy 4 kg/ha – os Cu dózisu kezelést is beállítottunk a kísérletbe annak érdekében, hogy nagy biztonsággal meg tudjuk határozni a maximális hozamnövekedést eredményező dózist.

4.1.2.1. A kezelések hatása a hozamra

A kezelések hatására a kapott hozamok növekvő tendenciát mutattak az emelkedő réz dózisok függvényében (23. ábra), azonban a legnagyobb dózisu (4 kg ha⁻¹) kezelés hatására már termésdepressziót tapasztaltunk.



23. ábra: Kezelések hatása a hozamra, 2013
Figure 23.: Effect of treatments on yield, 2013

A kapott hozam adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 23. és 24. táblázatok foglalják össze.

23. táblázat: 2013. évi kezelések varianciaanalízise
Table 23.: Analysis of variances of treatments in 2013

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	7.7643	27			
Ismétlés	0.1643	3	0.0548	0.279	
Kezelés	4.0643	6	0.6774	3.448	**
Kontroll-Többi	1.2343	1	1.2343	6.284	**
Többi kezelés	2.8300	5	0.5660	2.881	**
Hiba	3.5357	18	0.1964		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

24. táblázat: Szignifikáns eltérések a hozamban, 2013
Table 24.: Significant differences in yield, 2013

Cu dózis kg ha ⁻¹	Hozam t ha ⁻¹						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-	-
1	**	**	ns		-	-	-
2	***	***	**	*	ns	-	-
4	**	**	ns	ns	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{10%}= 0.54

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{5%}= 0.66

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{1%}= 0.90

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

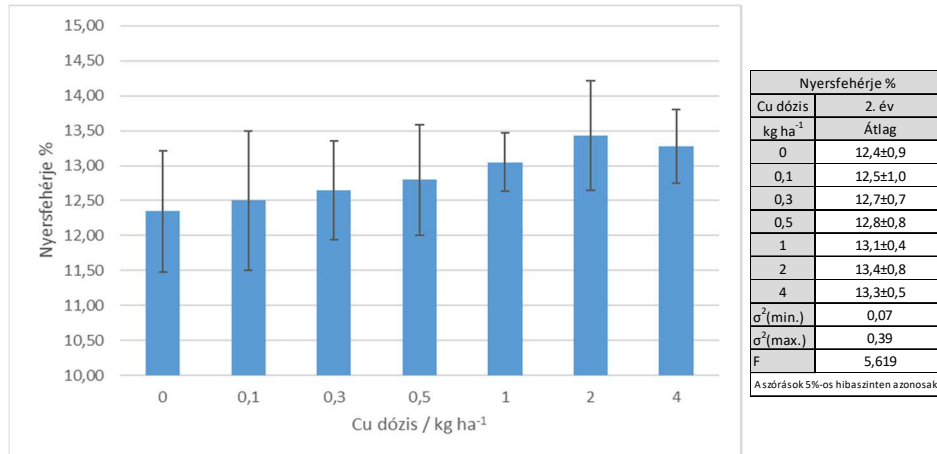
A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza hozamára hatásosak voltak 95 %-os szignifikancia szinten. A 2013. évi kísérletek során a hozamot minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kezeletlen kontrollhoz kezeléshez képest 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak az 1 kg ha⁻¹ és az annál nagyobb dózisú kezelések.

A kezelések során a legnagyobb hozamot a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott hozam $7,18 \pm 0,53 \text{ t ha}^{-1}$ volt, ez a kontrollhoz képest majdnem 20 %-os hozamnövekedést jelent.

A 2011/2012-es gazdálkodási évhez képest az időjárási körülmények hatására sokkal jobbak voltak a hozam eredmények ebben a kísérleti évben. A kapott hozamok meghaladták az országos és megyei átlagot is. Kísérleteink tapasztalatai szerint az általunk alkalmazott kezelések a kedvező környezeti körülmények között is érvényesülni tudtak.

4.1.2.2. A kezelések hatása a nyersfehérje tartalomra

A kezelések hatására a kapott nyersfehérje tartalmak növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok hatására, a legnagyobb dózisu kezelésnél (4 kg ha^{-1} réz) enyhe csökkenéssel (24. ábra).



24. ábra: Kezelések hatása a nyersfehérje tartalomra, 2013
Figure 24.: Effect of treatments on raw protein content, 2013

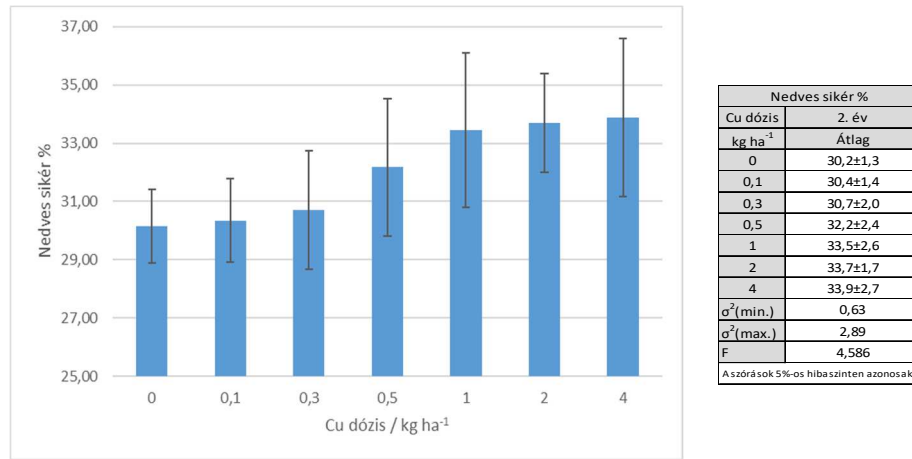
A kapott nyersfehérje tartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 25. és 26. táblázatok foglalják össze.

A kezelések során a legnagyobb nyersfehérje tartalmat a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott nyersfehérje tartalom $13,4 \pm 0,8 \%$ volt, ettől csak kis mértékben maradt el a 4 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetében kapott $13,3 \pm 0,5 \%$ értéktől. A kontrollhoz képest ez majdnem 10% -os növekedést jelent a nyersfehérje tartalomban.

A 2012/2013-as gazdálkodási év jó csapadékellátottsága a korábbi kísérleti évhez képest jobb eredményeket hozott. A kapott nyersfehérje eredmények a $0,3 \text{ kg ha}^{-1}$ dózistól kezdve meghaladják a malmi I-es kategóriához tartozó minimum értéket. Kísérleteink 3 éve alatt a 2013-as kezelések során kaptuk a legnagyobb ($13,4 \pm 0,8 \%$) nyersfehérje tartalom értéket.

4.1.2.3. A kezelések hatása a nedves sikértartalomra

A kezelések hatására a kapott sikértartalmak növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok függvényében (25. ábra).



25. ábra: Kezelések hatása a sikértartalomra, 2013
Figure 25.: Effect of treatments on gluten content, 2013

A kapott sikértartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 27. és 28. táblázatok foglalják össze.

27. táblázat: 2013. évi kezelések varianciaanalízise
Table 27.: Analysis of variances of treatments in 2013

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	101.4486	27			
Ismétlés	4.3714	3	1.4571	0.828	
Kezelés	65.4036	6	10.9006	6.195	***
Kontroll-Többi	16.9736	1	16.9736	9.646	***
Többi kezelés	48.4300	5	9.6860	5.505	***
Hiba	31.6736	18	1.7596		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

28. táblázat: Szignifikáns eltérések a sikértartalomban, 2013
Table 28.: Significant differences in gluten content, 2013

Cu dózis kg ha ⁻¹	Nedves sikér %						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	**	*	ns	-	-	-	-
1	***	***	***		-	-	-
2	***	***	***	ns	ns	-	-
4	***	***	***	*	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 1.63

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 1.97

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 2.70

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza sikértartalmára hatásosak voltak legalább 95 %-os szignifikancia szinten. A 2013. évi kísérletek során a sikértartalmat minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kontrollhoz képest legalább 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak a 0,5 kg ha⁻¹ és annál nagyobb dózisú kezelések.

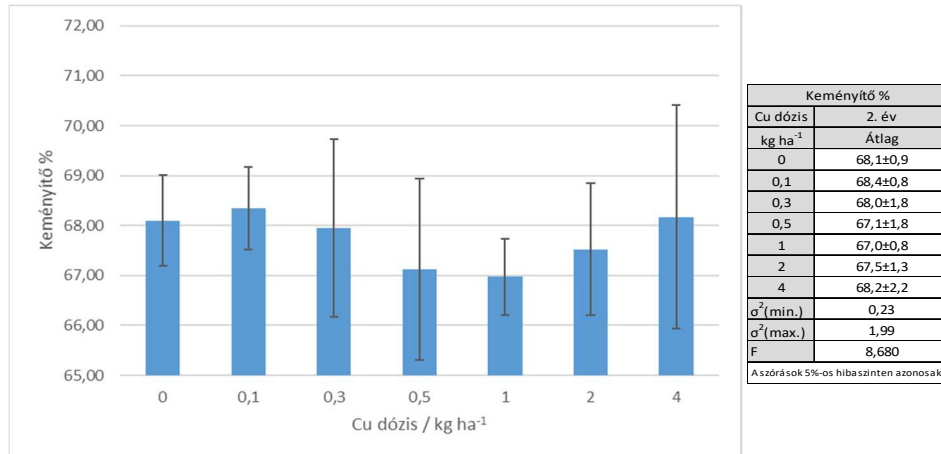
A kezelések során a legnagyobb sikértartalmat a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén érték el. Az így kapott sikértartalom 33,9±2,7 % volt, ez a

kontrollhoz képest több mint 10 %-os növekedést jelent. A kapott érték minimálisan haladja meg a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén kapott értéket, ami $33,7 \pm 1,7 \%$ volt.

Az első kísérleti évhez képest kedvezőbb környezeti feltételek a hozam és a nyersfehérje tartalom mellett a búza sikértartalmára is pozitív hatással voltak. A kapott (nedves) sikértartalmak magasabbak voltak, mint amiket az első kísérleti évben kaptunk, a mért sikértartalmak minden kezelés esetében elérték a malmi I-es kategóriát. a legmagasabb mért érték (33,9 %) pedig minimálisan marad el a javító minőségű búzáétól.

4.1.2.4. A kezelések hatása a keményítő tartalomra

A kezelések hatására a kapott keményítő tartalmak ezen vizsgálati évben sem mutatnak korrelációt a növekvő réz dózisok függvényében (26. ábra).



26. ábra: Kezelések hatása a keményítő tartalomra, 2013
Figure 26.: Effect of treatments on starch content, 2013

A kapott keményítő tartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 29. és 30. táblázatok foglalják össze.

29. táblázat: 2013. évi kezelések varianciaanalízise
Table 29.: Analysis of variances of treatments in 2013

Tényező	SQ	FG	MQ	F
Összes	25.2286	27		
Ismétlés	0.7857	3	0.2619	0.270
Kezelés	6.9786	6	1.1631	1.199
Kontroll-Többi	0.5952	1	0.5952	0.613
Többi kezelés	6.3833	5	1.2767	1.316
Hiba	17.4643	18	0.9702	

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

30. táblázat: Szignifikáns eltérések a keményítő tartalomban, 2013
Table 30.: Significant differences in starch content, 2013

Cu dózis kg ha ⁻¹	Keményítő %						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	ns	*	ns	-	-	-	-
1	ns	*	ns		-	-	-
2	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 1.21

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 1.46

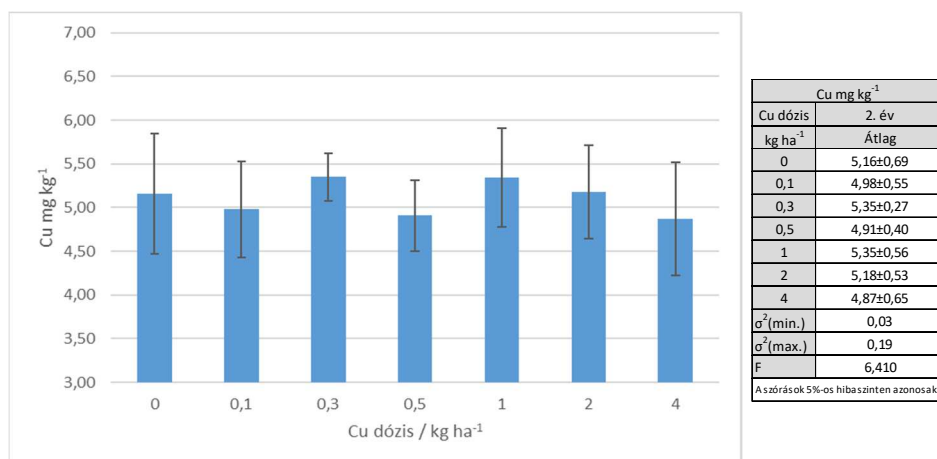
*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 2.00

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza keményítő tartalmára nem voltak 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak. A 2012. évi kísérletek során a legnagyobb keményítő tartalmat a 0,1 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén értük el, a legalacsonyabbat az 1 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén. Az így kapott keményítő tartalmak 68,4±0,8 % illetve 67,0±0,8 % voltak

4.1.2.5. A kezelések hatása a réztartalomra

A kezelések hatására a búza termésében mért réztartalmak nem mutattak felismerhető tendenciát a növekvő réz dózisok függvényében (27. ábra).



27. ábra: Kezelések hatása a réztartalomra, 2013
Figure 27.: Effect of treatments on copper content, 2013

A kapott réztartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 31. és 32. táblázatok foglalják össze.

31. táblázat: 2013. évi kezelések varianciaanalízise
Table 31.: Analysis of variances of treatments in 2013

Tényező	SQ	FG	MQ	F
Összes	3.3659	27		
Ismétlés	0.5548	3	0.1849	1.789
Kezelés	0.9505	6	0.1584	1.533
Kontroll-Többi	0.0084	1	0.0084	0.082
Többi kezelés	0.9421	5	0.1884	1.823
Hiba	1.8607	18	0.1034	

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

32. táblázat: Szignifikáns eltérések a réztartalomban, 2013
Table 32.: Significant differences in copper content, 2013

Cu dózis kg ha ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	ns	ns	*	-	-	-	-
1	ns	ns	ns	*	-	-	-
2	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
4	ns	ns	**	ns	*	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 0.39

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 0.48

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 0.65

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza réztartalmára 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

A kezelések során a legnagyobb réztartalmat a 0,3 kg ha⁻¹ réz dózisú és az 1 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelések esetén érték el. Az így kapott réztartalom 5,35±0,27 mg kg⁻¹ illetve 5,35±0,56 mg kg⁻¹ volt. A legalacsonyabb réztartalom 4,87±0,65 mg kg⁻¹ volt, amit a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén kaptunk.

Az első kísérleti évhez hasonlóan kísérleteink során a búza termésében mért réztartalomra kapott eredményeink a 2012/2013-as gazdálkodási évben is függetlennek bizonyultak az alkalmazott réz kezelésektől.

4.1.2.6. A 2013. évi eredmények összefoglalása

A második kísérleti évben elvégzett kezelések hatására is szignifikáns növekedést értünk el a hozamban, a maximális hozamot ebben az évben is a 2 kg ha⁻¹-os kezeléssel értük el. A növekedés az 1 kg ha⁻¹-os kezeléstől volt szignifikáns. A megemelt dózisu, 4 kg ha⁻¹-os kezelés már termésdepressziót okozott a maximális elért hozamhoz képest. A 3 kísérleti év során ebben az évben értük el a legnagyobb hozamokat és kaptuk a legnagyobb százalékos növekedést a kontroll kezeléshez képest, 18,6 %-ot.

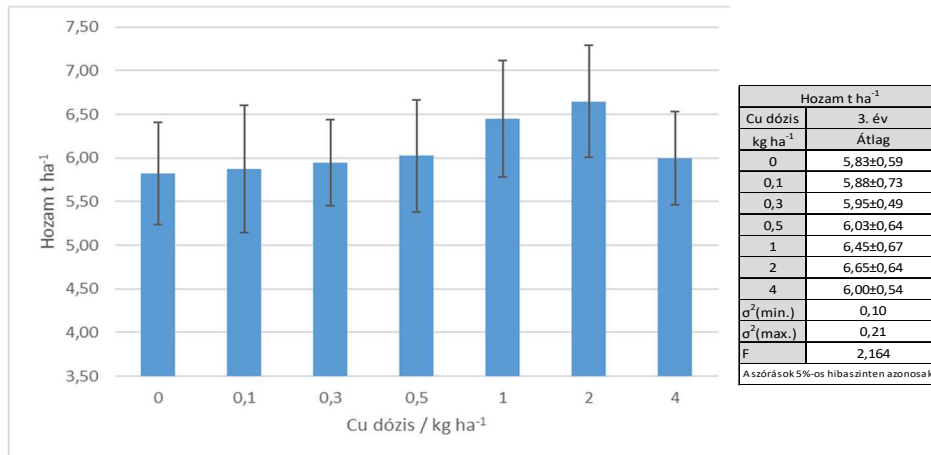
Szintén szignifikáns volt a kezelések hatása a nyersfehérje és a nedves siker tartalomra az 1 kg ha⁻¹-os illetve a 0,5 kg ha⁻¹-os kezelésektől kezdve. Nyersfehérje esetében a legnagyobb növekedést a 2 kg ha⁻¹ réz dózisu kezelés esetén értük el, hasonlóan a hozamhoz. A legnagyobb nyersfehérje tartalom 13,4±0,8 % volt. A legnagyobb dózisu kezelés esetén mért nyersfehérje tartalom alig marad el ettől, a hozamhoz hasonló szignifikáns csökkenés itt nem volt kimutatható. A sikértartalomban is egymáshoz nagyon közeli értékeket kaptunk a két legnagyobb dózisu kezelés esetében, itt azonban a 4 kg ha⁻¹ réz dózisu kezelés esetén értük el a legmagasabb értéket.

A mért keményítő- és réztartalmakban ebben az évben sem sikerült szignifikáns különbségeket kimutatnunk.

4.1.3. A 2014. évi kezelések eredményei

4.1.3.1. A kezelések hatása a hozamra

A kezelések hatására a kapott hozamok növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok függvényében (28. ábra), azonban a legnagyobb dózisú (4 kg ha⁻¹) kezelés hatására már termésdepressziót tapasztaltunk.



28. ábra: Kezelések hatása a hozamra, 2014
Figure 28.: Effect of treatments on yield, 2014

A kapott hozam adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 33. és 34. táblázatok foglalják össze.

33. táblázat: 2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 33.: Analysis of variances of treatments in 2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	5.5268	27			
Ismétlés	0.1468	3	0.0489	0.291	
Kezelés	2.3543	6	0.3924	2.334	*
Kontroll-Többi	0.3810	1	0.3810	2.266	
Többi kezelés	1.9733	5	0.3947	2.348	*
Hiba	3.0257	18	0.1681		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

34. táblázat: Szignifikáns eltérések a hozamban, 2014
Table 34.: Significant differences in yield, 2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Hozam t ha ⁻¹						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-	-
1	**	*	ns		-	-	-
2	**	**	**	**	ns	-	-
4	ns	ns	ns	ns	ns	**	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{10%}= 0.50

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{5%}= 0.61

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{1%}= 0.83

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

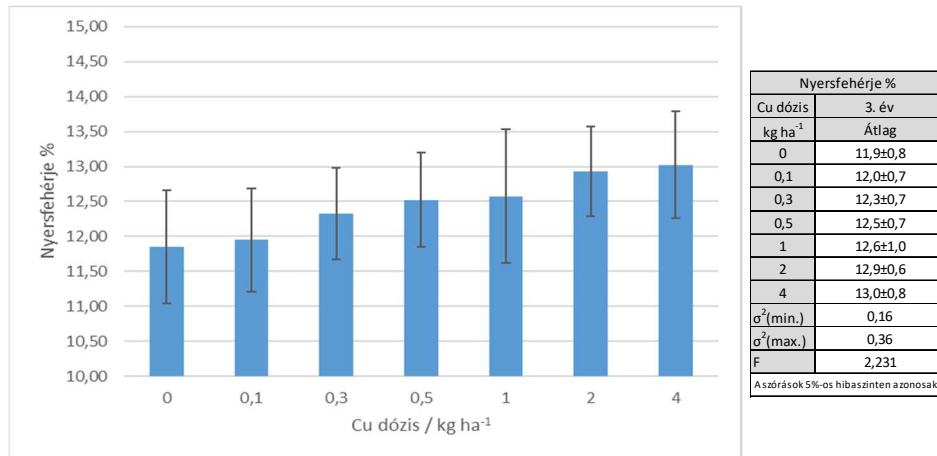
A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza hozamára hatásosak voltak 90 %-os szignifikancia szinten. A 2014. évi kísérletek során a hozamot minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kezeletlen kontrollhoz kezeléshez képest 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak az 1 kg ha⁻¹ és a 2 kg ha⁻¹ dózisú kezelések.

A kezelések során a legnagyobb hozamot a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott hozam $6,65 \pm 0,64 \text{ t ha}^{-1}$ volt, ez a kontroll kezeléshez képest majdnem 15 %-os hozam növekedést jelent.

A 2011/2012-es gazdálkodási évhez képest a csapadékviszonyok kedvezőbbek voltak, azonban a csapadék eloszlása kedvezőtlen, így ebben a gazdálkodási évben nem sikerült a 2012/2013-as gazdálkodási év hozamait elérni.

4.1.3.2. A kezelések hatása a nyersfehérje tartalomra

A kezelések hatására a kapott nyersfehérje tartalmak növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok hatására (29. ábra).



29. ábra: Kezelések hatása a nyersfehérje tartalomra, 2014
Figure 29.: Effect of treatments on raw protein content, 2014

A kapott nyersfehérje tartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 35. és 36. táblázatok foglalják össze.

35. táblázat: 2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 35.: Analysis of variances of treatments in 2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	9.5496	27			
Ismétlés	0.2811	3	0.0937	0.378	
Kezelés	4.8121	6	0.8020	3.239	**
Kontroll-Többi	1.7001	1	1.7001	6.867	**
Többi kezelés	3.1121	5	0.6224	2.514	*
Hiba	4.4564	18	0.2476		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

36. táblázat: Szignifikáns eltérések a nyersfehérje tartalomban, 2014
Table 36.: Significant differences in raw protein content, 2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Nyersfehérje %						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	*	ns	ns	-	-	-	-
1	*	*	ns		-	-	-
2	***	**	ns	ns	ns	-	-
4	***	***	*	ns	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 0.61

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 0.74

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 1.01

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

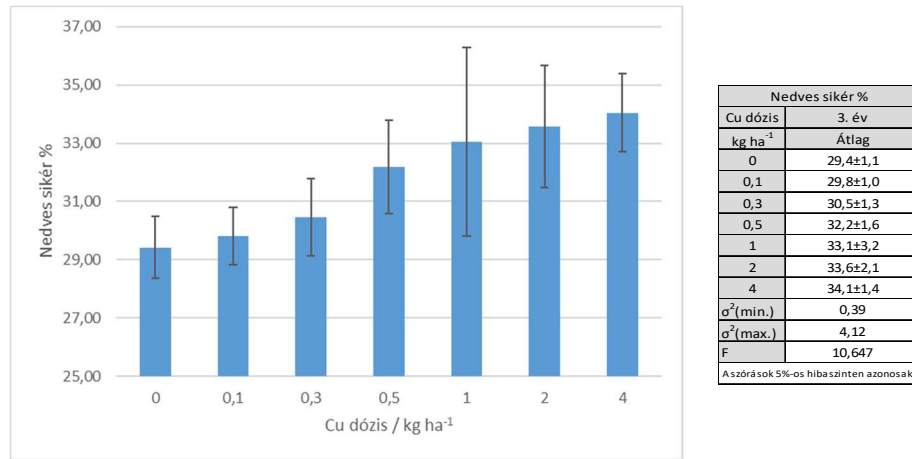
A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza nyersfehérje tartalmára hatásosak voltak 95 %-os szignifikancia szinten. A 2014. évi kísérletek során a nyersfehérje tartalmat minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kontrollhoz képest 90 %-os szignifikancia szinten hatásos a 0,5 kg ha⁻¹ és az 1 kg ha⁻¹ dózisú kezelés és legalább 95 %-os szignifikancia szinten hatásos a 2 kg ha⁻¹ és a 4 kg ha⁻¹ réz kezelés.

A kezelések során a legnagyobb nyersfehérje tartalmakat a 2 kg ha^{-1} és a 4 kg ha^{-1} réz dózisú kezelések esetén értük el. Az így kapott nyersfehérje tartalmak $12,9 \pm 0,6 \%$ illetve $13,0 \pm 0,8 \%$ voltak. A kontroll kezeléshez képest ez 10 %-os növekedést jelent a nyersfehérje tartalomban.

A kapott nyersfehérje eredmények az 1 kg ha^{-1} dózistól kezdve meghaladják a malmi I-es kategóriához tartozó minimum értéket. A 2013/2014-es gazdálkodási év hozamaihoz hasonlóan a nyersfehérje tartalom is meghaladta a 2011/2012-es gazdálkodási évben kapott eredményeket, de kis mértékben elmarad a 2012/2013-as gazdálkodási évben kapottaktól.

4.1.3.3. A kezelések hatása a nedves sikértartalomra

A kezelések hatására a kapott sikértartalmak növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok függvényében (30. ábra).



30. ábra: Kezelések hatása a sikértartalomra, 2014
Figure 30.: Effect of treatments on gluten content, 2014

A kapott sikértartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 37. és 38. táblázatok foglalják össze.

37. táblázat: 2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 37.: Analysis of variances of treatments in 2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	112.8868	27			
Ismétlés	4.5468	3	1.5156	1.195	
Kezelés	85.5143	6	14.2524	11.239	***
Kontroll-Többi	26.0860	1	26.0860	20.571	***
Többi kezelés	59.4283	5	11.8857	9.373	***
Hiba	22.8257	18	1.2681		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

38. táblázat: Szignifikáns eltérések a sikértartalomban, 2014
Table 38.: Significant differences in gluten content, 2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Nedves sikér %						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	***	***	**	-	-	-	-
1	***	***	***		-	-	-
2	***	***	***	*	ns	-	-
4	***	***	***	**	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 1.38

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 1.67

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 2.29

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

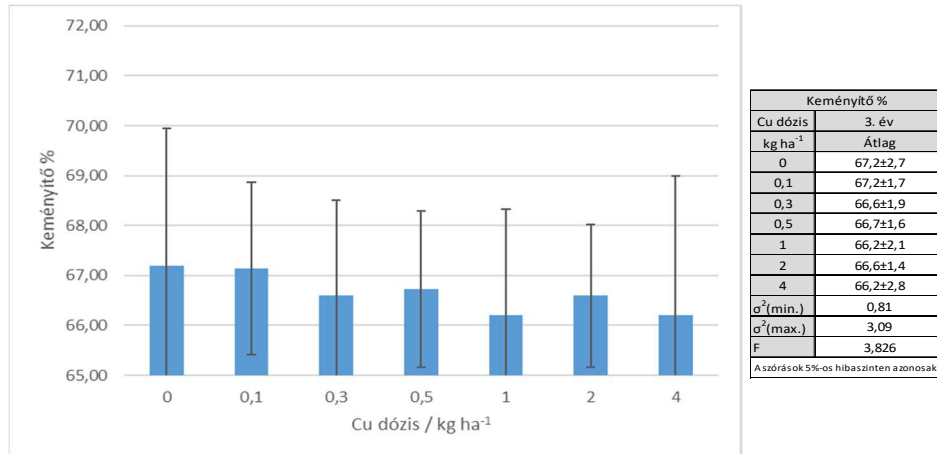
A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza sikértartalmára hatásosak voltak legalább 95 %-os szignifikancia szinten. A 2014. évi kísérletek során a sikértartalmat minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kontroll kezeléshez képest legalább 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak a 0,5 kg ha⁻¹ és annál nagyobb dózisú kezelések.

A kezelések során a legnagyobb sikértartalmat a 4 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott sikértartalom $34,1 \pm 1,4 \%$ volt, ez a kontroll kezeléshez képest több mint 15% -os növekedést jelent.

A kapott sikértartalom eredmények a $0,3 \text{ kg ha}^{-1}$ dózistól kezdve meghaladják a malmi I-es kategóriához tartozó minimum értéket. Kísérleteink 3 éve alatt sikértartalomban a 2014-es kezelések során kaptuk a legmagasabb ($34,1 \pm 1,4 \%$) értéket, ez minimálisan de meghaladja a javító minőségű búzához tartozó minimum értéket (34%).

4.1.3.4. A kezelések hatása a keményítő tartalomra

A kezelések hatására a kapott keményítő tartalmak közepes korreláció mellett csökkenő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisos függvényében (31. ábra).



31. ábra: Kezelések hatása a keményítő tartalomra, 2014
Figure 31.: Effect of treatments on starch content, 2014

A kapott keményítő tartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 39. és 40. táblázatok foglalják össze.

39. táblázat: 2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 39.: Analysis of variances of treatments in 2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F
Összes	40.4811	27		
Ismétlés	7.1325	3	2.3775	1.451
Kezelés	3.8636	6	0.6439	0.393
Kontroll-Többi	1.3215	1	1.3215	0.807
Többi kezelés	2.5421	5	0.5084	0.310
Hiba	29.4850	18	1.6381	

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

40. táblázat: Szignifikáns eltérések a keményítő tartalomban, 2014
Table 40.: Significant differences in starch content, 2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Keményítő %						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-	-
1	ns	ns	ns		-	-	-
2	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 1.57

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 1.90

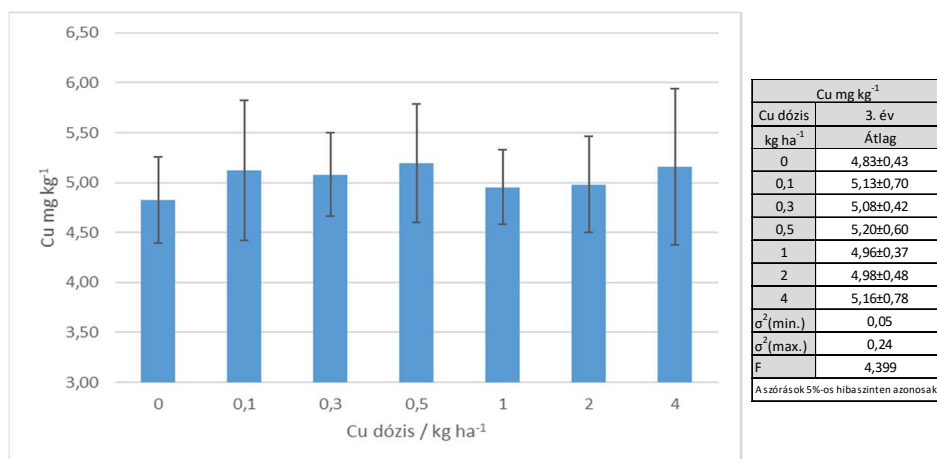
*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 2.60

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza keményítő tartalmára nem voltak 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak. A 2012. évi kísérletek során a legnagyobb keményítő tartalmat a kontroll és a 0,1 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén érték el, a legalacsonyabbat az 1 kg ha⁻¹ és a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén. Az így kapott keményítő tartalmak 67,2±2,7 % és 67,2±1,7 % illetve 66,2±2,1 % és 66,2±2,8 % voltak. A vizsgálati eredményekben tapasztalt csökkenő tendencia statisztikai módszerekkel nem volt igazolható.

4.1.3.5. A kezelések hatása a réztartalomra

A kezelések hatására a búza termésében mért réztartalmak nem mutattak felismerhető tendenciát a növekvő réz dózisok függvényében (32. ábra).



32. ábra: Kezelések hatása a réztartalomra, 2014
Figure 32.: Effect of treatments on copper content, 2014

A kapott réztartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 41. és 42. táblázatok foglalják össze.

41. táblázat: 2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 41.: Analysis of variances of treatments in 2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F
Összes	3.0183	27		
Ismétlés	0.4951	3	0.1650	1.409
Kezelés	0.4150	6	0.0692	0.591
Kontroll-Többi	0.2281	1	0.2281	1.947
Többi kezelés	0.1869	5	0.0374	0.319
Hiba	2.1082	18	0.1171	

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

42. táblázat: Szignifikáns eltérések a réztartalomban, 2014
Table 42.: Significant differences in copper content, 2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Cu mg kg ⁻¹						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-	-
1	ns	ns	ns		-	-	-
2	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
4	ns	ns	ns	ns	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 0.42

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 0.51

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 0.70

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza réztartalmára 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

A kezelések során a legnagyobb réztartalmat a 0,5 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott réztartalom 5,20±0,60 mg kg⁻¹ volt. A legalacsonyabb réztartalom 4,83±0,43 mg kg⁻¹ volt, amit a 0 kg ha⁻¹ réz dózisú kontroll kezelés esetén kaptunk.

Az első két kísérleti évhez hasonlóan harmadik évi kísérleteink során is a búza termésében mért réztartalomra kapott eredményeink függetlennek bizonyultak az alkalmazott réz kezelésektől.

4.1.3.6. A 2014. évi eredmények összefoglalása

A harmadik kísérleti évben elvégzett kezelések hatására is szignifikáns növekedést értünk el a hozamban az 1 kg ha⁻¹-os és a 2 kg ha⁻¹-os kezelések esetében, azonban a csapadék kedvezőtlen eloszlása miatt a második évben elért magas hozamokat nem tudtuk megismételni. A maximális hozamot ebben az évben is a 2 kg ha⁻¹-os kezeléssel értük el, a 4 kg ha⁻¹-os kezelés esetében szintén termésdepressziót tapasztaltunk a maximális hozamhoz képest.

Szintén szignifikáns volt a kezelések hatása a nyersfehérje és a nedves siker tartalomra a 0,5 kg ha⁻¹-os kezeléstől kezdve. A nyersfehérje esetében a második évhez hasonlóan minimális különbséget tapasztaltunk a két legnagyobb dózisú kezelés között, de a maximális értéket ebben az évben a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén értük el. A sikértartalomban is egymáshoz nagyon közeli értékeket kaptunk a két legnagyobb dózisú kezelés esetében, itt azonban ebben az évben is a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén értük el a legmagasabb értéket. A kapott sikértartalom ebben az évben volt a legmagasabb (34,1±1,4 %), ami minimálisan meghaladja a javító minőségű búzához tartozó minimum értéket (34 %).

A mért keményítő- és réztartalmakban ebben az évben sem sikerült szignifikáns különbségeket kimutatnunk.

4.1.4. A 2012-2014. évi kezelések eredményei

A 2012-2014. évben végzett kezelések eredményeit és a kapott varianciák összehasonlítását a 43. és 44. táblázatok tartalmazzák.

43. táblázat: 2012-2014. évi kísérleti eredmények

Table 43.: Experimental results, 2012-2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Hozam t ha ⁻¹	Nyersfehérje %	Nedves sikér %	Keményítő %	Cu mg kg ⁻¹
0	5,51±1,15	11,9±1,0	29,3±1,7	68,1±2,1	5,19±0,72
0,1	5,55±1,14	12,0±1,0	29,7±1,5	68,1±1,6	5,07±0,58
0,3	5,76±1,20	12,2±0,9	30,1±2,0	68,0±2,5	5,32±0,47
0,5	5,82±1,32	12,5±0,8	31,4±2,6	67,9±2,7	5,11±0,50
1	6,11±1,45	12,6±0,9	32,4±3,2	67,1±2,0	5,15±0,49
2	6,43±1,30	13,0±0,9	33,1±2,5	67,7±1,9	5,25±0,64
4	6,39±0,81	13,2±0,6	34,0±2,0	67,2±2,9	5,01±0,71

44. táblázat: 2012-2014. évi varianciák egyezőségének vizsgálata F-próbával

Table 44.: F-test of equality of variances, 2012-2014

	Hozam t ha ⁻¹	Nyersfehérje %	Nedves sikér %	Keményítő %	Cu mg kg ⁻¹
σ^2 (min.)	0.26	0.16	0.94	1.03	0.09
σ^2 (max.)	0.83	0.40	3.99	3.29	0.20
F	3.219	2.446	4.270	3.194	2.272

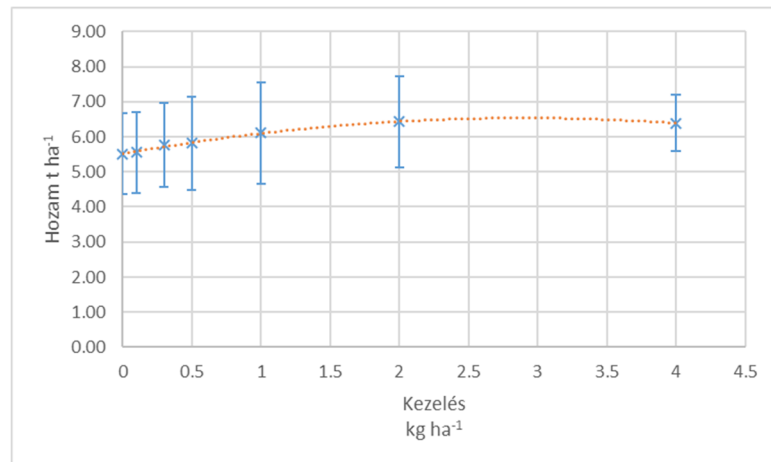
*A szórások

^a A szórások 5%-os hibaszinten azonosak.

A kapott eredmények alapján az egyes paraméterekre a varianciák nem különböznek szignifikánsan, így az adatok kéttényezős varianciaanalízissel vizsgálhatók.

4.1.4.1. A kezelések hatása a hozamra

A kezelések hatására a kapott hozamok a három év átlagában is növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok függvényében (33. ábra), azonban a legnagyobb dózisú (4 kg ha⁻¹) kezelés hatására már enyhe termésdepressziót tapasztaltunk.



33. ábra: Kezelések hatása a hozamra, 2012-2014
Figure 33.: Effect of treatments on yield, 2012-2014

A kapott hozam adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 45. és 46. táblázatok foglalják össze.

45. táblázat: 2012-2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 45.: Analysis of variances of treatments in 2012-2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	4.2623	27			
Ismétlés	0.1274	3	0.0425	1.042	
Kezelés	3.4015	6	0.5669	13.915	***
Kontroll-Többi	0.8548	1	0.8548	20.980	***
Többi kezelés	2.5467	5	0.5093	12.502	***
Hiba	0.7334	18	0.0407		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

46. táblázat: Szignifikáns eltérések a hozamban, 2012-2014
Table 46.: Significant differences in yield, 2012-2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Hozam t ha ⁻¹						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	*	ns	-	-	-	-	-
0.5	**	*	ns	-	-	-	-
1	***	***	**	*	-	-	-
2	***	***	***	***	**	-	-
4	***	***	***	***	*	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{10%}= 0.25

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{5%}= 0.30

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{1%}= 0.41

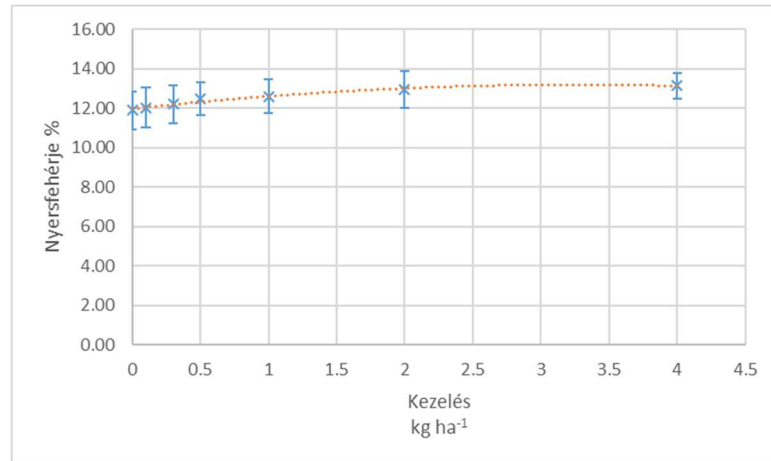
ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza hozamára hatásosak voltak legalább 95 %-os szignifikancia szinten. A 2012-2014. évi kísérletek során a kísérletek átlagában a hozamot minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kontroll kezeléshez képest 90 %-os szignifikancia szinten hatásos a 0,3 kg ha⁻¹ dózisu kezelés, és legalább 95 %-os hatásosak a 0,5 kg ha⁻¹ és az annál nagyobb dózisu kezelések.

A kezelések során a legnagyobb hozamot a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén érték el. Az így kapott hozam $6,43 \pm 1,30 \text{ t ha}^{-1}$ volt, ez a kontroll kezeléshez képest több mint 15 %-os hozam növekedést jelent. A kezelés során a hozam függvény ($y = -0,12 * x^2 + 0,71 * x + 5,51$, $r^2=0,9957$) $2,89 \text{ kg ha}^{-1}$ réz dózis esetén érte el a maximumát.

4.1.4.2. A kezelések hatása a nyersfehérje tartalomra

A kezelések hatására a kapott nyersfehérje tartalmak a három év átlagában is növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok hatására (34. ábra).



34. ábra: Kezelések hatása a nyersfehérje tartalomra, 2012-2014
Figure 34.: Effect of treatments on raw protein content, 2012-2014

A kapott nyersfehérje tartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 47. és 48. táblázatok foglalják össze.

47. táblázat: 2012-2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 47.: Analysis of variances of treatments in 2012-2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	6.4896	27			
Ismétlés	0.0145	3	0.0048	0.072	
Kezelés	5.2621	6	0.8770	13.014	***
Kontroll-Többi	1.5750	1	1.5750	23.372	***
Többi kezelés	3.6870	5	0.7374	10.942	***
Hiba	1.2130	18	0.0674		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

48. táblázat: Szignifikáns eltérések a nyersfehérje tartalomban, 2012-2014
Table 48.: Significant differences in raw protein content, 2012-2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Nyersfehérje %						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	***	**	ns	-	-	-	-
1	***	***	**	-	-	-	-
2	***	***	***	**	*	-	-
4	***	***	***	***	***	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{10%}= 0.32

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{5%}= 0.39

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

SzD_{1%}= 0.53

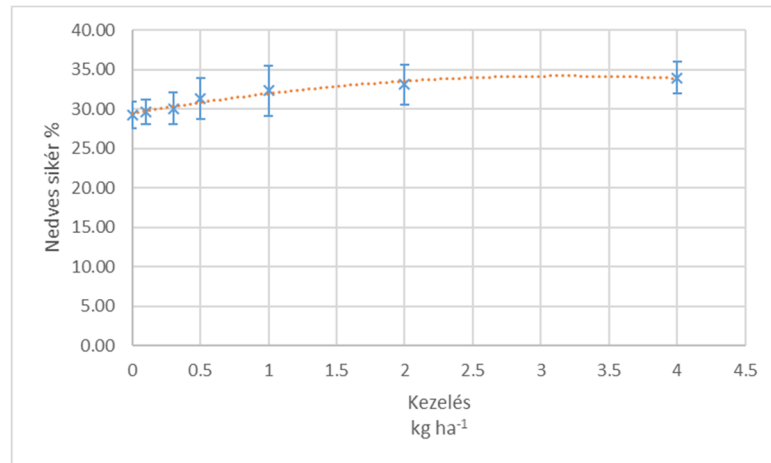
ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza nyersfehérje tartalmára hatásosak voltak legalább 95 %-os szignifikancia szinten. A 2012-2014. évi kísérletek során a kísérletek átlagában a nyersfehérje tartalmat minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kontroll kezeléshez képest legalább 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak a 0,5 kg ha⁻¹, 1 kg ha⁻¹, a 2 kg ha⁻¹ és a 4 kg ha⁻¹ dózisú kezelések.

A kezelések során a legnagyobb mért nyersfehérje tartalmat a 4 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott nyersfehérje tartalom $13,2 \pm 0,6 \%$ volt, ami minimális mértékben haladja meg a 2 kg ha^{-1} réz dózisú kezelés esetén kapott $13,0 \pm 0,9 \%$ értéket. A növekedés a kontrollhoz képest 10% -os. A kezelés során a nyersfehérjefüggvény ($y = -0,11 * x^2 + 0,75 * x + 11,98, r^2=0,9687$) $3,26 \text{ kg ha}^{-1}$ réz dózis esetén érte el a maximumát.

4.1.4.3. A kezelések hatása a nedves sikértartalomra

A kezelések hatására a kapott sikértartalmak növekvő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok függvényében (35. ábra).



35. ábra: Kezelések hatása a sikértartalomra, 2012-2014
Figure 35.: Effect of treatments on gluten content, 2012-2014

A kapott sikértartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket a 49. és 50. táblázatok foglalják össze.

49. táblázat: 2012-2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 49.: Analysis of variances of treatments in 2012-2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F	
Összes	87.2526	27			
Ismétlés	0.7904	3	0.2635	0.608	
Kezelés	78.6668	6	13.1111	30.275	***
Kontroll-Többi	20.6617	1	20.6617	47.709	***
Többi kezelés	58.0051	5	11.6010	26.788	***
Hiba	7.7953	18	0.4331		

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

50. táblázat: Szignifikáns eltérések a sikértartalomban, 2012-2014
Table 50.: Significant differences in gluten content, 2012-2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Nedves sikér %						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	***	***	**	-	-	-	-
1	***	***	***	**	-	-	-
2	***	***	***	***	ns	-	-
4	***	***	***	***	***	*	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 0.81

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 0.98

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 1.34

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

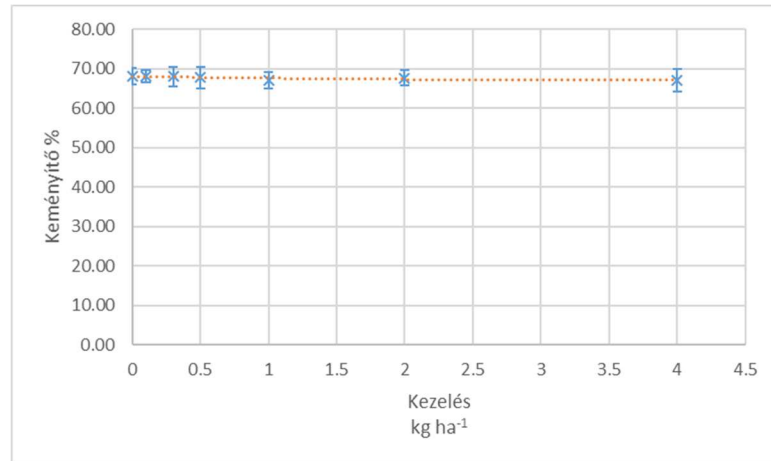
A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza sikértartalmára hatásosak voltak legalább 95 %-os szignifikancia szinten. A 2012-2014. évi kísérletek során a sikértartalmat minden réz kezelés növelte. A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD, LSD) alapján a kontroll kezeléshez képest legalább 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak a 0,5 kg ha⁻¹ és annál nagyobb dózisú kezelések.

A kezelések során a legnagyobb sikértartalmat a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén érték el. Az így kapott sikértartalom 34,0±2,0 % volt, ez a

kontroll kezeléshez képest több mint 15 %-os növekedést jelent. A kezelés során a sikérfüggvény ($y = -0,47 * x^2 + 2,97 * x + 29,48$, $r^2=0,9641$) 3,18 kg ha^{-1} réz dózis esetén érte el a maximumát.

4.1.4.4. A kezelések hatása a keményítő tartalomra

A kezelések hatására a kapott keményítő tartalmak közepes korreláció mellett csökkenő tendenciát mutattak a növekvő réz dózisok függvényében (36. ábra).



36. ábra: Kezelések hatása a keményítő tartalomra, 2012-2014
Figure 36.: Effect of treatments on starch content, 2012-2014

A kapott keményítő tartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket az 51. és 52. táblázatok foglalják össze.

51. táblázat: 2012-2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 51.: Analysis of variances of treatments in 2012-2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F
Összes	12.3469	27		
Ismétlés	1.7607	3	0.5869	1.646
Kezelés	4.1698	6	0.6950	1.950
Kontroll-Többi	0.7181	1	0.7181	2.014
Többi kezelés	3.4517	5	0.6903	1.937
Hiba	6.4165	18	0.3565	

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

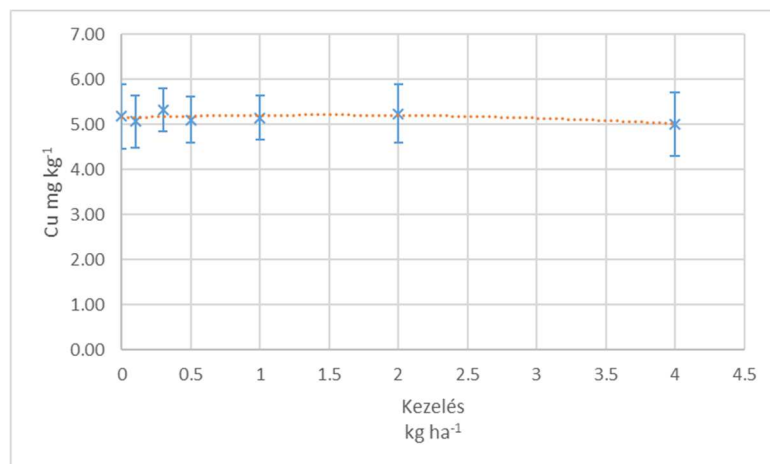
52. táblázat: Szignifikáns eltérések a keményítő tartalomban, 2012-2014
Table 52.: Significant differences in starch content, 2012-2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Keményítő %						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	ns	-	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-	-
1	**	**	*		-	-	-
2	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
4	**	**	*	ns	ns	ns	-

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza keményítő tartalmára nem voltak 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak. A 2012-2014. évi kísérletek során a legnagyobb keményítő tartalmat a kontroll és a 0,1 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén érték el, a legalacsonyabbakat az 1 kg ha⁻¹ és a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén. Az így kapott keményítő tartalmak 68,1±2,1 % és 68,1±1,6 % illetve 67,1±2,0 % és 67,2±2,9 % voltak.

4.1.4.5. A kezelések hatása a réztartalomra

A kezelések hatására a búza termésében mért réztartalmak nem mutattak felismerhető tendenciát a növekvő réz dózisok függvényében (37. ábra).



37. ábra: Kezelések hatása a réztartalomra, 2012-2014
Figure 37.: Effect of treatments on copper content, 2012-2014

A kapott réztartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit és a két tetszőleges kezelés között meghatározott szignifikáns különbségeket az 53. és 54. táblázatok foglalják össze.

53. táblázat: 2012-2014. évi kezelések varianciaanalízise
Table 53.: Analysis of variances of treatments in 2012-2014

Tényező	SQ	FG	MQ	F
Összes	0.9642	27		
Ismétlés	0.0399	3	0.0133	0.364
Kezelés	0.2655	6	0.0443	1.209
Kontroll-Többi	0.0045	1	0.0045	0.124
Többi kezelés	0.2610	5	0.0522	1.426
Hiba	0.6587	18	0.0366	

*** P=1%, ** P=5%, *P=10%

54. táblázat: Szignifikáns eltérések a réztartalomban, 2012-2014
Table 54.: Significant differences in copper content, 2012-2014

Cu dózis kg ha ⁻¹	Hozam t ha ⁻¹						
	0	0.1	0.3	0.5	1	2	4
0	-	-	-	-	-	-	-
0.1	ns	-	-	-	-	-	-
0.3	ns	*	-	-	-	-	-
0.5	ns	ns	ns	-	-	-	-
1	ns	ns	ns		-	-	-
2	ns	ns	ns	ns	ns	-	-
4	ns	ns	**	ns	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{10%}= 0.23

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{5%}= 0.28

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag SzD_{1%}= 0.39

ns nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések az őszi búza réztartalmára 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

A kezelések során a három év átlagában a legnagyobb réztartalmat a 0,3 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott réztartalom 5,32±0,47 mg kg⁻¹ volt. A legalacsonyabb réztartalom 5,01±0,71 mg kg⁻¹ volt, amit a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kontroll kezelés esetén kaptunk.

4.1.4.6. A kezelések és a vizsgált paraméterek közötti kapcsolat

A három kísérleti év átlagában vizsgáltuk a kezelések és az egyes mért jellemzők közötti kapcsolatot.

Eredményeink alapján az alkalmazott kezelések, a hozam, a nyersfehérje tartalom és a nedves sikkertartalom között szoros kapcsolatot tudunk kimutatni. A keményítőtartalom rosszabb negatív korrelációt mutat az előbbi paraméterekkel, a réztartalom pedig egyáltalán nem mutat korrelációt. A kapott eredményeket az 55. táblázat összegzi.

55. táblázat: Korrelációs mátrix
Table 55.: Correlation matrix

	Dózis kg ha ⁻¹	Hozam t ha ⁻¹	Nyersfehérje m/m%	Nedves sikkert m/m%	Keményítő m/m%	Cu mg kg ⁻¹
Dózis kg ha ⁻¹	1	0.862	0.909	0.897	-0.742	-0.418
Hozam t ha ⁻¹	-	1	0.973	0.972	-0.793	-0.098
Nyersfehérje m/m%	-	-	1	0.991	-0.801	-0.264
Keményítő m/m%	-	-	-	-0.862	1	0.365
Cu mg kg ⁻¹	-	-	-	-0.298	-	1
Nedves sikkert m/m%	-	-	-	1	-	-

4.1.4.7. A három év kísérleti eredményeinek összefoglalása

A kísérleti eredmények statisztikai értékelését a három kísérleti év átlagában elvégezve a 0,5 kg ha⁻¹-os kezeléstől kezdve 95 %-os szignifikancia szinten szignifikáns növekedést értünk el a hozamban. A maximális hozamot a 2 kg ha⁻¹-os kezeléssel értük el, a 4 kg ha⁻¹-os kezelés esetében már termésdepressziót tapasztaltunk a maximális hozamhoz képest, de a két kezelés különbsége nem volt szignifikáns. A legnagyobb hozam 6,43±1,30 t ha⁻¹ volt, ami a kontroll kezeléshez képest több mint 15 %-os hozam növekedést jelent. A kezelések során a hozamfüggvény 2,89 kg ha⁻¹ réz dózis esetén érte el a maximumát.

A nyersfehérje tartalomban szintén a 0,5 kg ha⁻¹-os kezeléstől kezdve értünk el 95 %-os szignifikancia szinten szignifikáns növekedést. A kezelések során a legnagyobb mért nyersfehérje tartalmat a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén értük el (13,2±0,6 %), azonban ez csak alig haladja meg a 2 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén kapott 13,0±0,9 % értéket. A kezelések során kapott nyersfehérjefüggvény 3,26 kg ha⁻¹ réz dózis esetén érte el a maximumát.

A kezelések során a legnagyobb sikértartalmat a 4 kg ha⁻¹ réz dózisú kezelés esetén értük el, a sikértartalom növekedése a kontrollhoz képest 0,5 kg ha⁻¹ kezeléstől kezdve szignifikáns. A 34,0±2,0 %-os legmagasabb mért sikértartalom a kontroll kezeléshez képest több mint 15 %-os növekedést jelent. A kezelések során mért sikértartalmakra illeszthető függvény 3,18 kg ha⁻¹ réz dózisonál érte el a maximumát.

A keményítő- és réztartalom esetében a 3 év átlagában sem volt kimutatható szignifikáns hatás a vizsgált jellemzők és az alkalmazott kezelések között.

4.2. Agardiffúziós vizsgálatok eredményei

A vizsgálatok során a vegyületek hatását a szántóföldi kisparcellás növénytermesztési kísérletek során alkalmazható koncentrációk mellett a gátlási gyűrűk átmérője alapján ítéltük meg. A gátlási zóna az a terület, amelyet a tesztlyukak körül nem borított szemmel látható micéliumszövedék, illetve a stereo mikroszkópos vizsgálatok alkalmával növekedésre utaló jelet nem láttunk.

4.2.1. A réz-oxiklorid kezelések eredményei

Az elvégzett vizsgálatok során szerkontroll anyagként réz-oxiklorid ($3\text{*Cu(OH)}_2\text{*CuCl}_2$) került kiválasztásra, mint kereskedelmi forgalomban kapható engedélyezett réz-tartalmú növényvédőszer.

A kezeléseket 3 kiválasztott koncentrációsinten (rézre vonatkoztatva 1000 mg L^{-1} , 2000 mg L^{-1} és 3000 mg L^{-1}) és két kiválasztott kórokozón (*Fusarium graminearum* Schwabe – NCAIM F.00730 és *Drechslera sorokiniana* – NCAIM F.00745) elvégezve az 56. táblázatban megadott eredményeket kaptuk.

56. táblázat: Réz-oxiklorid kezelések gátló hatása *Fusarium graminearum* esetébenTable 56.: Inhibition effect of copper-oxochloride treatments on *Fusarium graminearum*

Konc. mg * L ⁻¹		Gátlási zóna átmérő mm	
		<i>Fusarium graminearum</i> NCAIM F.00730	<i>Drechslera sorokiniana</i> NCAIM F.00745
O	0	-	-
A1	3000	7.3±1.4	7.3±8.7
A2	2000	5.3±1.4	5.0±5.0
A3	1000	3.3±1.4	3.0±2.5

- nincs megfigyelhető gátló hatás

4.2.1.1. Hatás *Fusarium graminearum*-ra

Vizsgálataink során réz-oxiklorid és *Fusarium graminearum* esetében mindhárom vizsgált koncentrációsinten megfigyelhető volt a gátlási zóna kialakulása. A kontroll és az egyes kezelésszintek között a szignifikáns eltéréseket páronkénti t-próbával vizsgáltuk. Az eredményeket az 57. táblázat tartalmazza.

57. táblázat: Páronkénti t-próba réz-oxiklorid kezelésekre *Fusarium graminearum* esetébenTable 57.: t probe for copper-oxychloride treatments on *Fusarium graminearum*

Konc. mg * L ⁻¹		O	A1	A2	A3
O	0	-	-	-	-
A1	3000	***	-	-	-
A2	2000	***	**	-	-
A3	1000	***	***	**	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

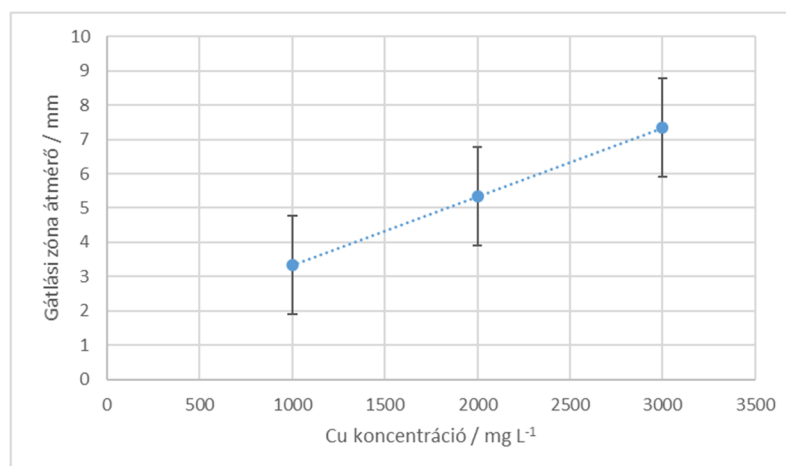
** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

ns: nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján a réz-oxiklorid a kontroll kezeléshez képest minden esetben szignifikánsan nagyobb gátló hatást mutatott.

A növekvő réz koncentrációk hatására a megfigyelt gátlási zónák átmérője növekedett (38. ábra).

38. ábra: Réz-oxiklorid kezelésekre *Fusarium graminearum* esetébenFigure 38.: Effect of copper-oxychloride treatments on *Fusarium graminearum*

Vizsgálataink során a gátlási zóna átmérője az alkalmazott réz dózisokkal lineáris összefüggést mutatott ($y = 0,0020 * x + 1,3333$, $r^2=1,0000$).

4.2.1.2. Hatás *Drechslera sorokiniana*-ra

Vizsgálataink során réz-oxiklorid és *Drechslera sorokiniana* esetében is mindhárom vizsgált koncentrációsinten megfigyelhető volt a gátlási zóna kialakulása. A kontroll és az egyes kezelésszintek között a szignifikáns eltéréseket páronkénti t-próbával vizsgáltuk. Az eredményeket az 58. táblázat tartalmazza.

58. táblázat: Páronkénti t-próba réz-oxiklorid kezelésekre *Drechslera sorokiniana* esetében

Table 58.: t probe for copper-oxychloride treatments on *Drechslera sorokiniana*

Konc. mg * L ⁻¹		O	A1	A2	A3
O	0	-	-	-	-
A1	3000	**	-	-	-
A2	2000	**	ns	-	-
A3	1000	***	ns	ns	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

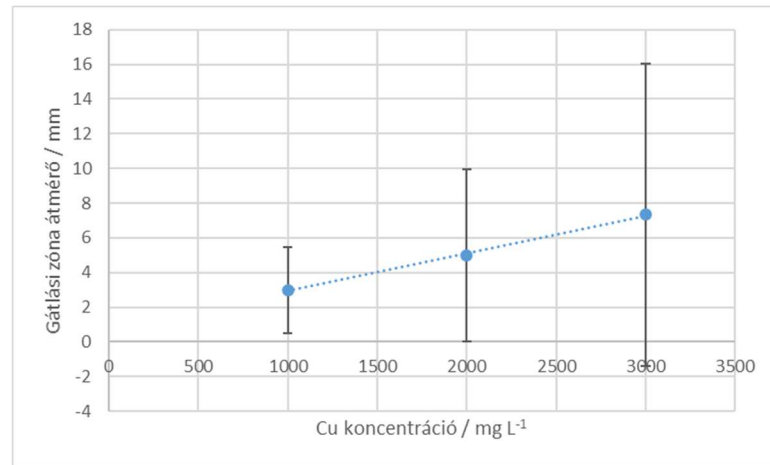
*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

ns: nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján a réz-oxiklorid a kontroll kezeléshez képest minden esetben szignifikánsan nagyobb gátló hatást mutatott. A *Fusarium graminearum* esetében kapott eredményekkel összehasonlítva a három ismétlésben elvégzett vizsgálatok eredményeinek szórása jóval

nagyobb volt. A statisztikai értékelés során ezért csak gyengébb szignifikanciát sikerült kimutatni.

A növekvő réz koncentrációk hatására a megfigyelt gátlási zónák átmérője növekedett (39. ábra).



39. ábra: Réz-oxiklorid kezelések hatása *Drechslera sorokiniana* esetében
 Figure 39.: Effect of copper-oxchloride treatments on *Drechslera sorokiniana*

Vizsgálataink során gátlási zóna átmérője az alkalmazott réz dózissal lineáris összefüggést mutatott ($y = 0,0022 * x + 0,7778$, $r^2=0,9980$).

4.2.2. A réz-szacharózt tartalmazó kezelések eredményei

Az elvégzett vizsgálatok során a szántóföldi kísérletek során is alkalmazott készítmény esetleges fungicid hatását vizsgáltuk.

A kezelésekhez kiválasztott hat koncentrációsint (rézre vonatkoztatva 167 mg L⁻¹ és 6674 mg L⁻¹ között) megfelelt a szántóföldi kísérletek során beállított kezelések dózisainak (0,1 kg ha⁻¹ és 4 kg ha⁻¹ között).

A kísérleteket a két kiválasztott kórokozón (*Fusarium graminearum* Schwabe – NCAIM F.00730 és *Drechslera sorokiniana* – NCAIM F.00745) elvégezve az 59. táblázatban megadott eredményeket kaptuk.

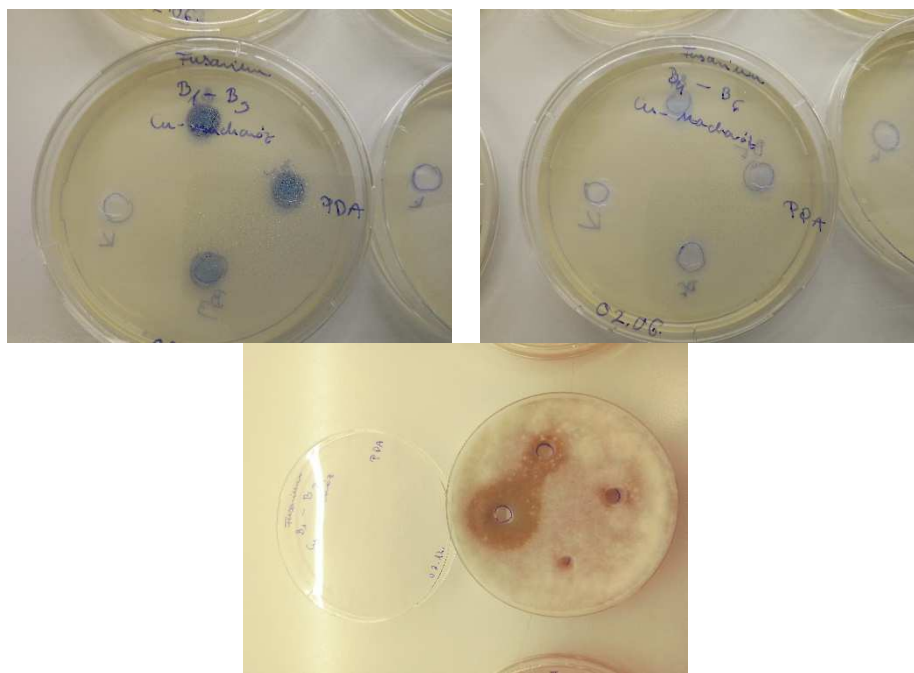
59. táblázat: Réz kezelések gátló hatása
Table 59.: Inhibition effect of copper treatments

Konc. mg * L ⁻¹		Gátlási zóna átmérő mm	
		<i>Fusarium graminearum</i> NCAIM F.00730	<i>Drechslera sorokiniana</i> NCAIM F.00745
O	0	-	-
B1	6674	10.3±1.4	9.7±8.7
B2	3337	3.7±2.9	5.7±3.8
B3	1668	1.3±3.8	1.3±2.9
B4	834	-	-
B5	501	-	-
B6	167	-	-

- nincs megfigyelhető gátló hatás

4.2.2.1. Hatás *Fusarium graminearum*-ra

Vizsgálataink során *Fusarium graminearum* esetében a három legkisebb vizsgált koncentrációsinten nem volt megfigyelhető a gátlási zóna kialakulása, csak a három magasabb koncentrációsinten (40. ábra).



40. ábra: Beoltott teszt lemezek és inkubáció utáni gátlási zónák (*Fusarium graminearum*)

Figure 40.: Inoculated test plates and inhibition zones after incubation (*Fusarium graminearum*)

A kontroll és az egyes kezelésszintek között a szignifikáns eltéréseket páronkénti t-próbával vizsgálatuk. Az eredményeket a 60. táblázat tartalmazza.

60. táblázat: Páronkénti t-próba réz kezelésekre *Fusarium graminearum* esetébenTable 60.: t probe for copper treatments on *Fusarium graminearum*

Konc. mg * L ⁻¹	O	B1	B2	B3	B4	B5	B6
O	0	-	-	-	-	-	-
B1	6674	***	-	-	-	-	-
B2	3337	***	***	-	-	-	-
B3	1668	ns	***	ns	-	-	-
B4	834	-	-	-	-	-	-
B5	501	-	-	-	-	-	-
B6	167	-	-	-	-	-	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

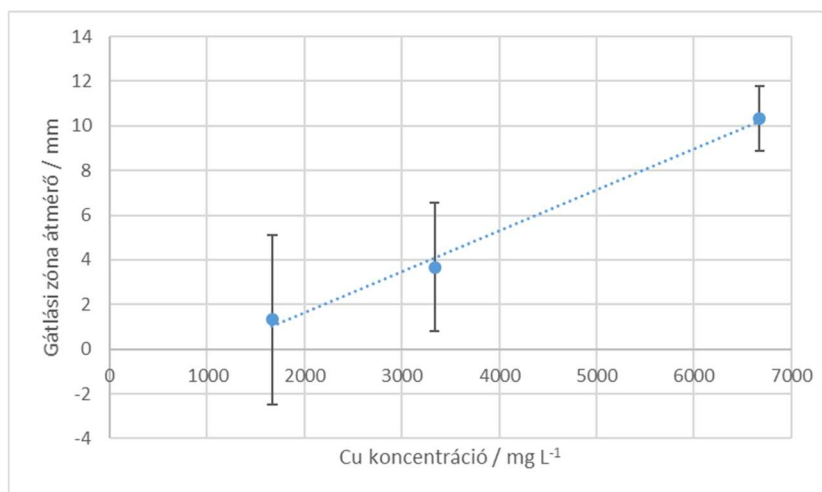
** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

ns: nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján azon koncentrációszintek esetében, ahol megfigyelhető volt a gátlási zóna kialakulása, csak a két legmagasabb koncentrációsint esetében volt szignifikáns a gátló hatás.

A növekvő réz koncentrációk hatására a megfigyelt gátlási zónák átmérője növekedett (41. ábra).

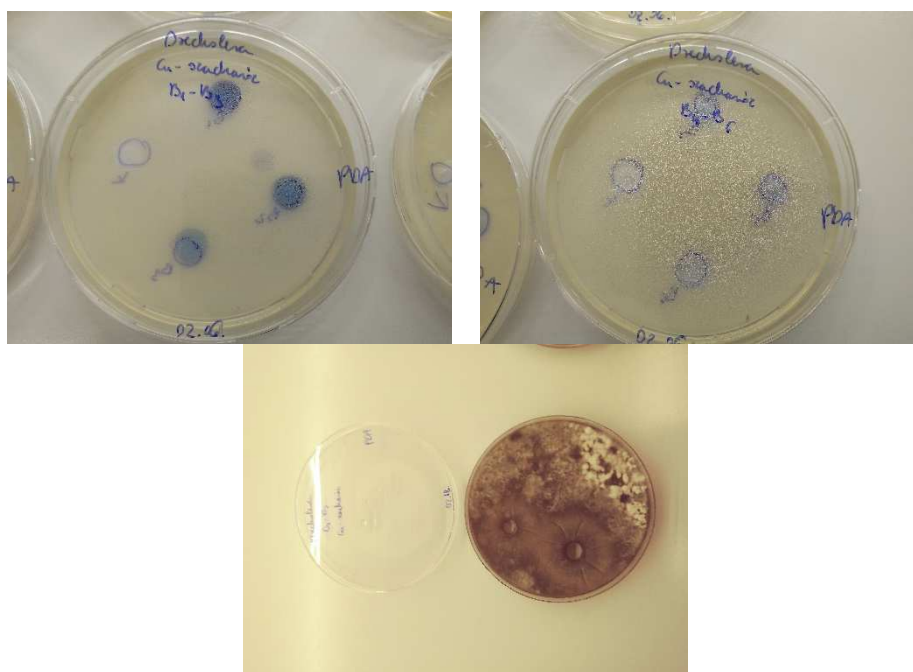


41. ábra: Réz kezelése hatására *Fusarium graminearum* esetében
Figure 41.: Effect of copper treatments on *Fusarium graminearum*

Vizsgálataink során gátlási zóna átmérője az alkalmazott réz dózissal lineáris összefüggést mutatott ($y = 0,0018 * x - 2,0000$, $r^2=0,9935$).

4.2.2.2. Hatás *Drechslera sorokiniana*-ra

Vizsgálataink során *Drechslera sorokiniana* esetében is csak a három legmagasabb vizsgált koncentrációsinten volt megfigyelhető a gátlási zóna kialakulása (42. ábra).



42. ábra: Beoltott teszt lemezek és inkubáció utáni gátlási zónák (*Drechslera sorokiniana*)

Figure 42.: Inoculated test plates and inhibition zones after incubation (*Drechslera sorokiniana*)

A kontroll és az egyes kezelésszintek között a szignifikáns eltéréseket páronkénti t-próbával vizsgáltuk. Az eredményeket a 61. táblázat tartalmazza.

61. táblázat: Páronkénti t-próba réz kezelésekre *Drechslera sorokiniana* esetében

Table 61.: t probe for copper treatments on *Drechslera sorokiniana*

Konc. mg * L ⁻¹	O	B1	B2	B3	B4	B5	B6
O	0	-	-	-	-	-	-
B1	6674	***	-	-	-	-	-
B2	3337	***	ns	-	-	-	-
B3	1668	ns	**	**	-	-	-
B4	834	-	-	-	-	-	-
B5	501	-	-	-	-	-	-
B6	167	-	-	-	-	-	-

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

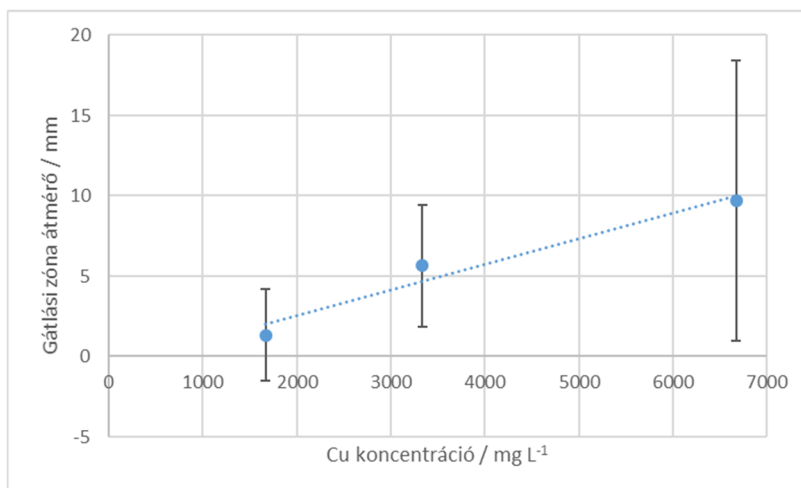
** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

ns: nem szignifikánsan eltérő átlag

A kapott eredmények alapján azon koncentrációszintek esetében, ahol megfigyelhető volt a gátlási zóna kialakulása, csak a két legmagasabb koncentrációszint esetében volt szignifikáns a gátló hatás. A réz-oxikloridhoz hasonlóan a három ismétlésben elvégzett vizsgálatok eredményeinek szórása *Drechslera sorokiniana* esetében jóval nagyobb volt, mint a *Fusarium graminearum* esetében.

A növekvő réz koncentrációk hatására a megfigyelt gátlási zónák átmérője növekedett (43. ábra).



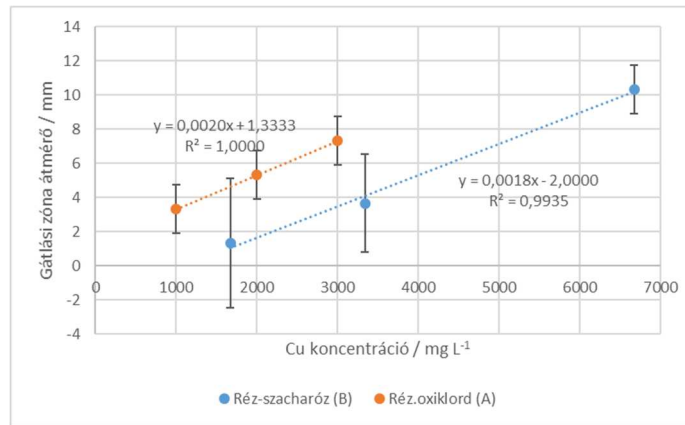
43. ábra: Réz kezelések hatása
Figure 43.: Effect of copper treatments

Vizsgálataink során gátlási zóna átmérője az alkalmazott réz dózissal lineáris összefüggést mutatott ($y = 0,0016 * x - 0,6667$, $r^2=0,9552$).

4.2.3. Két készítmény összehasonlítása

4.2.3.1. *Fusarium graminearum*

A szerkontrollként alkalmazott réz-oxiklorid („A”) és a réz-szacharóz típusú készítmény („B”) esetében is 3-3 koncentrációsinten volt megfigyelhető gátlási zónák kialakulása.



44. ábra: Gátlási zónák mérete *Fusarium graminearum* esetében
 Figure 44.: Diameter of inhibition zone on *Fusarium graminearum*

A két készítményre beállított koncentrációsintek nem azonosak, de a kapott eredményeket grafikusán ábrázolva jól látható, hogy a szerkontrollként alkalmazott réz-oxiklorid gátló hatása erősebb (44. ábra). Páronként elvégezve a t-próbát (62. táblázat) a kapott eredmények alapján a szerkontroll legmagasabb koncentrációsintjét jelentősen meghaladó koncentrációjú réztartalmú készítmény (B1) kivételével, ahol szignifikáns különbség mutatkozik a gátló hatásban, ott a szerkontroll gátló zónája a nagyobb.

62. táblázat: Páronkénti t-próba réz kezelésekre *Fusarium graminearum* esetébenTable 62.: t probe for copper treatments on *Fusarium graminearum*

Konc. mg * L ⁻¹		A1	A2	A3
		3000	2000	1000
B1	6674	*** (B)	*** (B)	*** (B)
B2	3337	*** (A)	* (A)	ns (B)
B3	1668	*** (A)	** (A)	ns (A)

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

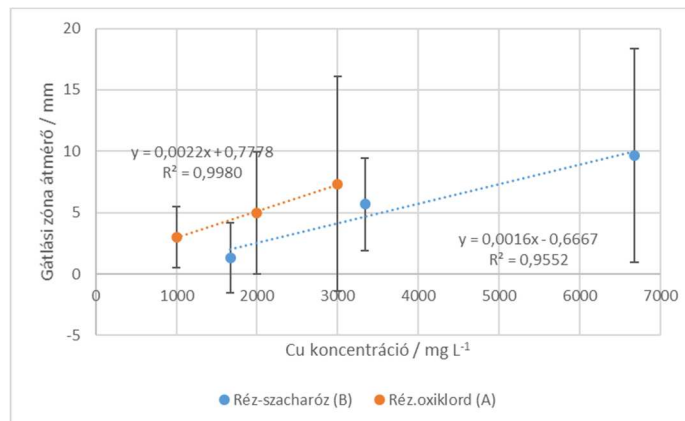
*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

ns: nem szignifikánsan eltérő átlag

(Zárójelben a nagyobb átlagértékű kezelés)

4.2.3.2. *Drechslera sorokiniana*

A szerkontrollként alkalmazott réz-oxiklorid („A”) és a réz-szacharóz típusú készítmény („B”) esetében is 3-3 koncentrációsinten volt megfigyelhető gátlási zónák kialakulása.



45. ábra: Gátlási zónák mérete *Drechslera sorokiniana* esetében
Figure 45.: Diameter of inhibition zone on *Drechslera sorokiniana*

A két készítményre beállított koncentrációsintek nem azonosak, de a kapott eredményeket grafikusán ábrázolva jól látható, hogy a

szerkontrollként alkalmazott réz-oxiklorid gátló hatása erősebb (45. ábra). Páronként elvégezve a t-próbát (63. táblázat) a kapott eredmények alapján a szerkontroll legmagasabb koncentrációját jelentősen meghaladó koncentrációjú réztartalmú készítmény (B1) kivételével, ahol szignifikáns különbség mutatkozik a gátló hatásban, ott a szerkontroll gátló zónája a nagyobb. A *Fusarium graminearum* esetén kapott eredményekkel összehasonlítva a különbségek kevésbé szignifikánsak.

63. táblázat: Páronkénti t-próba réz kezelésekre *Drechslera sorokiniana* esetében

Table 63.: t probe for copper treatments on *Drechslera sorokiniana*

Konc. mg * L ⁻¹		A1	A2	A3
		3000	2000	1000
B1	6674	ns(B)	ns(B)	** (B)
B2	3337	ns(A)	ns(B)	* (B)
B3	1668	** (A)	* (A)	ns(A)

* 10%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

** 5%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

*** 1%-os hibaszinten szignifikánsan eltérő átlag

ns: nem szignifikánsan eltérő átlag

(Zárójelben a nagyobb átlagértékű kezelés)

4.2.4. Agardiffúziós vizsgálatok eredményeinek összefoglalása

Vizsgálataink során réz-oxiklorid és *Fusarium graminearum* esetében mindhárom vizsgált koncentrációsinten megfigyelhető volt a gátlási zóna kialakulása. A növekvő réz koncentrációk hatására a megfigyelt gátlási zónák átmérője növekedett, vizsgálati eredményeink alapján a kapott összefüggés lineáris ($r^2=1,0000$). A szántóföldi kísérletek során használt készítmény esetében a három legkisebb vizsgált koncentrációsinten (0,1 – 0,3 – 0,5 kg ha⁻¹ dózisnak megfelelő) nem volt megfigyelhető a gátlási zóna kialakulása, csak a három magasabb koncentrációsinten (1 – 2 – 4

kg ha⁻¹). A megfigyelt gátló hatás a két legmagasabb koncentrációsint esetén volt szignifikáns. A koncentrációfüggés – a 3 mérhető koncentrációsint esetén – ebben az esetben is lineáris volt ($r^2=0,9935$).

Drechslera sorokiniana esetében is a réz-oxiklorid mindhárom vizsgált koncentrációsintje hatásosnak bizonyult, a *Fusarium graminearum*-hoz hasonlóan azonban a réz-szacharóz típusú készítmény gátló hatása csak a három legmagasabb koncentrációsinten (1 – 2 – 4 kg ha⁻¹) volt megfigyelhető. A megfigyelt gátló hatás csak a két legmagasabb koncentrációsint esetén volt szignifikáns. A gátló hatás az alkalmazott réz koncentrációval mindkét készítmény esetében is lineáris volt ($r^2=0,9980$ illetve $r^2=0,9552$).

JAVASLATOK

Az elvégzett kísérletek alapján az alábbi következtetések és javaslatok fogalmazhatóak meg:

- Az elvégzett szántóföldi kísérletek alapján megállapítható, hogy az alkalmazott réztartalmú készítmény rézhiányos talajon alkalmas a rézhiány enyhítésére és a hozam növelésére. A kísérletek során vizsgált őszi búza esetében a 2 kg ha⁻¹ dózisú kezelés az optimális.

- Az elvégzett *in vitro* kísérletek során bizonyítást nyert, hogy a szántóföldi kísérletekben során is sikeresen alkalmazott készítmény nagyobb réz dózisok esetében hatékony fungicid hatóanyag is a vizsgálatokhoz kiválasztott *Fusarium graminearum* Schwabe (1839) és a *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964) törzsekkel szemben. A kimutatott hatás gyengébbnek bizonyult, mint a szerkontrollként alkalmazott, kereskedelmi forgalomban is kapható réz-oxiklorid esetében. Vizsgálataink alapján azonban így is megállapítható, hogy a növénytáplálási célú kezelések esetében érdemes az alkalmazott készítmény növényvédelmi hatásaival is számolni, így egy összehangolt tápanyagos kezelés kiegészítő kezelésként jöhet szóba a növényvédelemmel, ami fontos a környezetvédelem szempontjából, illetve költségcsökkentést is eredményezhet.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az elvégzett munka alapján bizonyítást nyert, hogy réz-szacharóz típusú készítményből karbamid adalékanyag hozzáadásával olyan készítmény állítható elő, amely levélfelületen keresztül alkalmazva már $0,5 \text{ kg ha}^{-1}$ réz dózistól kezdődően 95 %-os szignifikancia szinten növeli az őszi búza **hozamát**, **nyersfehérje** tartalmát és **sikér** tartalmát.
2. Rézhiányos talajon beállított kisparcellás kísérletek során a kalászhányás végén/virágzás elején végzett lombkezelések hatására szignifikáns **hozamnövekedést** bizonyítottunk be. A beállított kezelésszinteken 2 kg ha^{-1} dózis esetén 16,7 %-os növekedést értünk el. A kísérlet körülményei között a maximális hozam eléréséhez szükséges dózissal a $2,89 \text{ kg ha}^{-1}$ adódott.
3. A kezelések hatására a kontrollhoz képest szignifikáns növekedést értünk el a **nyersfehérje** és a **sikértartalom** esetében, ezzel javítva a búza minőségét és segítve az exportképes termék előállítását. A nyersfehérje tartalomban a beállított 4 kg ha^{-1} -os kezelésnél 10,9 %-os növekedést értünk el, a sikértartalomban ugyanennél a kezelésnél 16,0 %-os növekedést. A legnagyobb hozamnövekedést eredményező 2 kg ha^{-1} -os kezelés ettől alig elmaradva 9,2 %-os illetve 13,0%-os növekedést eredményezett a két jellemzőben.
4. *In vitro* kísérleteink során a szántóföldi kísérletekben hatásosnak bizonyult készítmény nagyobb réz dózisok esetén hatékony fungicid hatóanyagként is bizonyult a vizsgálatokhoz kiválasztott *Fusarium graminearum* Schwabe (1839) és a *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964) törzsekkel szemben. A

tápanyagutánpótlásra használt készítmény összehangoltan alkalmazva alkalmas kiegészítő kezelésként a növényvédelemben, amivel csökkenthető a környezet terhelése, illetve költségmegtakarítást is eredményezhet.

ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a növénytermesztéssel szemben támasztott egyre szigorúbb minőségi és környezetvédelmi előírásoknak való megfelelés mellett a gazdálkodóknak egyre komolyabb kihívást jelent a termesztett növények megfelelő tápanyagutánpótlása. Munkánk során arra kerestük a választ, hogy szűkebb környezetünkben is gyakran problémát okozó réz mikroelem levélen keresztüli utánpótlása megoldható-e réz-vegyületből szacharóz és karbamid hozzáadásával előállított készítmény segítségével. Továbbá laboratóriumi *in vitro* tesztek során vizsgáltuk, hogy a szántóföldi növénytáplálási kísérletek során alkalmazott kezelések esetében számíthatunk-e növényvédelmi (fungicid) hatásra.

Vizsgálataink során az alábbi célokat tűztük ki:

- Megvizsgálni, hogy a karbamidot tartalmazó réz-szacharóz típusú oldatok alkalmazhatóak-e a levélfelületen keresztül történő réz tápanyag utánpótlására.
- Megvizsgálni, hogy az előállított réztartalmú készítmény rézhiányos talajon alkalmazva befolyásolja-e az őszi búza hozamát.
- Megvizsgálni, hogy az előállított készítmény hatással van-e az őszi búza egyes beltartalmi mutatóira (nyersfehérje tartalom, sikértartalom, keményítő tartalom és réz tartalom).
- Megvizsgálni, hogy a réztartalmú készítmény alkalmazása esetén megfigyelhető-e a réz növényvédelmi hatása az *in vitro* vizsgálatokhoz kiválasztott *Fusarium graminearum* Schwabe (1839) és a *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964) (korábbi nevén *Helminthosporium sativum* Pammel

C.M. King & Bakke (1910), *Bipolaris sorokiniana* (Sacc.)
Shoemaker (1959)) törzsekkel szemben.

Vizsgálataink során 4 ismétléses véletlen blokk elrendezésű szántóföldi kisparcellás kísérletet állítottunk be a 2011/2012, 2012/2013 és 2013/2014 gazdasági években, Komáromban, a Solum Mezőgazdasági, Ipari és Kereskedelmi Zrt. területén. A kísérleti parcellák mérete 10 m² volt. A kísérleti terület talaja közepes mésztartalmú középkötött agyagos vályog / vályog talaj, a terület éghajlata kontinentális jellegű. Talajvizsgálati eredmények alapján a kiválasztott terület réz ellátottsága gyenge volt. A kezeléseket mindhárom évben kalászhányás végén/virágzás elején végeztük. A korábbi réz vegyületekkel végzett kísérletek során alkalmazott virágzáskori kezelésekhöz képest eltérő kezelési időpontot a kalászt károsító kórokozók elleni korábbi fellépés indokolta.

A betakarításkor minden parcelláról begyűjtött mintánál a termés tömegéből meghatároztuk a hozamot majd elvégeztük a nyersfehérje, a nedves siker, a keményítő és a réz tartalmának vizsgálatát.

Az eredmények alapján bizonyítást nyert, hogy az alkalmazott réz kezelések már 0,5 kg ha⁻¹ réz dózistól kezdődően az őszi búza hozamát és egyes fontosabb beltartalmi mutatóit is pozitívan befolyásolják legalább 95 %-os szignifikancia szinten. Az alkalmazott kezelések hatására a hozamban 15 %-os, a nyersfehérje tartalom esetében 10 %-os, a sikeértalom esetében pedig 15 %-os növekedést tapasztaltunk. Keményítőtartalomban és réztartalomban vizsgálataink során nem sikerült szignifikáns különbségeket kimutatni. A kísérlet körülményei között a maximális hozam eléréséhez szükséges dózist a 2,89 kg ha⁻¹ adódott.

In vitro kísérleteink során bebizonyítottuk, hogy a szántóföldi kísérletekben korábban hatásosnak bizonyult készítmény a nagyobb réz

dózisok esetén fungicid hatóanyagként is hatásos a vizsgálatok során felhasznált *Fusarium graminearum* Schwabe (1839) és *Drechslera sorokiniana* (Saccardo) Subram. & B.L. Jain (1964) törzsekkel szemben. Eredményeink alapján a hatás gyengébb, mint a kísérletek során szerkontrollként kiválasztott, régóta kereskedelmi forgalomban kapható réz-oxiklorid hatóanyag esetében.

PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

Az értekezés témakörében eddig megjelent publikációk:

Tudományos közlemény, hazai, idegen nyelvű lektorált folyóiratban:

Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs., Glatzer W. (2004): Effect der Blattdüngung auf den Zuckergehalt der Weintraubensorte Zweigelt. Acta Agronomica Óváriensis, **46**, 151-162.

Szakál P., Kerekes G., Schmidt R., Barkóczi M., Giczi Zs., Kalocsai R. (2005): Influencing the organic matter content of potato by macro and trace element fertilisers. Cereal Research. Communications, **33**, 415-418. (IF 0.320)

Giczi Zs., Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P. (2006): The effect of N, P, K fertilisation and bacterial inoculation on the oxidation of elemental sulphur in danube alluvial soil. Cereal Research Communications, **34**, 187-191. (IF 1.037)

Barkóczi M., Szakál P., Schmidt R., Kalocsai R., Giczi Zs., Halasi T. (2006): Copper ion-exchanged zeolite in plant nutrition. Cereal Research Communications. Proceedings of the V. Alps-Adria Workshop Opatija, Croatia, 6-11 March, 2006, 397-400. (IF 1.037)

Kalocsai R., Giczi Zs., Schmidt R., Szakál P., Barkóczi M. (2006): Effect of sulphate fertilisation on the quality of winter wheat. Cereal Research Communications, **34**, 529-532. (IF 1.037)

Giczi Zs., Kalocsai R., Vona V., Szakál T., Lakatos E., Ásványi B. (2020): Study of the antifungal effect of a copper-containing foliar fertilizer. Cereal Research Communications, <https://doi.org/10.1007/s42976-020-00108-y> (IF 0,811*)

Tudományos közlemény, magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:

Szakál P., Barkóczi M., Giczi Zs. (2007): Bioetanol-előállítás céljára termesztett búza Mn-trágyázása. Acta Agronomica Óváriensis, **49**, 589-594.

*2019 impakt faktor

Tóásó Gy., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs. (2007): A szelénkezelés (Se IV) hatása a termesztett csiperke termésmennyiségére és szeléntartalmára. Mikológiai Közlemények – Clusiana, **46**, 91-98.

Tóásó Gy., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs., Kalocsai R. (2008): A komposzt szeléndúsításának (Se IV) hatása a termesztett csiperke cink-, réz-, vas- és mangántartalmára, Acta Agronomica Óváriensis, **50**, 143-149.

Giczi Zs., Kalocsai R., Lakatos E., Dorka-Vona V., Tóth E. A. (2018): Réz, a mezőgazdaság nélkülözhetetlen eleme, Acta Agronomica Óváriensis, **59**, 4-31. (szakirodalmi összefoglaló)

Tóth E. A., Kalocsai R., Dorka-Vona V., Giczi Zs. (2018): Az esszenciális mikroelemek szerepe a növények élettani folyamataiban, Acta Agronomica Óváriensis, **59**, 126-150. (szakirodalmi összefoglaló)

Giczi Zs., Kalocsai R., Vona V., Szakál T., Teschner G., Lakatos E. (2020): Réz kezelések hatása őszi búza (*Triticum aestivum* L) hozamára és nyersfehérje tartalmára. Acta Agronomica Óváriensis, **61**, 23-32.

Idegen nyelvű konferenciaközlemény folyóiratban vagy konferenciakötetben

Schmidt R., Szakál P., Kalocsai R., Giczi Zs. (2005): The effect of copper and zinc treatments and precipitation on the yield and baking quality of wheat. Réz, cink a környezetben szakmai konferencia. Acta Agronomica Óváriensis, **47**, 195-203.

Magyar nyelvű konferenciaközlemény folyóiratban vagy konferenciakötetben

Tóásó Gy., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs., Kalocsai R. (2005): A komposzt szeléndúsításának hatása a termesztett csiperke cink-, réz-, vas-, mangán – és nátriumtartalmára. Réz, cink a környezetben szakmai konferencia. Mosonmagyaróvár 2005.09.22, Acta Agronomica Óváriensis, **47**, 159-167.

Giczi Zs., Szakál P., Schmidt R., Kalocsai R., Barkóczi M. (2005): Bázisos cink-karbonát és napraforgóhamu talajkezelések hatása a burgonya (*Solanum tuberosum*) hozamára és minőségére. Réz, cink a környezetben szakmai konferencia. Mosonmagyaróvár 2005.09.22. *Acta Agronomica Óváriensis*, **47**, 153-159.

Egyéb, más témakörben megjelent publikációk:

Schmidt R., Kerekes G., Szakál P., Kalocsai R., Giczi Zs., Szlovak G. (2005): The effect of previous crops on the cellulose decomposition activity of the soil. *Cereal Research Communications*, **33**, 61-64. (IF 0.320)

Csathó P., Magyar M., Holló S., Német I., Giczi Zs., Németh T. (2012): Az algériai nyersfoszfát közvetlen alkalmazásának agronómiai és környezeti szempontú értékelése savanyú talajokon hazai szabadföldi kísérletekben. *AGROKÉMIA ÉS TALAJTAN*, **61**, 327-344.

Dorka-Vona V., Kalocsai R., Sarjant, S., Giczi Zs., Van Erp, P., Kovács A. J. (2018): Talajvizsgálat Magyarországon: az infravörös és röntgen-fluoreszcenz analízis alkalmazásának lehetőségei. *Acta Agronomica Óváriensis*, **59**, 32-43.

Giczi Zs., Dorka-Vona V., Vámos O., Kalocsai R., Lakatos E. (2018): Mezőgazdasági talajvizsgálatok Magyarországon. In: Szalka É. (szerk): XXXVII. Óvári Tudományos Napok, 2018. november 9-10. : Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő. SZE-MÉK, Mosonmagyaróvár, 430-449.

Vámos O., Giczi Zs. (2018): Környezetkímélő tápanyagellátás baktériumtrágyával. In: Szalka É. (szerk): XXXVII. Óvári Tudományos Napok, 2018. november 9-10. : Fenntartható agrárium és környezet, az Óvári Akadémia 200 éve - múlt, jelen, jövő. SZE-MÉK, Mosonmagyaróvár, 395-404

Rajkai K., Koltai G., Giczi Zs. (2019): Ground water level and moisture regime monitoring of land use types in the Szigetköz. In: Kende Z., Bálint Cs., Kunos V. (szerk.): 18th Alps-Adria Scientific Workshop : Alimentation and Agri-environment : Abstract book. Szent István Egyetem Egyetemi Kiadó, Gödöllő, 134-135.

Dorka-Vona V., Kalocsai R., Tóth E. A., Giczi Zs., Kovács A. (2019): Spektroszkópiai módszerek alkalmazása a talaj tápanyagtartalmának meghatározására: szakirodalmi feldolgozás. *Acta Agronomica Óváriensis*, **60**, 140-164.

Vona V., Centeri Cs., **Giczi Zs.**, Kalocsai R., Biro Zs., Jakab G., Milics G., Kovács A. J. (2020): Comparison of magnesium determination methods on Hungarian soils. Soil and Water Research, **15**, 173-180. (IF 0,982*)

Vona V., Bakos I. A., **Giczi Zs.**, Kalocsai R., Vona M., Kulmány I. M., Centeri Cs. (2020): MÚLT-JELEN-JÖVŐ a hazai mezőgazdasági talajvizsgálatokban. Agrokémia és Talajtan, **69**, 127-151

*2019 impakt faktor

IRODALOMJEGYZÉK

1. *Ábrahám R., Érsek T., Kuroli G., Németh L., Reisinger P.* (2011): Növényvédelem. Digitális Tankönyvtár – <http://www.tankonyvtar.hu/hu> (letöltve: 2018.11.22.).
2. *Adriano, D. C.* (1986): Trace elements in the terrestrial environment. Springer Verlag, New York.
3. *Ainswort, G. C.* (1981): Introduction to the history of plant pathology. Cambridge University Press, Cambridge.
4. *Anders, E., Ebihara M.* (1982): Solar-system abundances of the elements. *Gechimica et Cosmochimica Acta* Vol. **46**, 2363-2380.
5. *Antal J., Jolánkai M.* (szerk.) (2005): Növénytermesztés tan 1. Elektronikus jegyzet. Digitális Tankönyvtár – <http://www.tankonyvtar.hu/hu> (letöltve: 2018.11.22.).
6. *Ansari, M. F.* (2012): Plant nutrition lecture #6. <https://www.slideshare.net/fahadansari131/plant-nutrition-by-muhammad-fahad-ansari12ieem14-12905621> (Letöltve: 2019.03.09.)
7. *Arnon, D.I., Stout, P.R.* (1939): The essentiality of certain elements in minute quantity for plants with special reference to copper. *Plant Physiol.* **14**, 371–375.
8. *Ásványi-Molnár N.* (2009): Funkcionális hatású tejtermék előállítására spirulina (*Arthrospira platensis*) felhasználásával. Doktori (PhD) értekezés. NYME-MÉK, Ujhelyi Imre Állattudományi Doktori Iskola.
9. *ATSDR* (2004): Toxicological Profile for Copper. U.S. Department of Health and Human Services - Agency for Toxic Substances and Disease Registry, <https://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp132.pdf> (letöltve 2018.03.18).
10. *Azeez, M. O., Adesanwo, O. O., Adepetu, J. A.* (2015): Effect of Copper (Cu) application on soil available nutrients and uptake. *African Journal of Agricultural Research*, **10**, 359-364.
11. *Barbosa, R. H., Tabaldi, L. A., Miyazaki, F. R., Pilecco, M., Kassab, S. O., Bigaton, D.* (2013): Foliar copper uptake by maize plants: effects on growth and yield. *Ciência Rural*, **43**, 1561-1568.
12. *Barkóczi M.* (2004): Réz-komplex vegyületek ligandum hatásának vizsgálata az őszi búza hozamára és minőségére. Doktori (PhD) értekezés. NYME-MÉK, Precíziós növénytermesztési módszerek doktori program.
13. *Barkóczi M., Szakál P., Schmidt R., Kalocsai R., Giczi Zs., Halasi T.* (2006): Copper ion-exchanged zeolite in plant nutrition. *Cereal Research Communications. Proceedings of the V. Alps-Adria Workshop Opatija, Croatia, 6-11 March, 2006*, 397-400.

14. *Baszynski, T., Ruszkowska, M., Król, M., Tukendorf, A., Wolinska, D.* (1978): The Effect of Copper Deficiency on the Photosynthetic Apparatus of Higher Plants. *Z. Pflanzenphysiol.*, **89**, 207-216.
15. *Bazlur Rashid, A. Q. M., Bahadur Meah, MD., Jalaluddin, MD.* (1987): Effect of leaf blight caused by *Drechslera sorokiniana* (Sacc.) Subram. and Jain. on some yield components of wheat. *Crop Protection*, **6**, 256-260.
16. *Benton Jones, J. Jr.* (2012): *Plant Nutrition and Soil Fertility Manual*, 2nd edition. CRC Press, Boca Raton.
17. *Bowen, H. J. M.* (1985): The Cycles of Copper, Silver and Gold. In *Hutzinger, O.* (szerk.): *The Handbook of Environmental Chemistry – Volume 1 Part D*, Springer-Verlag, Berlin.
18. *Brennan., R. F.* (1990): Effectiveness of some copper compounds applied as foliar sprays in alleviating copper deficiency of wheat grown on copper-deficient soils of Western Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, **30**, 687-691.
19. *Buzás F.* (2017): Búzatermesztés. A búzatermesztés költség- és jövedelemviszonyai. *Őstermelő*, **21**, 54-57.
20. *Buzás .I* (1983): *A növénytáplálás zsebkönyve*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
21. *Clewer, A. G., Scarisbrick, D. H.* (2001): *Practical statistics and experimental design for plant and crop science*. John Wiley & Sons, Chichester
22. *Conry, R. R.* (2005): Copper: Inorganic & Coordination Chemistry. In *King, R. B.* (szerk.): *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
23. *Cotton, F. A., Wilkinson G., Murillo, C. A., Bochmann, M.* (1999): *Advanced inorganic chemistry*, 6th edition. John Wiley & Sons, New York.
24. *Csajbók J.* (2012): Szántóföldi növények termesztése és növényvédelme. Elektronikus jegyzet. Debreceni Egyetem (letöltve: 2019.02.20.)
25. *Csathó P.* (1994): A környezet nehézfém szennyezettsége és az agrártermelés. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
26. *de Wit, C. T.* (1992): Resource Use Efficiency in Agriculture. *Agricultural Systems* **40**, 125-151.
27. *Debreczeni B.-né, Sárdi K.* (1999): Növényi tápanyagok. In *Füleky Gy.* (szerk.): *Tápanyag-gazdálkodás*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
28. *Decker, H.* (2005): Copper Proteins with Dinuclear Active Sites. In *KING, R. B.* (szerk.): *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
29. *Droppa, M., Masojidek, J., Rózsa Zs., Wolak, A., Horváth L., Farkas T., Horváth G.* (1987): Characteristics of Cu deficiency-induced inhibition of

- photosynthetic electron transport in spinach chloroplasts. *Biochimica et Biophysica Acta*, **891**, 75-84.
30. *Fageria, N. D.* (2013): Mineral Nutrition of Rice. CRC Press, Boca Raton.
 31. *Farias, J. G., Antes, F. L. G., Nunes, P. A. A., Nunes, S. T., Schaich, G., Rossato, L. V., Miotto, A., Giroto, E., Tiecher, T. L., Dressler, V. L., Nicoloso, F. T.* (2013): Effects of excess copper in vineyard soils on the mineral nutrition of potato genotypes. *Food and Energy Security*, **2**, 49–69.
 32. *Flemming, C. A., Trevors, J. T.* (1989): Copper toxicity and chemistry in the environment: a review. *Water, Air, and Soil Pollution*, **44**, 143-158.
 33. *Fodor F.* (2013): A növények vízháztartása, ásványi táplálkozása, transzportfolyamatok. In *Fodor F.* (szerk): A növényi anyagcsere élettana. Digitális Tankönyvtár – <http://www.tankonyvtar.hu/hu> (letöltve: 2018.03.13.).
 34. *Forró-Rózsa E.* (2014): Réz a talajban. *Acta Agronomica Óváriensis*, **56**, 97-108.
 35. *Forró-Rózsa E., Szakál P., Csatai R.* (2017): The qualitative and quantitative impact of copper and zinc applications on winter wheat cultivation. *African Journal of Plant Science*, **11**, 351-361.
 36. *FRAC (Fungicide Resistance Action Committee)* (2018): FRAC Code List, http://www.frac.info/docs/default-source/publications/frac-code-list/frac_code_list_2018-final.pdf?sfvrsn=6144b9a_2 (letöltve 2019.02.24.)
 37. *Giczi Zs., Szakál P., Schmidt R., Kalocsai R., Barkóczi M.* (2005): Bázisos cink-karbonát és napraforgóhamu talajkezelések hatása a burgonya (*Solanum tuberosum*) hozamára és minőségére. Réz, cink a környezetben szakmai konferencia. Mosonmagyaróvár 2005.09.22. *Acta Agronomica Óváriensis*, **47**, 153-159.
 38. *Giczi Zs., Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P.* (2006): The effect of N, P, K fertilisation and bacterial inoculation on the oxidation of elemental sulphur in danube alluvial soil. *Cereal Research Communications*, **34**, 187-191.
 39. *Giczi Zs., Kalocsai R., Lakatos E., Dorka-Vona V., Tóth E. A.* (2018): Réz, a mezőgazdaság nélkülözhetetlen eleme, *Acta Agronomica Óváriensis*, **59**, 4-31.
 40. *Ginocchio, R., Rodríguez, P.H., Badilla-Ohlbaum, R., Allen, H.E., Lagos G.,E.* (2002): Effect of soil copper content and pH on copper uptake of selected vegetables grown under controlled conditions. *Environ Toxicol Chem.*, **21**, 1736-1744.
 41. *Glits M., Horváth J., Kuroli G., Petróczi I.* (1996): Növényvédelem. Digitális Tankönyvtár – <http://www.tankonyvtar.hu/hu> (letöltve: 2019.03.11.).

42. *Hardee, W.* (2015): Copper Deficiency in Wheat. <https://scagnews.wordpress.com/2015/04/27/copper-deficiency-in-wheat/> (Letöltve: 2019.03.09.)
43. *Hart, P. J., Nersissian, A. M., George, S. DB.* (2005): Copper Proteins with Type 1 Sites. In *King, R. B.* (szerk.): Encyclopedia of Inorganic Chemistry, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
44. *Haynes, W. M., Lide, D. R., Bruno, T. J.* (szerk.) (2017): CRC Handbook of Chemistry and Physics. 97th edition 2016-2017. Taylor & Francis Group, Boca Raton.
45. *He, Z. L., Yang, Y. E., Stoffella, P. J.* (2005): Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. Journal of Trace Elements in Medicine and Biology, **19**, 125–140.
46. *Holm, R. H., Kennepohl, P., Solomon, E. I.* (1996): Structural and Functional Aspects of Metal Sites in Biology. Chem. Rev., **96**, 2239-2314.
47. *Horváth J., Tállai M., Mátyás B.* (2015): A talaj nitrogén-tartalmának és néhány egyéb tulajdonságának változása egy trágyázási tartamkísérletben csernozjom talajon. Acta Agraria Debreceniensis, **64**, 39-44.
48. *Huheey, J. E., Keiter, E. A., Keiter, R. L.* (1993): Inorganic Chemistry – Principles of Structure and Reactivity, Fourth Edition. HarperCollins College Publishers, New York.
49. *Husak, V.* (2015): Copper and copper-containing pesticides: metabolism, toxicity and oxidative stress. Journal of Vasyľ Stefanyk Precarpathian National University, **2**, 38-50.
50. *Ignat, T.* (2012): Non-destructive methods for determination of quality attributes of bell peppers. PhD Thesis, Budapesti Corvinus Egyetem
51. *Jiang, L. Y., Yang, X. E., He, Z. L.* (2004): Growth response and phytoextraction of copper at different levels in soils by *Elsholtzia splendens*. Chemosphere, **55**, 1179–1187.
52. *Judel, G. K.* (1972): Einfluß von Kupfer- und Stickstoffmangel auf die Aktivität der Phenoloxidase und den Gehalt an Phenolen in den Blättern der Sonnenblume (*Helianthus annuus*). Pflanzenernährung und Bodenkunde, **131**, 159-170.
53. *K+S Kali GmbH* (2014): Protecting and enhancing soil fertility. Green Facts Info Service 25 July, 2014, <http://www.sustainable-agriculture.org/wp-content/uploads/2014/07/Soil-Fertility-240714.pdf> (Letöltve: 2019.03.07.).
54. *Kabata-Pendias, A.* (2011): Trace Elements in Soils and Plants. CRC Press, Boca Raton.
55. *Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs., Glatzer W.* (2004): Effect der Blattdüngung auf den Zuckergehalt der Weintraubensorte Zweigelt. Acta Agronomica Óváriensis, **46**, 151-162.

56. Kalocsai R., Giczi Zs., Schmidt R., Szakál P., Barkóczi M. (2006): Effect of sulphate fertilisation on the quality of winter wheat. *Cereal Research Communications*, **34**, 529-532.
57. Kalocsai R. (2006): Mikroelem trágyázás. In *Birkás M.* (szerk.): *Földművelés és földhasználat. Mezőgazda Kiadó, Budapest.*
58. Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs. (2006): A talajvizsgálati eredmények értelmezése. *Agro Napló*, 10(9), 35-38.
59. Kádár I. (1992): A növénytáplálás alapelvei és módszerei, 2. kiadás. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
60. Kádár I., (2008): A mikroelemkutatások eredményeiről, különös tekintettel a Cu és Zn elemekre. *Acta Agronomica Óváriensis*, **50**, 9-13.
61. Kádár I. (2012): A főbb szennyező mikroelemek környezeti hatása. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
62. Kádár I. (2017a): Nitrogén, réz és molibdén kölcsönhatások repcére (*Brassica napus* L.). *Agrokémia és Talajtan*, **66**, 349-360.
63. Kádár I. (2017b): Nitrogén, réz és molibdén kölcsönhatások lucerna kultúrában (*Medicago sativa* L.). *Agrokémia és Talajtan*, **66**, 375-390.
64. Kádár I., Csathó P. (2017): A főbb makro- és mikroelemek közötti kölcsönhatások kísérletes vizsgálata. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.
65. Karczewska A., Mocek A., Goliński P., Mleczek M. (2015): Phytoremediation of Copper-Contaminated Soil. In: Ansari A., Gill S., Gill R., Lanza G., Newman L. (szerk) *Phytoremediation*. Springer, Cham.
66. Kerekes G. (2005): Ipari hulladékból visszanyert fémkomplexek hatása *Fusarium Culmorum* (W. G. Smith) SACCARDO és *Sclerotinia Sclerotiorum* (Libert) DE BARY növénypatogén gombákra és felhasználásuk lehetősége a növényvédelemben. Doktori (PhD) értekezés. Veszprémi Egyetem MTK, Növénytermesztési és kertészeti tudományok doktori iskola.
67. Khalid, B. Y., Malik, N.S.A. (1982): Presowing soaking of wheat seeds in copper and manganese solutions, *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **13**, 981-986.
68. Kiss Cs. G. (2013): Kukorica hibridek keményítő tartalmának vizsgálata közeli infravörös spektroszkópiai (NIT) technikával. *Agrártudományi Közlemények*, **51**, 119-122.
69. *Központi Statisztikai Hivatal (KSH)* (2018a): Statisztikai tükör. Népesedési világnap, 2018. július 11. <http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/stattukor/nepesedesi18.pdf> (Letöltve: 2019.03.03.)
70. *Központi Statisztikai Hivatal (KSH)* (2018b): Statisztikai tükör. A fontosabb növények vetésterülete, 2018. június 1.

<http://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/vet/vet1806.pdf>
2019.02.17.)

(Letöltve:

71. Kumari, A., Lal, B., Rai, U. N. (2016): Assessment of native plant species for phytoremediation of heavy metals growing in the vicinity of NTPC sites, Kahalgaon, India. *Int. J. Phytoremediation*, **18**, 592-597.
72. La Torre, A., Iovino, V., Caradonia, F. (2018): Copper in plant protection: current situation and prospects. *Phytopathologia Mediterranea*, **57**, 201–236.
73. Lakatos E. (2013): Élelmiszeripari technológiák I. Malom-, Sütő-, és Édesipar. Nyugat-magyarországi Egyetem Kiadó, Sopron
74. Linder, M. C. (1991): *Biochemistry of copper*. Springer, New York.
75. Loch J. – Nosticzius Á. (2004): *Agrokémia és növényvédelmi kémia, IV. javított, átdolgozott kiadás*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
76. Lodders, K. (2003): Solar system abundances and condensation temperatures of the elements. *The Astrophysical Journal*, **591**, 1220–1247.
77. López-Rayó, S., Nadal, P., Pozo, M. A., Dominguez, A., Lucena, J. J. (2013): Efficacy of Micronutrient Chelate Treatments in Commercial Crop of Strawberry on Sand Culture. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **44**, 826–836.
78. MacKay, D. C., Chipman, E. W., Gupta, U. C. (1966): Copper and Molybdenum Nutrition of Crops Grown on Acid Sphagnum Peat Soil. *Soil Sci. Soc. Am. Proc.*, **30**, 755–759.
79. Maksymiec, W. (1997): Effect of copper on cellular processes in higher plants. *Photosynthetica*, **34**, 321-342.
80. Malhi, S. S. (2009): Effectiveness of seed-soaked Cu, autumn- versus spring-applied Cu, and Cu-treated P fertilizer on seed yield of wheat and residual nitrate-N for a Cu-deficient soil. *Canadian Journal of Plant Science*, **89**, 1017-1030.
81. Malhi, S. S., Cowell, L., Kutcher, H. R. (2005): Relative effectiveness of various sources, methods, times and rates of copper fertilizers in improving grain yield of wheat on a Cu-deficient soil. *Canadian Journal of Plant Science*, **85**, 59-65.
82. Malhi, S. S., Karamanos, R. E. (2006): A review of copper fertilizer management for optimum yield and quality of crops in the Canadian Prairie Provinces. *Canadian Journal of Plant Science*, **86**, 605-619.
83. Malmström, B. G., Leckner, J. (1998): The chemical biology of copper. *Current Opinion in Chemical Biology*, **2**, 286-292.
84. Martens, D. C., Westermann, D. T. (1991): Fertilizer Applications for Correcting Micronutrient Deficiencies. In *Mortvedt, J. J., Cox, F., R., Shuman, L. M., Welch, R. M.* (szerk.): *Micronutrients in Agriculture*, Soil Science Society of America, Madison.

85. *Massey, A. G.* (1975): Copper. In *Massey, A. G., Thompson, N. R., Johnson, F.G.* (szerk.): *The Chemistry of Copper, Silver and Gold*. Pergamon Press, Oxford.
86. *McGuirl, M. A., Dooley, D. M.* (2005): Copper Proteins with Type 2 Sites. In *King, R. B.* (szerk.): *Encyclopedia of Inorganic Chemistry*, 2nd Edition. John Wiley & Sons, New York.
87. *Mengel, K., Kirkby, E. A., Kosegarten, H., Appel, T.* (2001): *Principles of Plant Nutrition*. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
88. *Merchant, S. S., Allen, M. D., Kropat, J., Moseley, J. L., Long, J. C., Tottey, S., Terauchi, A. M.* (2006): Between a rock and a hard place: Trace element nutrition in *Chlamydomonas*. *Biochimica et Biophysica Acta*, **1763**, 578–594.
89. *Messerschmidt, A.* (2010): Copper metalloenzymes. In *Mandler, L., Liu, H.W.* (szerk.): *Comprehensive Natural Products II: Chemistry and Biology*. Volume 8: Enzymes and Enzyme Mechanisms. Elsevier, Amsterdam.
90. *Mikhailova, L. A.* (2004): Diseases – *Cochliobolus sativus*, http://www.agroatlas.ru/en/content/diseases/Tritici/Tritici_Cochliobolus_sativus/index.html (Letöltve: 2019.03.11.)
91. *Miner, G. S., Gutierrez, R., King, L. D.* (1997): oil Factors Affecting Plant Concentrations of Cadmium, Copper, and Zinc on Sludge-Amended Soils. *Journal of Environmental Quality*, **26**, 989-994.
92. *Moffett, J. W., Zika, R. G.* (1987): Photochemistry of Copper Complexes in Sea Water. In *Zika, R. G., Cooper, W. J.* (szerk.): *Photochemistry of Environmental Aquatic Systems*. ACS Symposium Series 327; American Chemical Society, Washington, DC.
93. *Mohr, F.* (1866): *Geschichte der Erde – Eine Geologie auf neuer Grundlage*. Verlag von Max Cohen & Sohn, Bonn, digitizált verzió: [https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.\\$b50628;view=1up;seq=1](https://babel.hathitrust.org/cgi/pt?id=uc1.$b50628;view=1up;seq=1), (letöltve: 2018.03.29).
94. *Molnár F.* (2008): Ércsek, salakok, fémek. A Miskolci Egyetem Közleménye – A sorozat, *Bányászat*, **74**, 91-111.
95. *Mortvedt, J. J.* (1986): Methods of Applying Micronutrient Fertilizers to Correct Deficiencies of Crops. *Outlook on Agriculture*, **15**, 135-140.
96. *MSZ 6383:2007*: Búza és durumbúza étkezési célra. . Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
97. *MSZ EN ISO 20483:2014*: Gabonafélék és hüvelyesek. A nitrogéntartalom meghatározása és a nyersfehérje-tartalom kiszámítása. Kjeldahl-módszer (ISO 20486:2013). Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
98. *MSZ EN ISO 21415-1:2007*: Búza és búzaliszt. Sikértartalom 1. rész: A nedves siker meghatározása kézi módszerrel (ISO 21415:2006). Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.

99. *Murell, J. C., McDonald, I. R., Gilbert, B.* (2000): Regulation of expression of methane monooxygenases by copper ions. *Trends in Microbiology*, **8**, 221-225.
100. *Ninkov, J., Vasin, J., Milic, S., Sekulic, P., Zeremski, T., Milenkovic, S.* (2014): Copper content and distribution in vineyard soils of central Serbia. *Eurasian Journal of Soil Science*, **3**, 131 – 137.
101. *OGIMET* (2018): Daily summaries from synop reports, <https://www.ogimet.com/gsynres.phtml.en> (letöltve: 2018.11.21).
102. *OMSZ* (2018a): Magyarország hőmérsékleti viszonyai, https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/homerseklet/ (letöltve: 2018.11.22).
103. *OMSZ* (2018b): Magyarország csapadék viszonyai, https://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/, letöltve: 2018.11.22).
104. *Onyango, C.* (2016): Starch and modified starch in bread making: A review. *African Journal of Food Science*, **10**, 344-351.
105. *Pais I.* (1980): A mikrotápanyagok szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
106. *Pepó, P., Sárvári, M.* (2011): Gabonanövények termesztése. Elektronikus jegyzet, Digitális Tankönyvtár, https://www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/0010_1A_Book_09_Gabonanovenyek_termesztese/index.html (letöltve 2019.02.17.)
107. *Ph. Hg. VIII (Magyar Gyógyszerkönyv)* (2009): Antibiotikumok mikrobiológiai értékmérése, OGYÉI
108. *Ph. Hg. VIII (Magyar Gyógyszerkönyv)* (2014): 2.2.40. Közeli infravörös spektroszkópia, OGYÉI
109. *Pilon-Smits, E. A. H., Quinn, C. F., Tapken, W., Malagoli, M., Schiavon, M.* (2009): Physiological functions of beneficial elements. *Current Opinion in Plant Biology* **12**, 267–274.
110. *Puskás K.* (2013): Búza genotípusok kalászfuzárium-ellenállósága és a rezisztencia genetikai hátterének vizsgálata. Doktori (PhD) értekezés. Szent István Egyetem, Növénytudományi Doktori Iskola.
111. *Rahimi, A., Bussler, W.* (1973): The effect of copper deficiency on the tissue structure of higher plants. *Z. Pflanzenerachr.*, **135**, 183-195.
112. *Rasheed, M. A., Seeley, R. C.* (1966): Relationship between the Protein and Copper Contents of Some Plants, *Nature*, **212**, 644-645.
113. *Rauch, J. N., Graedel, T. E.* (2007): Earth's anthropobiogeochemical copper cycle. *Global Biogeochemical Cycles*, **21**, pp. 13.
114. *Reich, M.* (2017): The significance of nutrient interactions for crop yield and nutrient use efficiency. In: *Hossain, M. A., Kamiya, T., Burritt, D. J.*,

- Tran, L-S. P., Fujiwara, T.* (szerk): Plant Macronutrient Use Efficiency. Academic Press, London
115. *Richardson, H. W.* (1997): Handbook of Copper Compounds and Applications. Marcel Dekker, New York.
116. *Ruyters, S., Salaets, P., Oorts, K., Smolders, E.* (2013): Copper toxicity in soils under established vineyards in Europe: A survey. *Science of the Total Environment*, **443**, 470–477.
117. *Salgó A., Gergely Sz.* (2012): Analysis of wheat grain development using NIR spectroscopy. *Journal of Cereal Science*, **56**, 31-38.
118. *Schmidt R., Szakál P., Kalocsai R., Giczi Zs.* (2005): The effect of copper and zinc treatments and precipitation on the yield and baking quality of wheat. Réz, cink a környezetben szakmai konferencia. *Acta Agronomica Óváriensis*, **47**, 195-203.
119. *Sillanpää, M.* (1982): Micronutrients and the nutrient status of soils: a global study. *FAO Soils Bulletin* 48. Food and Agricultural Organisation, Róma.
120. *Smith, K. S., Huyck, H. L. O.* (1999): An Overview of the Abundance, Relative Mobility, Bioavailability, and Human Toxicity of Metals. In *Plumlee, G. S., Logdson, M. J.* (szerk.): *Reviews in Economic Geology*, Vol. 6A, Society of Economic Geologists, Inc, Littleton.
121. *Solimanzadeha, A., Mozafaria, V., Kamalia, M.* (2014): Treatment of Pistachio Trees with Zinc and Copper in Time of Swollen Bud in Two Consecutive Years. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, **45**, 1025–1036.
122. *Solomon, E. I., Heppner, D. E., Johnston, E. M., Ginsbach, J. W., Cirera, J., Qayyum, M., Kieber-Emmons, M. T., Kjaergaard, C. H., Hadt, R. G., Tian, L.* (2014): Copper Active Sites in Biology. *Chemical Reviews*, **114**, 3659-3853.
123. *Solum Zrt* (2018): Havi csapadékösszegek 2011-2014. Szóbeli közlés
124. *Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy.* (1999): Talajtan. Digitális Tankönyvtár – <http://www.tankonyvtar.hu/hu> (letöltve: 2018.03.26.).
125. *Subedi, K. D., Ma, B. L.* (2009): Corn Crop Production: Growth, Fertilization and Yield. In *Danforth, A. T.* (szerk.): *Corn crop production: growth, fertilization and yield*. Nova Science Publishers, New York.
126. *Sváb, J.* (1973): *Biometriai módszerek a kutatásban*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
127. *Swaine, D. J., Mitchell, R. L.* (1960): Trace-element distribution in soil profiles. *Journal of Soil Science*, **11**, 347-368.
128. *Szakál, P., Barkóczy M.* (1989): Réztartalmú hulladékokból előállított réz-komplex hatása az őszi búza beltartalmára. *Agrokémia és Talajtan*, **38**, 333-335.

129. Szakál P., Kerekes G., Schmidt R., Barkóczi M., Giczi Zs., Kalocsai R. (2005): Influencing the organic matter content of potato by macro and trace element fertilisers. *Cereal Research. Communications*, **33**, 415-418.
130. Szakál P., Barkóczi M., Giczi Zs. (2007): Bioetanol-előállítás céljára termesztett búza Mn-trágyázása. *Acta Agronomica Óváriensis*, **49**, 589-594.
131. Szepessy I. (1977): Növénybetegségek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
132. Szűcs István (2002): Alkalmazott statisztika, AGROINFORM Kiadó és Nyomda Kft, Budapest.
133. Tang, M., Hu, F., Wu, L., Luo, Y., Jiang, Y., Tan, C., Li, N., Li, Z., Zhang, L. (2009): Effects of copper-enriched composts applied to copper-deficient soil on the yield and copper and zinc uptake of wheat. *International Journal of Phytoremediation*, **11**, 81-93.
134. Taylor, R. S., McLennan, S. M. (2009): Planetary crusts: their composition, origin and evolution. Cambridge University Press, Cambridge.
135. Thomson, A. J., Gray, H. B. (1998): Bio-inorganic chemistry. *Current Opinion in Chemical Biology*, **2**, 155-158.
136. TIM (2019): Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer. <https://portal.nebih.gov.hu/-/a-tim-azaz-a-talajvedelmi-informacios-es-monitoring-rendszer->. Szóbeli közlés.
137. Tormay T. (1970): Gabonaipari kézikönyv. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
138. Tóásó Gy., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs., Kalocsai R. (2005): A komposzt szeléndúsításának hatása a termesztett csiperke cink-, réz-, vas-, mangán – és nátriumtartalmára. Réz, cink a környezetben szakmai konferencia. Mosonmagyaróvár 2005.09.22, *Acta Agronomica Óváriensis*, **47**, 159-167.
139. Tóásó Gy., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs. (2007:) A szelénkezelés (Se IV) hatása a termesztett csiperke termésmennyiségére és szeléntartalmára. *Mikológiai Közlemények – Clusiana*, **46**, 91-98.
140. Tóásó Gy., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs., Kalocsai R. (2008): A komposzt szeléndúsításának (Se IV) hatása a termesztett csiperke cink-, réz-, vas- és mangántartalmára, *Acta Agronomica Óváriensis*, **50**, 143-149.
141. Tóth E. A., Kalocsai R., Dorka-Vona V., Giczi Zs. (2018): Az esszenciális mikroelemek szerepe a növények élettani folyamataiban, *Acta Agronomica Óváriensis*, **59**, 126-150.
142. USGS (2013): Mineral Commodity Summaries 2013. U.S. Geological Survey, Virginia.
143. Várallyay, Gy., Csathó, P. (2005): A talaj termékenységét meghatározó talajtulajdonságok. In: Kovács, G. J., Csathó, P. (szerk.): A magyar mezőgazdaság elemforgalma 1901 és 2003 között. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest.

144. Whitcomb, S. J., Heyneke, E., Aarabi, F., Watanabe, M., Hoefgen, R. (2014): Mineral Nutrient Depletion Affects Plant Development and Crop Yield. In: Hawkesford M., Kopriva S., De Kok L. (szerk) Nutrient Use Efficiency in Plants. Plant Ecophysiology, vol 10. Springer, Cham
145. Wightwick, A. M., Salzman, S. A., Reichman, S. M., Allinson, G., Menzies, N. W. (2013): Effects of copper fungicide residues on the microbial function of vineyard soils. Environ. Sci. Pollut. Res., **20**, 1574–1585.
146. Wood, M. J., Robson, A. D. (1984): Effect of copper deficiency in wheat on the infection of roots by *Gaeumannomyces Graminis* var. *Tritici*. Australian Journal of Agricultural Research, **35**, 735-742.
147. Yamasaki, H., Pilon, M., Shikanai, T. (2008): How do plants respond to copper deficiency? Plant Signal Behav., **3**, 231–232.
148. Yruela, I. (2005): Copper in plants. Braz. J. Plant Physiol., **17**, 145-156.
149. Zinkiewicz, E., Ruszkowska, M., Samiec, H. (1985): Rate of dark respiration of oats at various levels of copper supply. Acta Agrobotanica, **38**, 23-32.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Ezúton szeretném megköszönni mindazoknak a támogatást, akik munkájukkal, útmutatásukkal és bátorításukkal hozzájárultak ezen disszertáció elkészüléséhez.

Köszönöm témavezetőimnek, Prof. Dr. Szakál Pálnak és Dr. habil. Kalocsai Renátónak, hogy biztosították a munkámhoz szükséges feltételeket és a biztos szakmai háttérrel, valamint folyamatos támogatásukat, amely nélkül a dolgozat nem valósulhatott volna meg.

Köszönöm Czita János igazgató úrnak és a SOLUM Zrt-nek, hogy lehetőséget és területet biztosítottak a szántóföldi kísérletek elvégzéséhez illetve a kísérletek beállításához és értékeléshez szolgáltatott nagymennyiségű adatot.

Köszönöm – külön kiemelve – Dr. Ásványi Balázsnak illetve a Galen Bio Kft-nek valamint a Galen Bio Kft Vizsgálólaboratórium munkatársainak a segítséget az agardiffúziós tesztek elvégzésében és értékelésében nyújtott segítséget.

Köszönöm Dr. Varga Zoltán egyetemi docens úrnak a meteorológiai adatok beszerzésében és értékelésében nyújtott segítségét.

Köszönöm Dr. Szalka Éva dékán asszonynak, Dr. Csatai Rózsa egyetemi docens asszonynak és Dr. Németh-Torkos Anett Szilvia egyetemi docens asszonynak az adatok statisztikai értékelésében nyújtott segítséget.

Köszönöm Beckné Csehi Mónikának az irodalmi hivatkozások kikérésében nyújtott segítségét.

Végezetül köszönöm Családom támogatását és türelmét.