

RÉVAI MIKLÓS GIMNÁZIUM ÉS KOLLÉGIUM

A MIKROELEKTRONIKAI HULLADÉKOK HASZNOSÍTÁSA AZ ŐSZI BÚZA
(*TRITICUM AESTIVUM*) TERMESZTÉSÉBEN

TDK dolgozat

Szerzők:

KRÁNICZ TAMÁS, KRÁNICZ DÁNIEL

Konzulensek:

PROF. DR. SZAKÁL PÁL

egyetemi tanár, Széchenyi István Egyetem, Albert Kázmér Mosonmagyaróvári Kar,
Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszék

BACHER JÓZSEF

középiskolai tanár, Révai Miklós Gimnázium és Kollégium, Győr

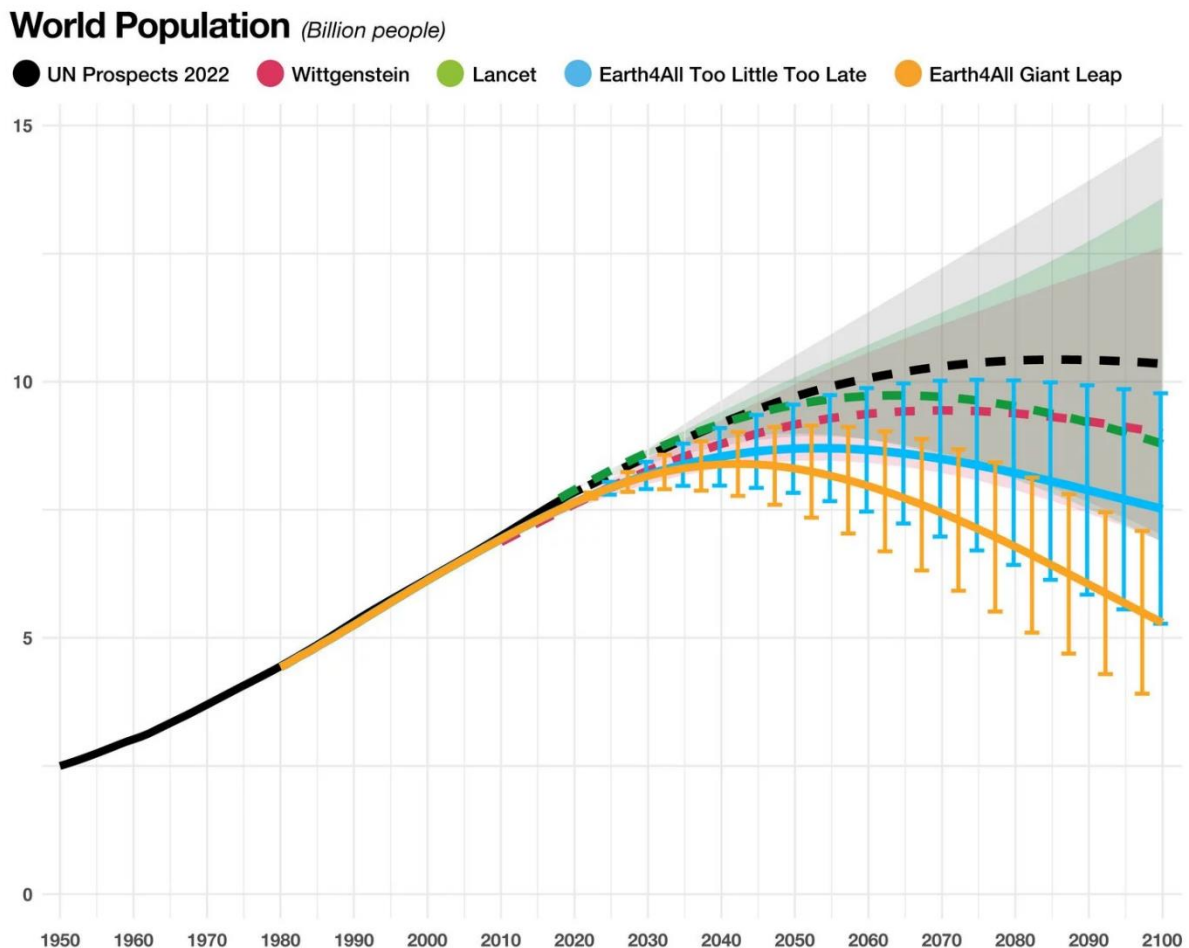
Győr

2024

1. Bevezetés

Földünk népessége 2022 novemberében átlépte a 8 milliárd főt és úgy tűnik ez a szám tovább nő. Egyes becslések szerint 2050-re a világ népessége elérheti a 10 milliárd főt, így a mezőgazdasági termelést növelni kell az élelmiszerigény kielégítéséhez.

Az 1. ábra az öt különböző népesedési forgatókönyv összehasonlítását mutatja 2100-ig.



1. ábra népességi forgatókönyvek (Forrás: Callegari B., Stoknes P.E., People and Planet)

Az egymilliárdos lélektani határt 1804-ben értük el, a második milliárdot csak 123 évvel később, 1927-ben. Ezután a népesség ugrásszerűen kezdett növekedni, 33 évre rá, 1960-ban a Föld népessége elérte a hárommilliárdot, a következő milliárdokat 14, 13, 12, 12 és végül 11 év elteltével értük el. A népességnövekedés a 20-21. században Fritz Haber munkásságának is köszönhető, aki 1913-ban nitrogénből és hidrogénből ammóniát állított elő, ezzel lefektette a műtrágyagyártás alapját, biztosítva az élelmiszerellátást. 1918-ban Habernek ítelték a kémiai Nobel-díjat ([nobelprize.org](https://www.nobelprize.org)).

A műtrágyák használata jelentősen megnövelte a mezőgazdasági terméshozamokat, a Föld eltartóképessége nőtt, magasabb lett az életszínvonal.

A népességnövekedés még most is tart, ez új problémákat vet fel. Nagyobb szükség van a fenntartható, nagy hozamú mezőgazdasági haszonnövényekre.

A növekvő népesség és technikai fejlődés még egy problémát felvet, hatalmas mennyiségű szemét és hulladék keletkezik. A keletkezett hulladék kis részét hasznosítjuk csak újra, nagyobb része végzi hulladékégetőben, szemétkomókban, vagy a természetben. A nagy csendes-óceáni szemétsziget a legismertebb ilyen képződmény, becsült mérete körülbelül 1.600.000 km², azaz Franciaország területének háromszorosa. Hasonló szemétszigetek találhatók más óceánjainkban is. Belátható, hogy a fogyasztói társadalmunk érdekeit nehéz kiszolgálni, és ez a bolygónk rovására megy.

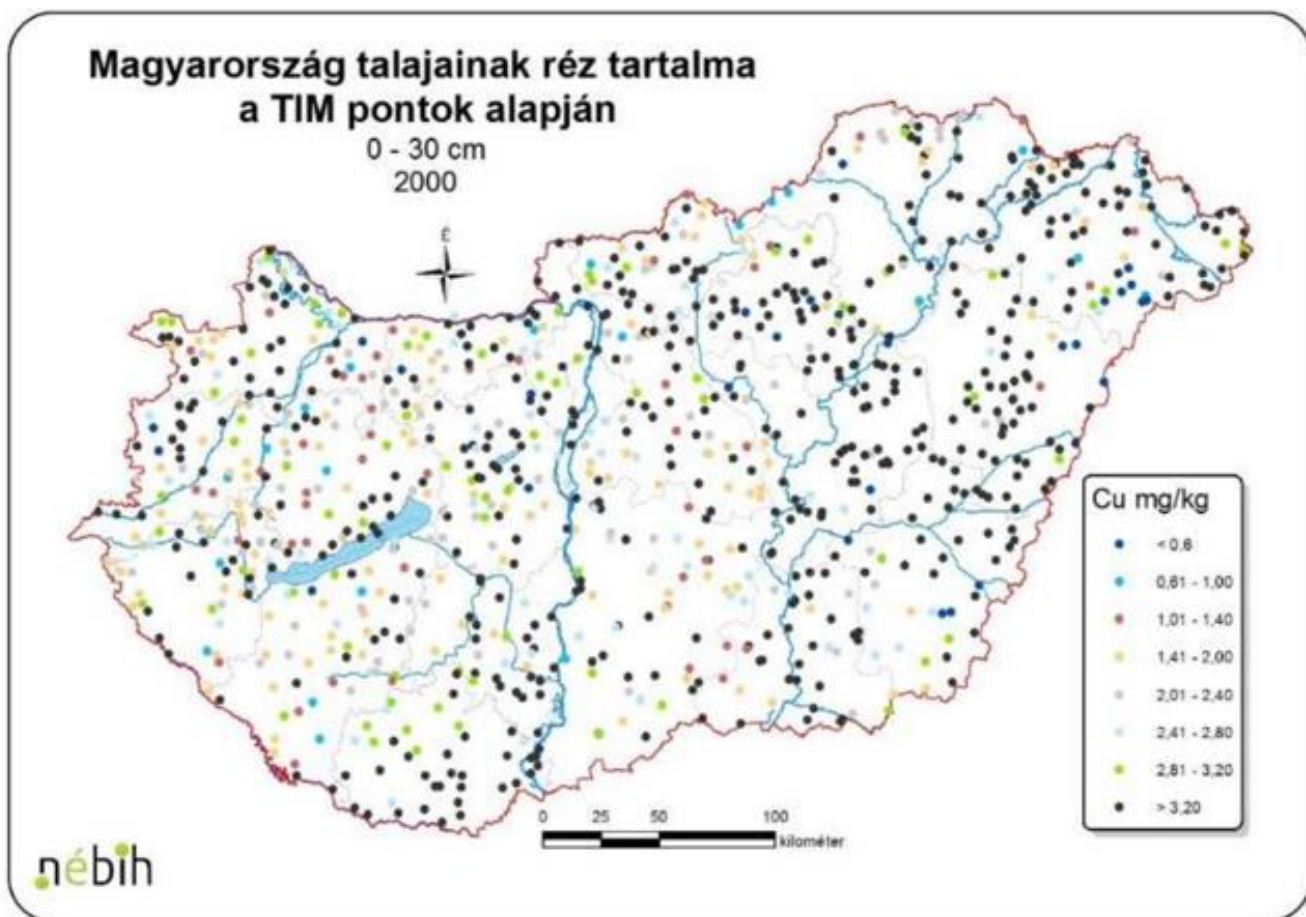
Az elektronikai eszközök, a technológia és a mikroelektronika fejlődésével egyre szélesebb körben elérhetőek lettek ezek, és egyre nagyobb rájuk az igény. A mikroelektronikai eszközök gyártásánál nyomtatott áramkörökre van szükség. A nyomtatott áramkörök előállításánál általában a lapokon lévő felesleges rézet savval lemaratják, így megmarad a kívánt áramkör. A maratásnál használt egyik ilyen maróanyag a kénsav, amely hatására réz-szulfát oldat, savas pH-jú hulladék keletkezik, ennek kezeléséről gondoskodni kell.

A folyamat reakcióegyenlete: $\text{Cu} + 2 \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{CuSO}_4 + \text{SO}_2 + 2 \text{H}_2\text{O}$

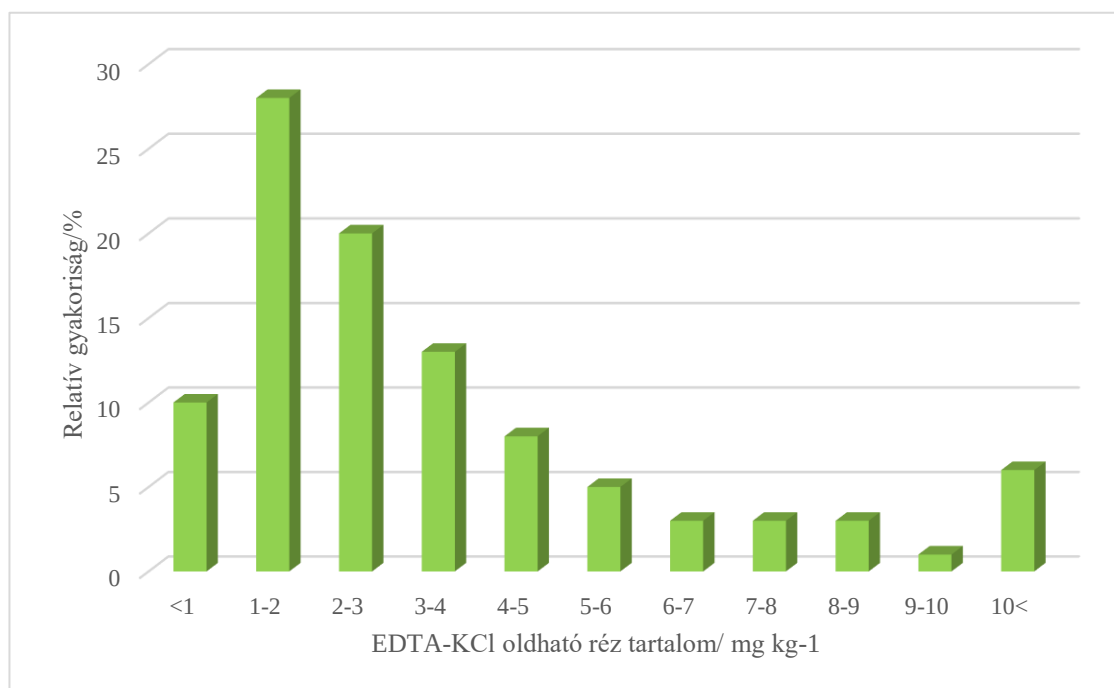
Dolgozatunkban a keletkezett hulladék mezőgazdasági, lombtrágyaként való felhasználhatóságát vizsgáljuk. Magyarország területének 15-20%-a rézhiányos (2-3.ábra).

A talaj optimális réztartalma függ a talaj kötöttségétől, de átlagosan 2-3 mg/kg szükséges a növények egészséges fejlődéséhez. Édesanyánkkal Györszentivánon, Győr keleti részén gazdálkodunk, gyenge adottságú, homokos, erősen rézhiányos talajokon, melyet talajvizsgálat igazol (23. ábra).

A rézpótlással kapcsolatos vizsgálatokat őszi búza termésmennyiségének és beltartalmának változásán keresztül vizsgáltuk.



2. ábra Magyarország talajainak réztartalma (Forrás: nébih.hu)



3. ábra Magyarország talajainak eloszlása réztartalom alapján (Forrás: nébih.hu Giczi Zsolt által)

2. Célkitűzés

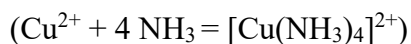
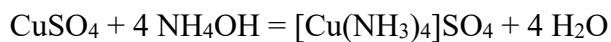
Célunk a rézhiányos talajokon a réz pótlása a növények számára, ehhez a mikroelektronikában keletkező rézhulladékot próbáltuk a növények által felhasználható formába kijuttatni.

Családi gazdaságunk területei erősen rézhiányosak, ezért a rezet pótolni szeretnénk volna.

A réz pótlásnak különböző módja van, az egyik, hogy a szántóföldre közvetlenül kijuttatjuk és bedolgozzuk a rezet, ehhez hektáronként körülbelül 50 kg tiszta réz kijuttatása szükséges, ami nagyon költséges. A másik lehetőség a réz oldat formájában, lombtrágyaként történő kijuttatása, ilyen módon elég csak hektáronként az 1 kilogramm alatti dózis alkalmazása.

A búza réztartalma átlagosan 4-8 mg/kg, ami azt jelenti, hogy évente hektáronként 30-60 g réz kerül le a földről, ezzel is csökkentve a talajaink réztartalmát.

A nyomtatott áramkörök lemaratása után megmaradt réz-szulfát oldat savas a kémhatású, ilyen formában a növényekre nem juttatható ki, mivel perzselné a leveleket. A réz-szulfátot ammónium-hidroxiddal reagáltatva, -ami az ammónia vizes oldata, - réz-tetramin-szulfát komplex keletkezik, ami az enyhén lúgos kémhatása miatt már kijuttatható a növény leveleire.



Ezáltal a veszélyes hulladékból energia és költséghatékony módon olyan anyagot készíthetünk, amely pozitív hatással van a növényre, feltételezhetően a termés mennyiségét, valamint a minőségét is növelheti. A fenti feltételezés bizonyítására kisparcellás kísérleteket állítottunk be Györszentiván területén.

3. Irodalmi áttekintés

3.1 A réz

A réz rendszáma 29, vegyjele Cu. Nevét Ciprusról (Cuprum) kapta. Színe vöröses-sárgás, nedves levegőn állva a felületén zöldes színű bázisos réz-karbonát réteg, patina alakul ki. A rézet az emberiség 6500 éve, a kőrézkorba kezdte használni. A réz puhasága miatt jól megmunkálható, az áramot és a hőt is jól vezeti, ezért az elektronikai iparban gyakran használják. Megtalálható az elektromotorok, hangszórók, mikrofonok tekercseiben; a vezetékek is rézből készülnek, valamint a nyomtatott áramkörökben is a rézet használják.

3.2. A réz előfordulása

A természetben főként a réz szulfidjai fordulnak elő, de oxidos, arzenides, kloridos és karbonátos ércekben, sőt elemi állapotban, termésrézként is megtalálható. Chile, az Amerikai Egyesült Államok és Indonézia jelenleg a világ három legnagyobb rézérc-kitermelője. A rézet Kalkopiritből flotálással dúsítják, majd parciális oxidálással rezes kénkövet állítanak elő. Ebből reakciós, illetve redukciós eljárással állítják elő a fémrezt, majd ennek finomítása elektrolízissel történik. Előállítás történhet a rézhulladék újrahasznosításával is, mivel minőségvesztés nélkül újrahasznosítható. Ez azt jelenti, hogy becslések szerint a valaha bányászott réz 80%-a ma is használatban van. Valamint mennyiségét tekintve a réz a harmadik legtöbbször újrahasznosított fém a vas és az alumínium után.

3.3. A réz, mint esszenciális mikroelem

Esszenciális mikroelemek a növényekben azok az elemek, amelyek 100 mg/kg-nál kisebb mennyiségben fordulnak elő az élő növényekben. Makroelemeknek azok a kémiai elemek melyek mennyisége a növényekben a 100 mg/kg-os értéket meghaladja.

Az esszenciális elemek kritériumait Arnon és Stout (1939) fogalmazták meg, mi szerint egy alapvető makro- vagy mikroelem hiányában a növény életciklusának vegetatív vagy reprodukív szakaszát nem tudja befejezni és az elem hiánya nagyon specifikus az adott elemre, a hiány csak azzal az elemmel pótolható vagy előzhető meg. Az elemnek közvetlenül részt kell vennie a növény táplálkozásában és anyagcseréjében, és közvetlen hatással kell lennie a

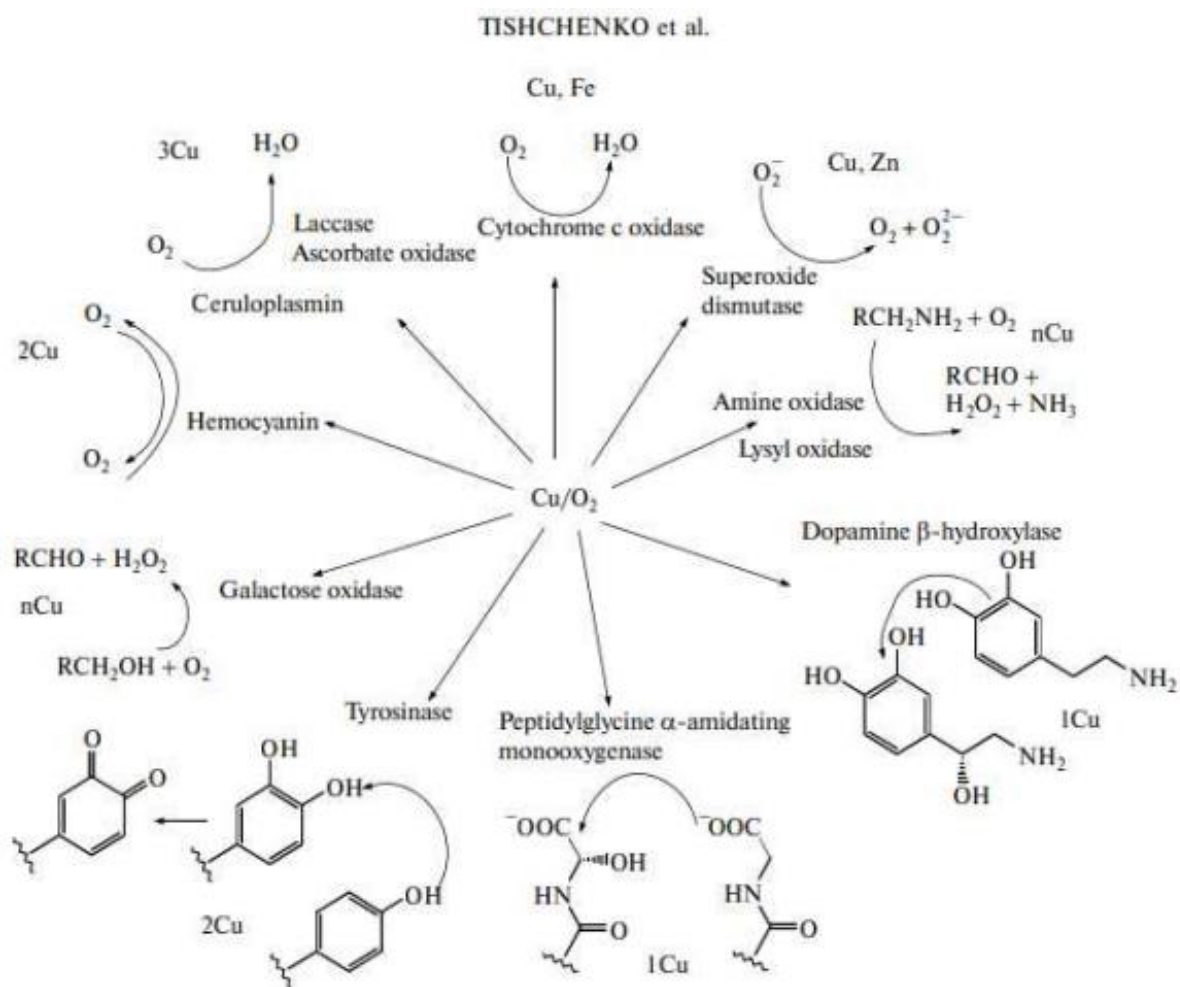
növényre (Forrás: [ecoursesonline](http://ecoursesonline.com)). Ezt a három követelmény később egy negyedikkel is ki lett egészítve, miszerint egy esszenciális elemnek jelentős számú növényfaj számára szükségesnek kell lennie (Forrás: [soilsfacstaff](http://soilsfacstaff.com))

A réz fontos szerepet játszik a növények abiotikus stresszekkel szembeni toleranciájának növelésében, mint például a szárazság, a szélsőséges hőmérséklet vagy a megváltozott sótartalom. A réz a többi fém-ionhoz képest stabilabb komplexet alkot, mivel aktívabban reagál az aminosavakkal és a fehérjékkel.

A réz esszenciális mikroelem, számos biokémiai folyamatban vesz részt. Ezek közül kiemelendő az oxidatív foszforiláció, ami során a citokróm c-oxidáz katalitikus magját képezve az utolsó elektron akceptor a mitokondriális elektron transzport láncban, az ADP-ATP átalakulása során az adenzin-difoszfát foszfátcsoporttal kiegészül, adenzin-trifoszfáttá alakul, mely egy nagy energiatartalmú molekula, amelyet az összes élőlény használ, a citokrómokban szolgáltatja az energiát. (ncbi.nlm.nih.gov)

A réznek fontos szerepe van a nitrogén felvételében, amennyiben nincs elegendő réz, a növény nem tudja hatékonyan felvenni a nitrogént, a levelek csíkos sárgulásában mutatkozik meg. A réz részt vesz a sejtfal bioszintézisében, a cellulóz előállításában. A magasabb cellulóztartalom ellenállóbbá teszi a búzanövényt a kiszáradás ellen, valamint az erősebb szár kevésbé hajlamos a megdőlésre.

A réz több mint 200 metalloenzimben található meg, amelyek több mint 5000 biokémiai folyamatot katalizálnak. A képen (4. ábra) réztartalmú, oxidációs katalízisben résztvevő enzimek láthatóak.



4. ábra Oxidációs katalízisben résztvevő réz-tartalmú enzimek (Tishchenko, et al., 2016)

3.5. Réz szerepe az emberi szervezetben

A réz az emberi szervezetben is esszenciális mikroelem. A réz elektrondonor és akceptor szerepet tölt be hasonló kémiai reakciókban, mint a vas. Számos enzim katalitikus központjának része, különösen azoknak, amelyek a neurotranszmitterek szintézisében vesznek részt. Az emberekben körülbelül 12 réz-tartalmú enzim található. A táblázat (5.ábra) néhány réztartalmú metalloenzim szerepét mutatja az emberi szervezetben.

Enzim	Szerep a metabolizmusban
Amin-oxidáz	Primer aminok deaminálása
Ceruloplazmin, GPI-ceruloplazmin, hefasztin, zyklopen (több-réz tartalmú ferroxidázok)	Vas metabolizmus, ferroxidázok
Cu/Zn szuperoxid dizmutáz (SOD)	Szuperoxid diszmutáció
Citokróm c oxidáz	Elektrontranszport, energia metabolizmus
Dopamin β -monooxygenáz	Dopamin noradrenalinná alakítása
Lizil oxidáz	Kollagén és elasztin keresztkötése
Peptidil-glicin α -amidáló monooxygenáz	Neuropeptidek α -amidálása
Tirozináz	Melanin szintézis

5. ábra Réztartalmú metalloenzimek szerepe (Forrás:EFSA)

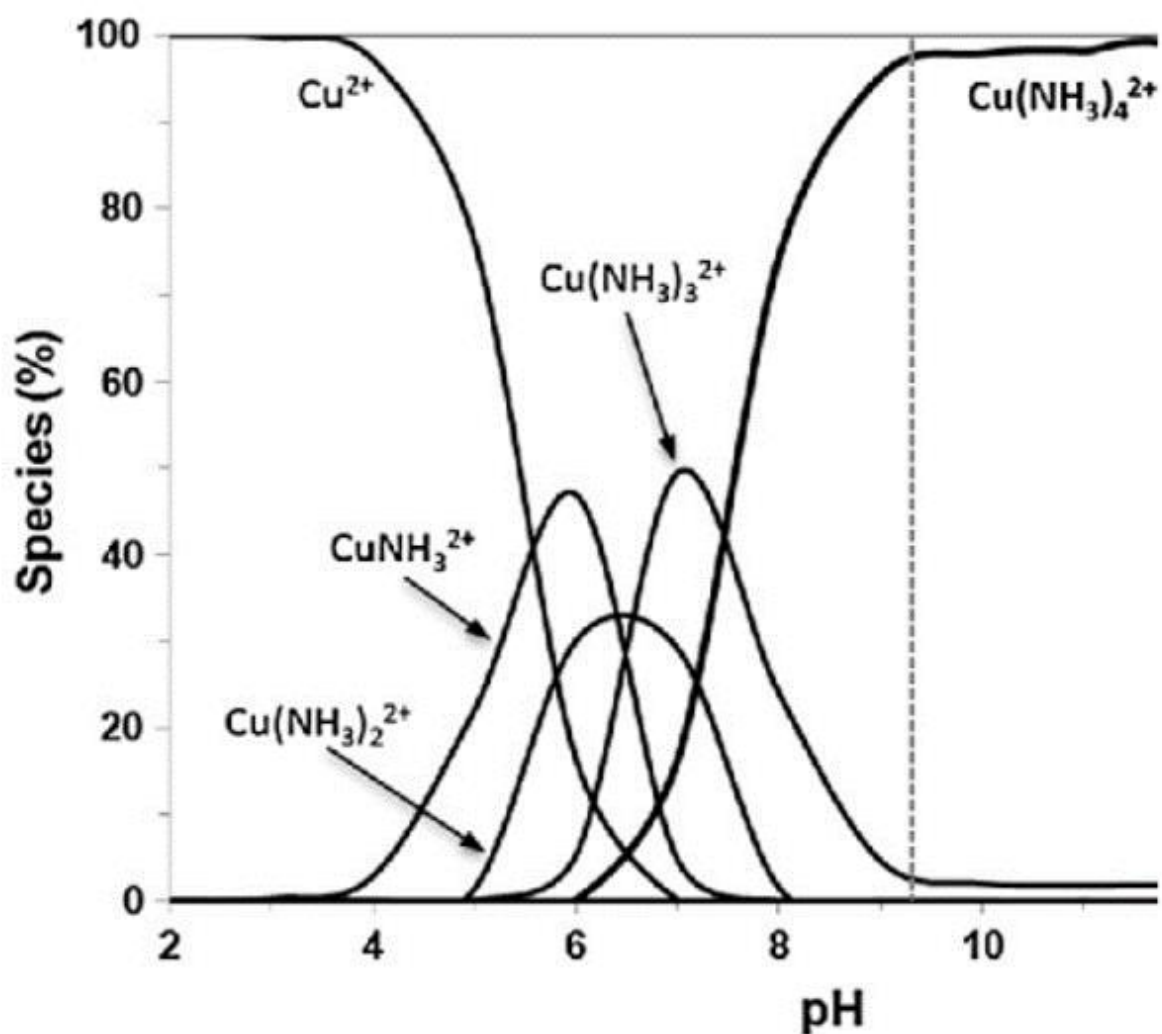
A táblázatban (6. ábra) az Európai Élelmiszerbiztonsági Hatóság (EFSA) ajánlása látható a napi rézbevitel az emberek számára, korosztályokra, valamint nemekre lebontva.

Age	Adequate Intake (mg/day)	
	Males	Females
7–11 months	0.4	0.4
1–< 3 years	0.7	0.7
3–< 10 years	1.0	1.0
10–< 18 years	1.3	1.1
≥ 18 years	1.6	1.3
Pregnancy		1.5
Lactation		1.5

6. ábra Napi rézbevitel (Forrás: EFSA)

3.5. Réz-tetramin-szulfát

A réz-tetramin-szulfát $\{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4\}$ komplex oldott állapotban élénk kék színű folyadék. A molekula nitrogént is tartalmaz, de ennek hatása elhanyagolható mivel a kísérletünkben vizsgált legnagyobb, 1kg/ha-os réz dózissnál mindössze 0,88kg nitrogén kerül kijuttatásra. A réz-tetramin-szulfát ki is kristályosítható (8. ábra). Oldott állapotban (9. ábra) 9,3 pH-n a legmegfelelőbb a kijuttatása. A 7.ábra szemlélteti, hogy ezen a pH-n fordul elő legnagyobb hányadban a réz-tetramin, valamint ez még nem károsítja a növényeket.



7. ábra Réz-amin komplexek előfordulása a pH függvényében (Forrás: Triki and Tanazefi 2017)



8. ábra Réz-tetramin-szulfát kristály



9. ábra Réz-tetramin-szulfát oldat (Saját felvétel)

(Forrás: <https://copper-chemistry.fandom.com>)

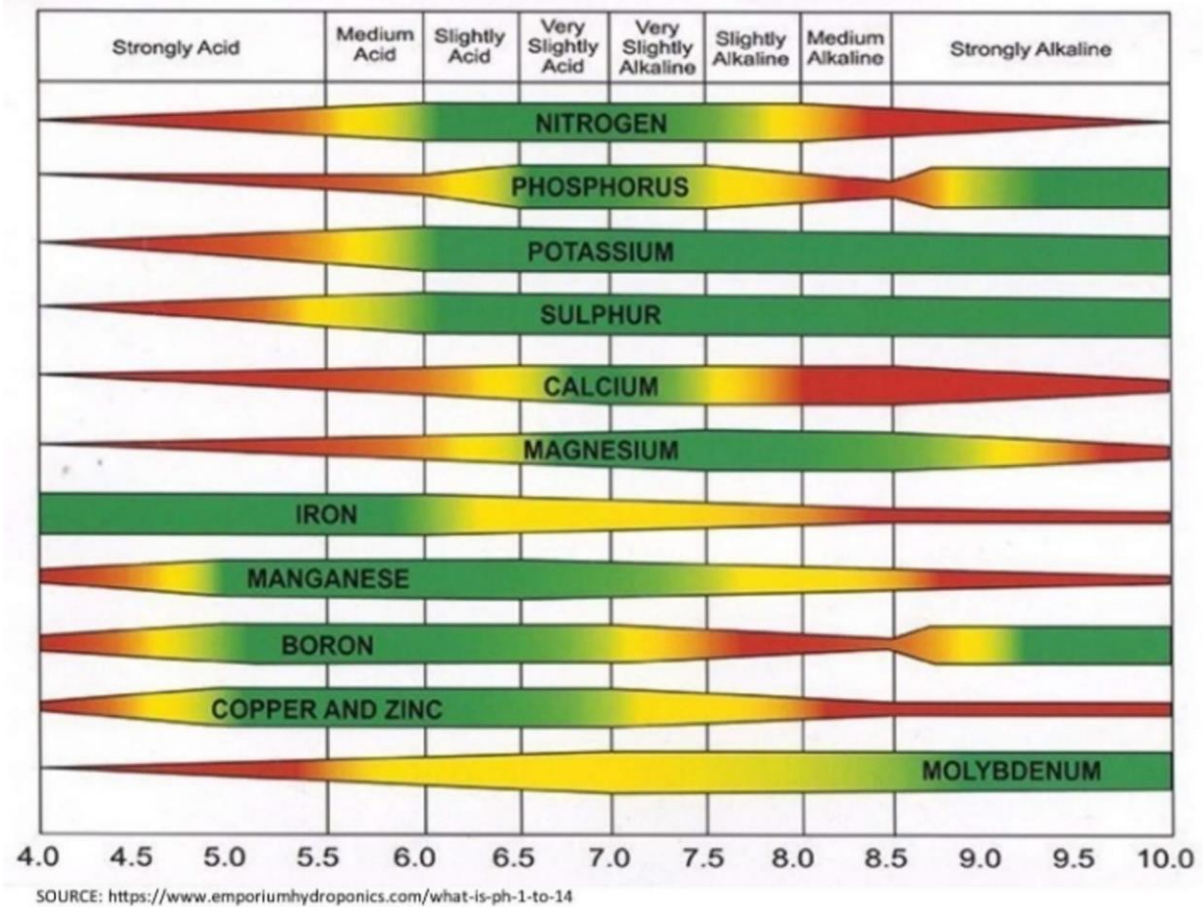
3.6. Rézhiányos talajok, relatív rézhiány

A réz természetes módon a talajképző kőzet mállása során kerül a talajokba, ennek a folyamatnak a következményeként Magyarországon a művelt talajok szántott rétegében átlagosan 5,4 mg/kg réz található (Kádár, 1998).

Hangsúlyozandó, hogy a győri, győrszentiváni, nagyszentjánosi termőtalajok réztartalma az átlagos 5,4 mg/kg helyett 1 mg/kg alatti, a legalacsonyabb mért érték 0,55 mg/kg. 12 talajminta átlagában 0,88 mg/kg, egy másik táblán 7 talajminta átlagában 0,75 mg/kg, ami rendkívül alacsonynak tekinthető.

A relatív rézhiány azt jelenti, hogy a talajban megtalálható a réz, de a növény nem tudja felvenni. Ennek egyik oka lehet, hogy a réz nem a növény számára felvehető formában található meg a talajban. A szinergizmus és az antagonizmus hatására lehet, hogy egyik elem hiánya vagy többsége negatívan befolyásolja a rézfelvételt. A talaj magas, 45 ppm-es foszfortartalma csökkent a talaj rézfelvételét, ha egyidejűleg a talaj nitrogéntartalma alacsony. (D. V. Singh & C. Swarup 1982). Ezen felül a talaj kémhatása is negatívan hathat egyes tápanyagok felvételére (10.ábra).

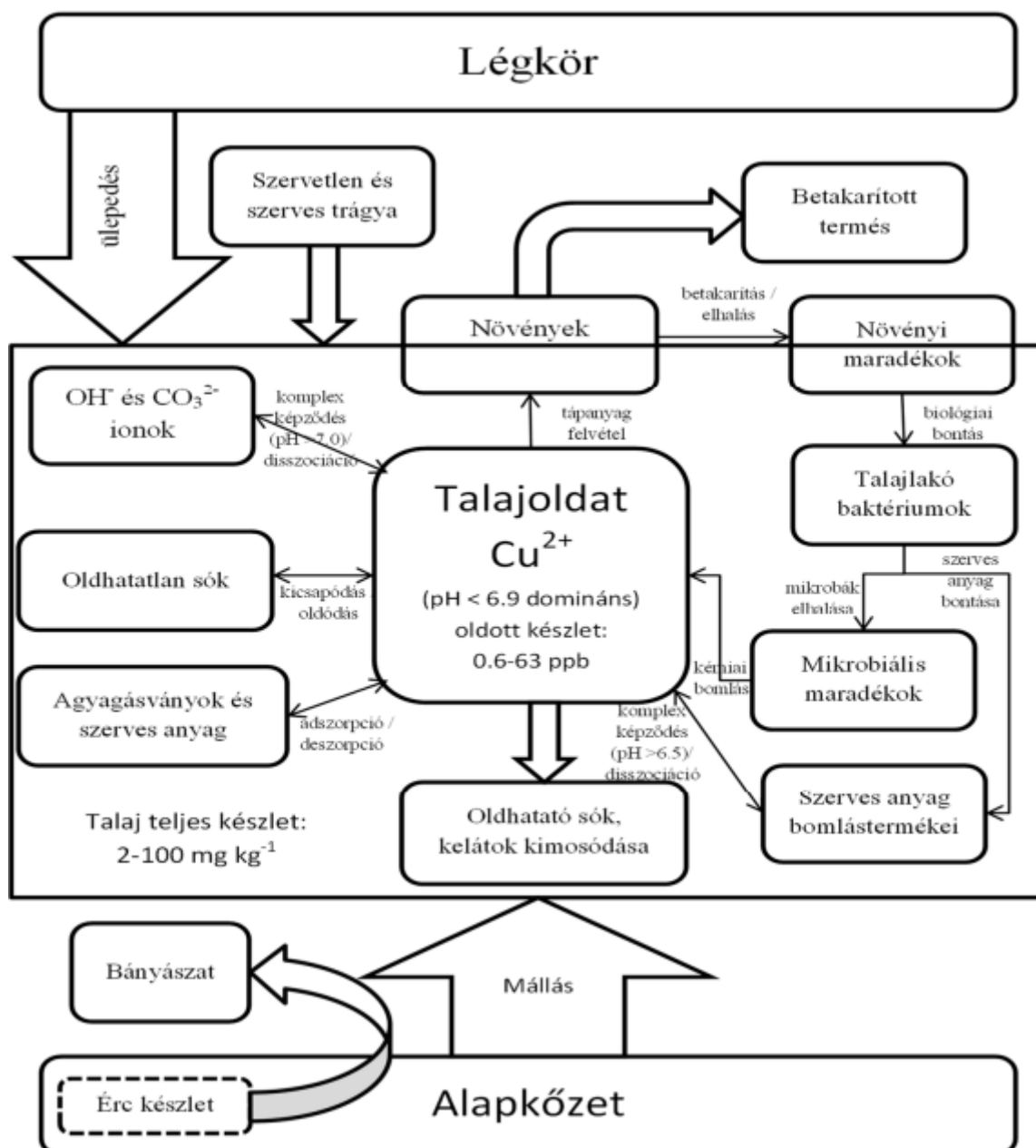
How soil pH affects availability of plant nutrients.



10. ábra A talaj pH hatása az elemek növények általi felvehetőségére (Forrás: [emporiumhydroponics.com](https://www.emporiumhydroponics.com))

A 11. ábra a réz körforgását szemlélteti. A réz a talajba az alapkőzet mállásával, trágyázással, ülepedéssel és az elhalt növényi maradékok lebomlásával kerül vissza. Ezek közül csak a szerves trágyázást vagy szervesetlen trágyázást tudjuk befolyásolni. Rézhiányos talajokon a rézpótlás szerves vagy szervesetlen trágyázással elkerülhetetlen, mert a szántóföldi termények betakarításával rézet és más elemeket viszünk le a termőföldről és az ez okozta hiányt pótolni szükséges.

A 12. ábrán az egyes növények betakarítása által a szántóföldről levitt elemek mennyisége látható.



11. ábra Réz körforgása (Forrás: A réz körforgása Fageria (2013) alapján, kiegészítve (in Giczi et. al. 2018))

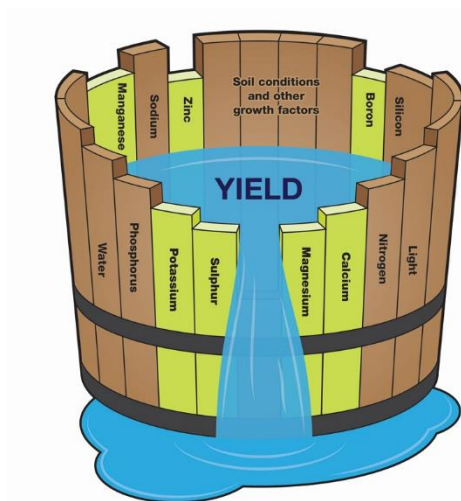
Növényfaj	Kivont mennyiség (g/ha)				
	B	Cu	Mn	Mo	Zn
Gabona	50-70	50-70	160-460	3-6	150-250
Burgonya	50-70	40-60	300-450	3-6	200-500
Cukorrépa	300-500	80-120	300-1000	4-20	300-600
Lucerna	500-700	70-90	400-500	5-20	400-600
Takarmányrépa	300-500	80-120	250-1000	4-20	300-600
Fűfélék	70-90	30-60	150-360	3-20	200-400
Lóbab	10-30	20-40	14-28	5-8	70-100

12. ábra Mikroelemek kivonása a talajból (teljes növény) (Pais, 1980)

3.7. Liebig féle minimum elv

Justus von Liebig német tudós nevéhez fűződik a relatív minimumtörvény megfogalmazása. Liebig már az 1800-as évek második felében felismerte, hogy a növények növekedésében mindig az a tényező a meghatározó, amelyik minimumban van.

E szerint hiába áll rendelkezésre egy adott tápanyag (de akár más erőforrás), ha egy másik nélkülözhetetlen tápanyag/erőforrás nem áll elegendő mennyiségben jelen. Tehát a minimumban lévő tápanyagok, erőforrások határozzák meg a maximális teljesítményt. A korszerű műtrágyázás alapja napjainkban is a Liebig féle minimum elv. A maximális terméshozam eléréséhez meghatározott mennyiségben és arányokban szükségesek az ásványi anyagok. Ha a szükségeshez képest relatív legkevesebb az ásványi anyag mennyiségét növelik, nő a terméshozam, amíg egy másik elem nem kerül relatív minimumba.



13. ábra Liebig féle minimum elv hordó dongáiként szemléltetve (Forrás: exkalapalatt.info)

3.8. Az elemek pótlása lombtrágyázással

A talajon keresztül történő hagyományos mikroelempótlás alacsony hatékonyságú, ami a műtrágyázási célok elérhetetlenségét, valamint a környezet leromlását eredményezi (Hasegawa et al., 2018). A levélen keresztüli növénytáplálás (levéltrágyázás, lombtrágyázás) létjogosultságát jól mutatja, hogy a legtöbb tápelemet a növény jóval hatékonyabban veszi fel levélen keresztül, mint a talajból. Ennek oka, hogy a talaj pH, a talajban levő vízhiány, vagy az esetleges antagonisták elemek a lombtrágyázás hatékonyságát nem befolyásolják.

A táblázatban (14. ábra) szereplő adatok szerint például a mikroelemek közül a cinket tizenkétszer, a mangánt húszszor-huszonötöszer, a bört harmincszor hatékonyabban tudjuk pótolni levélen keresztül, mint a talajtrágyákkal. Természetesen ez igaz a makroelemekre is; ott ötször–negyvenszer hatékonyabb a levélen keresztüli felvétel.

TÁPELEM	LEVÉLEN KERESZTÜL KG/HA	TALAJON KERESZTÜL KG/HA
nitrogén	1	10–15
foszfor	1	20
kálium	1	27
kalcium	1	35–40
magnézium	1	28
kén	1	5–7
bór	1	30
réz	1	35–38
vas	1	25–100
mangán	1	20–25
cink	1	12

14. ábra Elemek felvétele levélen keresztül (Forrás: Nitrogénművek Zrt.)

3.9. A rézzel szennyezett talajok

Egyoldalú lenne a dolgozatunk, ha csak a rézhiánnyal foglalkoznánk. A szőlőültetvényekben az évtizedeken át tartó, gyakori rezes permetezés növelheti a talaj termőrétegének réztartalmát, ehhez hasonlóan a rézbányák és galvanizáló üzemek közelében is magas réztartalmat mérnek.

A talaj magas réztartalma nagy adagú humusz, foszfát- és mésztrágyázással megszüntethető, de legalábbis csökkenthető. A rézszennyezés természetes orvoslása fitoremediációval is történhet.

Szabó Árpád 2017-ben végzett, 247 ültetvényre kiterjedő felmérésből származó adatoknak köszönhetően megismerhetjük a hazai borvidékeken a talajok átlagos réztartalmát a 0-30 cm és 30-60 cm-es talajrétegben. A lenti táblázatot megvizsgálva feltűnik, hogy egyes borvidékeken a hazai művelt talajokon mért átlagos réztartalom (5,4 mg/kg) akár hatszorosa (a Tokaji

borvidék esetén a 0-30 cm-es talajrétegben 34,36 mg/kg) is előfordul. A legnagyobb rézkoncentrációval azokon a borvidékeken találkozhatunk, ahol a szőlőtermesztés nagy hagyományokkal és hosszú múlttal rendelkezik.

Mindebből jól látszik, hogy a növényvédelmi felhasználása során milyen mértékben képes dúsulni a talajban a réz és hogy hosszú távon ez jelentős szennyeződést eredményezhet (15. ábra).

Borvidék	Átlag Cu (EDTA) mg/kg		Vizsgált elemszám	
	0-30 cm	30-60 cm	0-30 cm	30-60 cm
Badacsonyi	10,97	3,64	45	43
B.f.-Csopaki	5,39	4,48	13	13
Egri	16,58	13,71	68	68
Kunsági	19,08	16,22	32	32
Mátrai	6,33	3,61	6	6
Soproni	22,22	20,31	5	5
Tokaji	34,36	30,43	37	37
Tolnai	17,93	6,70	3	3
Villányi	15,73	12,53	35	35

15. ábra Szőlőültetvények talajának átlagos réztartalma borvidékenként, eltérő mélységben, a megvizsgált ültetvények számával (forrás: Szabó, 2017)

3.10. A réz, mint növényvédőszer

A réz hosszú ideje szolgálja a növények védelmét a kártevők és betegségek ellen. Az első említés 1761-ben történt, amikor arról számoltak be, hogy a babokat réz-szulfát oldatba áztatva csökkenthető a maggal terjedő betegségek okozta kár. Az igazi áttörés azonban csak később, 1885-ben következett be, amikor Pierre-Marie-Alexis Millardet, a francia botanikus-mikológus bizonyította a réz hatékonyságát a peronoszpóra ellen.

Millardet azt vette észre, hogy a bordeaux-i szőlőültetvények mentén, ahol rézzel kezelték a növényeket tolvajok és állatok távoltartása céljából, kevésbé volt jelen a szőlő peronoszpóra. E megfigyeléseire építve fejlesztette ki a réz-szulfát és kén keverékének vizes oldatát, amelyet bordói lének neveztek el, és ma is fontos eszköz a szőlő- és gyümölcstermő növények védelmében (Günther, 1998).

A réz antibakteriális és gombaellenes hatása a szabad rézionoknak (Cu^+ , Cu^{2+}) köszönhető, amelyek lehetnek jelen a permetlében vagy kioldódhatnak a gombák által kibocsátott szerves vegyületek hatására. Ezek a rézionok a kórokozó sejtekbe jutva különböző kémiai folyamatokat zavarhatnak meg, befolyásolva az enzimek és más fehérjék működését. Ennek eredményeként a sejtek károsodnak, membránjaik sérülnek, és végül a kórokozó elpusztul (Husak, 2015).

A réznek, mint növényvédőszer hatóanyagnak számos előnye van. Hatékonyan működik alacsony hőmérsékleten is, és széles spektrumú védelmet nyújt számos baktérium és gomba ellen. Míg a modern, felszívódó hatóanyagok általában egyetlen biokémiai folyamatba avatkoznak be, addig a réz különböző módon gátolja a kórokozók életfolyamatait. Ennek következtében a rezisztencia kialakulása ritkább jelenség, ellentétben a célzott hatásmechanizmusú modern hatóanyagokkal.

A réztartalmú gombaölőszerek hátránya, hogy felületi bevonatot képeznek, és nem jutnak be a növényi szövetekbe. Ennek eredményeként csak a levelek felületén nyújtanak védelmet baktériumos és gombás betegségek ellen, és könnyen lemosódnak. Ezért fontos a megfelelő fedettség és az, hogy a hatóanyag a felületeken maradjon ahová kijuttatták.

3.11. Az őszi búza termesztéstörténete és termesztése

A világon és hazánkban is a legnagyobb területen termesztett haszonnövény az őszi búza (*Triticum aestivum*). Magyarországon körülbelül egymillió hektáron termesztik. Az őszi búza különlegesen sokoldalú haszonnövény, termését a búzát élelmezési és takarmány célra használjuk. Szalmáját állattartásban almolásra, iparban papírgyártásra, fenntartható, lebomló csomagolások gyártására, de energiatermelésre, erőművek fűtésére is hasznosítjuk.

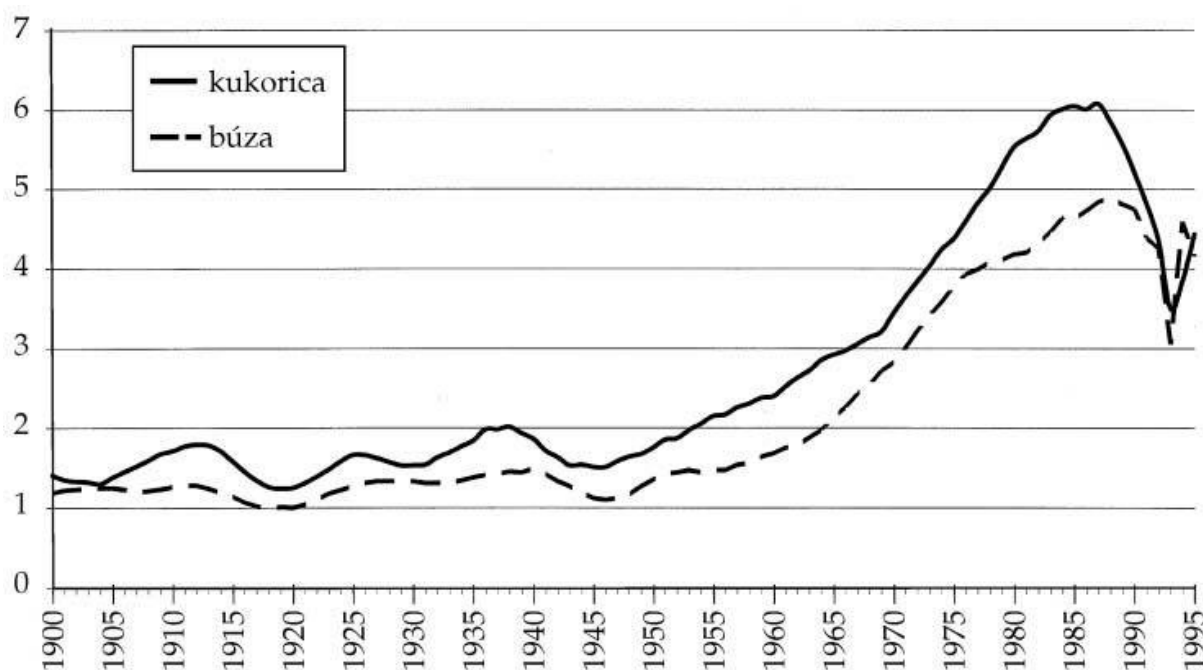
A búzaféléket régóta ismeri az ember. Körülbelül 8.000 évvel ezelőtt kezdték el termesztetni az ősbúzát, az alakort (*Triticum monococcum*). Az alakor az egyik legősibb, emberek által termelt búza, Kis-Ázsiából származik, termesztése az európai termelőgazdálkodás kialakulásával egyidős, mintegy 10.000 éves. A híres alpesi jégmúmia, a több, mint 5.000 éve elhunyt Ötzi gyomrában is találtak alakort, amit vadhússal és páfránnyal együtt fogyasztott el nem sokkal halála előtt (Mult-kor.hu). Itthon a 19. századig termesztették, véglegesen csak a nagyüzemi birtokok kialakulásával szorult ki a termelésből, alacsony termésátlaga miatt. Az 1870-es években Magyarországon a búza termésátlaga hektáronként 850 kilogramm volt.

Az ország főbb búzatermesztő vidékei (Békés, Csongrád, Bács-Kiskun megye, Jászság, Hajdúság, Nagykunság, az Alföld), a Dunántúlon Baranya, a Duna-völgye, valamint Fejér- és Tolna megye voltak évszázadok óta (Ragasits, 1998). A búzatermesztés az elmúlt közel 150 évben hatalmas fejlődésen ment keresztül, amelyben három tényező játszott döntő szerepet:

Az első tényező a gépesítés, amely a talajművelés javulását, a vetés, a növényvédelem, a növényápolás és a betakarítási munkák pontos elvégzését eredményezte. A következő tényező az agrokémia előretörése, amely a tápanyagellátás és a növényvédelem területén jelentett nagy előrelépést. A műtrágya-felhasználás 1960 és 1975 között dinamikus emelkedett, a búza és a kukorica termése mintegy 2,5-szeresére nőtt. Ebben meghatározó szerepe volt az új nagy termőképességű fajták bevezetésének és az agrotechnika fejlődésének is.

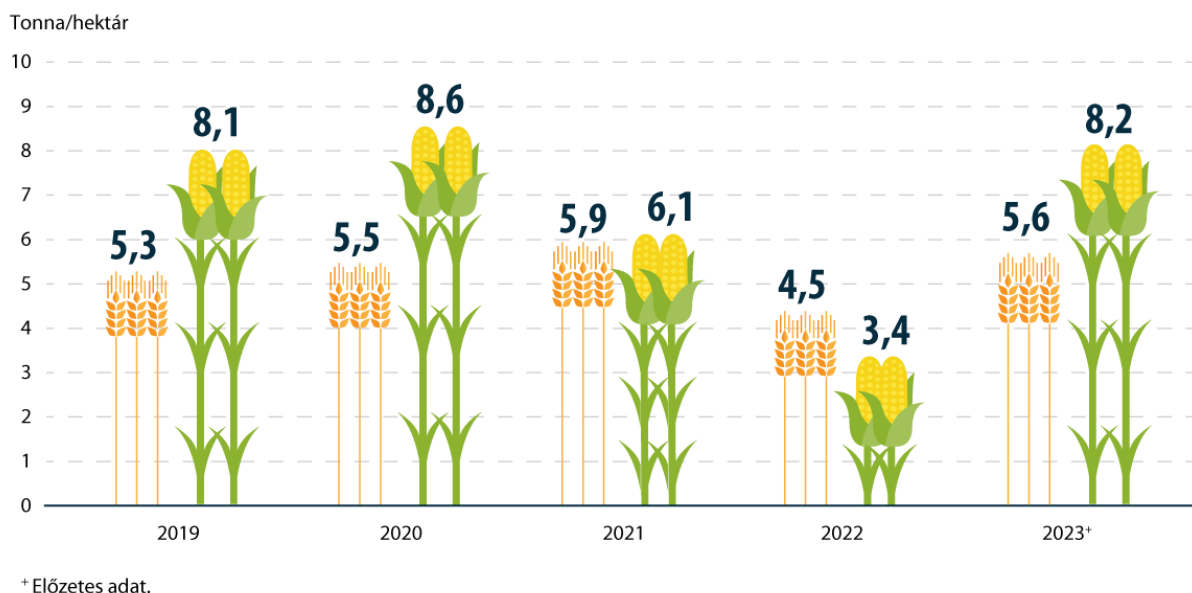
A trágyázás, az öntözés és a növényvédelem egyaránt hozzájárult a hozamok növeléséhez, azonban a műtrágyázás hatása ebben az időszakban döntő jelentőségű volt. A felhasználás növekedésének időszakában hazánkban a pozitív tápanyagmérleg alakult ki, javult a talajok tápanyag-ellátottsága és nőttek a termések. A korábbi talajt zsaroló gazdálkodást felváltotta a talajt gazdagító tápanyag-gazdálkodás (Loch-Nosticzius, 1992).

Napjainkban az őszi búza a legnagyobb területen termelt haszonnövény.



16. ábra A búza és kukorica termésátlagának alakulása a 20. században (Forrás: <https://www.mek.oszk.hu/>)

A Központi Statisztikai Hivatal (KSH) adatai szerint az előző években, a 2021-2022-es aszályt nem számítva, tovább nőttek a termésátlagok. A búza 2023. évi 5,6 tonnás hozama 1921 óta a második legmagasabb eredmény. (17. ábra)



17. ábra Az őszi búza, kukorica termésátlag Magyarországon (Forrás: KSH)

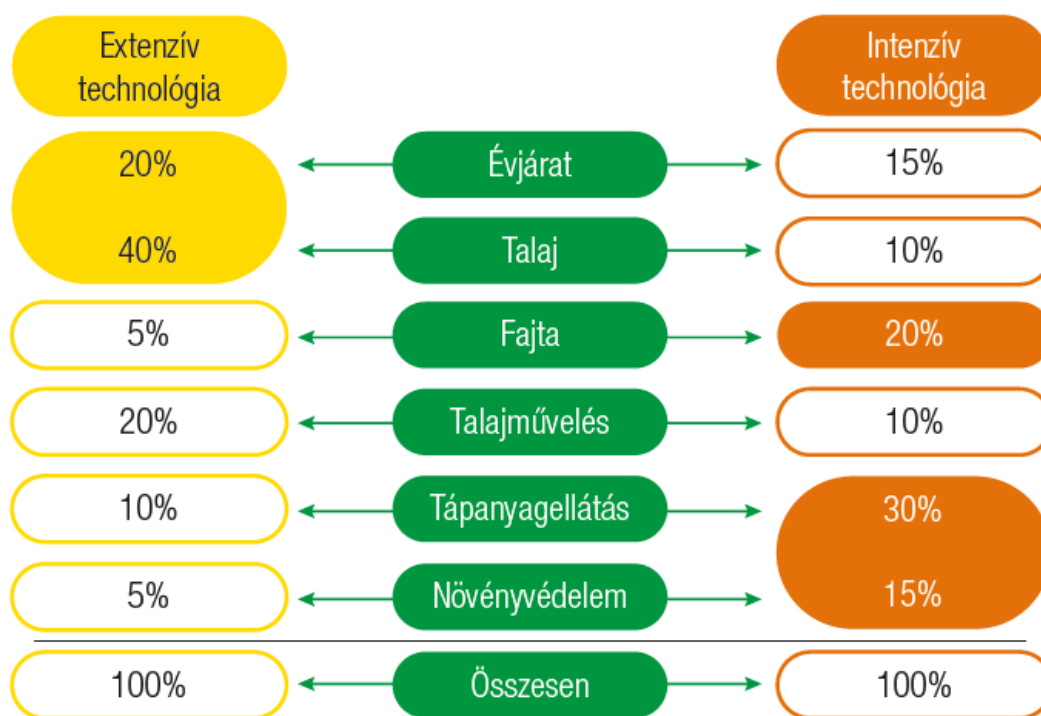
A növénytermesztés alapvető célja a fotoszintetikusan aktív sugárzás (Photosynthetically Active Radiation, PAR) szárazanyaggá alakítása, amelyet aztán magas tápértékű élelmiszer, takarmány vagy alapanyag formájában energiatermelésre lehet hasznosítani. A búza termelése közben előállított teljes szárazanyag-mennyiség és fényelnyelés között elsőrangú lineáris kapcsolat áll fenn. A jelenleg termesztett búzaváltozatok 50-55%-os "harvest" indexszel rendelkeznek, azaz a teljes szárazanyag-mennyiség 50-55%-ából szemtermés lesz. (yara.hu)

A termésátlagok vizsgálatából következtethetünk, hogy az őszi búza genetikai potenciálja, termőképessége nagyon sokat fejlődött az utóbbi évtizedekben.

A genetikai potenciál kihasználása elemi érdeke a termelőknek, de sok tényezőtől függ. Vannak olyan elemek, amire a termelőknek minimális ráhatásunk van, más tényezőket befolyásolhatunk a technológia betartásával. A termelőknek az extenzív vagy az intenzív technológia alkalmazásának lehetőségét kell mérlegelni. Intenzív technológia esetén az évjárat és a talaj okozta eltérések kisebb hatást gyakorolnak, ebben az esetben megnő a tápanyagellátás befolyása.

Az alábbi 18. ábra a termesztési tényezők eltérő szerepét szemlélteti az extenzív és az intenzív technológiákban. Az extenzív technológiákban a talajadottságok nagyobb mértékben

befolyásolják a búzatermesztés sikerét, mert a tápanyagvisszapótlás nem olyan intenzitású, mint az intenzív technológia alkalmazása során. A 18. ábrából levonható a következtetés, hogy a versenyképes, intenzív búzatermesztési technológia meghatározó eleme (30%) a tápanyagellátás.



18. ábra A termesztési tényezők szerepe a búzatermesztésben (Forrás: Pepó Péter 2017)

Az őszi búza vetésideje nagy hatással lehet a növény fejlődésére és ennek következtében a hozamra is.

Az ideális vetésidő szeptember vége és október közepe között van, így a téli hideg a bokrosodáskori stádiumba éri el a növényt. A vetésmélység kötöttebb talajoknál 4-5 cm, a lazábbakon 5-6 cm. Sortávolsága általában 12 cm, de ez csökkenthető 10,5 vagy növelhető 15 cm-re is. Átlagos évben június első napjaiban még a kalászban található búzaszemek mérete igen kicsi, színe zöldes, június elején a magok nagyságrendileg eléri a végleges méretüket, de még magas a nedvességtartalmuk. Ilyenkor a tápanyag beépítése aktívan zajlik. Ezek után a magok bebarnulnak, a nedvességtartalom lecsökken 20-40%-ra, és a kalászban a magokat a pelyvalevelek szorosan ölelni kezdik. Mikor a növény teljesen beérett, a magok elérték a fajtára jellemző szint és méretet és a nedvességtartalma 12-15%, akkor megkezdődhet a betakarítás. Ennek folyamata kombájnnal történik. A visszamaradt szalma felbálázható és hasznosítható.

A 19. ábra a magyar búza szabvány kategóriáit mutatja félkövérrel kiemelve a vizsgált sikér és nyersfehérje tartalmat.

Az őszi búzának átlagos nyers fehérje tartalma 12,5-13%, a nyers fehérjének 75-80% a sikér. A sikértartalmat két fehérje adja, a gliadin és a glutenin, ezeket a búza gluténtartalmának szokták nevezni. A sikér és nyersfehérje tartalom meghatározza a liszt minőségét, valamint korrelációt mutat a kenyér térfogatával és szilárdságával. (sciencedirect.com)

Magyar búza szabvány kategóriái					
MSZ 6383:2017					
minőségi jellemzők	dimenzió	Javító	Malmi I.	Malmi II.	Malmi III.
hektolitertömeg min.	kg/hl	78	76	76	72
nedvességtartalom max.	% (m/m)	14,5	14,5	14,5	14,5
Keveréktartalom max.	% (m/m)	2	2	2	2
ezen belül:					
- káros keverék max.	% (m/m)	0,5	0,5	0,5	0,5
- könnyű keverék max.	% (m/m)	0,5	0,5	0,5	0,5
Keveréktartalmon felül még megengedett					
törött szem max.	% (m/m)	2	2	2	6
csírázott szem max.	% (m/m)	2	2	2	5
rozs max.	% (m/m)	2	2	2	3
csökkent értékű búzaszem max.	% (m/m)	2	2	2	2
poloska által szűrt szem max.	db %	-	2	2	4
sütőipari érték* min.	min.csop.	A	B1	B2	-
nedves sikér mennyisége min.	% (m/m)	34	30	28	26
nedves sikér területe	mm/h	2-5		3-8	-
esésszám Hagberg min.	s	300	250	230	220
nyersfehérje-tartalom min.	%	12,5	12,5	12	11,5
állati kártevők és maradványaik		nem tartalmazhat			

(19. ábra)

3.12. Rézhiány tünetek az őszi búzán

A talaj alacsony abszolút vagy relatív réztartalma miatt rézhiány alakulhat ki. A rézhiányos búzanövény egészének fejlődése akadályozott. A fiatal levelek fehérek, szárazak, csavarodottak (20. ábra). Az alsó levelek sötétzöldek maradnak. A rézhiánnyal fellépő nitrogénhiány a levél csíkos sárgulását eredményezi. A rézhiányos növény kalászában gyakran megfigyelhetők a deformált, kifehéredett, léha kalászkok, a szemek nem, vagy gyengén fejlődnek ki (21. ábra). A rézhiányos gabonafélékhez tartozó növényeknél gyakran növekszik meg a pollen sterilitása és csökken a pollen termékenysége, ami csökkent magszámhoz vezet. A talajminta analízisa segít a differenciáldiagnózis felállításában, a rézhiány célzott kezelés szükséges.



20-21. ábra Rézhiány tünetei (Forrás: talajreform.hu)

4. Anyagok és módszerek

4.1. Talajvizsgálat

Több helyről, 5 hektáronként talajmintát vettünk 0-30, 30-60 és 60-90 cm mélységből. Fontos a mélyebb mélységekből is mintát venni és kiértékelni mivel a talajba vagy a talajra juttatott réz legnagyobb része a felső rétegekben megkötődik, ezért, ha csak a felső 30 cm-ben vizsgáljuk a réztartalmat az nem reprezentálja a növény számára felvehető réz-tartalmat. A talajmintákat a sopronhorpácsi akkreditált talajvizsgálati laborba küldtük, majd a kapott eredményeket táblázatba foglaltuk (23. ábra). A talajban levő optimális makro- és mikroelem szint függ a talaj szerkezetétől, kolloid tartalmától és ez egyes makro- és mikroelemek egymáshoz viszonyított arányától is. Az Arany-féle kötöttségi szám (K_A), más néven agyagfrakció, az a vízmennyiség, amely 100 gramm légszáraz talajnak a képlékenység felső határáig történő nedvesítéséhez szükséges. Ennek osztályozása a táblázatban található (22. ábra).

Textúracsoport	K_A
Durva homok	<25
Homok	25-30
Homokos vályog	30-38
Vályog	38-42
Agyagos vályog	42-50
Agyag	50-60
Nehéz agyag	>60

22. ábra Arany-féle kötöttségi szám (K_A) besorolása (Forrás: Gál Norbert)

Azonosító	Mérés 1			Mérés 2			Optimális
Mélység (cm)	0-30	30-60	60-90	0-30	30-60	60-90	
pH (KCl)	7,76	7,83	7,87	7,78	7,85	7,85	7,8
Arany szerinti kötöttségi szám (K_A) (légsz. a.)	30	28	25	37	32	32	
Szénsavas mész tartalom (m/m% légsz. a.)	7,08	16,18	10,11	16,52	16,18	24,95	7
Humusz tartalom (m/m% légsz. a.)	1,17	0,81	0,61	2,23	1,61	0,72	2,5
Szulfát tartalom (mg/kg légsz. a.)	31,67	26,68	18,44	20,39	16,7	27,12	10-30
Oldható (NO_3^- , $+\text{NO}_2^-$)-N tartalom (mg/kg légsz. a.)	5,3	3,5	5,5	15,7	13,2	5,7	10-30
Oldható P_2O_5 tartalom (mg/kg légsz. a.)	559	178	187	766	494	101	220-240
Oldható K_2O tartalom (mg/kg légsz. a.)	665	112	102	271	174	23	260
Oldható Na tartalom (mg/kg légsz. a.)	32,1	29,4	28,4	51,8	45,5	36,8	<50
Oldható Mg tartalom (mg/kg légsz. a.)	119	59	244	427	480	50	60-100
Oldható Zn tartalom (mg/kg légsz. a.)	0,67	<0,65	0,86	1,62	0,88	<0,65	3,2-3,6
Oldható Cu tartalom (mg/kg légsz. a.)	1,07	0,79	0,68	1,07	0,82	0,64	2,5
Oldható Mn tartalom (mg/kg légsz. a.)	21	8	26	19	27	7	20

23. ábra Talajvizsgálati eredmények

A fenti adatokból látszik, hogy a szántóföldi talaj rézhiányos, ezért ennek lombtrágyázással történő pótlására fókuszáltunk a kutatásunkban.

4.2. Réz-tetramin-szulfát előállítása

A réz-tetramin-szulfát komplex $\{[\text{Cu}(\text{NH}_3)_4]\text{SO}_4\}$ (25. ábra) a nyomtatott áramkörök kénsavas (H_2SO_4) lemaratásakor keletkező réz-szulfát (CuSO_4) (24. ábra) valamint az ammónia vizes oldatának (NH_4OH) a reakciója folyamán keletkezik. Ennek a pH-ját a 3.5. fejezetben említett okok miatt 9,3-ra állítottuk be, amely már kijuttatható a növényekre.



24. ábra Réz-szulfát (saját kép)



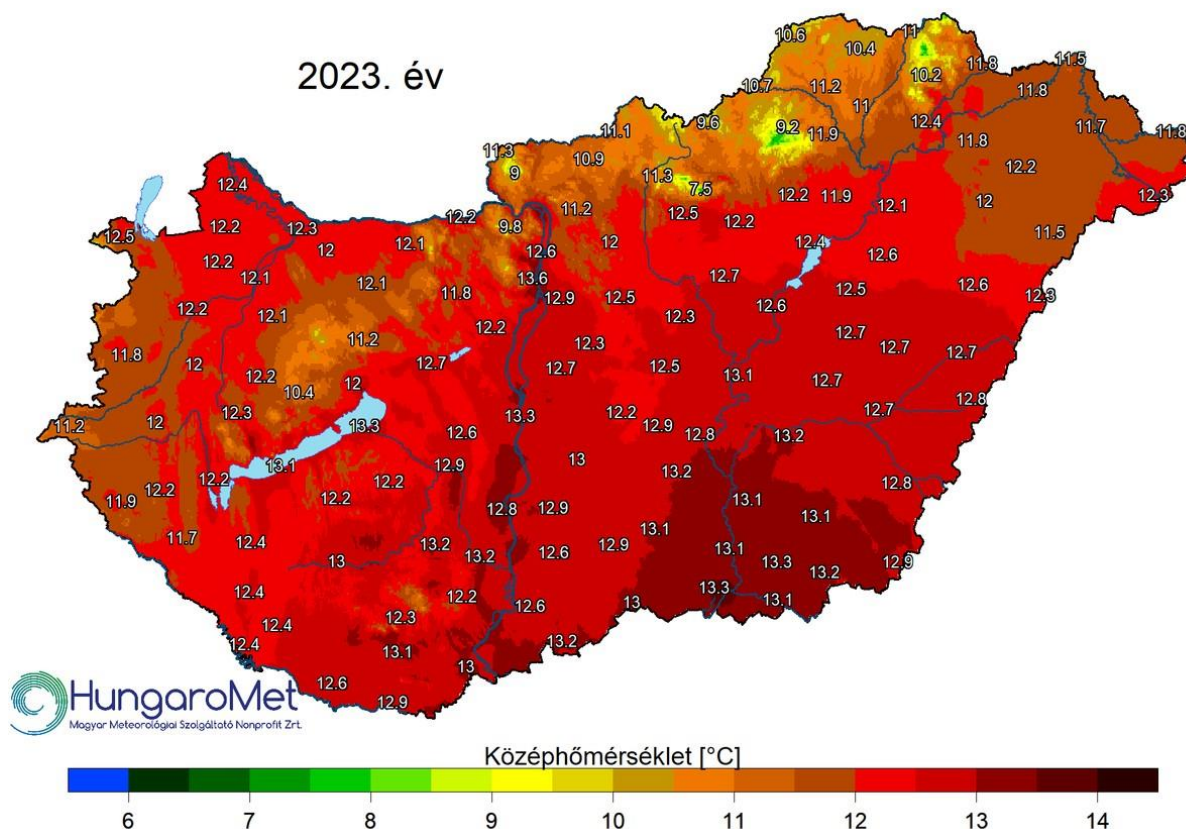
25. ábra Réz-tetramin-szulfát komplex (saját kép)

4.3. Időjárás

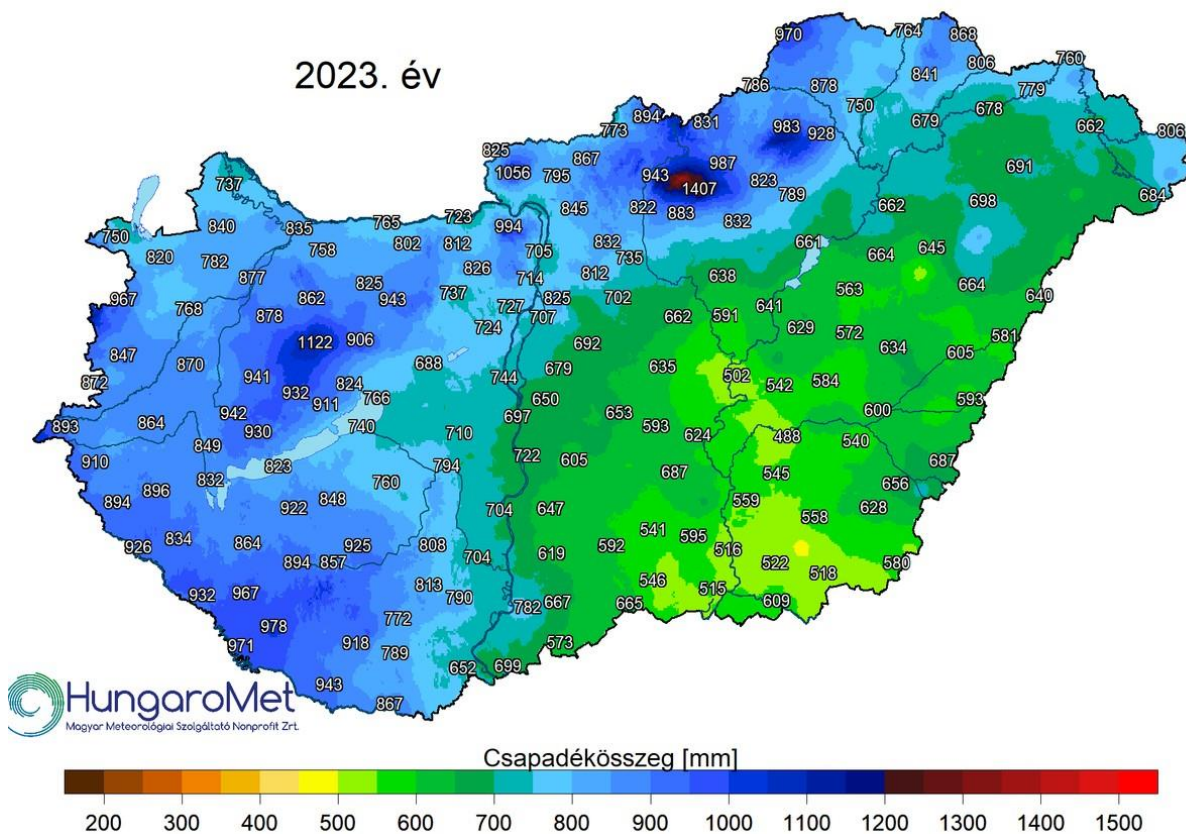
A 2023-as év a Kisalföldön kedvező volt a növénytermesztés számára. A Magyar Meteorológiai Szolgálat szerint ez volt a legmagasabb átlagos középhőmérsékletű év 1901 óta. Az évi középhőmérséklet $12,23^{\circ}\text{C}$ volt (26.ábra). Emellé ez a nyolcadik legcsapadékosabb év volt Magyarországon. Átlagosan 767,1mm csapadék hullott (27. ábra). Mint a 26-27.ábrákon is látszik, az Alföld területén az átlagnál kevesebb csapadék esett, a hőmérséklet magasabb volt.

A Kisalföldön, Györszentivánon a hőmérséklet átlagos, míg a csapadék átlagon felüli, körülbelül 830 mm volt, ebből az őszi búza szempontjából a vegetációs csapadékmennyiség kb. 500 mm hullott.

A búza kezdeti fejlődéséhez az enyhe hosszú ősz a kedvező, ha megfelelő fejlettségi állapotban megy a télbe, akár $-20(-25)^{\circ}\text{C}$ -os száraz hideget is kibír. A téli hideg elősegíti a bokrosodást. Téli hótakaró nem volt. A hó az áttelelést segítette volna, mint egy iglu megvédi a növényeket a hidegtől, ezek a tavaszi hőingadozás hatására kifagyhatnak. A termés mennyiségét nagymértékben befolyásolja a májusi, június eleji csapadék mennyisége és a június közepén beköszöntő kánikula (Láng, 1976).



26. ábra: 2023-as középhőmérséklet (Forrás: met.hu)



27. ábra: 2023-as csapadékösszeg (Forrás: met.hu)

4.4. Kísérlet menete

2022 október elején elvetett őszi búza táblán kisparcellás kísérletet jelöltünk ki. A parcella 8 sor szélességű volt, ami mellett kikapáltunk 2 sort művelősornak (28. ábra). Az kísérletet 5m² területű parcellákon 4 ismételtsben állítottuk be. A kontrollon kívül 0,1; 0,3; 0,5 és 1kg/ha rézmennyiségű lombtrágyákkal permeteztük le. A permetezéshez egy gazdaboltokban is kapható, az 30. ábrán látható kerti kézipumpás nyomáspermetezőt használtunk. A ~10%-os, 9,3-as pH-jú réz-tetramin-szulfát oldatot hektáronként összesen 400 literes permetlé dózissal, vízzel hígítva juttattuk ki. Azaz 5m² területen összesen 0,2 liter folyadék került a növényekre (ábra). A kijuttatást március végén, illetve május közepén végeztük bokrosodáskori és virágzáskori fenológiai fázisban. A két különböző időpontban és fenológiai fázisban végzett permetezést fontosnak találtuk, mivel ez hozambeli és beltartalmi változásokhoz vezethet.

A július eleji betakarítás kézi kombájnnal történt. A hozam meghatározása után a minőségi vizsgálatokat az InfratecTM 1241 Grain Analyzer labor műszerrel végeztük az SZE AKMK Vízgazdálkodási és Természeti Ökoszisztémák Tanszékén (34. ábra). Ez roncsolásmentesen vizsgálja meg a búzaszemek siker és nyersfehérje tartalmát. A közeli infravörös mérések során a gabona transzmissziós módban történő méréseinek jobb teljesítménye mutatkozott meg a reflektanciás móddal szemben. A transzmissziós méréseket alacsonyabb hullámhossztartományban, 570-1050 nm között végzik, míg a reflektanciás mérésekhez szükséges elsődleges információk 1100-2500 nm között érhetőek el. Az alacsonyabb tartományban a fény magasabb energiaszintje lehetővé teszi a mélyebb behatolást a magokba, így nemcsak a felület, hanem a mag belső része is mérésre kerül. Mindez nagyobb mintatérfogatot tesz lehetővé a transzmissziós módszer alkalmazásakor, így a vizsgált minta jobb reprezentációját biztosítja (Forrás:InfratecTM).

A méréseket követően az eredményeket Excel táblázatba felvettük, átlagoltuk, kiértékeljük, majd grafikonokon ábrázoltuk.



Kapálás (28. ábra)



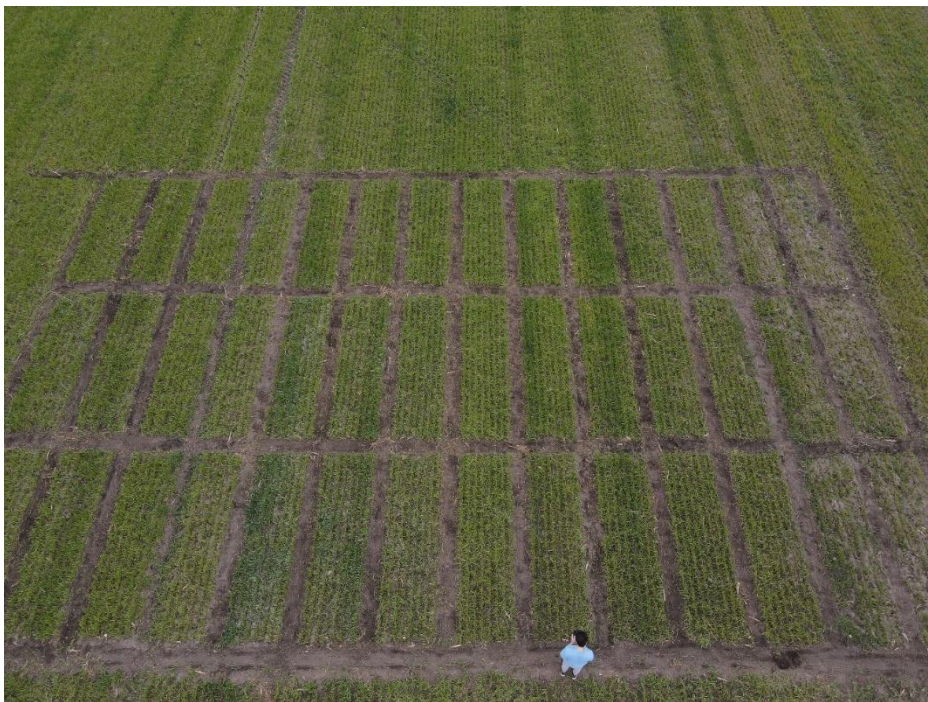
Réz-tetramin-szulfát (29. ábra)



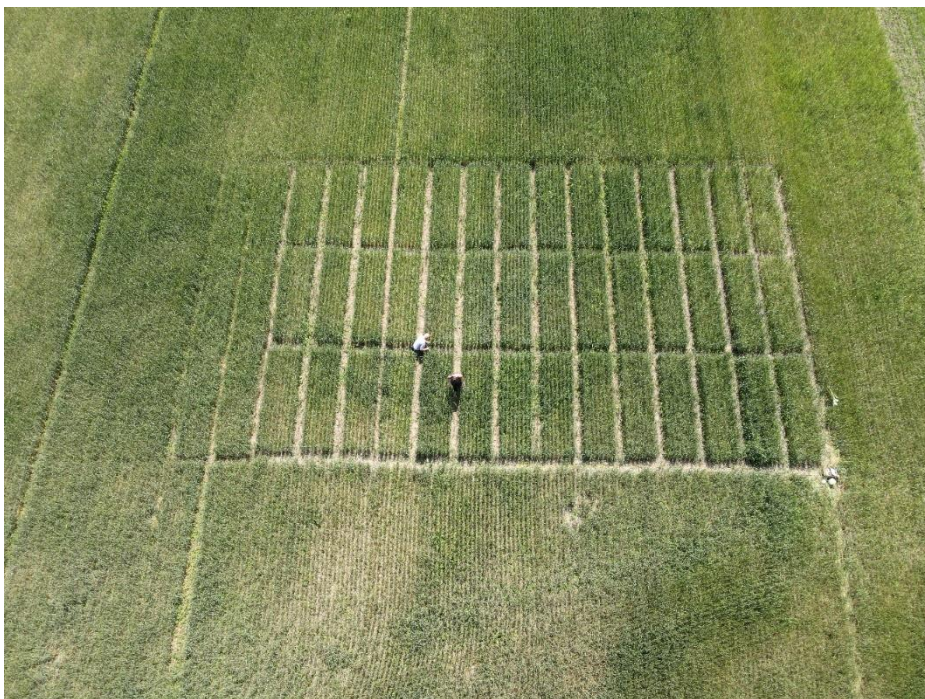
Kerti kézipumpás nyomáspertmetező (30. ábra)



Virágzáskori kezelés (31. ábra)



Bokrosodás (32. ábra)



Virágzás (33. ábra)

Infratec™ 1241 Grain Analyzer (34. ábra)



5. Eredmények és értékelésük

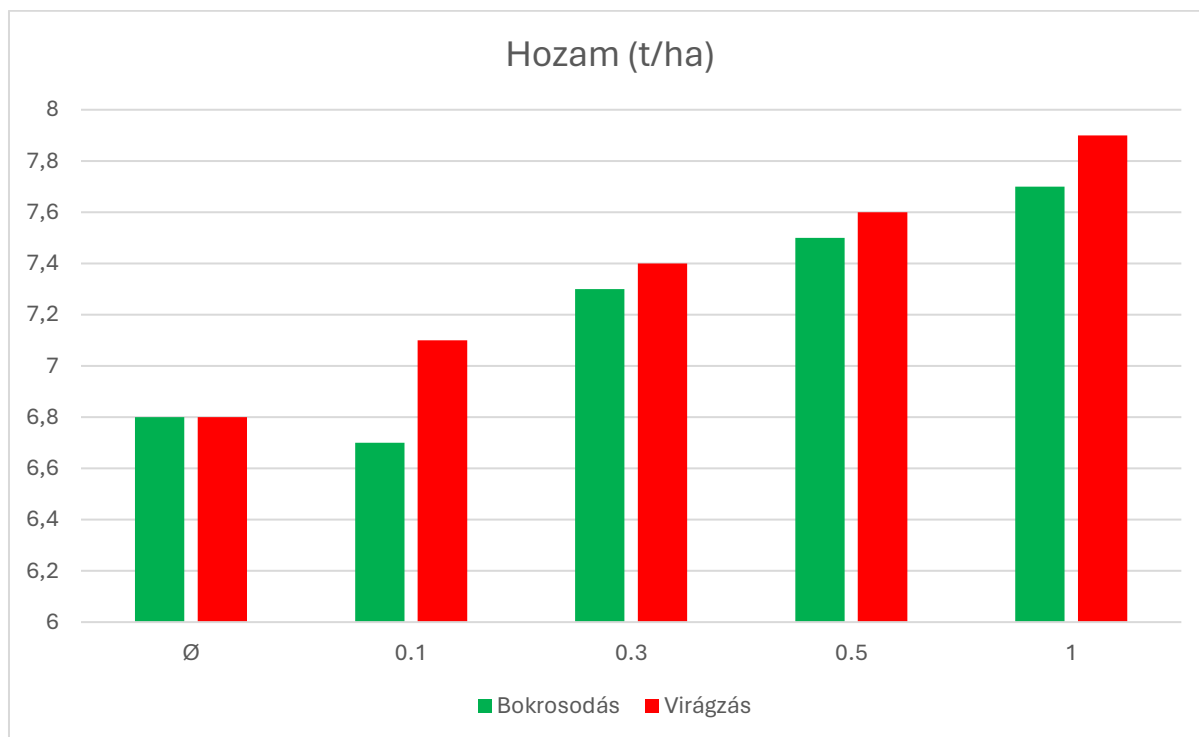
A táblázatba foglalt értékeket a 35. ábra mutatja.

Kezelés Cu (kg/ha)	Hozam (t/ha)		Nyers fehérje		Sikér	
	Bokrosodás	Virágzás	Bokrosodás	Virágzás	Bokrosodás	Virágzás
Ø	6,8	6,8	12,7	12,7	28,7	28,7
0,1	6,7	7,1	12,7	12,9	28,9	28,9
0,3	7,3	7,4	12,8	13,1	29,1	30,1
0,5	7,5	7,6	13,3	13,2	30,2	30,3
1	7,7	7,9	13,6	13,4	30,7	30,3
SZD _{5%}	0,72	0,68	0,61	0,57	1,86	1,73

Eredmények (35. ábra)

5.1. A réz lombtrágya hatása az őszi búza hozamára

Őszi búza kísérletünkben a 0,1 kg/ha feletti rézdózis lombtrágyaként történő kijuttatása mindkét fenológiai fázisban hozamnövekedést eredményezett. Szignifikáns javulást a hozam tekintetében a 0,5 kg/ha-os és ennél magasabb dózis mutatott. A virágzáskori fenológiai fáziskori kezelés eredményére nagyobb mértékű növekedést tapasztalunk. Ez annak lehet köszönhető, hogy a réz fungicid hatása miatt megakadályoztuk különböző gombabetegségeket is, így elősegítve a hozam növekedésének mértékét.

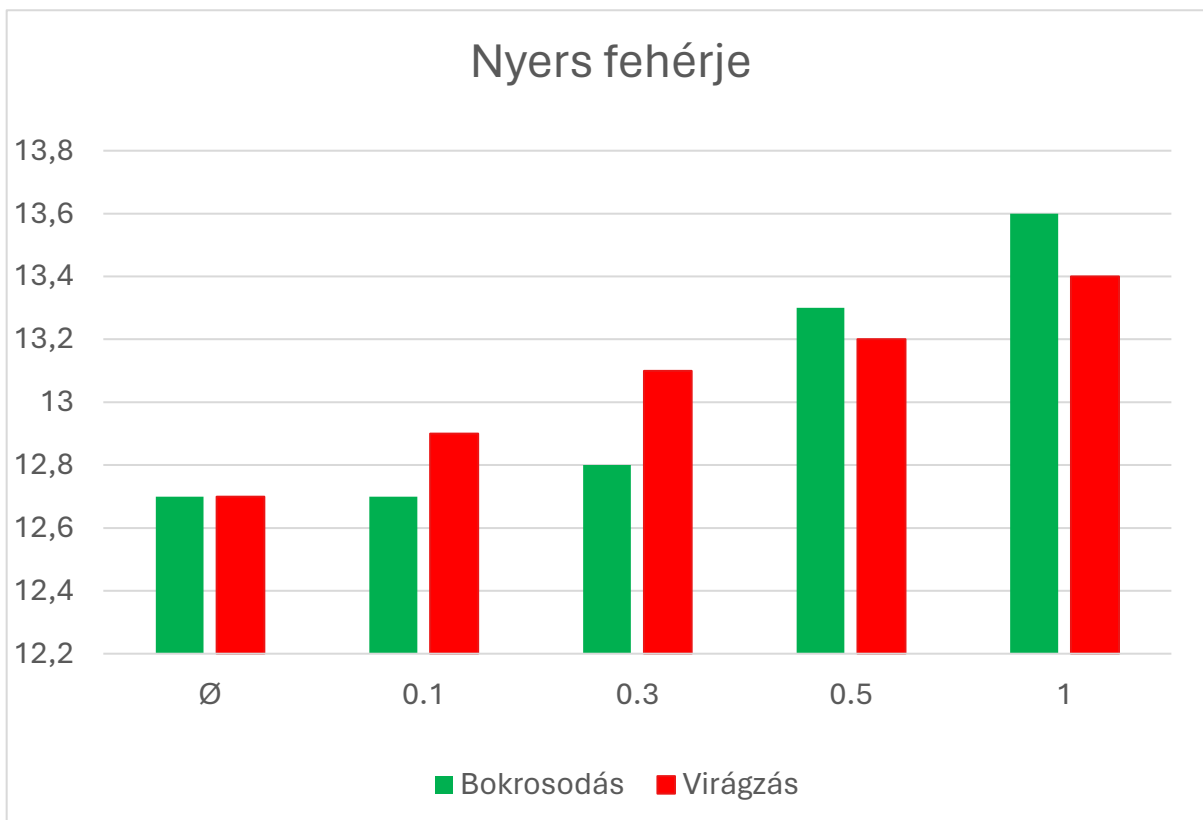


(36. ábra)

5.2. A réz lombtrágya hatása az őszi búza nyersfehérje tartalmára

A nyers fehérje szintén a 0,5 kg/ha-os, és ennél nagyobb kijuttatott rézmennyiség hatására mutat szignifikáns javulást. Az ez alatti dózisokban a virágzáskori, míg ez és ennél nagyobb dózisonál a bokrosodáskori fenológiai fázis eredménye kép lett a növekedés mértéke nagyobb.

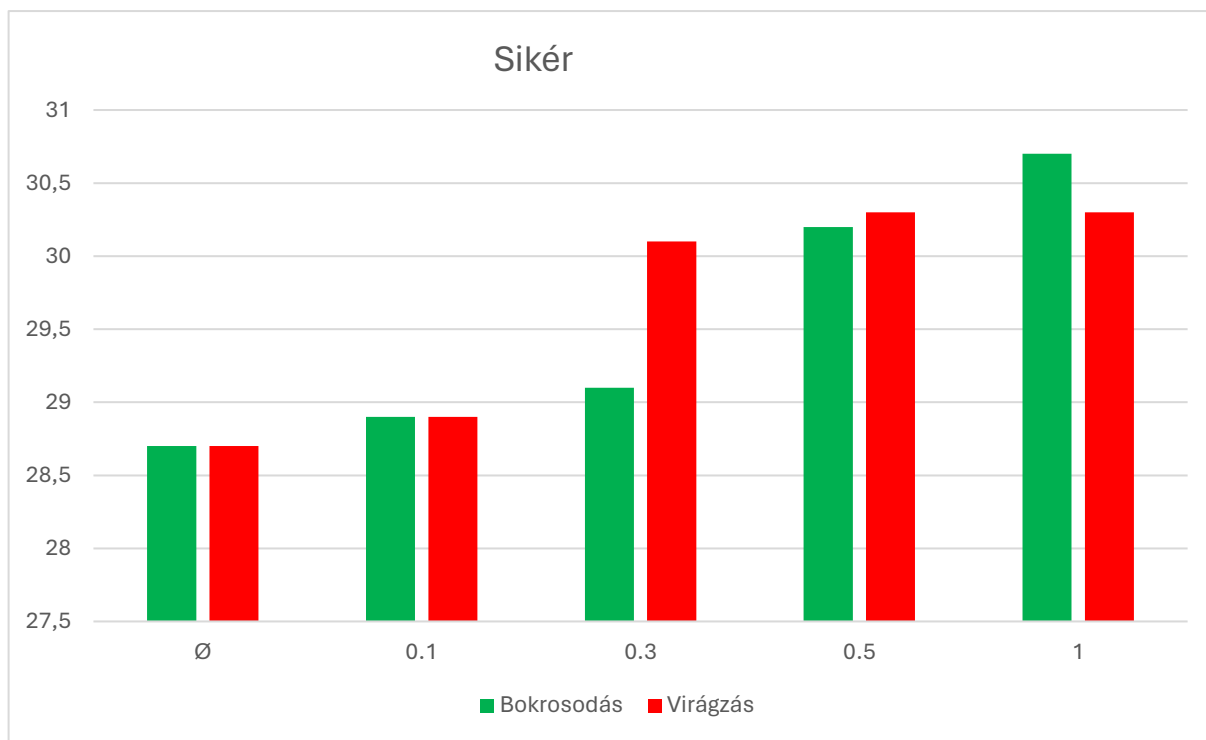
A bokrosodáskori réz kijuttatás hatékonysága a jobb nitrogén felvétel miatt eredményez nagyobb mértékű növekedést a 0,5 és e fölötti kg/ha-os dózisonál.



(37. ábra)

5.3. A réz lombtrágya hatása az őszi búza sikértartalmára

A sikértartalom esetén a bokrosodáskori kezelés egészen a 0,5 kg/ ha-os dóziséig semmi jelentős javulást nem hozott. A virágzáskori kezelés hatására már a 0,3 kg/ha-os rézmennyiség is jelentős növekedést mutat.



(38. ábra)

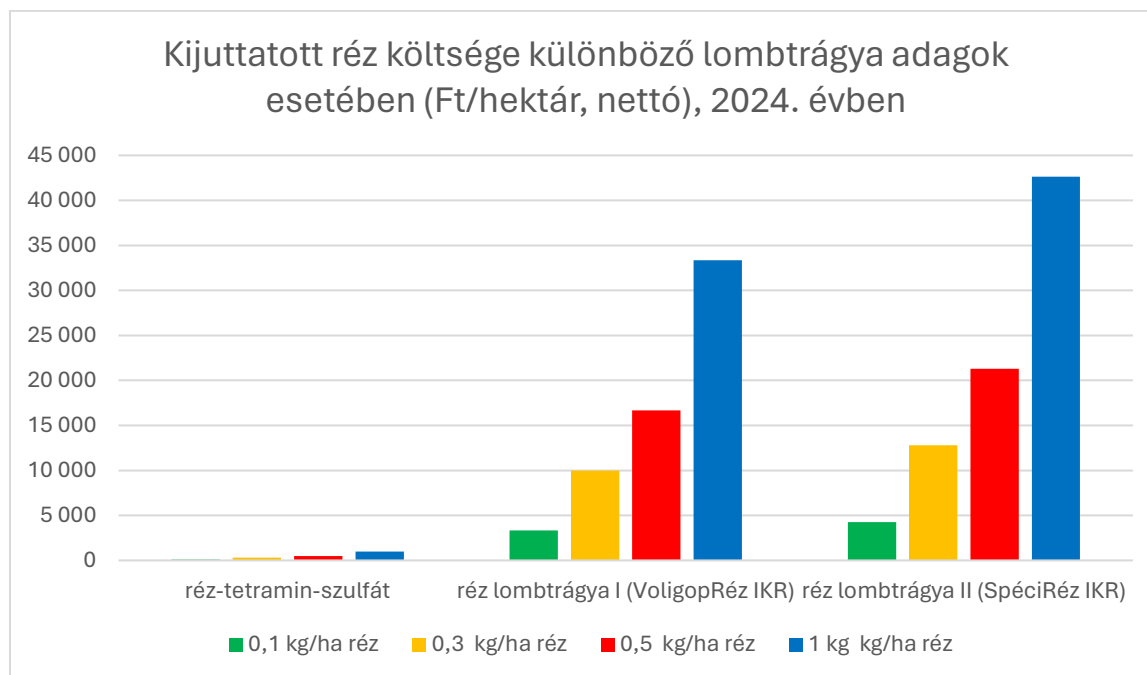
5.4. Felhasználási lehetőségek, versenyképesség

Számításaink alapján az 1kg/ha-os lombtrágyaként kijuttatott rézdózis maximális nyersanyag árral, munkaköltséggel 1000 Ft. A kijuttatás költsége 8.000 Ft 2024-ben.

Mivel a réz-tetramin-szulfát más lombtrágyákkal és növényvédőszerrel keverhetőnek bizonyult, ezért kijuttatható a növényvédőszeres kezeléssel, gyomirtással egy menetben, így minimalizálva a plusz költséget. Azokon a talajokon, amelyek hasonlóan alacsony réztartalmat mutatnak a kezelés hatására hozamnövekedés, illetve a beltartalmi mutatók javulása várható. A búza ára 60000-70000Ft körül mozog, ez azt jelent, hogy amennyiben a szántóföldön nagyüzemben a kísérlethez hasonló eredményeket érünk el, az 1000 forintos anyagból akár 700000 forint profitnövekedést is elérhetünk hektáronként. Mindezt úgy, hogy hulladékot hasznosítottunk újra energiahatékonyan.

A hulladék réz természetes körforgásba való visszajuttatásán kívül kísérletünknek gazdasági jelentősége is van. Elmondható a rézhiányos talajok rézpótlása rendkívül költséges, a lombtrágya jobb hasznosulása mellett is.

A hulladékréz hasznosítása növeli a gazdaságunk versenyképességét, a többi gazdálkodót is versenyképes termelésre ösztönzi, az őszi búza előállítási költségét csökkenti.



(39. ábra)

6. Összegzés

A hulladék rézből előállított réz-tetramin-szulfát alkalmas lombtrágyaként való kijuttatásra.

Őszi búzában alkalmazva mind a virágzáskori, mind a bokrosodáskori kezelés esetén javult a búza termés hozama és beltartalma.

Arányosan a legnagyobb mértékű javulást a 0,5 kg/ha-os dózis mutat, ami így a legköltséghatékonyabb is. Hozam növelésre a virágzáskori, a beltartalom növelésére a bokrosodáskori kezelés a legeredményesebb. Feltételezhetően azért értünk el eredményesebb javulást a bokrosodáskori fenológiai fáziskori kezelés során a nyers fehérje, illetve a

sikértartalmat tekintve, mivel az ekkor réz hatására nőhet a nitrogén felvétele, ezt a növény el tudja raktározni, és magképződéskor ezt felhasználja, így javulnak a beltartalmi mutatók.

Ezek alapján kimondható, hogy az ipari rézhulladékból lehetséges olyan anyagot előállítani, ami hasznos a növények számára, felvehető, szignifikáns növekedést értünk el a hozamot és a beltartalmat tekintve.

Az Európai Unió által támogatott körforgásos gazdálkodásnak megfelelően a réz visszakerül a természetbe.

Az idei évben további kísérleteket állítottunk be pattogatni való kukorica növény rézszükségletének kielégítésére rézhiányos talajokon, valamint bővítettük a vizsgált anyagokat, réz-zeolit, cink-zeolit, réz-pirofoszfát, karbamid és vinasz kezelések hatását vizsgáljuk.

7. Irodalomjegyzék, források

1. DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS Dr. Szakál Tamás
<https://wamdi.sze.hu/images/2021/Dr.%20Szakál%20Tamás%20disszertáció.pdf>
2. Esszencialitás 1,2,3: <http://ecoursesonline.iasri.res.in/mod/page/view.php?id=7783>
3. Esszencialitás 4. kiegészítés
<https://soilsfacstaff.cals.wisc.edu/facstaff/barak/soilscience326/essentl.htm>
4. Citokrom-c-oxidáz <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3845132/>
5. Callegari B., Stoknes P.E., *People and Planet: 21st century sustainable population scenarios and possible living standards within planetary boundaries*
6. Fritz Haber <https://www.nobelprize.org/prizes/chemistry/1918/haber/biographical/>
7. <https://portal.nebih.gov.hu/-/a-tim-azaz-a-talajvedelmi-informacios-es-monitoring-rendszer->
8. www.nebih.hu Giczi Zsolt réz Magyarországon
9. Copper containing enzymes involved in oxidation catalysis (Tishchenko, et al., 2016)
<https://wamdi.sze.hu/images/2021/Dr.%20Szak%C3%A1l%20Tam%C3%A1s%20disszert%C3%A1ci%C3%B3.pdf>
10. EFSA Scientific Opinion on Dietary Reference Values for copper
<https://efsa.onlinelibrary.wiley.com/doi/pdf/10.2903/j.efsa.2015.4253>
11. Giczi Zsolt disszertáció
<https://wamdi.sze.hu/images/2021/Giczi%20Zsolt%20disszertacio.pdf>
12. <https://mult-kor.hu/hivatasos-detektiv-fejtette-meg-hogyan-telhettek-tzi-utolso-orai-20170328?openImage=11519>
13. Esszenciális elemek (Glass, 1989; Marschner, 1995; Taiz/Ziegler, 2002; Kádár, 2007)
14. Glass, A. D. M. (1989): *Plant nutrition. An introduction to current concept.* Jones and Bartlett Publishers. Boston
15. Marschner, H. (1995): *Mineral nutrition of higher plants. Second Edition.* Academic Press. New York
16. Taiz, L. - Zeiger, E. (2002): *Plant Physiology, Third ed.* Sinauer Assoc. Inc. Publ. Chapter 5
17. Kádár, I. (2007): *Felmérések, kimutatások, adatbázisok, kutatások Magyarország Cu és Zn ellátottságáról a hazai talaj- és növényvizsgálatok, ill. kísérletek alapján.* MTA TAKI. Budapest.

18. Réz körforgás: A réz körforgása Fageria (2013) alapján, kiegészítve (in Giczi et. al. 2018)
19. Mikroelemek kivonása a talajból (teljes növény) (Pais, 1980)
20. Pais I. (1980): A mikrotápanyag szerepe a mezőgazdaságban. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest
21. Copper containing enzymes involved in oxidation catalysis (Tishchenko, et al., 2016)
22. Tishchenko, K. I. - Beloglazkina, E. K. – Mazhuga A. G. - Zyk, N. V. (2016):
CopperContaining Enzymes: Site Types and LowMolecularWeight Model Compounds.
Review Journal of Chemistry, Vol. 6, No. 1,
23. Species distribution of copper-amine complex as a function of pH (Triki and Tanazefti 2017)
24. A talaj pH hatása az elemek növények általi felvehetőségére
<https://www.emporiumhydroponics.com/what-is-ph-1-to-14>
25. Réz-tetramin-szulfát kristály [https://copper-chemistry.fandom.com/wiki/Tetraamminecopper\(II\)_Sulfate](https://copper-chemistry.fandom.com/wiki/Tetraamminecopper(II)_Sulfate)
26. Kádár, I. (2015): Összefüggések a talaj termékenysége és a tápanyagellátottsága között, MTA TAKI.
27. (D. V. Singh & C. Swarup 1982)
<https://link.springer.com/article/10.1007/BF02375066>
28. Talaj elemeinek felvehetősége <https://www.emporiumhydroponics.com/what-is-ph-1-to-14>
29. <https://www.nature.com/articles/s41558-018-0230-x>
30. Győri D. - Regiusné M. Á. - Szabó S. - Szentmihályi S. (1987): Mikroelemek a mezőgazdaságban I. (esszenciális mikroelemek). Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
31. KSH búza-kukorica átlag <https://www.ksh.hu/s/kiadvanyok/fobb-novenykulturak-termeseredmenyei-2023/index.html>
32. Yara.hu búza termesztés <https://www.yara.hu/tapanyagellatas/oszi-buza/buzatermesztes-agronomiai-iranyelvei/>
33. A termesztési tényezők szerepe a búzatermesztésben (Forrás: Pepó Péter 2017)
34. Liebig hordó: <https://www.exkalapalatt.info/2015/09/13/tapanyagellatas-belterben-i/>
35. Réz hiánytünetek a búzában <https://talajreform.hu/tudasbazis/mikroelem-hianyutunetek-oszi-buzaban/>
36. A talaj mechanikai összetételének meghatározása szitálással és pipettás eljárással (Gál Norbert) <https://www.studocu.com/hu/document/szegedi->

[tudomanyegyetem/talajtan/arany-fele-kotottsegi-index-meghatározása-laborban/2369456](#)

37. 2Kép réz hiánytünetek <https://talajreform.hu/tudasbazis/mikroelem-hianyutunetek-oszi-buzaban/>
38. LÁNG, G (1976): Szántóföldi növénytermesztés, Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
39. HungaroMet Magyar Meteorológiai Nonprofit Zrt.
<https://www.met.hu/rolunk/hirek/index.php?id=3395>
40. Infratec™ https://www.gerber-instruments.com/files/gerber-instruments_files/pdf/FOSS/FOSS%20Getreide/Infratec_1241_Solution_Brochure_GB_web%20pdf.pdf
41. Kollega Tarsoly István Magyarország a XX. Században,
<https://mek.oszk.hu/02100/02185>
42. MSZ 6383:2017 Búza és durumbúza élelmezési célra Magyar Szabványügyi Bizottság
43. Comparing five population scenarios to 2100 (United Nations, Wittgenstein, Lancet, Earth4All – Too Little Too Late, Earth4All – Giant Leap)
44. Bread volume
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S002364381200391X#bib22>
45. Nitrogénművek Zrt.

8. Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnénk köszönetet nyilvánítani felkészítő tanárainknak; Bacher Józsefnek, prof. Dr. Szakál Pálnak a szakmai irányításukért.

Dr. Szakál Tamásnak a segítségért, valamint Édesanyánknak a kutatásba nyújtott segítségért és a támogatásért.

Édesapánkra is szeretettel gondolunk, akitől a mezőgazdasági kötődésünk ered.