DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS

Tóth Endre Andor

MOSONMAGYARÓVÁR

2022

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. VARGA LÁSZLÓ DSC

EGYETEMI TANÁR

PROGRAMVEZETŐ:

PROF. DR. ÖRDÖG VINCE DSC

EGYETEMI TANÁR

TÉMAVEZETŐ:

DR. HABIL. KALOCSAI RENÁTÓ EGYETEMI DOCENS

Cink lombtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) főbb értékmérő tulajdonságaira, azonos kálium alaptrágyázás mellett

KÉSZÍTETTE:

TÓTH ENDRE ANDOR

MOSONMAGYARÓVÁR

2022

Cink lombtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) főbb értékmérő tulajdonságaira, azonos kálium alaptrágyázás mellett

Írta:

Tóth Endre Andor

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: Dr. habil. Kalocsai Renató 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 9
1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK 11
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS 14
2.1. Növényi tápelemek 14
2.2. A kálium 20
2.2.1. Kálium a talajban 21
2.2.2. Kálium a növényekben 25
2.2.3. A kálium biológiai szerepe 26
2.2.4. Kálium a kukoricában 29
2.2.5. Kálium-utánpótlás 30
2.3. A cink 32
2.3.1. Cink a talajban 32
2.3.2. Cink biológiai szerepe és előfordulása a növényekben 39
2.3.3. Cink-utánpótlás 43
2.4. A kukorica 50
2.4.1. A kukorica minősége 54
3. ANYAG ÉS MÓDSZER 56
3.1. Kisparcellás kísérletek 56
3.2. Termőhely jellemzése 56
3.2. Termőhely klimatikus jellemzése 59
3.3. Termesztett fajta, agrotechnológia 62
3.4. A terület kiválasztása, alkalmazott kezelések 63
3.5. Termény betakarítása, vizsgálata, minősítése 66
3.6. Adatok kiértékeléséhez használt statisztikai módszerek 69
4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK 71
4.1. A 2018. évi kezelések eredményei 72
4.1.1. Kukoricacső hosszának változása a kezelések hatására 72

4.1.2. Szemsorok számának változása a kezelések hatására 74
4.1.3. A morzsolt szemek tömegének változása a kezelések hatására 77
4.1.4. Az olajtartalom változása a kezelések hatására 80
4.1.5. A fehérjetartalom változása a kezelések hatására 82
4.1.6. A keményítőtartalom változása a kezelések hatására 85
4.1.7.A 2018. évi eredmények összefoglalása 88
4.2. A 2019. évi kezelések eredményei 89
4.2.1. Kukoricacső hosszának változása a kezelések hatására ... 89
4.2.2. Szemsorok számának változása a kezelések hatására 92
4.2.3. A morzsolt szemek tömegének változása a kezelések hatására 94
4.2.4. A magasság változása a kezelések hatására 97
4.2.5. Az olajtartalom változása a kezelések hatására 100
4.2.6. A fehérjetartalom változása a kezelések hatására 103
4.2.7. A keményítőtartalom változása a kezelések hatására 106
4.2.8. SPAD-érték változása a kezelések hatására 109
4.2.9. A 2019. évi eredmények összefoglalása 112
4.3. A 2020. évi kezelések eredményei 113
4.3.1. Kukoricacső hosszának változása a kezelések hatására . 113
4.3.2. Szemsorok számának változása a kezelések hatására 116
4.3.3. A morzsolt szemek tömegének változása a kezelések hatására 118
4.3.4. A magasság változása a kezelések hatására 121
4.3.5. Az olajtartalom változása a kezelések hatására 124
4.3.6. A fehérjetartalom változása a kezelések hatására 127
4.3.7. A keményítőtartalom változása a kezelések hatására 130
4.4. 2018-2020 évi kísérletek eredményei 134
4.4.1. A kezelések hatása a csőhosszra 135
4.4.2. A kezelések hatása a szemsorok számára 138
4.4.3. A kezelések hatása a morzsolt tömegre 141
4.4.4. A kezelések hatása az olajtartalomra 144

4.4.5. A kezelések hatása a fehérjetartalomra 147
4.4.6. A kezelések hatása a keményítőtartalomra..... 150
4.4.7. A kezelések hatása a magasságra 153
4.4.8. A három év kísérleti eredmények összefoglalása..... 156
KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK..... 158
ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK..... 160
ÖSSZEFOGLALÁS 161
PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK 163
IRODALOMJEGYZÉK 165
KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS 180

Cink lombtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays* L.) főbb értékmérő tulajdonságaira, azonos kálium alaptrágyázás mellett

KIVONAT

Az értekezés tárgya a mezőgazdasági növénytermesztés egyik legfontosabb feladatához, a tápanyag-utánpótláshoz kapcsolódik. A mezőgazdasági termelés elsődleges célja, hogy megfelelő mennyiségű és minőségű terményt állítsunk elő. Ennek egyik sarkalatos pontja a növények megfelelő tápanyagellátása, műtrágyázása. Napjainkban a makroelemek kijuttatása mellett egyre nagyobb figyelem irányul a mikroelemek visszapótlására is, hiszen az esszenciális mikroelemek kisebb mennyiségben ugyan, de elengedhetetlenek kultúrnövényeink termesztéséhez. A kukorica hazánkban évek óta a legnagyobb területen termesztett növényünk, 2019-ben összesen 1,048 millió hektárra vetették. Hazánkban elsősorban a takarmányozásban betöltött szerepe miatt termesztjük. A kukorica káliumigényes növény, rossz kálium ellátás esetén jelentősen csökken a termés mennyiség, és romlik a minőség. A kukorica számára az egyik legjobban igényelt mikroelem a cink, mely hazánk talajainak jelentős részében nem áll megfelelő mennyiségben rendelkezésre.

A dolgozat egy hároméves (2018-2020), kisparcellás, kukoricában (*Zea mays* L.) végzett cink és kálium visszapótlási kísérletet mutat be, melyet Győr-Moson-Sopron megyében, Bogyoszló határában állítottunk be. A kísérlet során felhasznált cink-tartalmú készítmény ökológiai

gazdálkodásban is engedélyezett bázisos cink-karbonát, a kálium-tartalmú készítmény pedig kereskedelmi forgalomban is kapható kálisó volt.

A kezelések során vizsgáltuk a kukorica különböző paramétereit (csőhossz, szemsorok száma, morzsolt tömeg, növény magassága, SPAD-érték) és a beltartalmi értékeit (olajtartalom, fehérjetartalom, keményítő-tartalom) a kezelések hatására. A kísérletet két egyenlő területre osztottuk fel, melyek közül az egyik kálium alaptrágyázásban nem részesült, a másik pedig részesült (180 kg ha^{-1} K). A kísérletetben felhasznált cink dózisokat (cink-karbonát tartalmú lombtrágya) kontroll + 4 dózisban (0,25 kg ha^{-1}, 0,5 kg ha^{-1}, 1 kg ha^{-1}, 2 kg ha^{-1}) állítottuk be. A kiértékelt adatok alapján bizonyítást nyert, hogy a kálium alaptrágya és a már 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú lombtrágya kijuttatása a kukorica mennyiségi és minőségi paramétereit pozitívan befolyásolták.

A kezelések a csőhosszban 11,5 %-os, a szemsorok számában 4,3 %-os, a morzsolt tömeg esetén 12 %-os, a keményítő-tartalom esetében 2,2 %-os, a növény magasságát tekintve 11,5 %-os növekedést eredményeztek. A vizsgált olajtartalomban és fehérjetartalomban nem tudtunk a kezelések hatására szignifikáns változást kimutatni. A maximális hozamot 1,30 kg ha^{-1} cink dózisú lombtrágya kijuttatása esetén kaptuk, míg az összes vizsgált paramétert tekintve 1,51 kg ha^{-1} cink dózis bizonyult optimálisnak.

A cinkkel történő levéltrágyázás szignifikánsan növelte a csőhosszt ($P < 0.01$), a szemsorok számát ($P < 0.05$), a morzsolt tömeget ($P < 0.01$) és a növény magasságát ($P < 0.01$). A káliummal történő alaptrágyázás szignifikánsan növelte a morzsolt tömeget ($P < 0.01$), a keményítőtartalmat ($P < 0.01$) és a növény magasságát ($P < 0.01$). A cink és a kálium

interakciója egyik vizsgált paraméter esetében sem mutatott szignifikáns különbséget.

Effect of zinc foliar fertilization on the main measuring properties of maize (*Zea mays* L.) with the same potassium basic fertilizer

ABSTRACT

The subject of this thesis is related to one of the most important tasks in agricultural crop production, nutrient replenishment. The primary objective of agricultural production is to produce crops of sufficient quantity and quality. One of the cornerstones of this is the proper supply of nutrients to crops, i.e. fertilization. Nowadays, in addition to the application of macro-nutrients, increasing attention is also being paid to the replenishment of micro-nutrients, which are essential for the production of crops, albeit in smaller quantities. Zinc is one of the most needed micronutrients for maize, but it is not available in sufficient quantities in a large part of our soils.

This paper presents a three-year (2018-2020) small plot experiment on zinc and potassium recharge in maize (*Zea mays* L.), which was set up in Győr-Moson-Sopron county, on the outskirts of Bogyoszló. The zinc-containing preparation used in the experiment was a basic zinc carbonate approved for organic farming, and the potassium-containing preparation was a commercially available potassium salt.

During the treatments, different parameters (ear length, number of rows per cob, cob mass, plant height, SPAD value) and yield values (oil content, protein content, starch content) of maize were investigated in relation to the treatments. The evaluated data showed that the application of potassium base fertilizer and foliar fertilizer with a zinc dose as low as 0.5 kg ha^{-1} had a positive effect on the quantitative and qualitative parameters

of maize. The experiment was divided into two sections, the first received no potassium, while the other received 180 kg ha^{-1} K. The zinc treatments were set in the following doses: 0; 0,25; 0,5; 1; 2 kg ha^{-1} Zn.

The treatments resulted in an increase of 11.5 % in ear length, 4.3 % in number of rows per cob, 12 % in cob mass, 2.2 % in starch content and 11.5% in plant height. No significant changes in oil content and protein content were observed as a result of the treatments. The maximum yield was obtained with the application of foliar fertilizer at a dose of 1.30 kg ha^{-1} zinc, while 1.51 kg ha^{-1} zinc was found to be the optimum dose for all the parameters studied.

Foliar fertilization with zinc significantly increased ear length ($P < 0.01$), number of rows per cob ($P < 0.05$), cob mass ($P < 0.01$) and plant height ($P < 0.01$). Base fertilization with potassium significantly increased cob mass ($P <0.01$), starch content ($P <0.01$) and plant height ($P <0.01$). The interaction of zinc and potassium showed no significant difference for any of the parameters studied.

1. BEVEZETÉS, CÉLKITŰZÉSEK

A világ növénytermesztése jelentős változásokon ment át az elmúlt évtizedek során. Ezt a változást az 1900-as évek elején kezdődő biológiai, kémiai, agronómiai, technikai és technológiai forradalom tette lehetővé, amely az elmúlt fél évszázadban dinamikusan bontakozott ki a fejlettebb nyugat-európai és észak-amerikai államokban. E fejlődés mozgatórugóját a növénytermesztés termékeivel szembeni egyre nagyobb mértékű igények megjelenése jelentette (*Antal és Jolánkai*, 2005). Míg 1975-ben 4 milliárd embert kellett élelmiszerrel ellátni, addig napjainkban, 2020-ban a Föld lakossága meghaladja a 7,8 milliárdot, az előrejelzések alapján pedig 2100-ra 10,9 milliárd főre nő (*KSH*, 2020). Az egyre növekvő népesség élelmiszerrel való ellátása hatalmas kihívást jelent, melyre választ jelenthet a jelenleg használt technológiák fejlesztése és a termésátlagok növelése.

A mezőgazdasági termelés elsődleges célja, hogy az adott területről minél nagyobb mennyiségű és jobb minőségű terményt tudjunk betakarítani. Nagy mennyiségű és kielégítő minőségű termést csak szakszerű növénytáplálás útján lehet elérni, amelynek egyik leggyakoribb, legkézenfekvőbb módszere a műtrágyázás. A három legfontosabb makroelem (N, P, K) mellett figyelmet kell fordítanunk a mikroelemek ellátottságára is, hiszen a megfelelő növényi fejlődéshez nem elég pusztán az említett három makroelem pótlása, az egyéb mikroelemeket, és azok megfelelő arányát is biztosítani kell. Sok helyen még mindig nem pótolják kellő mennyiségben az esszenciális elemeket, pedig mikroelem-hiányos talajon termesztett növények esetén termésátlag-csökkenéssel és minőségromlással kell számolnunk.

A cink nélkülözhetetlen mikroelem, amely aktívan részt vesz fehérje anyagcserében és az auxintermelés serkentése révén a növények növekedésszabályozásában (*Kalocsai et al.*, 2005), valamint a sejtekben nélkülözhetetlen szerepet tölt be a stabil metalloenzim-komplexek kialakításában is (*Füleky*, 1999). A FAO-vizsgálatok alapján (TIM rendszer) a hazai talajok mikroelemekben gyengén ellátottak: a KCl+EDTA kivonószerrel meghatározott vizsgálatok alapján a cink mennyiségét vizsgálva a hiányos területek 18 %-ban kevesebb, mint 1 mg/kg, 47 %-ban pedig 1-2,5 mg/kg cinket tartalmaznak. Összességében az országosan vizsgált talajok 46 %-ban cinkben gyengén ellátottnak minősülnek (*Péntek és Fazekas*, 2016).

Gazdasági növényeink közül a kukorica (*Zea mays* L.) kiemelt szerepet tölt be a Föld lakosságának élelmiszer-ellátásában. Hazánkban évek óta a legnagyobb területen termesztett növényünk, 2019-ben összesen 1,048 millió hektárra vetették (*KSH*, 2019). Hazánkban elsősorban a takarmányozásban betöltött szerepe miatt termesztjük. Magas keményítő és alacsony fehérjetartalma miatt elsősorban energiaforrásként szerepel az állatok étrendjében. Abraktakarmányként főként a baromfi- és a sertéstenyésztésben van szerepe, de kiegészítő abrakként a kérődző állatok etetésében is hasznosítják. Ipari feldolgozásban is van szerepe, hiszen a keményítő, invertcukor, alkohol és bioetanol előállítása is jelentős. Emberi fogyasztásra a megtermelt kukorica ~3 %-a kerül. Előállítanak belőle többek közt kukoricalisztet, izocukrot, kukoricapelyhet, kukoricacsíra olajat és számos más terméket is (Url[1]).

A fentiek figyelembe vételével fontos feladat a kukorica termésmennyiségének és beltartalmi mutatóinak javítása, mely sok esetben kivitelezhető a tápelemek megfelelő mennyiségű és megfelelő

arányú pótlásával. Magyarországon a cink-hiányos területek jelentős elterjedése miatt érdemes különös figyelmet fordítani a cink mikroelem visszapótlására.

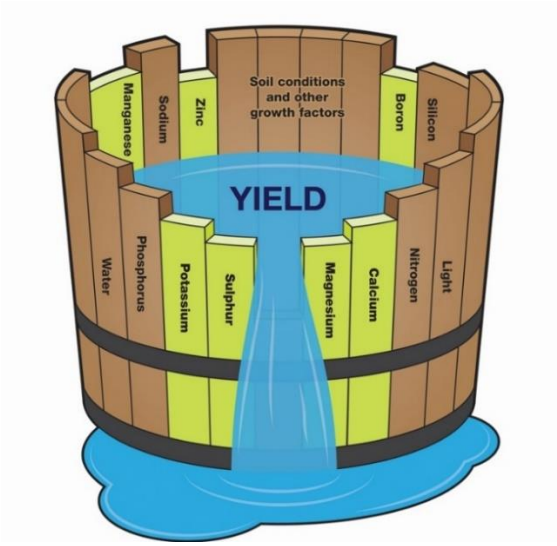
Kiemelt fontossága miatt a kukoricát választottuk tesztnövénynek kísérleteink során. Kísérleteink során azt vizsgáltuk, hogy a kukorica számára esszenciális tápelemek közül a cink lombtrágyaként és a kálium alaptrágyaként történő alkalmazása hogyan befolyásolja a kukorica hozamát és egyes beltartalmi paramétereit. Kísérleteink során az alábbi célokat tűztük ki:

- Megvizsgálni, hogy milyen eredmények érhetőek el kálium és cinkhiányos területen a kálium talajkezeléssel, a cink levéltrágyázás útján történő visszapótlásakor.
- Megvizsgálni, hogyan hasznosítja a növény a lombkezelések során kijuttatott cink vegyületet (bázisos cink-karbonát) kielégítő kálium alaptrágyázás, illetve annak hiánya esetén.
- Megvizsgálni, hogyan befolyásolja a megfelelő (tápanyag-gazdálkodási tervben meghatározott) kálium ellátottság a növény Zn igényét és a kijuttatott Zn lombtrágya hasznosulását.
- Megvizsgálni, hogy mekkora az az optimális cink-dózis, amely a legnagyobb mértékben növeli a kukorica terméseredményét és javítja beltartalmi értékeit (fehérje-, olaj-, keményítő-tartalom)?
- Megvizsgálni, hogy a két alkalmazott tápelem között fennáll-e bármilyen szinergista hatás.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. Növényi tápelemek

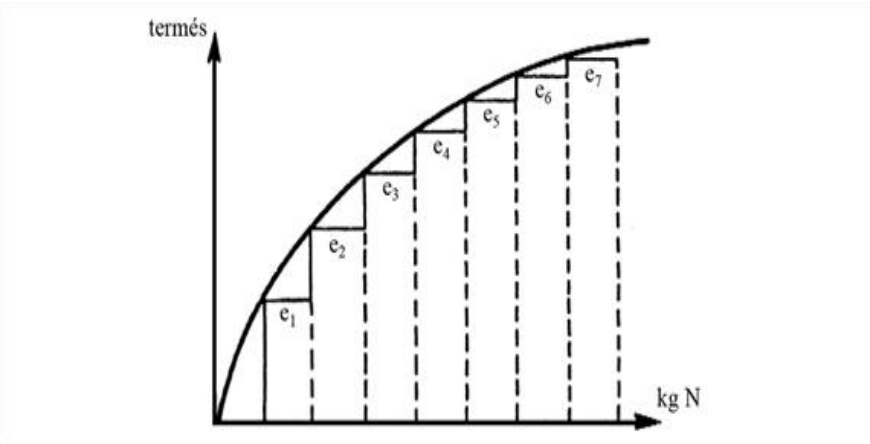
Termesztett növényeink optimális fejlődéséhez kielégítő mennyiségű esszenciális tápelemre van szükség. A hazai tápanyagellátási gyakorlat ugyanakkor viszonylag kis figyelmet fordít termesztett növényeink megfelelő mikroelem-ellátására, nagyobbrészt a makroelemek (N, P, K) pótlására korlátozódik. Liebig minimum-törvénye óta tisztában vagyunk vele, hogy a tápelem-egyensúlyra is oda kell figyelni, hiszen egy adott esszenciális elem hiánya nem helyettesíthető másik tápelemmel. Ebből kifolyólag bármely esszenciális tápelem hiánya gátolja a növény növekedését, amely a terméseredmény csökkenéséhez vezethet (*Whitcomb et al.*, 2014). A minimum törvényt vizuálisan is szemlélteti a „Liebig-hordó" (1. ábra).



1. ábra: „Liebig-hordó" (Forrás: Url[2])

Figure 1.:"Liebig's barrel"

Mitscherlich (1909) a XX. század elején kísérletekben vizsgálta a tápanyagellátás hatását a termés nagyságára és matematikai összefüggéseket állapított meg. A Mitscherlich-törvény kimondja, hogy a termés a növekedési tényezők hatására növekszik, de a hozamnövekedés nem lineáris, hanem a maximális termés eléréséhez hiányzó résszel arányosan növekszik A maximális termés nagyságát a termőhely adottságai, illetve a növekedési tényezők határozzák meg. A törvény rámutat arra, hogy a növekvő trágyaadagok egyre kisebb hozamnövekedést eredményeznek, ezért a műtrágyaadagok növelése csak bizonyos határokon belül ésszerű és gazdaságos (2. ábra) (*Loch* és *Nosticzius*, 2004).



2. ábra: Mitscherlich-törvénye: A növekvő adagok egyre kisebb termésnövekedést hoznak létre (Forrás: *Loch* és *Nosticzius*, 2004)

Figure 2.: Mitscherlich's law: Increasing the nutrient doses result in less and less yield-growth

Mennyiségi megoszlásuk alapján az elemeket makro- és mikroelemekre oszthatjuk (*Szabó et al.*, 1987). A makroelemek csoportjába sorolható a C, H, O, N, P, K, S, Ca és a Mg. Mikroelemnek

minősül a Fe, Mn, B, Cu, Mo és a Zn (*Buzás,* 1983). *Tisdale* és munkatársai alapján (*Tisdale et al.,* 1985) 20, a növény szempontjából esszenciális elemet különböztethetünk meg.

A mikroelemek a növényi szervezetben csak kis mennyiségben fordulnak elő, ennek ellenére a növényi életfolyamatokban betöltött szerepük alapvető jelentőségű (*Marschner,* 1995; *Kalocsai et al.,* 2006). A mikroelemek a talajban többféle formában vannak jelen: vízoldható alakban (szabad kationként, szerves és szervetlen komplexek ligandumaiként); agyagásványok kicserélési helyein; specifikusan adszorbeált állapotban; szerves anyagok által komplexek alakjában megkötve vagy adszorbeálva; oldhatatlan csapadékokban; primer ásványokban és a szilikátanyagok oktaéder-rácsában a Fe és Al izomorf helyettesítésében részt vevő kationként. Többnyire csak kis mennyiségű mikroelem van a növények számára felvehető állapotban (formában) a talajban, azonban, ha a talajoldatban csökken a mikroelemek koncentrációja (a növények tápanyagfelvételének köszönhetően), az egyes elemek átalakulhatnak oldhatatlan, vagy kevésbé oldható formából oldhatóba (*Mortvedt* és *Shuman,* 1991; *Stefanovits et al.,* 1999). A nyomelemek olyan elemek, amelyek a legtöbb talajban, növényben, vagy élő szervezetben csak kis mennyiségben vannak jelen (mg kg^{-1} vagy kisebb mértékben) (*Phipps,* 1981). Az elmúlt évtizedben számos tanulmány jelent meg, melyekben vizsgálták a réz (Cu), cink (Zn,), vas (Fe), mangán (Mn), molibdén (Mo), bór (B), klór (Cl), kobalt (Co), nikkel (Ni) és a szelén (Se) tulajdonságait. A növények számára 8 nyomelem esszenciális: a Cu, Zn, Fe, Mn, Mo, B, Cl és Ni. Amennyiben egy vagy több esszenciális nyomelem nem kielégítő mennyiségben áll a növény

rendelkezésére, termés- és minőségcsökkenéssel kell számolnunk (*Alloway,* 2008).

Az „esszenciális ásványi elemek” fogalmat *Arnon* és *Stout* (1939) alkották meg, és három kritériumot fogalmaztak meg, melyek szükségesek ahhoz, hogy egy elemet esszenciálisnak nevezzünk:

- hiánya esetén abnormális és gátolt lesz a növekedés,
- hatása specifikus, más elemmel nem helyettesíthető,
- közvetlen hatást fejt ki és részt vesz a szervezet anyagcseréjében.

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).

Szabó és munkatársai (*Szabó et al*., 1987) a mikroelemeket 5 csoportba osztotta biológiai-élettani szerepük alapján:

- esszenciális,
- valószínűleg esszenciális,
- stimulatív,
- toxikus,
- biológiai szereppel nem rendelkező.

Az esszenciális mikroelemek elengedhetetlenek az életfolyamatokban. Ahogy a növények számára, úgy az emberi-állati folyamatokban is nélkülözhetetlen szerepet töltenek be. Ebbe a csoportba főként fémionok tartoznak. Elsődleges szerepük, hogy a pozitív töltéseikkel az élő szervezetekben lévő molekulák negatív részeivel kapcsolatba tudjanak lépni (*Szakál* és *Pécsi*, 1993).

A mikroelemek növényi felvehetőségét a következő szempontok befolyásolják:

- A mikroelemek növényi felvehetőségét legmarkánsabban a talaj pH-értéke szabályozza. Minden olyan tevékenység, behatás, mely közvetetten, vagy közvetlenül módosítja a pH-t, a mikroelem felvételre is hat (*Kádár* 2008).
- Az egyes elemek felvételét más elemek hiánya, vagy jelenléte is erősen befolyásolhatja a különféle antagonizmusok, illetve szinergizmusok által (*Havlin et al.,* 2005).
- Magas pH értékű erősen meszes, illetve esetlegesen túlmeszezett talajokon felmerülhet a Cu, Fe, Mn, és a Zn hiánya. Ezeken a területeken kiemelt fontosságúnak tartjuk a levéltrágyát (*Szentpéteri et al*., 2005).

A különböző növények a mikroelemeket különböző mértékben vonják ki a talajból, amit az 1. táblázat szemléltet.

1. táblázat: Mikroelemek kivonása a talajból (*Szakál* és *Barkóczi,* 1989)
Table 1.: Microelement absorption from the soil

Növényfaj	**Kivont mennyiség (g/ha)**				
	B	**Cu**	**Mn**	**Mo**	**Zn**
gabonafélék	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	250-360	3-20	**200-400**
lóbab	10-30	20-40	14-28	5-8	**70-100**

A jó minőségű termék előállításának feltétele a harmonikus növénytáplálás, amelyet az N, P, K elemek pótlásán túl a mikroelemek okszerű ellátásával biztosíthatunk.

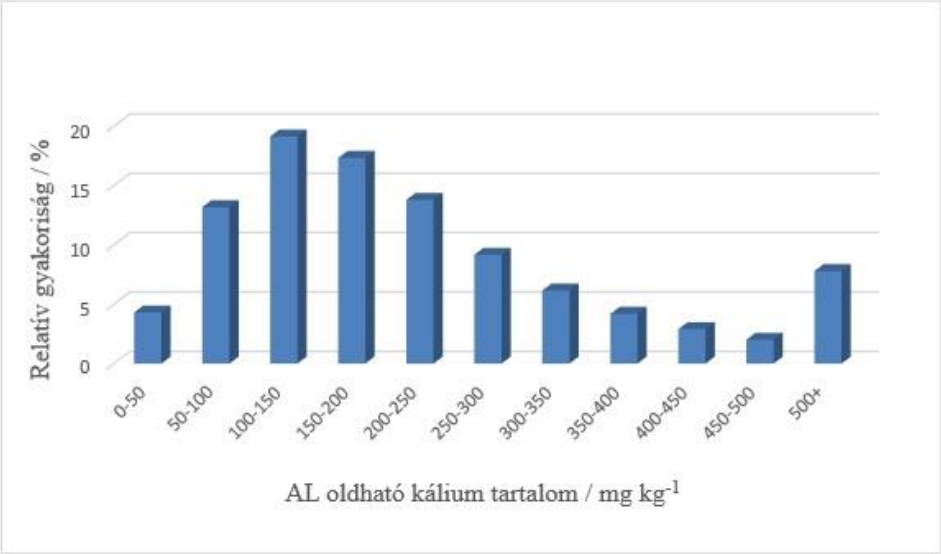
2.2. A kálium

A kálium a periódusos rendszer 19. eleme (jele: K). Relatív atomtömege 39,10; olvadáspontja 63,38 °C; forráspontja 759 °C. Fémes káliumot először Humphry Davy állított elő elektrolízissel. A természetben sói (pl.: KCl) találhatóak meg, elemi állapotban nem fordul elő. A kálium még a nátriumnál is lágyabb, egyébként hozzá mindenben hasonló fém. A természetes kálium gyengén radioaktív. Éppúgy állítható elő, mint a nátrium, de a megfelelő káliumvegyületekből. Iparilag elektrolízissel gyártják. Kémiailag igen aktív, reakciói hasonlók a nátrium megfelelő reakcióihoz. Vízzel hidrogént fejleszt, közben meggyullad. Legtöbb vegyülete ionvegyület, de vannak atom- és molekulavegyületei, valamint fémes vegyületei is. Fémkáliumot főleg laboratóriumokban használnak, de készítenek belőle foto elektromos cellákat is. Kimutatása több módon is történhet: vegyületei a Bunsen-lángot fakó ibolyaszínűre festik. Nátriumkobalt-nitrittel a káliumtartalmú oldat sárga csapadékot ad (*Náray-Szabó*, 1973).

A földünkön a kálium a hetedik leggyakoribb elem. A Nap és más csillagok színképében is kimutatható. Fő ásványai a földpátok, így az ortoklász ($KAlSi_3O_8$), továbbá a kálium-nátrium-földpátog és a mikroklin. Gyakori a muszkovit, avagy káliumcsillám $KAl_2(AlSi_3O_8)(OH,F)_2$. A szilvin (KCl) kálisótelepeken fordul elő (*Náray-Szabó*, 1973).

2.2.1. Kálium a talajban

Hazánkban a Talajvédelmi Információs és Monitoring (TIM) rendszer adatai alapján készült vizsgálati eredmények gyakorisági eloszlását a 3. ábra mutatja be.



3. ábra: Talajok kálium tartalmának gyakorisági eloszlása Forrás: TIM (2021)

Figure 3.: Frequency distribution of soil K content

A TIM rendszer adatai alapján hazánk talajainak több, mint fele 200 mg kg^{-1}-nál kevesebb AL-oldható káliumot tartalmaz. A talajok 36,6 %-a tartalmaz 0-150 mg kg^{-1} káliumot, amely a legtöbb termőhely kategóriában gyengén ellátottnak minősül káliumellátottság szempontjából. *Kalocsai* és munkatársai szerint összességében termesztett növénytől és talajtípustól függetlenül a talajok 180-200 mg kg^{-1}-os AL-oldható K_2O-tartalma jónak ítélhető (*Kalocsai et al.*, 2006).

A MÉM-NAK által megállapított káliumellátottsági határértékeket a talaj AL-oldható káliumtartalmának tekintetében a 2. táblázat mutatja be.

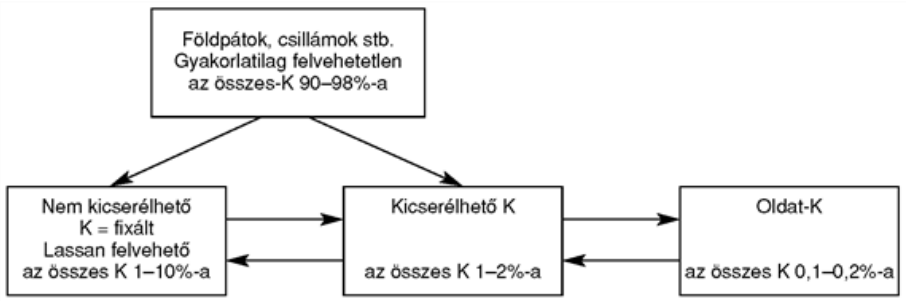
2. táblázat: A talaj AL-oldható káliumtartalmának határértékei a káliumellátottság megítéléséhez (*MÉM-NAK* in *Kalocsai et al*. 2006)

Table 2.: Limit values of AL-soluble potassium-content

Szántóföldi termőhely	Arany-féle kötöttség (K_A)	Al-K_2O %				
		Igen gyenge	Gyenge	Közepes	Jó	Igen jó
I. Csernozjom talajok	>42	100	101-160	161-240	241-350	351-550
	<42	80	81-130	131-200	201-300	301-500
II. Barna erdőtalajok	>38	90	91-140	141-210	211-300	301-500
	<38	60	61-100	101-160	161-250	251-450
III. Kötött réti és glejes erdőtalajok	>50	150	151-250	251-380	381-500	501-700
	<50	120	121-200	301-330	331-450	451-650
IV. Homok- és laza talajok	30-38	90	91-120	121-160	161-220	221-420
	<30	50	51-88	81-120	121-180	181-380
V. Szikes talajok	>50	200	201-280	281-400	401-550	551-750
	<50	150	151-230	231-330	331-450	451-650
VI. Sekély termőrétegű, vagy erősen erodált lejtős talajok	>42	120	121-160	161-220	221-300	301-500
	<42	80	81-120	121-180	181-250	251-450

A talaj **kálium készletét** elsősorban a talajképző kőzet, annak primer és szekunder agyagásványai határozzák meg. A K-gazdag földpátok és a csillámok (ortoklász, muszkovit, biotit) 8-10 % körüli káliumot tartalmaznak. A fontosabb K-megkötő agyagásványok közé tartozik az illit, vermikulit, klorit és montmorillonit csoport (*Kádár*, 1993).

Az összes K-készlet nagy része a növények számára nem felvehető formában van jelen. A kicserélhető kálium mennyisége a szervetlen talajokban csak néhány százalék. A talajoldat K-tartalma a kicserélhető frakció néhány százaléka, vagyis az összes K-készlet néhány tízezred részére tehető (4. ábra) (*Wiklander*, 1954 in *Kádár*, 1993).



4. ábra: A kálium formái a talajban (*Stefanovits et al*., 1999)

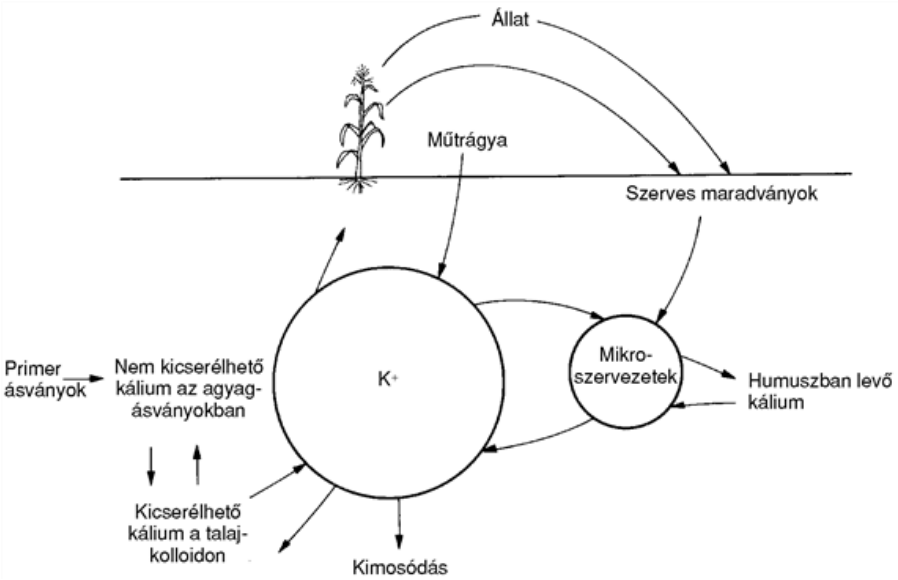
Figure 4.: Different K-forms in the soil

Az ásványi talajokban a kálium négy, különböző **formában** található:

- ionos formában a talajoldatban,
- ionos formában a kolloidokon adszorbeálva,
- fixált kálium,
- az ásványok kristályrácsaiban.

A növények számára csak az első két forma közvetlenül hozzáférhető, a másik kettő nem (*Sparks,* 1987).

A talaj összes káliumtartalma 0,2-3,3 %, a talajoldat káliumtartalma 1-100 mg L^{-1} között mozog. Csapadékkal évente 2-6 kg ha^{-1} K jut a talajba (5. ábra) (*Stefanovits et al., 1999*).



5. ábra: A kálium körforgalma a talajban (*Stefanovits et al.,* 1999)

Figure 5.: Cycle of potassium in the soil

Kálium a talajba hullópor által juthat, ami lehet természetes eredetű, vagy történhet környezetszennyezés következtében, elsősorban ipari területek és települések közelében. Növelheti a talaj káliumtartalmát továbbá istállótrágya, hígtrágya, legelő állatok trágyája, káliumműtrágya, vagy szennyvíz-öntözés. A kálium tartalmának csökkenése bekövetkezhet kilúgzás által (*Stefanovits,* 1992).

A kálium kimosódás a gyökérzónából függ a kálium-műtrágyázás mértékétől, a káliumfixálástól, a talajok káliumtelítettségétől és az átszivárgó víz mennyiségétől is. A kimosódás jelentős lehet agyagban szegény homoktalajok és művelés alatt álló felláptalajok esetében, mert a K-ionok csak gyengén kötődnek a szerves anyaghoz (*Stefanovits et al.*, 1999).

Oldhatóság szerint a talajok káliumtőkéje három nagy csoportra bontható:

- a rácskáliumra,
- az adszorbeált káliumra és
- a talajoldat káliumára.

Közöttük nincs éles határ, egymásba fokozatosan és folytonosan átalakulhatnak (*Stefanovits,* 1992).

A talaj **K-felvehetőségét** a talaj ásványösszetétele, az ásványok mállási foka, a szilárd fázisból talajoldatba történő oldódás és a kinetikai jellemzők határozzák meg. A káliummal nem trágyázott talaj K-állapota függ az anyakőzet minőségétől és a különböző mállási termékek hatásától is (*Pártay*, 1971).

A talajoldat káliumtartalma és a növények kálium felvétele függ a talaj mechanikai összetételétől, az agyagásványok minőségétől, a kicserélhető kationok arányától és a talaj genetikai típusát eldöntő tulajdonságoktól (*Sarkadi,* 1975).

2.2.2. Kálium a növényekben

A káliumot a növények egyértékű kationként (K^+) veszik fel gyökéren keresztül a talajból, **aktív mechanizmus** útján. A kálium egy rendkívül mozgékony elem, melyet elsősorban a vegetatív fejlődési szakaszban vesznek fel a növények (*Bergmann,* 1986; *Çalişkan* és *Çalişkan*, 2019).

A növények számára hozzáférhető kálium mennyiséget nagyban befolyásolja a kötöttség, az agyagásványok minősége, továbbá a szervesanyag-tartalom és a korábban kijuttatott műtrágyák (*Gourley,* 1999).

Egy adott vegetációs periódusban a növények által felhasznált K^+ legnagyobb része – gyakran azonos mértékben – a kicserélhető K^+-ból és az oldat-K^+-ból származik.

A kálium a legnagyobb mennyiségben előforduló tápelem a növényekben: a fiatal növények kálium koncentrációja 1-5 % közötti, de bizonyos esetekben elérheti 6-8 %-ot is (*Mengel*, 1976).

A kálium **felvétele** és szállítása aktív módon történik. Transzlokációja a hajtásokba és a merisztémaszövetekbe gyors. Jellemző a reutilizáció, amikor a kálium az idősebb növényi részekből a fiatalabb részekbe vándorol. A kálium felvételét szabályozza a gyökérzet kationcserélő képessége (*Mengel*, 1976). A kálium felvétele és szállítása szoros kapcsolatban van a növény anyagcseréjével. Amennyiben a gyökér környezetében nem áll rendelkezésre megfelelő mennyiségű oxigén, a kálium felvétele csökken. A káliumfelvétel és a légzés elektrontranszportja kapcsolatban van egymással (*Loch* és *Nosticzius*, 2004).

2.2.3. A kálium biológiai szerepe

A növény anyagcsere-folyamataiban a kálium számos specifikus **funkciót** lát el. Az enzimekre szerkezetstabilizáló és aktiváló hatást fejt ki, szerepe van a fehérjeszintézisben és a szénhidrátok képzésében. Elősegíti az energiagazdag foszfátok képződését. A jó káliumellátás fokozza a fotoszintetikus aktivitást. Kedvező hatást gyakorol a növények vízháztartására, fokozza a növények fagytűrő képességét.

A kálium nem épül be a növények szerves vegyületeibe. A plazmafehérjékhez lazán kötve és részben szabad ionok formájában van

jelen a sejtnedvben, így fejti ki szabályozó hatását (*Loch* és *Nosticzius,* 2004).

Tisdale és *Nelson* (1966) szerint a kálium a következő életfolyamatokhoz nélkülözhetetlen:

- Szénhidrátok anyagcseréje, ill. a keményítő képződése, lebontása és vándorlása.
- N-forgalom és a fehérjék szintézise.
- Esszenciális ásványi elemek felvételének szabályozása.
- Esszenciális szerves savak semlegesítése.
- Enzimek aktiválása.
- Merisztéma szövetek növekedése.
- Levelek légzőnyílásának és a sejtek vízviszonyainak szabályozása.

A kálium-ion több, mint 50 enzim esetében tölt be enzimaktivátor szerepet (*Bhandal* és *Malik,* 1988). Enzimkatalizáló szerepe miatt kimutatható az energiaigényes N-felvételben és az ATP-szintézisben is. Befolyásolja a fehérjeképzést a nitrátreduktáz szintézisére hatva. Kálium hiány esetén erősödik a növényi légzés és az energiaveszteség (*Bennett,* 1993).

A sejtnedvekben oldott K^+-ionok, a többi oldott anyaggal együtt határozzák meg a sejtállomány ozmotikus nyomását. A jó káliumellátás kedvező a növények vízháztartása szempontjából, mivel csökkenti a transzspirációt és fokozza a vízfelvételt (*Loch* és *Nosticzius,* 2004). A kálium-hiány negatívan befolyásolja a fotoszintézist és a transzspirációt (*Degl'Innocenti et al.,* 2009; *Kanai et al*., 2011). A kálium serkenti a NO^3 felvételét és transzportját a növényben (*Blevins et al.,* 1978).

A növények normális növekedéséhez a szövetek magas K-koncentrációja szükséges. A kálium felvétele csökkenti a sejt és a sejtközötti járatok közötti elektropotenciális gradienst, depolarizáló hatása pedig megnöveli az energiahasznosulást a kloropasztiszokban és a mitokondriumban. A káliummal jól ellátott növények magasabb energiaszinttel rendelkeznek, melynek hatása megnyilvánul az intenzívebb anyagcserében és következményeképpen a fokozottabb gomba, rovarkár, fagy és szárazság rezisztenciában (*Mengel,* 1976; *Amberger,* 1979; *Bergmann,* 1979 in *Kádár,* 1993)

A kálium **hiánya** eleinte nem okoz látható elváltozásokat: a növekedési ráta először csökken, majd megáll. Amennyiben az elem hiánya tartósan fennál, egyre több és súlyosabb tünet jelentkezhet. Az elem hiánya eleinte a leveleken nekrózis, vagy klorózis formájában, elsősorban az idősebb leveleken. Súlyos kálium hiány esetében a levelek elszáradnak és elhalnak alulról felfelé haladva, majd végső esetben a növény pusztulása is bekövetkezhet (*Mengel* és *Kirkby,* 1987).

Növényekben a káliumhiány gyakori tünetei lehetnek a levélszéli szövetek barnulása, csavarodása, a levélerek közti sárgulás, valamint a klorózis (6. ábra), ami a klorofil degradációhoz köthető (*Xiao-Lei et al.*, 2012).

6. ábra: Kálium-hiány jellegzetes tünete a levélszélek klorózisa, nekrózisa Forrás: *Url*[4]

Figure 6.: Chlorotic leaf margins are one of the specific symptoms of potassium deficiency

A káliumhiány tünetei gyakran elsőként az idősebb leveleken jelennek meg (*Fageria et al.,* 2001). Több kutató is beszámolt már a levélfelület csökkenésről kálium-hiány következtében (*Zhao et al.*, 2001; *Degl'Innocenti et al*., 2009).

2.2.4. Kálium a kukoricában

A kálium mozgékony elem a kukoricában is. Hiány fellépése esetén a kálium az idősebb levelekből a fiatalabb levelekbe transzlokálódik. A kálium hiány első tüneteként az alsó levélszélek sárgulása, klorózisa jelenik meg, majd innen halad tovább a levéllemez külső szélén. A levél belső része a főér közelében még zöld marad egy ideig, azonban a külső széleken égéshez hasonló perzseléses tünetek jelennek meg. Súlyos kálium

hiány esetén az egész levéllemezen felléphetnek a kálium jellegzetes tünetei. A levél barnás színű elváltozása után a növény már nem tudja elhagyni a kálium hiány tüneteit akkor sem, ha később a kálium pótlása megtörténik. Ennek oka a kálium hánnyal járó visszafordíthatatlan elöregedés. A kukorica esetében is kialakulhat úgynevezett látens K-hiány, mikor nem láthatóak a hiány-tünetek. Ez a „rejtett éhség” bár vizuális tünetek nélkül jár, a termés jelentős csökkenését idézheti elő, melyet kálium utánpótlással lehet orvosolni. A „rejtett éhség” levélanalízis segítségével mutatható ki (*Munson et al.,* 1985).

2.2.5. Kálium-utánpótlás

Tiwari és munkatársai burgonya növényen végeztek szántóföldi kísérleteket cink és kálium műtrágya használatával (*Tiwari et al.,* 1982). A növekvő cink és kálium adagok hatására szignifikánsan növekedett a növény szárazanyag-tartalma, valamint a vizsgált elemek koncentrációja és felvétele is.

Filius (1994) szerint a túlzott káliumadagolás következtében megnövekvő talajsótartalom előbb a gyökerek, majd az egész növény lankadását, száradását idézi elő.

Alderfasi és *Refay* (2010) Szaúd-Arábiában beállított kísérletükben 3 dózisban (100, 200, 300 kg ha^{-1}) vizsgálták a kálium hatását a búza paramétereire. Eredményeik alapján a 200 kg ha^{-1}-os kálium szint növelte legjobban a búza növekedési paramétereit; az ennél nagyobb kálium adagoknak nem volt szignifikáns hatása.

Arif és munkatársai szántóföldi kísérletükben búzán vizsgálták a cink és kálium alaptrágyzás hatását (*Arif et al.,* 2017). Megállapították, hogy a

4-4 különböző cink (0; 5; 10; 15 kg ha^{-1}) és kálium (0; 125; 250; 375 kg ha^{-1}) dózis közül a legmagasabb 375 kg ha^{-1} kálium és a 15 kg ha^{-1} cink dózis szignifikánsan növelte a búza növekedési és termés paramétereit.

Alam és munkatársai búzában beállított kísérletükben 5 dózisban vizsgálták a kálium búzára gyakorolt hatását (*Alam et al.,* 2009). A legnagyobb hozamot 36 kg ha^{-1} kálium dózis kijuttatása mellett érték el.

Kálium-utánpótlás a kukoricában

Ali és munkatársai kukorica növényen végzett szántóföldi kísérletükben a kálium lombtrágyakénti, valamint talajtrágyakénti kijuttatását hasonlították össze (*Ali et al.,* 2016). Megállapították, hogy a kálium lombtrágyakénti kijuttatása jobban növelte a kukorica mennyiségi és minőségi paramétereit, mint a talajon keresztül történő utánpótlása.

Akram és munkatársai szántóföldi kísérletükben két kukorica hibriden vizsgálták a káliummal történő kezelések hatását (*Akram et al.,* 2010). Eredményeik alapján a növekvő kálium adagok hatására nőtt a kukorica hozama.

2.3. A cink

A cink egyike a legnagyobb mennyiségben használt fémeknek. Ötvözetei közül a sárgarezet már a történelem előtti időkben ismerték, magát a cinket azonban csak 1300 körül állították elő Európában. Kissé kékes árnyalatú, fémfényű elem. Közönséges hőmérsékleten rideg, 150-200 °C közt kovácsolható. Jól vezeti az elektromosságot és a hőt. Szilárdsága csekély. Száraz levegőn nem oxidálódik, magas hőmérsékleten kékeszöld lánggal ég el cink-oxiddá. A híg savak oldják; a tiszta cink lassan oldódik, a szennyeződések növelik a reakciósebességet. Mindig két vegyértékű, azonban vannak atomrácsos vegyületei is: oxidja, szulfidja, nitridje, stb.

A cink a periódusos rendszer 30. eleme (jele: Zn). Relatív atomtömege 65,38; fajsúlya 7,13 g/ml; olvadáspontja 419 °C; forráspontja 906 °C.

Használják tetőfedésre, esőcsatornák, párkányok, vödrök készítésére. Szárazelemek gyártásához tiszta cinkre van szükség. A cink védi a vas felületét, mert maga megy az oldatba a vas helyett. A cinkport szürke festékként is használják (*Náray-Szabó*, 1973).

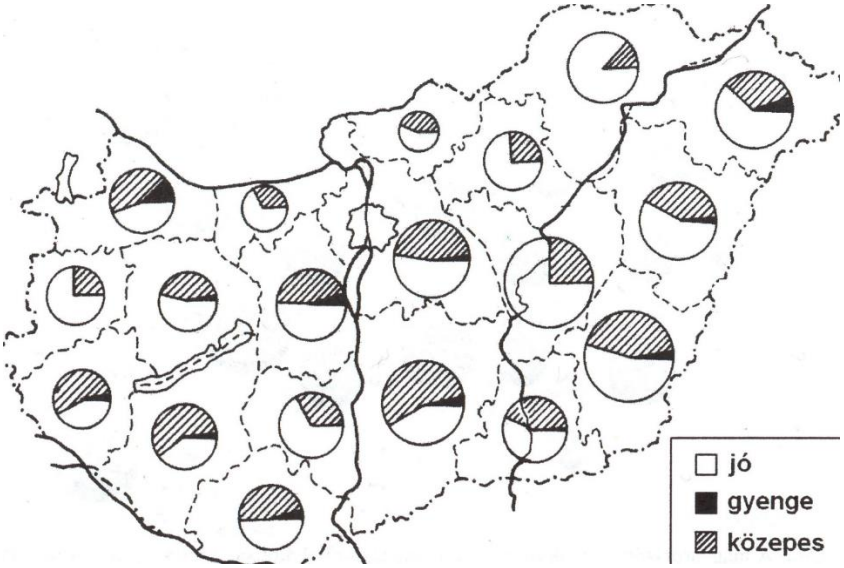
2.3.1. Cink a talajban

A világ gabonatermesztésre alkalmas talajainak közel 50 %-a minősül potenciálisan cinkhiányosnak (Cakmak, 2012). 1972-ben az Amerikai Egyesült Államokban a cink hiány volt az egyik leggyakoribb mikroelem hiány (Lindsay, 1972). A világ 190 pontjáról vett talajmintából készített felmérés alapján 1990-ben 49 % cink hiányosnak bizonyult (Sillanpää, 1990).

Kádár (2005) szerint a magyarországi talajok 46 %-a cinkkel gyengén ellátott.

A FAO-vizsgálatok alapján (TIM rendszer) a hazai talajok mikroelemekben gyengén ellátottak: a KCl+EDTA kivonószerrel meghatározott vizsgálatok alapján hazánk **cinkellátottságát** vizsgálva a hiányos területek 18 %-ban kevesebb, mint 1 mg/kg, 47 %-ban pedig 1-2,5 mg/kg cinket tartalmaznak. Összességében az országosan vizsgált talajok 46 %-ban cinkben gyengén ellátottnak minősül (*Péntek és Fazekas,* 2016).

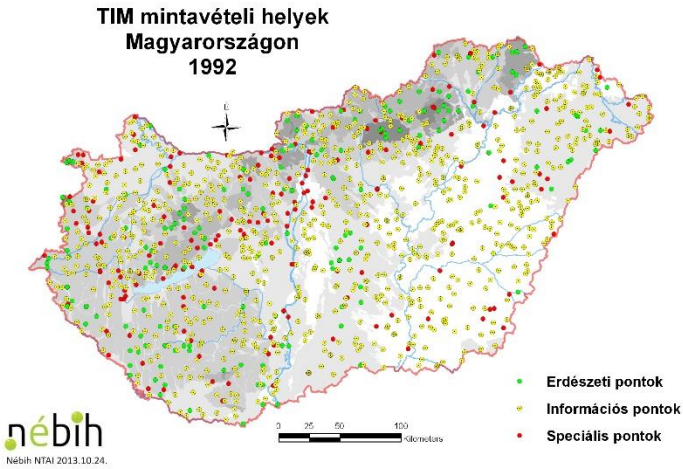
Hazánk talajainak cinkellátottságát megyékre lebontva a 7. ábra mutatja be. Láthatjuk, hogy inkább az ország keleti/észak-keleti része kedvező cink-ellátottságú, míg a legkevésbé ellátott területek az ország dél-nyugati részén, valamint az észak-nyugati-dél-keleti sáv mentén helyezkednek el. A cinkellátottság területi megoszlása főként a talajok pH-tartalmával és mészellátottságával magyarázható (*Tóth et al.*, 2015). Különös figyelmet érdemel a Győr-Moson-Sopron megyei régió, ahol a legnagyobb a gyenge cink ellátottságú talajok aránya.



7. ábra: Hazánk talajainak cinkellátottsága Forrás: *Kalocsai* (2006)

Figure 7.: Zinc supply in hungarian soil

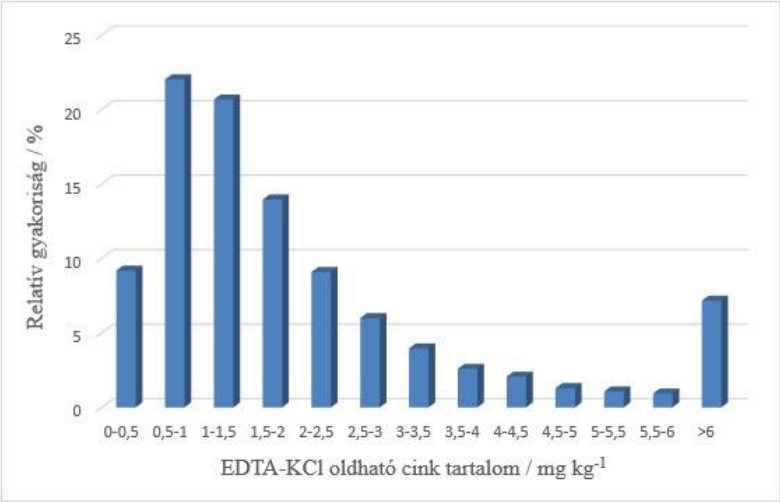
A Talajvédelmi Információs és Monitoring (TIM) rendszert 1991-ben dolgozták ki, első mintavételre 1992-ben került sor, és azóta minden évben vesznek mintát a talajvédelmi felügyelők. A rendszer működtetését jogszabály [2007. évi CXXIX. törvény] írja elő a talajvédelmi hatóság számára a talajok minőségi változásainak, környezeti állapotának folyamatos figyelemmel kísérése céljából. Magyarországon 1236 mintavételi pont került kijelölésre, mely 865 országos törzshálózat pontot, 183 erdészeti pontot és 188 speciális mérőhelyet foglal magába. A rendszer mérési pontjait a 8. ábra mutatja.



8. ábra: TIM mintavételi pontok Magyarországon Forrás: *TIM* (2021)

Figure 8.: TIM sampling points in Hungary

A vizsgálati eredmények gyakorlati eloszlását a 9. ábra mutatja be. A rendszer adatai alapján hazánk talajainak több, mint fele 1,5 mg kg^{-1}-nál kevesebb EDTA-KCl oldható cinket tartalmaz.



9. ábra: Talajok cinktartalmának gyakorisági eloszlása Forrás: TIM (2021)

Figure 9.: Frequency distribution of soil Zn content

A cink **talajbeli mennyisége** 0,0001 %-0,03 % (*Stefanovits*, 1975). A magyarországi talajok összes cinktartalmát tekintve a homoktalajokban kevesebb (30 mg kg^{-1}), az erdőtalajokban közepes (70−115 mg kg^{-1}), míg a csernozjom talajokban több (120−150 mg kg^{-1}) cink található (*Mengel*, 1976). A talajok átlagos cinktartalma 50 mg kg^{-1} (*Pais*, 1980). A talaj cinktartalmát a talajképző kőzet ásványainak cinktartalma határozza meg. A cink az agyagásványok kristályrácsaiban fordul elő, ezen kívül pedig Zn^{2+}, $ZnOH^{+}$ és $ZnCl^{+}$ alakban kötődik a talaj ásványi részeihez (*Mengel*, 1976). A cink az agyagásványok és a kalcium-karbonát felületén kicsapódik. Amennyiben a talaj sok szénsavas meszet és agyagot tartalmaz, a cink mozgékonysága jelentősen csökken (*Aubert* és *Pinta*, 1977).

A cink a talajban **kétértékű formában** található, koncentrációja a talajoldatban kevés, komplexképzési hajlama hasonló a rézéhez. Előfordul a biotit, az augit és a különböző csillámok kristályrácsaiban is. Az így adszorbeált Zn^{2+}-ionok csak részben cserélhetők ki. Cinksók előfordulhatnak továbbá a talajban, melyek oldhatósága változó. A cink mozgékonysága a talajban csekély, azonban a savanyúság fokozódásával növekszik. A kolloidokban gazdag talajban általában több a cink, mint a homoktalajokban (*Loch* és *Nosticzius*, 2004).

A szfalerit (ZnS) a legfontosabb cink-ásvány. A cinkit (ZnO) gyakran mangántartalmú, ekkor vörös színű. Más cinkásványok a smithsonit ($ZnCO_3$) és a hermimorfit [$Zn_3SiO_7 \cdot Zn(OH)_2 \cdot H_2O$], valamint a willemit ($Zn_2SiO_4$) (*Náray-Szabó*, 1973). Az elem kis mennyiségben, 0,001−0,03 %-ban fordul elő a talajban, a különböző agyagásványok, mint a biotit $K(Mg,Fe)_3(AlSi_3O_{10})(OH)_2$, az aguit $CaMgSi_2O_6$, az amfibol $CaMg_3Si_4O_{12}$ kristályrácsaiban, illetve az alumínium-, és vas-oxidokban

(*Mauritz és Vendl,* 1942; *Kirkby*, 2005 in *Péntek és Fazekas*, 2016). A legtöbb egyszerű vegyület, például a ZnO (cinkit), a $ZnCO_3$ (smithsonit) stb., amelyek a talajban lévő anionokkal képződnek, túlságosan oldékonyak ahhoz, hogy a talajban megmaradjanak. Reduktív körülmények között, ahol H_2S képződik, ZnS (szhalerit) képződhet, de normál oxidációs körülmények között az S^{2-} túl alacsony ahhoz, hogy ez az ásvány stabil legyen (*Lindsay*, 1972).

Sarret és munkatársai (*Sarret et al.*, 2004) a talaj cink-tartalmának megoszlását vizsgálták Franciaországban, egy cink kohó közelében. Eredményeik alapján a talaj teljes Zn-tartalma a következőképp oszlik meg: 15 % elsődleges ásványt alkot (franklinit, szferolit, willemit), 45 % Zn-szervesanyag komplexhez kötődik, 20 % külső szférához kötődik, 10 % cinket elnyelő foszfátban van jelen, 10 % pedig Vas(III)-hidroxidhoz kötődik.

Viets (1962) szerint a mikroelemek a talajban 5 különböző formában lehetnek jelen: vízoldható; kicserélhető; adszorbeált, komplex vagy kelát formában; másodlagos ásványokba zárva és oldhatatlan fém-oxiddal kötésben; elsődlegesen ásványok rácsaiba zárva.

A cink **felvehetőségét** erősen befolyásolja a pH: ha a pH 6 felett van, a cink növények általi felvehetősége alacsony. A cink lúgos talajokon történő felvehetőségének csökkenése a cink alacsony oldékonyságával magyarázható (*Hafeez et al.*, 2013). A különböző formában levő cinket a növények különböző hajlamossággal képesek felvenni. Az talajban jelen levő formák arányát nagyban befolyásolja a talaj pH-tartalma, a cink és más elemek (elsősorban vas és mangán) koncentrációja (*Mandal et al.*, 1993).

A cink **felvételi** és **mozgékonysági** optimuma 5,8-6,5 közötti pH tartományban van (*Füleky*, 1999). Az elem felvehetőségét, mobilitását nagyban befolyásolja az elem ionformája, oxidációs foka, kémiai természete, közeg tulajdonsága, a pH, redoxviszonyok, kelátképzők stb.

A fő talajtényezők, amelyek befolyásolják a növény Zn-**hozzáférhetőségét** az alacsony teljes Zn-tartalom, a magas pH, a magas CaCO3 és szervesanyag-tartalom, valamint a Na, Ca, Mg, hidrogén-karbonát és foszfát magas koncentrációja a talajoldatban vagy labilis formában (*Alloway*, 2009).

Bhupinder et al. (2005) vizsgálatai alapján a laboratóriumban alkalmazott kivonási módszertől függően cinkhiányos talajról 0,6-2,0 $mgkg^{-1}$ cinktartalom esetén van szó. A növények számára hozzáférhető és felvehető cink formák ezeknél az értékeknél jóval alacsonyabb, és több tényező befolyása alatt áll (pl.: a talaj kémhatása, mésztartalma, a foszfor tartalma) (*Kalocsai et al.*, 2004).

Cink-hiány figyelhető meg hideg és nedves talaj esetében is, ha a hőmérséklet alacsony. Az ilyen hiánytünetek gyakran súlyosak hideg, nedves tavaszokon, azonban eltűnnek a nyár elején. Az alacsony hőmérséklet hatására csökken a szervesanyagok mikrobiológiai lebomlása, ami amúgy cinket szabadítana fel a növény számára. A magas hőmérséklet serkenti a talajban található cink talajkolloidból a növényi gyökerekbe történő diffúzióját és növeli a szerves anyagból történő mineralizációját (*Marschner*, 1995).

Az alacsony szervesanyag-tartalmú talajokon sűrűbben fordulhatnak elő Zn-hiány tünetek, hiszen a növények számára elérhető cink-tartalom növekszik a növekvő szerves-anyag tartalommal. A Ca, Mg és K kationok gátolják a növények Zn-felvételét.

A legtöbb mediterrán klímájú országban előfordul cink hiány, elsősorban lúgos, meszes talajokon. Közép-Anatoliában (Törökország), ahol a talajok 65 %-a magas $CaCO_3$ (> 20 %) tartalmú, és a pH 7,5 és 8,1 között van, a növények által felvehető Zn mennyisége rendkívül alacsony (0,23 mg kg^{-1} DTPA-Zn), pedig a talaj teljes Zn tartalma relatív magas (39,6-62,4 mg kg^{-1}). A cink alacsony felvehetősége ezeken a talajokon azzal magyarázható, hogy a $CaCO_3$ erősen megköti a Zn-t (*Alloway* 2008, in *Noulas et al.,* 2018).

2.3.2. Cink biológiai szerepe és előfordulása a növényekben

A cink **biológiai szerepére** először *Raulin* mutatott rá 1869-ben. Megfigyelte, hogy a fekete penész (*Aspergillus Niger*) fejlődése cink-hiány esetén megállt. A cink esszenciális mivoltát kukoricában először *Mazé* bizonyította 1915-ben, nem sokkal később, 1926-ban pedig *Sommer* és *Lipman* mutatta ki árpában és napraforgóban. Annak ellenére, hogy a cink fontosságát már a 20. század elején kutatták, a cink konkrét szerepét a növényekben csak az 1960-as években sikerült kimutatni (*Brown et al,,* 1993).

A cink szerepe elsősorban enzimaktivátor funkciójában és a metaloenzim komplexek kialakításában mutatkozik meg. Több mint 200 enzimben kimutattak már a cink szerepét, és mind a hat enzimcsoport (oxidoreduktázok, transzferázok, hidrolázok, liázok, izomerázok, ligázok) valamelyik enzimjében fellelhető (*Rashid* et al., 1994 in *Péntek és Fazekas,* 2016). Aktívan részt vesz a fehérje-anyagcserében és a növények növekedésszabályozásában *(Kalocsai et al.,* 2005). A fehérjeszintézisen túl a szénhidrát-anyagcsere egyes enzimjeinek működéséhez is

elengedhetetlen (*Láng*, 2002). A cink specifikus enzim-aktivátorként különböző dehidratázok és peptidázok működésében tölt be fontos szerepet. A peptidázok aktiválása révén a nitrogén-anyagcserére is hatással van (*Alloway*, 2008).

A mangánnal kölcsönhatásban az auxintermelés serkentése révén a növényi növekedés szabályzásában van nélkülözhetetlen szerepe. A cink katalizálja a B-indolil-ecetsav prekurzorát, a triptofán szintézisét, így serkenti az auxin képződését. A két elem így együttesen szabályozza a növények növekedését: a cink közvetve az auxin képződését segíti elő, a mangán pedig gátolja az auxin felesleg kialakulását (*Várallyay et al.*, 2009).

A növények a cinket Zn^{2+}-ion vagy természetes, illetve mesterséges komplex vegyület formájában **veszik fel**. A normál koncentráció 25 és 150 mg kg^{-1} között van, hiánytünetek a levelek szárazanyagra vonatkoztatott 20 mg kg^{-1} alatti, toxikus tünetek pedig 400 mg kg^{-1} feletti tartalma esetén jelentkeznek (*Füleky,* 1999). Ha nem áll elegendő cink rendelkezésre, akkor a növény fejlődése lelassul, a szervei károsodnak és egyértelmű hiánytünetek lépnek fel (*Kramer* és *Clemens*, 2005). A **cink-hiány** tünetei a következők (*Scaife* és *Turner*, 1983; *Marchner*, 1995; *Sharma*, 2006 in *Broadley et al.* 2007): érközi klorózis, elsősorban fiatal leveleken; vöröses-barnás vagy bronz minták megjelenése a leveleken; aprólevelűség; a fellépő auxinhiány végett törpe szártagúság és rozettásodás; visszafogott növekedés, lerövidült ízközök; illetve súlyos cink-hiány esetében gyökércsúcs-elhalás („dieback”).

A cink hiány fő okai a növényekben legtöbbször a talajhoz köthetőek: alacsony cink-hozzáférés (magas pH, meszes vagy savas talajokon fordul elő), alacsony összes cink tartalom (homokos, szódás

vagy meszes talajokon fordul elő), alacsony szervesanyag tartalom, a gyökerek gátolt felvétele magas talaj vízszint vagy klimatikus faktorok hatására (*Alloway*, 2008; *Alloway*, 2009).

A cink hatásának néhány megnyilvánulási formája:

- Cink hiány esetén a felső levelek érközi klorózisa, a levéllemez teljes kifehéredése tapasztalható. A levelek aprók maradnak, az auxinhiány miatt rozettásodás, torzulás, törpe szártagúság figyelhető meg.
- A kukorica növekedése visszafogottá válik cink-hiány esetén. Az állomány nem éri el a rá jellemző növénymagasságot. Az idősebb leveleken mindkét oldalon fehéres-halványsárgás klorotikus csíkok indulnak.
- Bár a cink-felesleg hazánkban csak ritkán fordul elő, tünetei hasonlóak a vas- és mangánhiányhoz. A növények a növekedésben visszamaradnak, majd elhalnak. Az árpa különösen érzékeny a cink többletre.
- A cink-hiány néhány jellegzetes előfordulási formáját a 10. ábra mutatja be.

10. ábra: Cink-hiány jellegzetes tünetei Forrás: *Url*[3]

Figure 10.: Classical zinc deficient symptoms

A gabonafélék kevésbé, a burgonya, paradicsom, cukorrépa, lucerna közepesen, a kukorica, len, bab, komló pedig kimondottan érzékeny a cink hiányra. *(Kalocsai et al*., 2006).

A fiatal levelekben a cink gyorsabban transzportálódik, mint az idősebb levelekben. A fiatal levelek extraradikális cinkfelvétele jobb, mint az idősebb leveleké (*Wallihan* és *Heyman-Herschberg,* 1956).

A cink és a foszfor tápelemek **interakciójával** már számos kutatás foglalkozott *(Lu et al.* 1998, *Singh et al.,* 1988, *Gianquinto et al.,* 2000). Egyes vizsgálati eredmények arra utalnak, hogy a foszfát befolyásolja a növényi szövetekben a cink fiziológiai aktivitását, így a cink és a foszfát között antagonista hatás feltételezhető (*Füleky,* 1999).

A magas vagy túlzott foszfor-ellátottság cink-hiányt képes létrehozni, különösen meszes talajokon, ahol amúgy is korlátozottabb a Zn

oldékonysága (*Csathó et al.*, 2019). A foszforellátás növelése sokszor cink-hiányhoz hasonló tüneteket hozhat létre a különböző talaj- és növényfaktorok megváltoztatásával (*Robson* és *Pitman*, 1983). *Ragab* (1980) kukoricán végzett kísérletei alapján megállapította, hogy P-kezelések hatására csökkent a hajtások Zn-koncentrációja. *Elek* és *Kádár* (2003) szabadföldi, őszi búzán végzett kísérleteik eredményeképp arra a következtetésre jutottak, hogy nagy adagú P-műtrágyázás akár 40 %-kal is csökkentheti a növényi részek cinktartalmát. Hasonló antagonizmus áll fenn a vas és a cink között (*Zare et al*., 2009). A talajban lévő cinktöbblet zavarja a vas felvételét, azonban a vastöbblet nem okoz gondot a cink felvételben (*Lee et al*., 1969).

Sager (2007) kutatásai szerint a szerves trágya cink-tartalma 164-1156 mg kg^{-1} között változik szárazanyagra vonatkoztatva, a haszonállat fajától és a takarmány elemtartalmától függően. A szervestrágyázás továbbá közép- és hosszútávon is rendelkezésre állítja a mikroelemeket a növények számára.

2.3.3. Cink-utánpótlás

A cink pótlása két módon lehetséges: **talajon** és **lombozaton** keresztül. Míg a talajon keresztüli tápanyagpótlást főként a talajvizsgálati eredmények határozzák meg, addig a lombtrágyázás szükségességére sokszor szakmai szemrevételezéskor derül fény a hiánytünetek által.

A napjainkban is használt cink-tartalmű műtrágyát, illetve azok képleteit, valamint cink-tartalmukat a 3. táblázat mutatja be.

3. táblázat: Gyakori cink műtrágyák (*Mortvedt*, 1993)

Table 3.: Commonly used Zn sources

Zn formája	Képlet	Cinktartalom (%)
Cink-szulfát-monohidrát	$ZnSO_4 \cdot H_2O$	36
Cink-szulfát-heptahidrát	$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$	22
Cink-oxiszulfát	$xZnSO_4 \cdot xZnO$	20-50
Cink-oxid	ZnO	50-80
Cink-karbonát	$ZnCO_3$	50-56
Cink-klorid	$ZnCl_2$	50
Cink-nitrát	$Zn(NO_3)_2$	23
Kelátok	$Na_2ZnEDTA$ $NaZnHEDTA$ $NaZnNTA$ $Zn_3(C_6H_5O_7)_2.2H_2O$	8-14 6-10 9-13 10-18
Természetes organikus komplexek	-	3-12

A **talajon keresztül** végzett cinkpótlás általános adagjai 3-10 kg ha^{-1} nagyságúak, súlyos cinkhiány esetében azonban 30-50 kg ha^{-1} cink hatóanyag kijuttatása is indokolt lehet (*Kalocsai et al.,* 2005). A tápelem pótlására háromféle vegyületkört alkalmazhatunk:

- szervetlen cink sókat
- cink kelátokat
- természetes szerves komplexeket (*Péntek és Fazekas,* 2016).

A szervetlen cinktartalmú vegyületek közé tartozik a ZnO, $ZnCO_3$, $ZnSO_4$, $Zn(NO_3)_2$ and $ZnCl_2$. Valószínűleg a $ZnSO_4$ a legelterjedtebb cinktartalmú műtrágya, melyet kristályos és granulált formában is árusítanak. A ZnO-t finom por és granulált alakban is lehet kapni, azonban a granulált formában kapható ZnO nehezen oldódik vízben (*Mortvedt*, 1993).

ZnEDTA a legelterjedtebben használt cink-kelát. Stabilitási állandója 17.5, ami jóval magasabb, mint a CaEDTA állandója (11.6) (*Norvell*, 1991).

A talajon keresztül adagolt cinktrágyákat az őszi alaptrágyázással egyidőben vagy vetéskor, startertrágyaként érdemes a talajba juttatni. Utóhatásuk néhány (2-3) évre tehető (*Kalocsai et al.*, 2004).

A legtöbb cink-tartalmú műtrágyának hosszan tartó hatása van a talajokban. Beszámoltak arról, hogy 5 évvel a Zn kijuttatása után is kimutatható a műtrágya hatása. A cink évenkénti utánpótlása növelheti a talaj Zn-tartalmát (*Mortvedt*, 1993).

Aboyeji és munkatársai földimogyorón vizsgálták a cink ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) és foszfor-tartalmú műtrágyák interakciójának hatását (*Aboyeji et al.*, 2020). Eredményeik alapján 8 kg ha^{-1} Zn és 120 kg ha^{-1} P kijuttatásának szinergista hatása volt a növény növekedési paramétereire, azonban antagonista hatása volt a hozamra.

Khan és munkatársai cserépedényes kísérletükben talajon keresztül kijuttatott cink tartalmú műtrágya hatását vizsgálták rizs növényen (*Khan et al.*, 2007). Megállapították, hogy a növekvő cink dózisok hatására szignifikánsan befolyásolták a növény hozamát. A rizs szempontjából optimális dózist 10 kg ha^{-1} Zn dózisban határozták meg.

Cink talajtrágyázás kukorica növényen

Az országos műtrágyázási tartamkísérletek (OMT) 9 különböző termőhelyen (köztük Mosonmagyaróváron) értékelik az egységes NPK tápanyagszintek kombinációval beállított országos kísérletek eredményeit többek közt kukorica tesztnövényen. Az 1967-2001 között beállított kísérletekben a varianciaanalízis nem mutatott ki következetes különbséget a foszforral különböző mértékben trágyázott, illetve a káliummal trágyázott és nem trágyázott kezelések között sem (a talaj Zn-tartalmának tekintetében). Feltételezhető, hogy a kezelésenként viszonylag széles intervallumban változó Zn-tartalom különbségek nem önmagában a műtrágyázás és meszezés, hanem e tényezők és az adott talajfoltra jellemző tulajdonságegyüttes hatására alakulhattak ki. A kísérletek egy részében Zn-tartalom növekedés volt kimutatható (statisztikailag), míg a kísérletek másik csoportjában a pH és a Zn-tartalom között bizonyított összefüggés nem állapítható meg. Az AL-oldható K_2O tartalom és a KCl+EDTA-oldható Zn-tartalom közötti összefügés-vizsgálat nem erősítette meg, hogy a K és Zn ioncsere az adott körülmények között hozzájárulhatott a Zn kilúgzásához, ugyanis ilyen összefüggés egyik kísérleti helyen sem volt kimutatható (*Debreczeni* és *Németh*, 2009).

Eteng és munkatársai Nigériában kukorica növényen beállított kísérletükben (*Eteng et al.,* 2014) azt tapasztalták, hogy a talajba történő cink utánpótlás szignifikánsan növelte a kukorica szárazanyag-tartalmát és szemtermését. A maximum szemtermést 8 kg ha^{-1} Zn adag esetén kapták.

Liu és munkatársai Kínában vizsgálták a cinkkel történő trágyázás hatását kukorica növényen (*Liu et al.,* 2016). Kísérletükben a 30 kg ha^{-1}

$ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ cink dózis hatására nőtt a levelek klorofill tartalma, hatékonyabb lett a növény fotoszintézise és nőtt a növény hozama.

Shaver és munkatársai különböző vízoldhatóságú cink műtrágya hatékonyságát hasonlították össze kukorica növényen egy üvegházas kísérlet során (*Shaver et al.,* 2007). Eredményeik alapján a közepes és alacsony vízoldhatóságú cink tartalmú műtrágyák nem fedezték a növény cink-igényét.

Liu és munkatársai talaj útján történő cink utánpótlás hatását vizsgálták kukorica növényen, meszes, hordalékos talajon (*Liu et al.,* 2020). Megállapították, hogy a kezelések hatására 4,2-16,7 %-al nőtt a kukorica hozama, elsősorban a több kukoricaszemnek köszönhetően. Szintén nőtt a pollenek életképessége címerhányás idején.

Orabi és munkatársai cink és foszfor talajtrágyázással 20 %-kal növelte a kukorica szemtermését meszes talajon (*Orabi et al.,* 1981).

Shukla és *Mukhi* (1979) üvegházas kísérletükben kukorica növényen azt tapasztalták, hogy a cinkkel ($ZnSO_4 \cdot 7H_2O$) történő tápanyagpótlás csökkentette a kálium és a nátrium kezelések hatásosságát.

A **lombtrágyázás** jelentőségét az adja, hogy a gyökéren keresztüli tápanyagfelvétel mellett a fiatal növényi részek, levelek tápelem-felvétele is jelentős. A növény felületére juttatott tápanyagok közvetlenül és rövid időn belül felszívódnak, hatásuk nem csapadékfüggő. Olyan esetekben javasolt az alkalmazása, amikor gyors beavatkozásra van szükség az állomány minőség megőrzésének érdekében. A növények levélzetén keresztül történő tápanyagpótlása hatékony, viszont csak kis mennyiségre korlátozódik (*Kalocsai,* 2010).

Cink tartalmú levéltrágyázással *Zong* és munkatársai indiai köles szemtermését és beltartalmi tulajdonságait növelték alacsony Zn-tartalmú

talajon (*Zong et al.,* 2011). Hasonló eredményt értek el Peck és munkatársai 2008-ban, akik a búza fehérje-összetételét befolyásolták cink levéltrágyázással 6 különböző helyszínen (*Peck et al.*. 2008).

Safa és munkatársai kálium-nitrát (KNO_3) és cink-szulfát ($ZnSO_4$) levéltrágyázás hatását vizsgálták gránátalma növényen (*Safa et al.*, 2020). KNO_3 1 %-os, $ZnSO_4$ 0,5 %-os koncentrációjával érték el a legnagyobb növekedés a növény kvalitatív és kvantitatív tulajdonságaiban.

Hazánkban *Rózsa* és munkatársai őszi búzán vizsgálta bázisos cink-karbonát komplex hatását mészlepedékes csernozjom talajon (*Rózsa et al.*, 2011). Kísérleteik bizonyították, hogy a cink mind az őszi búza hozamát, mind a minőségi paramétereit pozitívan befolyásolja. *Schmidt* és munkatársai 3 éves (1998-2000) kísérletet folytattak rézben és cinkben hiányos meszes öntéstalajokon, ahol réz és cink amin-komplexeit használták különböző dózisokban (0,1; 0,3; 0,5; 1; 2) UAN oldattal együtt kijuttatva (*Schmidt et al.*, 2003). A cink-trágyázást tekintve a legnagyobb hozam növekedést a 0,3 kg ha^{-1}-os cink adaggal kapták. *Schmidt* és munkatársai egy későbbi burgonyán végzett kísérletükben cink-amin komplex hatóanyag hatására a burgonya hozama, szárazanyag-tartalma és keményítőtartalma szignifikáns emelkedést eredményezett a cinkben és káliumban hiányos Duna öntéstalajon *(Schmidt et al.,* 2008).

Giczi és munkatársai burgonya tesztnövényen végeztek kisparcellás talajkezelési kísérleteket bázisos cink-karbonát és K-tartalmú napraforgóhéj hamu felhasználásával (*Giczi et al.,* 2005).

Szakál és *Szalka* (2008) szintén burgonya tesztnövényen végeztek kisparcellás kísérletet cink és káliumhiányos talajon, cink-tetramin-hidroxid kijuttatásával. A kezelések hatására növekedett a hozam, a szárazanyag-tartalom és a keményítőtartalom is.

Forró-Rózsa és munkatársai hulladékból előállított bázisos-cink-karbonát hatását vizsgálták őszi búza növényen (*Forró-Rózsa et al.*, 2017). A kezelések szignifikánsan növelték az őszi búza hozamát, sikértartalmát, nyersfehérje tartalmát és a Zeleny-számát. Az optimális dózist 1,4-1,6 kg ha^{-1}-os cink adagban állapították meg.

Cink lombtrágyázás kukorica növényen

Potarzycki és *Grzebisz* (2009) Lengyelországban agyagbemosódásos barna erdőtalajon beállított három éves kísérletükben megállapították, hogy a ZnO-$ZnSO_4$ levéltrágya használata két évben is szignifikánsan növelte a kukorica terméseredményét.

Shahab és munkatársai szintén kukorica növényen vizsgálták a cink-szulfát hatását talajon keresztül, illetve levéltrágya formájában (*Shahab et al.,* 2015). Megállapították, hogy a cink kombinált (talajon és levéltrágyaként) alkalmazásával jobb eredményt értek el, mint azok egyedüli használatával. Az adagolt 5 kg ha^{-1} talajtrágya és 0.5 kg ha^{-1} levéltrágya dózisokkal szignifikáns növekedést értek el a növény hozamát, csőhosszát, csőtömegét, és ezermagtömegét tekintve.

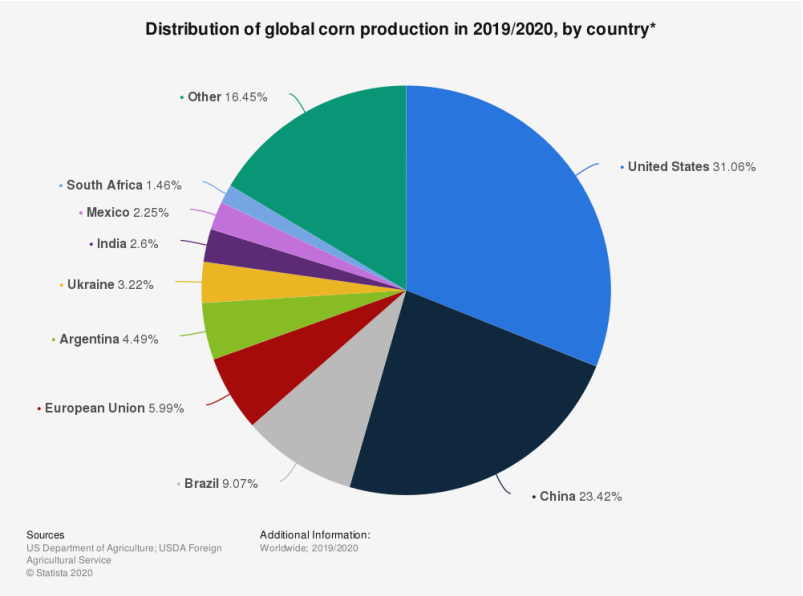
Vazin (2012) a szárazság stressz és a cink lombtrágyázás hatását vizsgálta kukorica növényen. A két éves kísérlet során megállapította, hogy a szárazság stressz csökkentette az ezermagtömeget és a csöveken lévő szemek számát, míg a cink lombtrágyázás 27,3g-ról 31,3g-ra növelte az ezermagtömeget, 710-ről 770-re növelte az egy csövön lévő szemek számát. Eredményei alapján a cinkkel történő lombtrágyázás kedvezően javította a szárazság stressz okozta terméskiesést.

Mohsin és munkatársai két éves kísérletükben homokos vályogtalajon, kukorica növényen vizsgálták a mag cinkkel történő bevonásának és a növény cinkkel való lombtrágyázásának hatását (*Mohsin et al.*, 2014). Vizsgálataik alapján a kombinált kezelések (2 %-os mag-csávázás és 2 %-os levéltrágyázás) során szignifikánsan nőtt többek között a növény magassága, csőhossza, cső átmérője, ezermagtömege és a szemtermése.

2.4. A kukorica

A kukorica a világ a legnagyobb mennyiségben termelt növénye. A Faostat adatai alapján 2018-ban összesen 193 millió hektáron 1,15 milliárd tonna kukoricát termeltek. Hazánkban évek óta a legnagyobb területen termesztett növényünk, 2020-ban összesen 0,973 millió hektárról 8,38 millió tonna termést takarítottak be, amely 8,62 tonna hektáronkénti átlagot eredményezett (*KSH*, 2021).

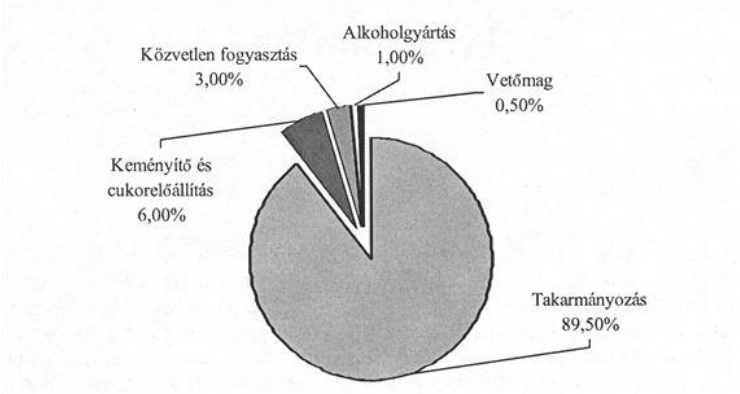
A világ kukoricatermelésének közel harmadát az USA, míg második legnagyobb kukoricatermesztő ország a világon Kína. Az EU-országok együttesen a kukoricatermelés alig 6 %-át teszik ki. A világ kukoricatermelésének országonkénti leosztását a 11. ábra mutatja be.



11. ábra: A világ kukorica termelésének eloszlása országonként Forrás: Url[5]

Figure 11.: Distribution of global corn production in 2019/2020, by country

A kukorica a búza és a rizs mellett az emberiség legfontosabb növénye. A kukorica (*Zea mays* L.) Amerikából származik. Elsődleges géncentruma Peru, innen terjedt Közép-Amerika, Bolívia, Brazília és Argentína, majd később Mexikó és Észak-Amerika felé. A kukoricát egyes földrészeken (pl. India, Latin-Amerika, Afrika) 90 %-ban közvetlen emberi táplálékként hasznosítják. A kukorica azonban a legtöbb országban az állatok takarmányozásában, elsősorban energiaszolgáltató. **Felhasználása** rendkívül széleskörű, azonban hazánkban 90 %-ban takarmányozásra használják (12. ábra) (*Antal és Jolánkai*, 2005).



12. ábra: A kukorica hasznosítása Magyarországon (*Antal és Jolánkai,* 2005) szerkesztése *Győri Z.*, 2001 adatai alapján)

Figure 12.: Utilization of corn in Hungary

A kukorica rövidnappalos növény, termeszthetőségének határát a hőmérsékleti viszonyok mellett a megvilágítás hosszúsága is nagymértékben befolyásolja. A Kárpát-medence a szemeskukorica termeszthetőségének északi határán fekszik. A kukorica alkalmazkodóképessége lehetővé teszi, hogy a szélsőséges talajok kivételével bárhol termesszük. A legnagyobb termés a jó vízgazdálkodású, megfelelő tápanyag-ellátottságú mezőségi talajokon érhető el. A kukorica a talaj kémhatásának széles tartományában (5,5 – 8 pH) termeszthető, azonban a 6,5 – 7,5 a legalkalmasabb számára. Megfelelő csírázásához szükséges, hogy a talaj a vetés mélységében legalább 10 °C-ra felmelegedjen. Gyökerei mélyre hatolnak, akár 1,5-2,5 méter mélységből is képes vizet felvenni. Legnagyobb vízigénye július-augusztusban van, termését ennek a két hónapnak a csapadékviszonyai döntően meghatározzák. Szántóföldön termesztett növényeink közül a kukoricának a legnagyobb a tápanyagigénye. Egy tonna szemterméssel és a hozzá

tartozó föld feletti növényi résszel a következő tápanyagmennyiséget vonjuk ki: 25 kg N, 13 kg P_2O_5, 22 kg K_2O (*Ivány et al*., 1994).

2.4.1. A kukorica minősége

Az alfejezet megírásában főként *Győri* és *Győriné Mile* (2011) „A búza és kukorica minősége és feldolgozása” c. könyve szolgált alapul, az ettől eltérő forrásokat külön jelzem.

Magyarországon a kukorica minősítése sokáig az *MSZ 12540* számú „Morzsolt kukorica takarmányozási célra” című szabvány szerint történt. 2017. október 1.-jén az MSZT (Magyar Szabványügyi Testület) visszavonta a szabványt, mivel jelenleg az EU nem kívánja európai szabályok szintjén szabályozni az élelmezési termékek és a takarmányalapanyagok minőségi követelményeit, meghagyva a tagországok számára a szabályozás lehetőségét.

A kukorica **fehérjetartalma** fontos az emberi és az állati fogyasztás miatt is. A kukorica albuminját mayzinnek, prolaminját pedig zeinnek nevezzük. A normál kukorica fehérjéinek lizintartalma 2,1-2,8 %. A kukorica nagy energia tartalmú, és fontos aminosavforrás. Fehérjéje a zein limitáló aminosavakból (lizin, metionin, cisztin, triptofán) kevesebbett tartalmaz, mint pl. az őszi búza. A nyersfehérje tartalmat leggyakrabban Kjelhdal-féle roncsolásos, majd a keletkezett ammónia desztillálása utáni savbázis titrálásos módszerrel határozzák meg. Kjeldahl-módszer esetén a nyersfehérje-tartalmat a módszerrel meghatározott összes nitrogéntartalom 6,25-ös konverziós faktorral történő szorzással kapjuk meg. A nyersfehérje tartalom meghatározására vonatkozó vizsgálati módszert az *MSZ EN ISO 5983-1:2005* (Takarmányok. A nitrogéntartalom meghatározása és a nyersfehérje-tartalom kiszámítása. 1. rész: Kjeldahl-módszer) szabvány részletezi.

A **nyerszsír-tartalom** a petroléterrel, éterrel kivonható anyagok össze-

foglaló megnevezése. Ide tartoznak a zsírok, olajok, viaszok, klorofillok, xantofillok, karotinoidok, illóolajok, szteroidok. A zsírokban lejátszódó oxidációs és hidrolitikus folyamatok jellemzésére szolgál a peroxid- és a savszám. A nyerszsír tartalom meghatározását petroléteres extrakcióval az *MSZ EN ISO 11085:2015* szabvány részletezi.

A **keményítő** a gabona legfontosabb poliszacharidja, a szemek szárazanyagának 60–80 %-a. A legtöbb keményítő az endosperm sejtjeiben található, az egyes gabonafélékre jellemző alakú és nagyságú szemcsék formájában. A kukoricában legnagyobb mennyiségben jelenlévő keményítőt savas hidrolízis és a fehérjék kicsapása után kapott oldat optikai forgatóképessége alapján polariméterrel mérjük. A keményítőtartalmat a fajlagos forgatóképesség alapján számoljuk ki. A keményítő tartalom meghatározásához segítséget nyújt az *152/2009/EK rendelet III. L* melléklete.

A kukorica minőségét meghatározó paramétereket általában laboratóriumi módszerekkel állapítják meg, de egyre jobban elterjednek a gyorsvizsgálati módszerek is. A termésminták gyors, roncsolásmentes vizsgálati eljárások egyik csoportja a közeli infravörös spektroszkópiai módszerek csoportja.

A közeli infravörös hullámhossz tartomány 800-2500 nm között helyezkedik el. A NIR (near-infrared reflectance) és a NIT (near-infrared transmittance) módszerek a fény és a minta kölcsönhatásán alapulnak, így gyors és roncsolásmentes módon képesek a gabona beltartalmi értékeinek meghatározásához (*Gergely*, 2005).

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Kisparcellás kísérletek

Vizsgálataink során **4 ismétléses véletlen blokk** elrendezésű szántóföldi kisparcellás kísérletet állítottunk be a **bázisos cink-karbonát** és **kálisó** típusú készítmények hatásainak tesztelésére **2018, 2019** és **2020** gazdasági években, Bogyoszlón, saját területen, kukorica növényen, Konfites hibriden. A kísérletek beállítása mindhárom évben ugyanazon területen történtek, az esetleges retard hatások vizsgálatának céljából. A kísérleti **parcellák mérete 22,5 m^2** volt. A kísérleti terület talaja gyengén savanyú, alacsony mésztartalmú agyagos vályog (vályog) talaj, a terület éghajlata kontinentális jellegű.

3.2. Termőhely jellemzése

A kísérletbe bevont területen a vizsgálatok megkezdése előtt talajvizsgálatot végeztünk. A mintavételezés a szántóföldi mintavételezési előírásoknak megfelelően a termőréteg felső 0-30 cm rétegéből történt, átlós mintavételi módszerrel az *MSZ-08-0202:1977* szabvány szerint. A pontmintákból képzett átlagmintát a Synlab Hungary Kft. mosonmagyaróvári laboratóriumában vizsgáltuk.

A kísérleti területről származó talajminta vizsgálata során alkalmazott vizsgálati módszereket a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Alkalmazott talajvizsgálati módszerek
Table 4.: Soil analysis methods

Paraméter	Vizsgálati módszer	
pH KCl	MSZ-08-0206-2:1978 2.1. szakasz	potenciometria
KA	MSZ-08-0205:1978 5.1 szakasz	plaszticitásvizsgálat
$CaCO_3$ %	MSZ-08-0206-2:1978 2.2. szakasz	gázvolumetria
H %	MSZ-08-0210:1977 2.1. szakasz	spektrofotometria
P_2O_5	MSZ 20135:1999 4.2.1. és 5.1. szakasz	ICP-AES
K_2O	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^{-1} + NO_3^{-1} + N	MSZ 20135:1999 4.2.2. és 5.4.5. szakasz	FIA spektrofotometria
SO_4^{2-}	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 **talajvizsgálat eredményeit** a 3RP program tápanyag-gazdálkodási terve alapján értékeltük. A 3RPsystem tápanyag-gazdálkodási elméleti háttere tartalmazza a tápanyag-utánpótlás legújabb eredményeit. A programba beépítésre került a MÉM NAK, egyéb lineáris és 3RPsystem függvény szerinti tápanyagigény javaslatok, többféle értékelési és számítási, korrekciós változatok, műtrágyaigény összesítő, tápanyagmérleg, termelő, parcella, talajvizsgálati eredmények évenkénti adatbázisa (*Regős*, 2009). A talajvizsgálat eredményeit az 5. táblázat tartalmazza.

5. táblázat: Bogyoszló 025/6 talajvizsgálati eredményei (KD1W9-C-12)
Table 5.: Bogyoszló 025/6 assessment of soil analysis results

Vizsgált paraméter	Érték	Egység	Értékelés
pH (KCl)	6,28	-	gyengén savanyú
K_A	42	-	agyagos vályog
Só %	<0,02	m/m %	alacsony sótartalmú
$CaCO_3$ %	<0,10	m/m %	gyengén meszes
H %	3,04	m/m %	igen jó
P_2O_5	95	mg kg^{-1}	közepes
K_2O	43	mg kg^{-1}	igen gyenge
Na	18,7	mg kg^{-1}	megfelelő
Mg	372	mg kg^{-1}	jó
NO_2^{-1}+NO_3^{-1}-N	5,6	mg kg^{-1}	gyenge
SO_4^{2-}	16,7	mg kg^{-1}	közepes
Cu	3,66	mg kg^{-1}	jó
Mn	197,3	mg kg^{-1}	igen jó
Zn	1,6	mg kg^{-1}	gyenge

A talaj kémhatása **gyengén savanyú** (5,5-6,7), amely a növények tápanyagfelvételére a legoptimálisabb. A terület fizikai talajfélesége **vályog, agyagos vályog.** A **humuszellátottság 3 %** körül alakul, amely barna erdőtalajon 38 KA felett a „Jó” kategóriába esik (az 1978-as MÉM-NAK szaktanácsadási rendszer alapján). Az táblázatból leolvasható, hogy a terület **cink** (<2,5, K_A 38-50) és erősen **káliumhiányos**, ezért indokoltnak láttuk, hogy a kísérletet e két elem pótlására irányítsuk.

A különböző talajok cink ellátottságának megítélését a 6. táblázat tartalmazza.

6. táblázat: A talaj EDTA-oldható cink ellátottságának megítélése (mg kg^{-1}) (Buzás, 1983)

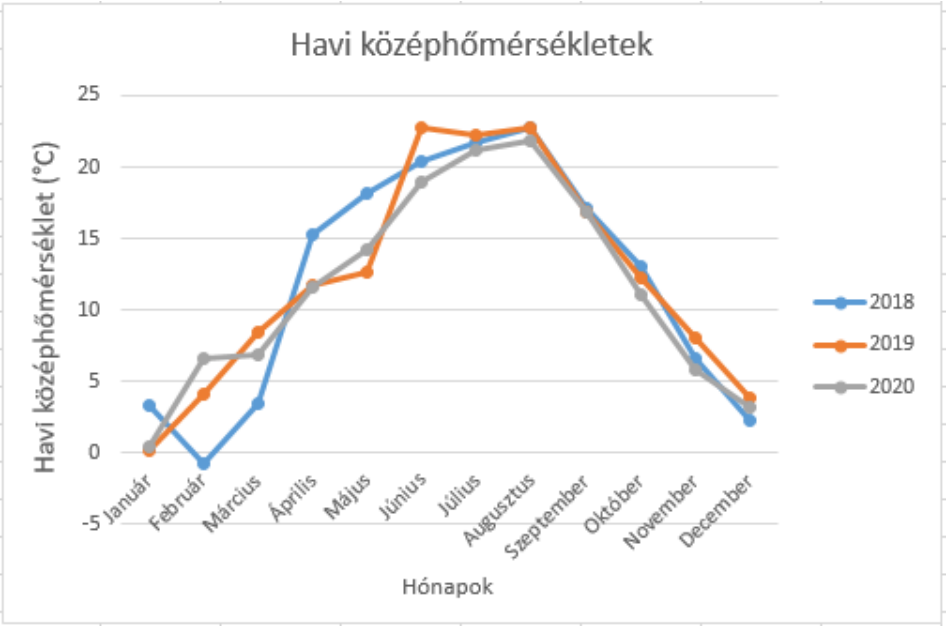
Table 6.: Assessment of EDTA-soluble Zn content in soils (mg kg^{-1})

Kötöttség (K_A)	**Zn (mg kg^{-1})**	
	gyenge	**jó**
<38 (homok)	<1,0	1,0<
38-50 (vályog)	<2,5	2,5<
>50 (agyag)	<3,5	3,5<

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.

3.2. Termőhely klimatikus jellemzése

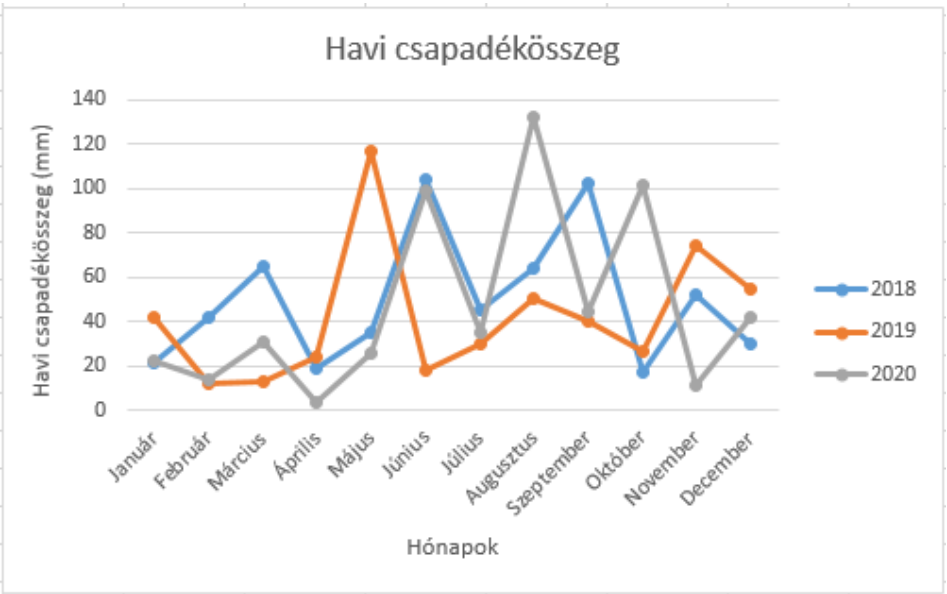
Kísérleteinket az időjárási tényezők is befolyásolták. A terület éghajlata mérsékelt övi, nedves kontinentális. Az évi középhőmérséklet 10 °C körül alakul. A kísérleti területre vonatkozó adatok az OMSZ egy Bogyoszlón működő automata meterológiai állomásáról származnak. (északi szélesség 47°34’36”, keleti hosszúság 17°10’55”, magasság 119.4m). Mindhárom kísérleti évben jelentősen magasabb volt az **átlaghőmérséklet,** mint a sokévi átlag (~10 °C): a **2018**-as évben **11.95 °C**, a **2019**-es évben **12.17 °C**, a **2020**-as évben **11.55 °C**-nak adódott. A három vizsgált évben a havi középhőmérsékletek alakulását a 13. ábra mutatja be.



13. ábra: Havi középhőmérséklet a vizsgált három évben (2018, 2019, 2020) (Forrás: OMSZ, 2021)

Figure 13.: Monthly mean temperature of the three years (2018, 2019, 2020) (Source: OMSZ, 2021)

A kísérleti évek során **lehullott csapadék** mennyisége és eloszlása **változó** volt. A csapadékösszegeket havi bontásban a 14. ábra mutatja be.



14. ábra: Havi csapadékösszeg a vizsgált három évben (2018, 2019, 2020) (Forrás: OMSZ, 2021)

Figure 14.: Monthly mean prectipitation of the three years (2018, 2019, 2020) (Source: OMSZ, 2021)

Antal (2000) megállapította, hogy a kukorica a tenyészidő folyamán 450-550 mm vizet igényel. A három vizsgált évben a tenyészidőszak alatt lehullott **csapadékmennyiség** a következőképp alakult: **2018**-ban és **2020**-ban lehullott csapadék mennyisége közel azonos (**369 mm és 340 mm**), a **2019**-ben lehullott csapadék azonban jóval elmarad a másik két év csapadék mennyiségétől (**278 mm**). Mindhárom évben lehullott csapadék mennyisége jóval elmarad a kukorica szempontjából optimális vízigényétől. *Ruzsányi* (1987) kísérletei alapján megállapította, hogy a középérésű kukoricahibridek tenyészidő alatti vízigénye 430-545 mm. A 2020-as évben lehullott csapadék mennyisége megfelelő volt, azonban eloszlása kedvezőtlenül hatott a kukorica kelésére. Az áprilisi 4 mm és a

májusi 26 mm végett a kukoricák kelése nehézkes és nem egyöntetű volt. A kezdeti csapadékhiány hatása a morzsolt tömegeken is meglátszott.

3.3. Termesztett fajta, agrotechnológia

A kísérleti területen mindhárom évben a **Konfites hibrid** (FAO 400-450) került vetésre. A vetés napja mindhárom évben április második felére esett:

- 2018-ban április 18,
- 2019-ben április 20,
- 2020-ban április 15 volt.

A területeken az intenzív gazdálkodásnak megfelelően rendszeresen végeztünk tápanyagutánpótlást. A kísérleti évek alatt az alkalmazott cink és kálium műtrágyákon kívül a területre mindhárom évben 300 kg ha^{-1} (81 kg ha^{-1} N hatóanyag) pétisó került kijuttatásra vetés előtt. Foszfor kijuttatása a kísérlet három éve során nem történt. A növényvédelmi kezelésekre mindhárom évben kétszer került sor. Az alkalmazott szereket a 7. táblázat tartalmazza.

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

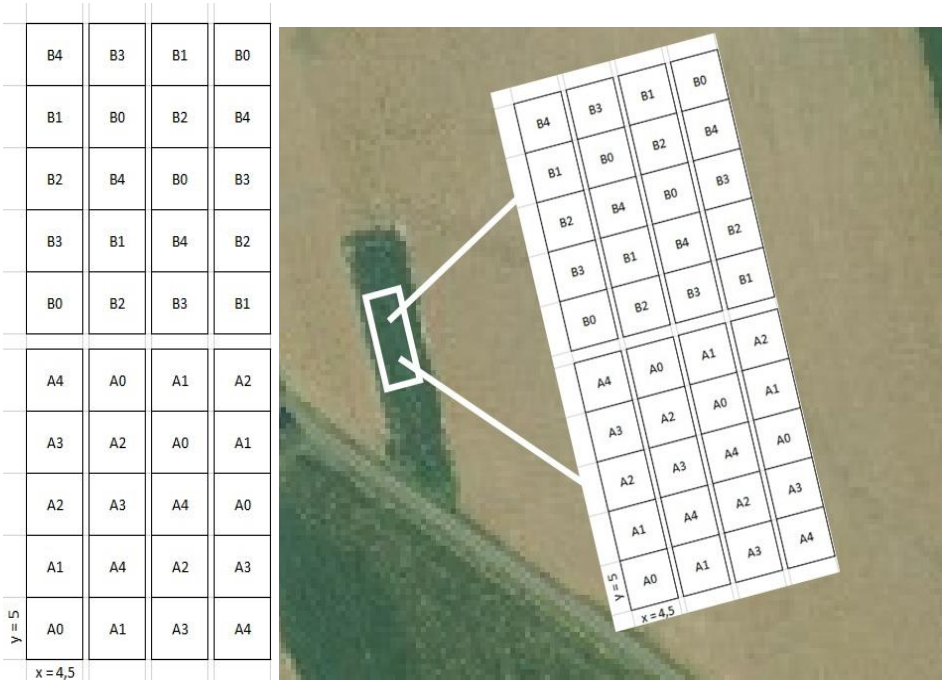
Dátum	Készítmény	Dózis
2018.05.25.	Laudis	2 L ha^{-1}
2018.07.08.	Decis 2,5 EC	0,2 L ha^{-1}
2019.05.28.	Laudis	2 L ha^{-1}
2019.07.16.	Karate Zeon 5 CS	0,25 L ha^{-1}
2020.05.23.	Laudis	2 L ha^{-1}
2020.07.02.	Decis 2,5 EC	0,2 L ha^{-1}

3.4. A terület kiválasztása, alkalmazott kezelések

A **kísérletet 22,5 m^2 -es (4,5 × 5 m) parcellákon** állítottuk be véletlen blokk elrendezésben, négy ismétlésben, mindhárom évben ugyanazon kukorica fajtával. Első lépcsőként a vizsgált területet két egyenlő részre osztottuk: az egyik terület nem kapott semmilyen kálium-tartalmú műtrágyát, míg a másik terület minden évben a szaktanácsadási rendszernek megfelelő mennyiségű, **180 kg ha^{-1} kálium** műtrágyát kapta. A kísérletben mindkét területet felosztottuk **20 parcellára**, mivel a cink visszapótlásra vonatkozó kísérletet ($ZnCO_3$. $2Zn(OH)_2$. H_2O): kontroll + 4 dózisban állítottuk be:

- 0 kg ha^{-1} Zn
- 0,25 kg ha^{-1} Zn
- 0,5 kg ha^{-1} Zn
- 1 kg ha^{-1} Zn
- 2 kg ha^{-1} Zn

Ismétlések száma: 4. Így összesen **40 parcelláról** gyűjtöttünk adatokat minden évben. A táblák felosztását és a 3 év során végrehajtott lomb- és talajkezelések adott táblán belüli elhelyezését a 15. ábra mutatja be.



15. ábra: Kisparcellás kísérleti parcellák elhelyezkedése

Figure 15.: Position of the parcels in the small plot experiment

A hatóanyag dózisok a következők voltak:

- A: Csak cink hatóanyag
  - A0: kezeletlen kontroll
  - A1: 0,25 kg ha^{-1} Zn
  - A2: 0,5 kg ha^{-1} Zn
  - A3: 1 kg ha^{-1} Zn
  - A4: 2 kg ha^{-1} Zn
- B: Kálium és cink hatóanyag
  - B0: Csak kálium
  - B1: Kálium + 0,25 kg ha^{-1} Zn
  - B2: Kálium + 0,5 kg ha^{-1} Zn
  - B3: Kálium + 1 kg ha^{-1} Zn
  - B4: Kálium + 2 kg ha^{-1} Zn

A kísérletben a **kálium** pótlására kereskedelmi forgalomban is kapható kálium tartalmú műtrágyát (**60 %-os kálisó**) használtunk, melynek kijuttatására **ősszel** került sor (kézzel, vetési mozdulattal), míg a cink lombtrágyázásra Dr. Szakál Pál professzor szabadalmi oltalma alatt álló **bázisos cink-karbonát**ját alkalmaztuk. Az előállított vegyületet szuszpenziós állapotban, 20 L-es nagynyomású **kézi permetező**vel juttattam ki a növény felületére. A lombkezelésekre a növény **6-8 leveles** állapotában került sor.

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 bázisos cink karbonátot a gyógyszeripari gyártás intermedier termékéből, a savas kémhatású cink-kloridból nyerjük. A nátrium-karbonáttal történő lecsapatás során keletkező nátrium tartalmat vizes mosással távolítjuk el. Az így nyert bázisos cink-karbonát nagy tisztaságú, mivel a felhasznált cink alapanyagok nem kohászati, hanem elektrokémiai leválasztás útján kerültek előállításra. A keletkező anyag szárazanyagra vonatkoztatva 48 m % cinket tartalmaz.

Képlete: $ZnCO_3$. $2Zn(OH)_2$. H2O

A **kezeléseket** az egyes években az alábbi napokon végeztük:

- 2018.05.16.,
- 2019.05.24.,
- 2020.05.21.

3.5. Termény betakarítása, vizsgálata, minősítése

Minden kísérleti évben a kísérleti terület gépi betakarítása előtt termésmintákat vettünk. A **betakarítást** minden egyes parcelláról (40 darab) kézzel végeztük, az egyes években az alábbi napokon:

- 2018.10.08.,
- 2019.10.20.,
- 2020.10.24.

A kukoricacsövek begyűjtését a parcellák geometriai középpontjához legközelebb eső két sorban, a parcella középpontjától a sorok mentén egy irányba haladva végeztük.

A betakarított termést használtuk fel a további vizsgálatok elvégzéséhez.

A mintaparcellákról a betakarított termények tömegét lemértük és malomipari vizsgálatokat végeztünk belőlük.

A parcellákról begyűjtött termésmintákat külön zsákokba helyeztük, és felcímkéztük (16. ábra).

16. ábra: Bezacskózott és felcimkézett minták a tábla szélén
Figure 16.: Bagged and labeled samples

A **termésminták vizsgálata** során a következő méréseket és számításokat végeztük:

- csőhossz mérése (mm)
- szemsorok száma (db)
- morzsolt szemek tömege (g)
- növény magassága (cm) (2019; 2020)

A termések **beltartalmi** értékmérő tulajdonságiank vizsgálatát Mosonmagyaróváron a Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Környezettudományi Intézet, Kémiai Intézeti Tanszékén, Perten Inframatic 9200 típusú gabonaanalizátor készülék segítségével határoztuk meg a minőségi paramétereit (17. ábra).:

- fehérjetartalom (m/m %),
- olajtartalom (m/m %),
- keményítő-tartalom (m/m %).

17. ábra: A kukorica minőségi paramétereinek vizsgálata

Figure 17.: Testing the quality parameters of corn

A kísérlet második évében a fentieken túl a **SPAD-értékét** is mértük a kezelések hatására. A SPAD-indexet címerhányás után, Minolta SPAD-502 készülékkel, mintavételi pontonként 10 növényen, a legfejlettebb levélen, levelenként 10 ponton mértük. A SPAD-mérést a levéllemez hosszában arányosan elosztva, a levéllemez jobb és bal oldalán 5-5 ponton végeztük.

A SPAD-502 mérőkészülék a levelek klorofilltartalmát a 650 nm hullámhosszú fénysugarak abszorpciója alapján határozza meg. A készülék a relatív klorofilltartalmat SPAD-értékben (Soil Plant Analysis Development) fejezi ki, amit a levélen áthaladó vörös és infravörös fény intenzitásából kalkulál. A SPAD-érték szoros összefüggésben áll a levelek

klorofilltartalmával, nitrogéntartalmával és a termés mennyiségével (*Dobos*, 2003).

A 2019-es és 2020-as évben mértük a növény **magasságát** is. A növény magasságát a virágzási időszak végén végeztük. Mérőszalag segítségével a talaj felszínétől a címer végéig mértük a növényeket, parcellánként a két középső soron 5-5 növényt lemérve.

3.6. Adatok kiértékeléséhez használt statisztikai módszerek

Mivel két különböző változó (cink és kálium) hatását vizsgáltuk a különböző terméseredményekre, ezért a csoportképzés után (kontroll – többi kezelés) **kétténye**zős **varianciaanalízis**sel ellenőriztük a kezelések hatásosságát. A varianciaanalízis után **LSD post-hoc** segítségével meghatároztuk, mely cink-dózisok között áll fenn szignifikáns különbség. Kálium esetén post-hoc műveletekre nem volt szükség, mivel csak két különböző kálium csoportot vizsgáltunk. 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 Zn 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 paraméterek közötti hatást páronkénti **korrelációanalízissel** vizsgáltuk.

A statisztikai számításokat *Sváb* (1973), *Clewer és Scarisbrick* (2001) és *Szűcs* (2002) szerint végeztük. A kísérleti eredmények összeállításához

és rendszerezéséhez a Microsoft Office Excel 2016 programcsomagot használtuk.

4. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

A kísérletek mindhárom évében vizsgáltuk a cink és kálium kezelések hatását a kukorica különböző mennyiségi (morzsolt tömeg) és minőségi (olaj-, fehérje-, keményítőtartalom) paramétereire.

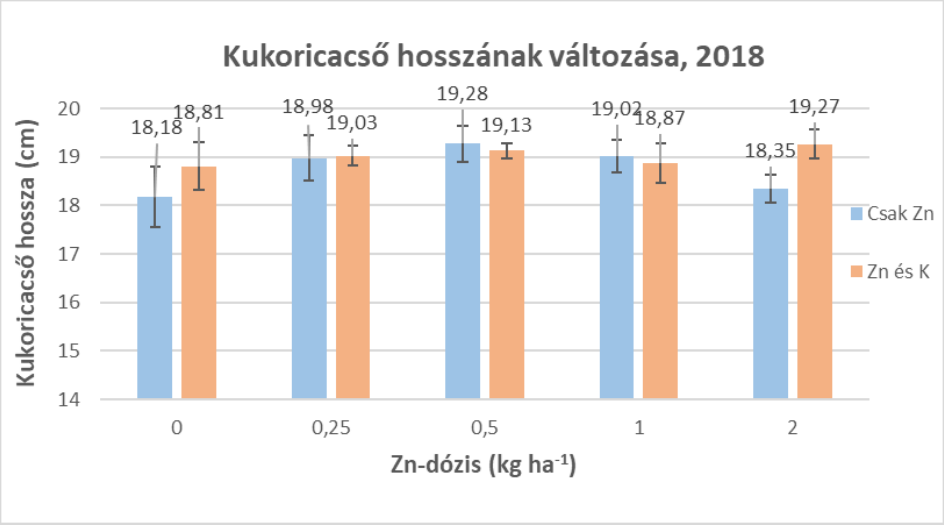
Az egyes kísérleti évek eredményeiben a környezeti tényezőknek köszönhetően voltak eltérések, ezért a három év eredményeinek átlagát is külön értékeltük. A kísérleti eredmények során a főbb vizsgált paraméterekre meghatároztuk a kapott eredmények alap statisztikai mutatóit (átlag, szórás), melyeket táblázatba foglaltunk az adott kísérleti év elemzése előtt.

Az elemzéseket az egyes évjáratokban külön-külön, valamint a három kísérleti év átlagában is elvégeztük. Ezen felül a kísérleti évek átlagában vizsgáltuk a kezelések és a vizsgált jellemzők közötti kapcsolatot.

4.1. A 2018. évi kezelések eredményei

4.1.1. Kukoricacső hosszának változása a kezelések hatására

A növekvő bázisos cink-karbonát adagok hatására kismértékben nőtt a kukoricacsövek hossza, egészen a 0,5 kg ha^{-1}-os dózisig. Az ennél nagyobb dózisok esetében már a csövek hosszának csökkenését figyelhettük meg (18. ábra).



18. ábra: A kukoricacső hosszának változása a kezelések hatására, 2018

Figure 18.: Effect of treatments on cob length, 2018

A kukoricacső hosszán elvégzett kéttényezős varianciaanalízist a 8. táblázat mutatja be.

8. táblázat: 2018. évi kezelések varianciaanalízise a kukoricacső hosszára

Table 8.: Analysis of variances of treatments on cob length in 2018

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	1,925	0,642	1,146
Kezelés	9	4,807	0,534	0,954
Cink	4	2,239	0,560	1,000
Kálium	1	0,676	0,676	1,207
Zn × K	4	1,892	0,473	0,845
Hiba	27	15,116	0,560	
Összes	39	21,848		

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések a kukoricacső hosszára 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 9. táblázat foglalja össze.

9. táblázat: A kukoricacső hosszának (cm) eredménytáblázata, 2018

Table 9.: Result table on cob length (cm), 2018

Kukoricacső hossz (cm)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	18,18	18,98	19,28	19,02	18,35	18,76
K kezelt	18,81	19,03	19,13	18,87	19,27	19,02
Átlag	18,50	19,01	19,21	18,95	18,81	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

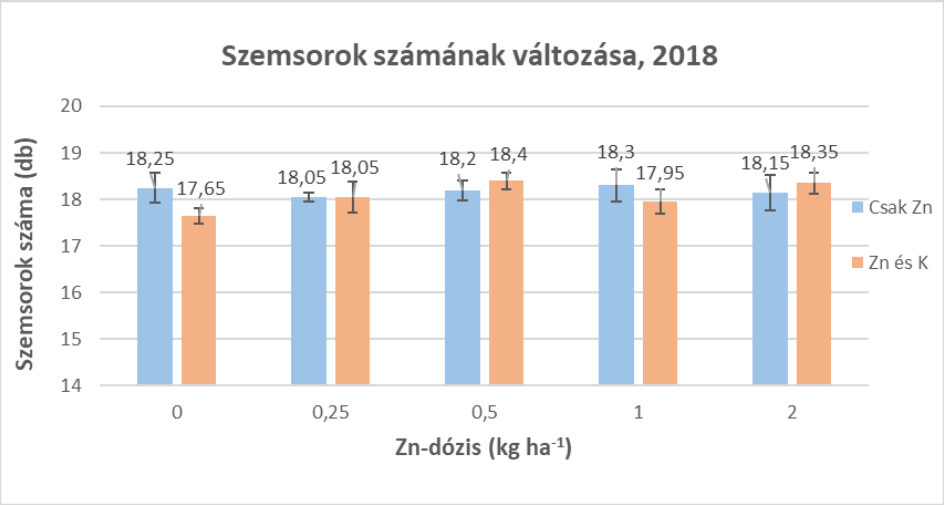
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A 2018. évi kísérletek során a legnagyobb csőhosszt a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelések esetében kaptuk, mely 19,27 cm volt A legkisebb csőhosszt a kontroll parcella esetén mértük, mely 18,18 cm. A kezelések hatására 6 %-os csőhossz növekedést értünk el.

4.1.2. Szemsorok számának változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kukorica szemsorok számának változása nem mutatott értelmezhető tendenciát a növekvő dózisok függvényében (19. ábra).



19. ábra: A kukorica szemsorainak változása a kezelések hatására, 2018

Figure 19.: Effect of treatments on the number of rows per cob, 2018

A szemsorok számának változásán elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit az 10. táblázat mutatja be.

10. táblázat: 2018. évi kezelések varianciaanalízise a szemsorok számára

Table 10.: Analysis of variances of treatments on the number of rows per cob in 2018

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,315	0,105	0,340
Kezelés	9	1,781	0,198	0,641
Cink	4	0,656	0,164	0,531
Kálium	1	0,121	0,121	0,392
Zn × K	4	1,004	0,251	0,813
Hiba	27	8,335	0,309	
Összes	39	10,431		

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

A kapott eredmények alapján a kezelések a kukorica szemsor számaira 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 11. táblázat foglalja össze.

11. táblázat: A szemsorok számának (db) eredménytáblázata, 2018

Table 11.: Result table on the number of rows per cob, 2018

Szemsorok száma (db)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	18,25	18,05	18,20	18,30	18,15	18,19
K kezelt	17,65	18,05	18,40	17,95	18,35	18,08
Átlag	17,95	18,05	18,30	18,13	18,25	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

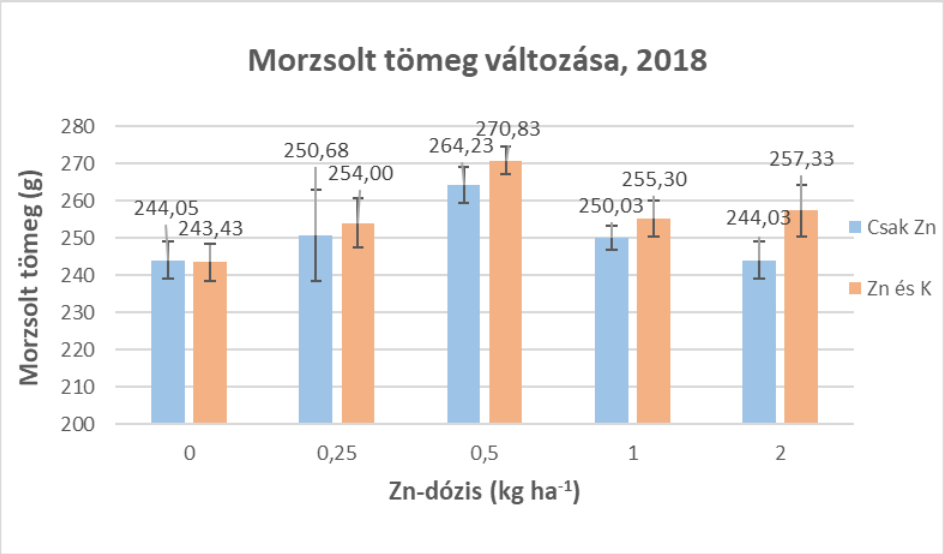
A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a legkisebb eredményt kálium kijuttatása mellett, 0 kg ha^{-1}-os cink-dózissal kaptuk (17,65 db), míg a legtöbb szemsort szintén

kálium kijuttatás mellett a 0,5 kg ha^{-1}-os cink dózis eredményezte (18,4 db).

4.1.3. A morzsolt szemek tömegének változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kapott morzsolt tömegek növekvő tendenciát mutattak a növekvő műtrágya dózisok 0,5 kg ha^{-1} cink dózisig. E dózis felett a növekvő adagok hatására csökkenő tendenciát mutatott a morzsolt szemek tömege (20. ábra).



20. ábra: A morzsolt szemek tömegének változása a kezelések hatására, 2018

Figure 20.: Effect of treatments on grain yield of corn, 2018

A kapott morzsolt tömeg adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 12. táblázat foglalja össze.

12. táblázat: 2018. évi kezelések varianciaanalízise a morzsolt szemek tömegére

Table 12.: Analysis of variances of treatments on grain yield of corn in 2018

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	107,857	35,952	0,212	
Kezelés	9	2935,261	326,140	1,923	
Cink	4	2415,818	603,954	3,562	*
Kálium	1	310,806	310,806	1,833	
Zn × K	4	208,637	52,159	0,308	
Hiba	27	4578,386	169,570		
Összes	39	7621,504			

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

A kapott eredmények alapján a cink levéltrágyázás 95 %-os szignifikancia szinten hatásosnak bizonyult, azonban a káliummal történő műtrágyázás és a cink-kálium interakció nem növelte 95 %-os szignifikancia szinten a morzsolt tömeget. Bár az összes kezelés hatására nőtt kismértékben a kukorica morzsolt tömege, szignifikáns növekedést a cink levéltrágyázás átlagában csak a 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén kaptunk. A 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú kezelésnél nagyobb dózisok esetén már termésdepressziót észleltünk.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 13. táblázat foglalja össze.

13. táblázat: A morzsolt tömeg (g) eredménytáblázata, 2018

Table 13.: Result table on grain yield of corn (g), 2018

Morzsolt tömeg (g)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	244,05	250,68	264,23	250,03	244,03	250,60
K kezelt	243,43	254,00	270,83	255,30	257,33	256,18
Átlag	243,74	252,34	267,53	252,67	250,68	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

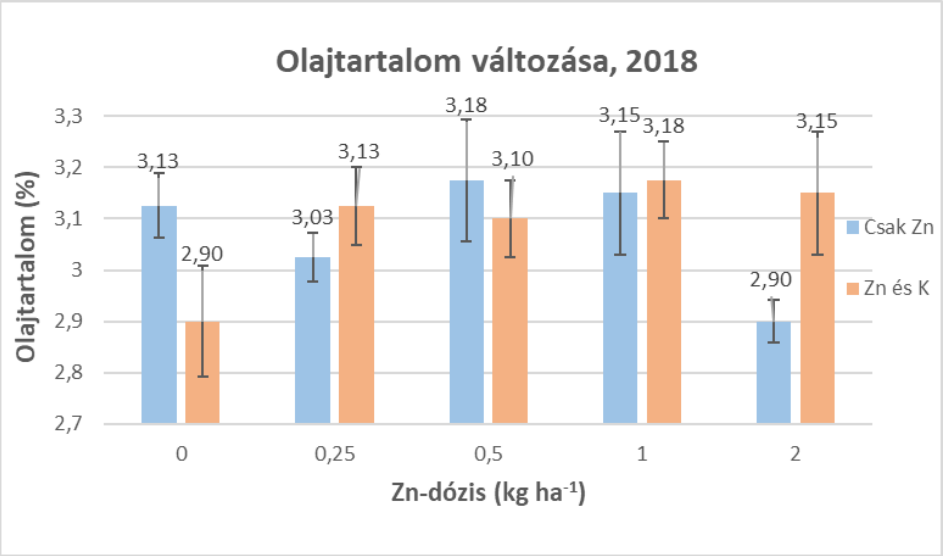
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 13,35; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A 2018. évi kísérletek során a legnagyobb morzsolt tömeget a káliummal ellátott, 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú kezelések esetében kaptuk, mely 270,83 g, a legkisebb morzsolt tömeget a káliummal ellátott, 0 kg ha^{-1} cink dózisú területen kaptuk, mely 243,43 g. A kezelések maximálisan 11,3 %-al növelték a kukorica morzsolt tömegét.

4.1.4. Az olajtartalom változása a kezelések hatására

A 21. ábrán a különböző adagok kijuttatása nyomán kapott mérési eredményeink lényegében nem térnek el egymástól. A terméselem vizsgálatakor nem volt kimutatható szignifikáns kezeléshatás.



21. ábra: A kukorica szemtermés olajtartalmának változása a kezelések hatására, 2018

Figure 21.: Effect of treatments on the oil content of corn, 2018

A kapott olajtartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 14. táblázat foglalja össze.

14. táblázat: 2018. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermésének olajtartalmára

Table 14.: Analysis of variances of treatments on oil content of corn in 2018

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,003	0,001	0,028
Kezelés	9	0,400	0,044	1,373
Cink	4	0,142	0,035	1,092
Kálium	1	0,002	0,002	0,069
Zn × K	4	0,256	0,064	1,979
Hiba	27	0,875	0,032	
Összes	39	1,278		

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

A kapott eredmények alapján a kezelések az olajtartalomra 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 15. táblázat foglalja össze.

15. táblázat: A kukorica szemtermés olajtartalmának (%) eredménytáblázata, 2018

Table 15.: Result table on oil content of corn (%), 2018

Olajtartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	3,13	3,03	3,18	3,15	2,90	3,08
K kezelt	2,90	3,13	3,10	3,18	3,15	3,09
Átlag	3,02	3,08	3,14	3,17	3,03	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

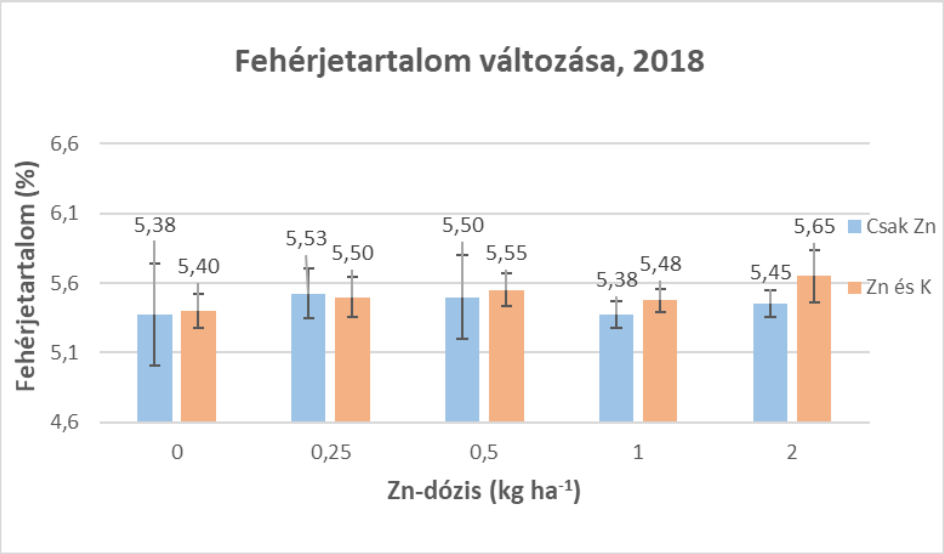
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a legnagyobb olajtartalmat kálium kijuttatás mellett a 0,5 kg ha^{-1}-os cink dózis eredményezte (3,18 %).

4.1.5. A fehérjetartalom változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kapott fehérjetartalom eredmények kismértékben növekvő tendenciát mutattak a kontrollhoz képest a növekvő műtrágya dózisok függvényében (22. ábra). Az 1 kg ha^{-1}-os cink dózis esetében csökkenés figyelhető meg.



22. ábra: A kukorica szemtermés fehérjetartalmának változása a kezelések hatására, 2018

Figure 22.: Effect of treatments on protein content of corn, 2018

A kapott fehérjetartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 16. táblázat foglalja össze.

16. táblázat: 2018. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés fehérjetartalmára

Table 16.: Analysis of variances of treatments on protein content of corn in 2018

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,474	0,158	1,087
Kezelés	9	0,264	0,029	0,202
Cink	4	0,157	0,039	0,269
Kálium	1	0,049	0,049	0,337
Zn × K	4	0,058	0,015	0,101
Hiba	27	3,926	0,145	
Összes	39	4,664		

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

A kapott eredmények alapján a kezelések a kukorica fehérjetartalmára 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 17. táblázat foglalja össze.

17. táblázat: A kukorica szemtermés fehérjetartalmának (%) eredménytáblázata, 2018

Table 17.: Result table on protein content of corn (%), 2018

Fehérje-tartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	5,38	5,53	5,50	5,38	5,45	5,45
K kezelt	5,40	5,50	5,55	5,48	5,65	5,52
Átlag	5,39	5,52	5,53	5,43	5,55	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

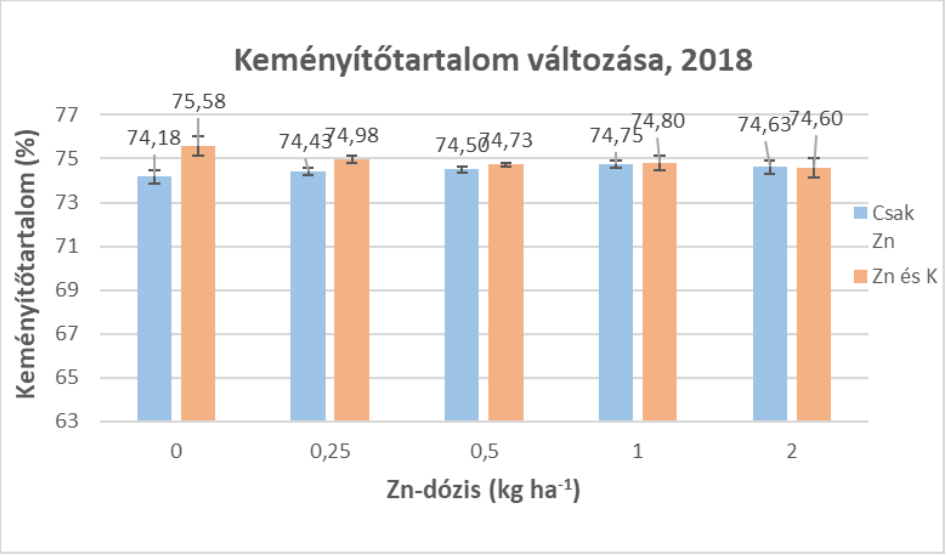
A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a legkisebb eredményt a kontroll parcella esetében kaptuk (5,38 %), míg a legnagyobb fehérjetartalmat kálium kijuttatás

mellett a 2 kg ha^{-1}-os cink dózis eredményezte (5,65 %). A kezelések ~5 %-al növelték a kukorica fehérjetartalmát.

4.1.6. A keményítőtartalom változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kapott keményítőtartalom eredmények a káliummal nem ellátott parcellákon növekvő tendenciát mutattak, míg a káliummal ellátott területeken csökkenő tendenciát kaptunk (23. ábra). A kisebb mértékű cink dózisok esetén nagyobb volt a különbség a káliummal ellátott, illetve nem ellátott területek között, mint a nagyobb adagú cink dózisok esetén.



23. ábra: A kukorica szemtermés keményítőtartalmának változása a kezelések hatására, 2018

Figure 23.: Effect of treatments on starch content of corn, 2018

A kapott keményítőtartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 18. táblázat foglalja össze.

18. táblázat: 2018. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés keményítőtartalmára

Table 18.: Analysis of variances of treatments on starch content of corn in 2018

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	1,675	0,558	1,963	
Kezelés	9	5,036	0,560	1,967	
Cink	4	0,403	0,101	0,355	
Kálium	1	1,936	1,936	6,806	*
Zn × K	4	2,697	0,674	2,370	
Hiba	27	7,680	0,284		
Összes	39	14,391			

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

A statisztikai értékelés során a cink kezelések és a cink-kálium interakció tekintetében a kukorica keményítőtartalmára 95 %-os szignifikancia szinten nem találtunk igazolható különbségeket, míg a káliummal történő műtrágyázás 95 %-os szignifikancia szinten hatásos volt a kukorica keményítőtartalmára.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 19. táblázat foglalja össze.

19. táblázat: A kukorica szemtermés keményítőtartalmának (%) eredménytáblázata, 2018

Table 19.: Result table on starch content of corn (%), 2018

Keményítő-tartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	74,18	74,43	74,50	74,75	74,63	74,50
K kezelt	75,58	74,98	74,73	74,80	74,60	74,94
Átlag	74,88	74,71	74,62	74,78	74,62	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 0,35; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések hatására a legnagyobb keményítőtartalmat a 180 kg ha^{-1} kálium dózis és 0 kg ha^{-1}-os cink dózis mellett kaptuk, ami 75,58 %.

4.1.7.A 2018. évi eredmények összefoglalása

Az elvégzett kezelések hatására a **morzsolt szemek tömegében** sikerült ***szignifikáns*** növekedést elérni a 0,5 kg ha^{-1}-os cink dózisnál 99 %-os szignifikancia szinten. A maximális morzsolt tömeget a 180 kg ha^{-1} kálium dózis és 0,5 kg ha^{-1}-os cink dózis kijuttatása mellett értük el.

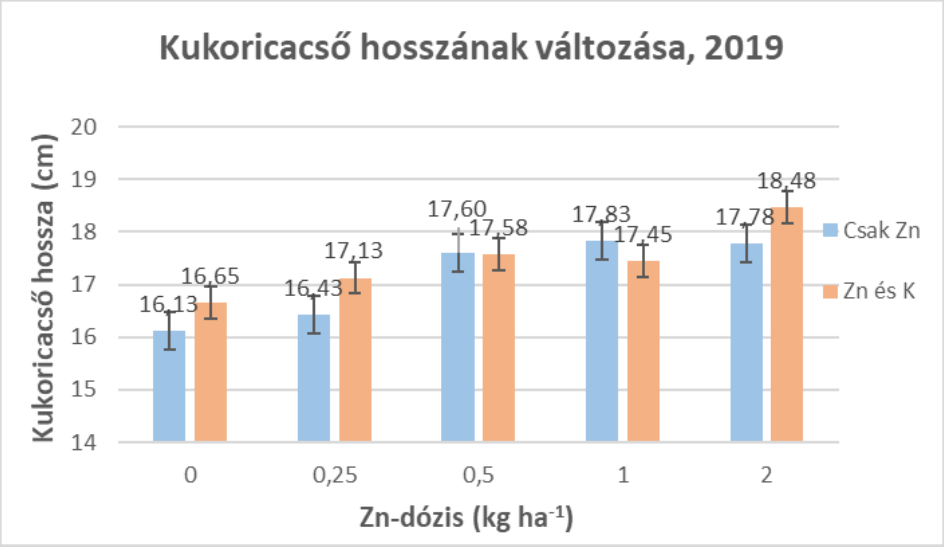
Szintén ***szignifikáns*** változást értünk el a kukorica **keményítőtartalmára** a kálium visszapótlásának hatására 99 %-os szignifikancia szinten. A legnagyobb keményítőtartalmat kálium kijuttatása és 0 kg ha^{-1}-os cink dózis esetén kaptuk (75,58 %).

A 2018-as kísérleti évben a **többi vizsgált paraméter** tekintetében (kukoricacső hossza, szemsorok száma, olajtartalom, fehérjetartalom) a kezelések hatására ***nem értünk el szignifikáns*** változást.

4.2. A 2019. évi kezelések eredményei

4.2.1. Kukoricacső hosszának változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kapott csőhosszak növekvő tendenciát mutattak a növekvő műtrágya dózisok függvényében (24. ábra). Mind a cink, mind a kálium adagolása pozitívan hatott a kukoricacső hosszára.



24. ábra: A kukoricacsövek hosszának változása a kezelések hatására, 2019

Figure 24.: Effect of treatments on cob length, 2019

A kapott kukoricacső adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 20. táblázat foglalja össze.

20. táblázat: 2019. évi kezelések varianciaanalízise a kukoricacső hosszára

Table 20.: Analysis of variances of treatments on cob length in 2019

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	1,765	0,588	1,305	
Kezelés	9	18,677	2,075	4,605	**
Cink	4	15,884	3,971	8,811	**
Kálium	1	0,930	0,930	2,064	
Zn × K	4	1,863	0,466	1,034	
Hiba	27	12,168	0,451		
Összes	39	32,610			

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

A kapott eredmények alapján a cink kezelések hatására 99 %-os szignifikancia szinten érvényesülő különbségek adódtak. A kálium, illetve a cink-kálium interakció a kukoricacső hosszára 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak. A csőhosszt minden cink kezelés növelte, azonban csak a 0,5 kg ha^{-1} dózisú kezelésektől volt ez a növekedés szignifikáns.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 21. táblázat foglalja össze.

21. táblázat: A kukoricacső hosszának (cm) eredménytáblázata, 2019

Table 21.: Result table on cob length (cm), 2019

Kukoricacső hossz (cm)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	16,13	16,43	17,60	17,83	17,78	17,15
K kezelt	16,65	17,13	17,58	17,45	18,48	17,46
Átlag	16,39	16,78	17,59	17,64	18,13	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 0,97; $SzD_{1\%}$: 1,31

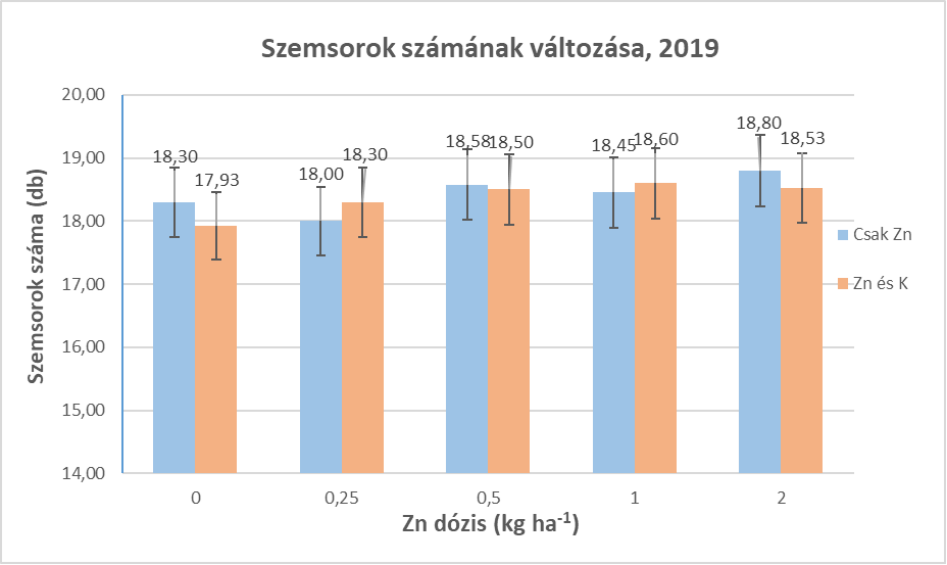
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 0,69; $SzD_{1\%}$: 0,93

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A legnagyobb csőhosszt a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén kaptuk (18,48 cm), amely ~14,5 %-al haladta meg a kontroll kezelés eredményét.

4.2.2. Szemsorok számának változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a szemsorok számának változása növekvő tendenciát mutat a növekvő dózisok függvényében 1 kg ha^{-1} cink dózisig. Ennél nagyobb dózis kijuttatása esetén már csökken a szemsorok száma. (25. ábra).



25. ábra: A szemsorok számának változása a kezelések hatására, 2019

Figure 25.: Effect of treatments on the number of rows per cob, 2019

A kapott szemsorok számainak adatain elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 22. táblázat foglalja össze.

22. táblázat: 2019. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemsorainak számára

Table 22.: Analysis of variances of treatments on the number of rows per cob in 2019

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	1,233	0,411	1,077
Kezelés	9	2,657	0,295	0,774
Cink	4	1,988	0,497	1,303
Kálium	1	0,030	0,030	0,079
Zn × K	4	0,639	0,160	0,418
Hiba	27	10,300	0,381	
Összes	39	14,190		

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések a kukorica szemsorok számára 95 %-os szignifikancia szinten nem voltak hatásosak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 23. táblázat foglalja össze.

23. táblázat: A kukorica szemsorok számának (db) eredménytáblázata, 2019

Table 23.: Result table on the number of rows per cob, 2019

Szemsorok száma (db)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	18,30	18,00	18,58	18,45	18,80	18,43
K kezelt	17,93	18,30	18,50	18,60	18,53	18,37
Átlag	18,12	18,15	18,54	18,53	18,67	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

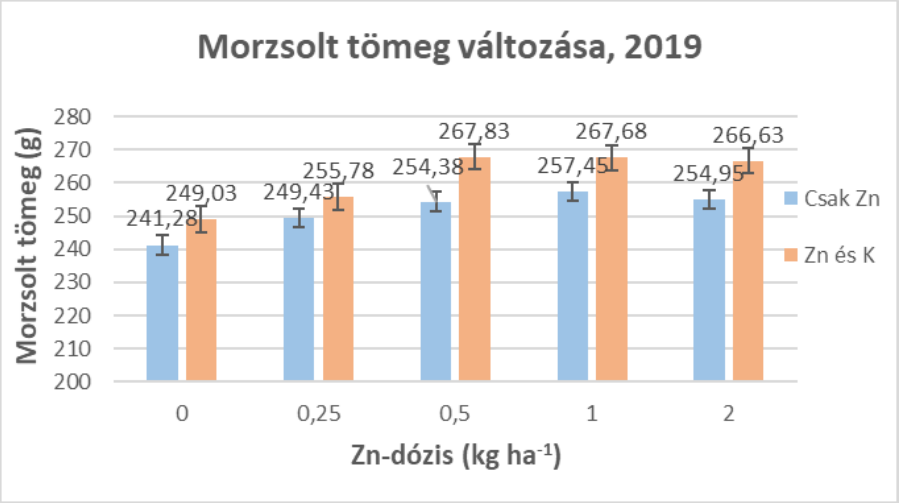
A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A 2019. évi kísérletek során a legtöbb szemsort a káliummal ellátott, 1 kg ha^{-1} Zn dózisú kezelés esetén értünk el (18,8 sor). Az enyhe növekvő tendencia a kezelések hatására statisztikai módszerekkel nem igazolható.

4.2.3. A morzsolt szemek tömegének változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kapott morzsolt tömeg növekvő tendenciát mutatott a növekvő műtrágya dózisok függvényében (26. ábra).

.



26. ábra: A kukorica morzsolt tömegének változása a kezelések hatására, 2019

Figure 26.: Effect of treatments on grain yield of corn, 2019

A kapott morzsolt tömeg adatain elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit a 24. táblázat mutatja be.

24. táblázat: 2019. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica morzsolt tömegére

Table 24.: Analysis of variances of treatments on grain yield of corn in 2019

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	181,018	60,339	0,679	
Kezelés	9	2806,776	311,864	3,508	**
Cink	4	1762,489	440,622	4,956	**
Kálium	1	978,121	978,121	11,003	**
Zn × K	4	66,166	16,542	0,186	
Hiba	27	2400,242	88,898		
Összes	39	5388,036			

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

Mind a kálium, mind a cink kezelések 99 %-os szignifikancia szinten hatásosak voltak a kukorica morzsolt tömegére. A kezelések során a legnagyobb morzsolt tömeget a káliummal ellátott, 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú területről kaptuk (267,83 g), amely a kontrollkezeléshez képest 11 %-os növekedést jelentett.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 25. táblázat foglalja össze.

25. táblázat: A kukorica morzsolt tömegének (g) eredménytáblázata, 2019

Table 25.: Result table on grain yield of corn (g), 2019

Morzsolt tömeg (g)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	241,28	249,43	254,38	257,45	254,95	251,50
K kezelt	249,03	255,78	267,83	267,68	266,63	261,39
Átlag	245,16	252,61	261,11	262,57	260,79	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 13,67; $SzD_{1\%}$: 18,47

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 9,66; $SzD_{1\%}$: 13,06

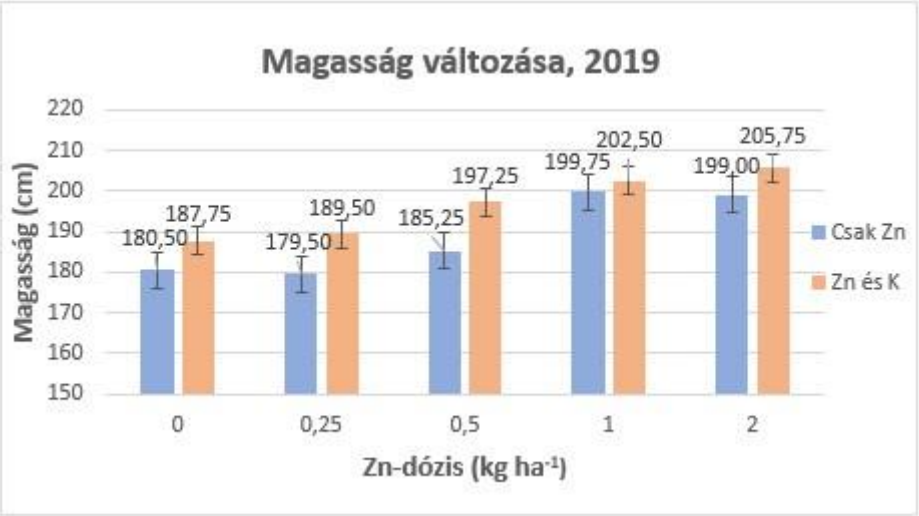
A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 6,11; $SzD_{1\%}$: 8,26

A kukorica morzsolt tömegét minden cink kezelés növelte. Szignifikáns növekedést a 0,5 kg ha^{-1} adagoktól kezdve értünk el. A kontrollhoz képest 99 %-os szignifikancia szinten hatásos a 0,5 kg ha^{-1}, 1 kg ha^{-1} és a 2 kg ha^{-1} cink kezelés.

4.2.4. A magasság változása a kezelések hatására

A 2019-es és 2020-as évben mértük a növény magasságát is. A növény magasságát a virágzási időszak végén végeztük. Mérőszalag segítségével a talaj felszínétől a címer végéig mértük a növényeket, parcellánként a két középső soron 5-5 növényt lemérve.

A kezelések hatására a kukorica magassága növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink és kálium dózisok függvényében (27. ábra).



27. ábra: Kezelések hatása a kukorica magasságára, 2019

Figure 27.: Effect of treatments on plant height, 2019

A kapott magasság értékek adatain elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit a 34. táblázat mutatja be.

34. táblázat: 2019. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica magasságára

Table 34.: Analysis of variances of treatments on plant height in 2019

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	153,275	51,092	1,183	
Kezelés	9	3159,025	351,003	8,125	**
Cink	4	2459,650	614,912	14,233	**
Kálium	1	600,625	600,625	13,902	**
Zn × K	4	98,750	24,688	0,571	
Hiba	27	1166,475	43,203		
Összes	39	4478,775			

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

A kálium-cink interakció tekintetében a növekedés nem volt szignifikáns, azonban a cinkkel és a káliummal történő kezelések 99 %-os szignifikancia szinten hatásosak voltak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 35. táblázat foglalja össze.

35. táblázat: A növény magasság (cm) eredménytáblázata, 2019

Table 35.: Result table on plant height (cm), 2019

Növény magasság (cm)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	180,50	179,50	185,25	199,75	199,00	188,80
K kezelt	187,75	189,50	197,25	202,50	205,75	196,55
Átlag	184,13	184,50	191,25	201,13	202,38	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 9,53; $SzD_{1\%}$: 12,87

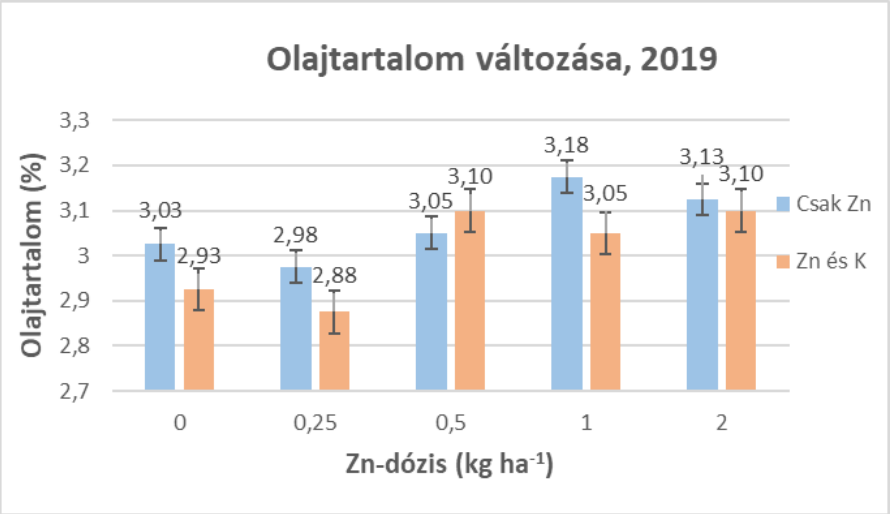
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 6,74; $SzD_{1\%}$: 9,10

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 4,26; $SzD_{1\%}$: 5,76

A legnagyobb növény magasságot a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózissal kaptuk (205,75 cm), amely közel 14 %-al volt magasabb, mint a kontroll kezelés eredménye, de hasonlóan magas értéket kaptunk az 1 kg-ha^{-1} cinkkel és 180 kg ha^{-1} káliummal kezelt területen is (202,50 cm). A kontrollhoz képest 95 %-os szignifikancia szinten hatásos a 0,5 kg ha^{-1} dózisú kezelés, és 99 %-os szignifikancia szinten hatásos az 1 kg ha^{-1} és a 2 kg ha^{-1} cink kezelés.

4.2.5. Az olajtartalom változása a kezelések hatására

A kezelések hatására, akárcsak az előző évben tapasztaltak alapján, az olajtartalom csak kismértékben változott a kezelések függvényében (28. ábra).



28. ábra: Kezelések hatása a kukorica szemtermés olajtartalmára, 2019

Figure 28.: Effect of treatments on oil content of corn, 2019

A kapott olajtartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit az 26. táblázat mutatja be.

26. táblázat: 2019. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés olajtartalmára

Table 26.: Analysis of variances of treatments on oil content of corn in 2019

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,082	0,027	0,603
Kezelés	9	0,311	0,035	0,763
Cink	4	0,233	0,058	1,289
Kálium	1	0,036	0,036	0,795
Zn × K	4	0,042	0,010	0,229
Hiba	27	1,223	0,045	
Összes	39	1,616		

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések a kukorica olajtartalmára nem voltak hatásosak semmilyen szignifikancia szinten. Bár a kezelések hatására az olajtartalom kismértékben nőtt, ez a növekedés statisztikailag nem volt igazolható.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 27. táblázat foglalja össze.

27. táblázat: A kukorica szemtermés olajtartalmának (%) eredménytáblázata, 2019

Table 27.: Result table on oil content of corn (%), 2019

Olajtartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	3,03	2,98	3,05	3,18	3,13	3,07
K kezelt	2,93	2,88	3,10	3,05	3,10	3,01
Átlag	2,98	2,93	3,08	3,12	3,12	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

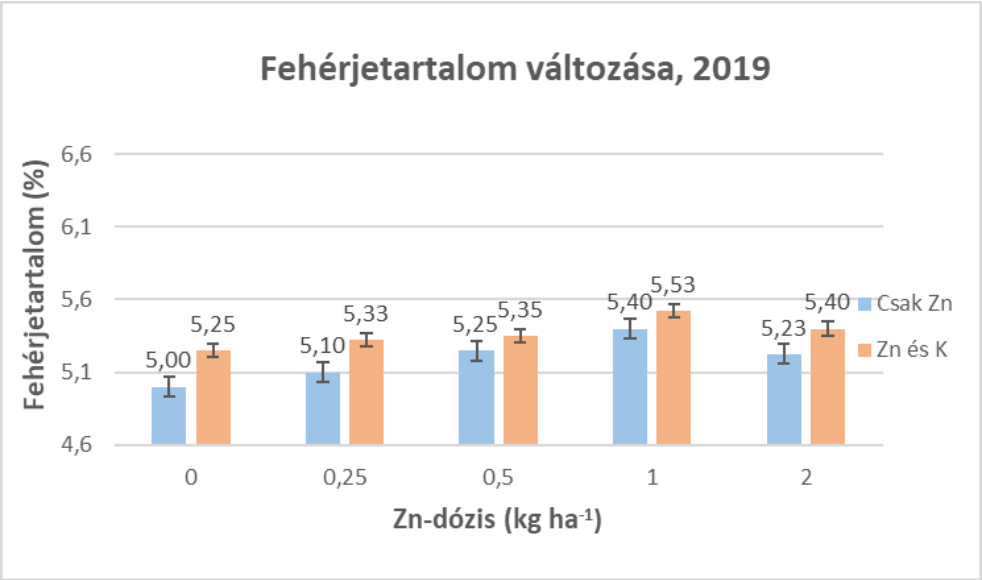
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kukorica olajtartalma a 0,5 kg ha^{-1} adagoktól kezdett el kismértékben növekedni. A legnagyobb olajtartalmat 1 kg ha^{-1} cink dózis mellett kaptuk, a káliummal nem ellátott területen (3,18%).

4.2.6. A fehérjetartalom változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a növekvő dózisokkal párhuzamosan a fehérjetartalom kismértékben nőtt 1 kg ha^{-1} cink dózisig. Ennél nagyobb cink (2 kg ha^{-1}) dózis kijuttatása esetén csökkent a fehérjetartalom a maximumhoz képest. A káliummal műtrágyázott területen minden esetben nagyobb fehérjetartalmat kaptunk, mint a csak cinkkel kezelt területeken. (29. ábra).



29. ábra: Kezelések hatása a kukorica szemtermés fehérjetartalmára, 2019

Figure 29.: Effect of treatments on protein content of corn, 2019

A kapott olajtartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit az 28. táblázat mutatja be.

28. táblázat: 2019. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés olajtartalmára

Table 28.: Analysis of variances of treatments on protein content of corn in 2019

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,067	0,022	0,320
Kezelés	9	0,785	0,087	1,256
Cink	4	0,507	0,127	1,823
Kálium	1	0,210	0,210	3,026
Zn × K	4	0,068	0,017	0,247
Hiba	27	1,876	0,069	
Összes	39	2,728		

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

Az egyes kezelések során mért fehérjetartalmak között statisztikailag igazolható különbségeket nem találtunk, az egyes értékek között összefüggést nem tudtunk kimutatni.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 29. táblázat foglalja össze.

29. táblázat: A kukorica szemtermés fehérjetartalmának (%) eredménytáblázata, 2019

Table 29.: Result table on protein content of corn (%), 2019

Fehérje-tartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	5,30	5,40	5,55	5,70	5,53	5,50
K kezelt	5,55	5,63	5,65	5,83	5,55	5,64
Átlag	5,43	5,52	5,60	5,77	5,54	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

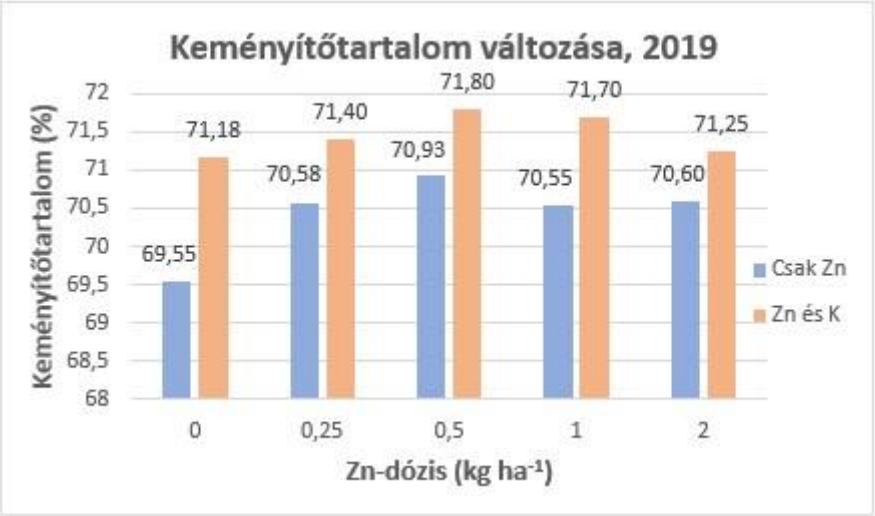
A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A legnagyobb fehérjetartalmat a káliummal ellátott, 1 kg ha^{-1} cink dózisú kezeléssel kaptuk, melynek értéke 5,83 %. Az ettől nagyobb cink dózis esetében már a fehérjetartalom csökkenését figyelhettük meg.

A cink kezelések és a kálium kezelések vonatkozásában a fehérjetartalom növekedése nem volt szignifikáns, azonban a kezelések hatására a fehérjetartalom kismértékű növekedése volt megfigyelhető.

4.2.7. A keményítőtartalom változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kapott keményítőtartalom növekvő tendenciát mutatott a növekvő műtrágya dózisok függvényében 0,5 kg ha^{-1} cink dózisig, majd ennél nagyobb cink dózisok esetében csökkent. A keményítőtartalom tekintetében minden esetben nagyobb értéket mértünk a káliummal ellátott területeken, mint a csak cinkkel lombtrágyázott parcellák esetében (30. ábra).



30. ábra: Kezelések hatása a kukorica szemtermés keményítőtartalmára, 2019

Figure 30.: Effect of treatments on starch content of corn, 2019

A kapott keményítőtartalom adatain elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit a 30. táblázat mutatja be.

30. táblázat: 2019. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés keményítőtartalmára

Table 30.: Analysis of variances of treatments on starch content of corn in 2019

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	3,877	1,292	0,535	
Kezelés	9	16,047	1,783	0,738	
Cink	4	4,384	1,096	0,454	
Kálium	1	10,506	10,506	4,348	*
Zn × K	4	1,157	0,289	0,120	
Hiba	27	65,236	2,416		
Összes	39	85,160			

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

A kálium kezelések hatására kialakult keményítőtartalom értékek statisztikai analízise során 95 %-os szignifikancia szinten érvényesülő különbségek adódtak. A kezelések során a legnagyobb keményítőtartalmat a káliummal ellátott, 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú területről kaptuk (71,8 %), amely a kontrollkezeléshez képest ~3 %-os növekedést jelentett.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 31. táblázat foglalja össze.

31. táblázat: A kukorica szemtermés keményítőtartalmának (%) eredménytáblázata, 2019

Table 31.: Result table on starch content of corn (%), 2019

Keményítő-tartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	69,55	70,58	70,93	70,55	70,60	70,44
K kezelt	71,18	71,40	71,80	71,70	71,25	71,47
Átlag	70,37	70,99	71,37	71,13	70,93	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

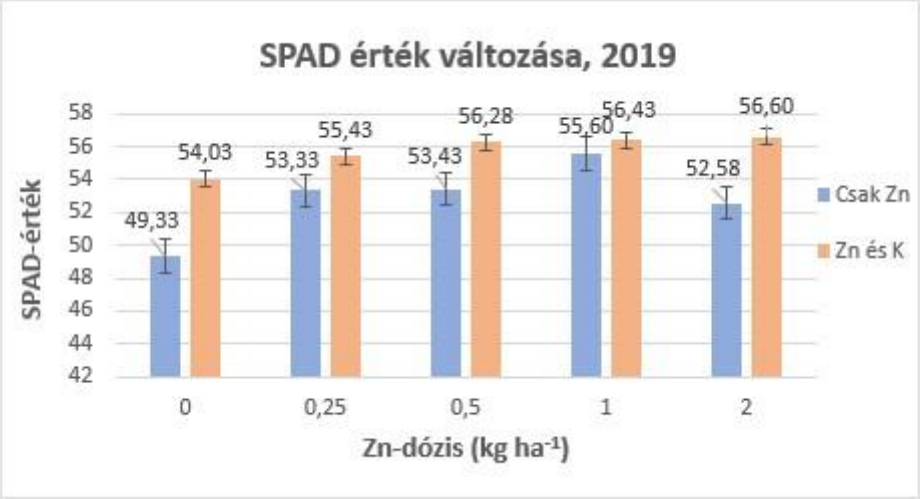
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 1,01; $SzD_{1\%}$: ns

A cink kezelések hatására kismértékben növekedett a keményítőtartalom 0,5 kg ha^{-1} cink dózisig. Az ennél nagyobb cink dózisok esetében csökkent a keményítőtartalom. A cink kezelések hatása nem volt szignifikánsan bizonyítható.

4.2.8. SPAD-érték változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a SPAD érték növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink és kálium dózisok függvényében (31. ábra). A Zn és K kezelések tekintetében a kezelések hatására folyamatos növekedés figyelhető meg, azonban a csak cinket kapott területen a 2 kg ha^{-1} cink dózist kapott parcellák esetében visszaesés figyelhető meg.



31. ábra: Kezelések hatása a kukorica SPAD értékére, 2019

Figure 31.: Effect of treatments on SPAD values, 2019

A kapott SPAD értékek adatain elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit a 32. táblázat mutatja be.

32. táblázat: 2019. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica SPAD értékeire

Table 32.: Analysis of variances of treatments on SPAD values in 2019

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	2,110	0,703	0,177	
Kezelés	9	184,720	20,524	5,151	**
Cink	4	81,713	20,428	5,126	**
Kálium	1	84,100	84,100	21,105	**
Zn × K	4	18,907	4,727	1,186	
Hiba	27	107,590	3,985		
Összes	39	294,420			

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

A kapott eredmények alapján a cinkkel és a káliummal történő kezelések a SPAD értékre hatásosak voltak 99 %-os szignifikancia szinten. A kontrollhoz képest az összes cink kezelés 99 %-os szignifikancia szinten bizonyult hatásosnak. A cink-kálium interakció 95 %-os szignifikancia szinten nem volt hatásos a kukorica SPAD értékére.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 33. táblázat foglalja össze.

33. táblázat: A kukorica SPAD értékeinek eredménytáblázata, 2019

Table 33.: Result table on SPAD values, 2019

SPAD-érték	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	49,33	53,33	53,43	55,60	52,58	52,85
K kezelt	54,03	55,43	56,28	56,43	56,60	55,75
Átlag	51,68	54,38	54,86	56,02	54,59	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 2,89; $SzD_{1\%}$: 3,91

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 2,05; $SzD_{1\%}$: 2,76

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 1,29; $SzD_{1\%}$: 1,75

A legnagyobb SPAD értéket a 180 kg ha^{-1} káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózissal kaptuk, mely 56,6. A legkisebb SPAD érték a kontroll parcellán adódott, melynek értéke 49,325 volt. A kezelések hatására közel 15 %-al nőtt a SPAD érték.

4.2.9. A 2019. évi eredmények összefoglalása

A második kísérleti évben elvégzett kezelések hatására is ***szignifikáns*** növekedést értünk el a **morzsolt szemek tömegé**re. A kálium műtrágyázás 99%-os szignifikancia szinten növelte a kukorica morzsolt tömegét, a cinkkel történő kezelés 0,5 kg ha^{-1}-os kezeléstől kezdve volt szignifikáns. A legnagyobb morzsolt tömeget 180 kg ha^{-1}-os kálium dózis és 0,5 kg ha^{-1}-os cink dózis kijuttatása mellett értük el. A legnagyobb, 2 kg ha^{-1}-os cink kezelés esetében enyhe termésdepressziót észleltünk.

A káliummal történő kezelések hatása a kukorica **keményítőtartalmá**ra ***95%-os szignifikancia szinten*** volt bizonyítható. A legnagyobb keményítőtartalmat kálium kijuttatása mellett, 0,5 kg ha^{-1}-os cink dózis mellett értük el (71,8%).

Szintén ***szignifikáns*** volt a kezelések hatása a **kukoricacső hosszá**ra a 0,5 kg ha^{-1}-os cink kezelésektől kezdve. A legnagyobb csőhosszt 180 kg ha^{-1} kálium és 2 kg ha^{-1}-os cink dózis kijuttatása mellett mértük. Az így mért csőhossz (18,48 cm) ~14,5%-os növekedést jelent a kontrollhoz képest.

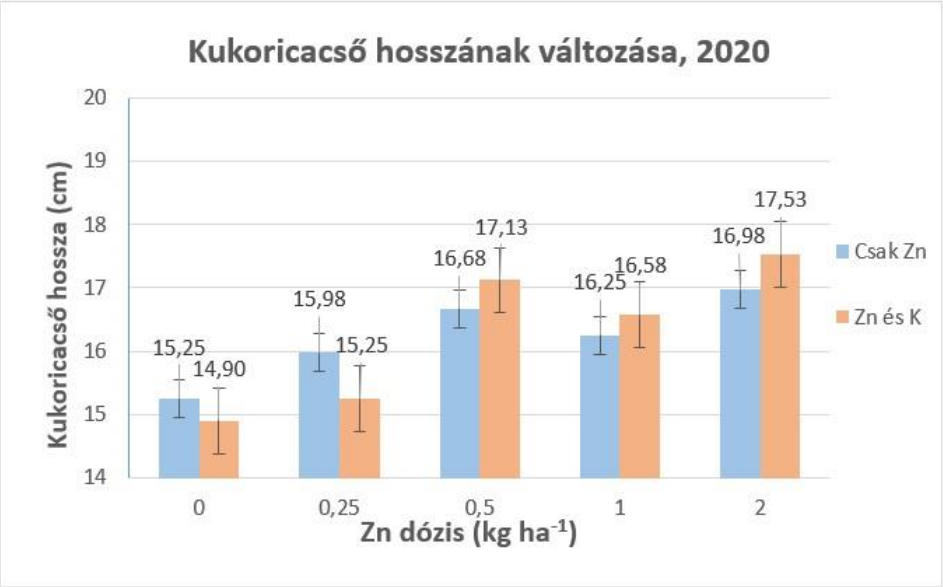
A kezelések hatása a **SPAD-érték**re és a növény **magasságá**ra is ***szignifikánsnak*** bizonyult az 0,25 kg ha^{-1}-os, illetve 0,5 kg ha^{-1}-os cink dózistól kezdve. Mindkét paraméter esetében a kálium 99%-os szignifikancia szinten növelte az eredményt. A maximális értékeket 180 kg ha^{-1} kálium és 2 kg ha^{-1}-os cink dózis kijuttatása mellett értük el (56,60; 205,75 cm).

A **szemsorok számá**ban, az **olajtartalom**ban és a **fehérjetartalom**ban a 2019-es év során ***sem sikerült szignifikáns különbségeket*** kimutatnunk.

4.3. A 2020. évi kezelések eredményei

4.3.1. Kukoricacső hosszának változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kapott kukoricacső hosszúságok növekvő tendenciát mutattak a növekvő műtrágya dózisok függvényében (32. ábra).



32. ábra: Kezelések hatása a kukoricacső hosszára, 2020

Figure 32.: Effect of treatments on cob length, 2020

A kapott kukoricacső adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 36. táblázat foglalja össze.

36. táblázat: 2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukoricacsövek hosszára

Table 36.: Analysis of variances of treatments on cob length in 2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	6,602	2,201	2,195	
Kezelés	9	28,405	3,156	3,148	**
Cink	4	25,887	6,472	6,454	**
Kálium	1	0,025	0,025	0,025	
Zn × K	4	2,493	0,623	0,621	
Hiba	27	27,073	1,003		
Összes	39	62,080			

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések a kukoricacsövek hosszára 99 %-os szignifikancia szinten hatásosak voltak. A cink műtrágyázás 99 %-os szignifikancia szinten növelte a kukoricacsövek hosszát, azonban a kálium, illetve a kálium-cink interakció nem növelték szignifikánsan a kukoricacsövek hosszát.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 37. táblázat foglalja össze.

37. táblázat: A kukoricacső hosszának eredménytáblázata, 2020

Table 37.: Result table on cob length (cm), 2020

Kukoricacső hossz (cm)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	15,25	15,98	16,68	16,25	16,98	16,23
K kezelt	14,90	15,25	17,13	16,58	17,53	16,28
Átlag	15,08	15,62	16,91	16,42	17,26	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 1,45; $SzD_{1\%}$: 1,96

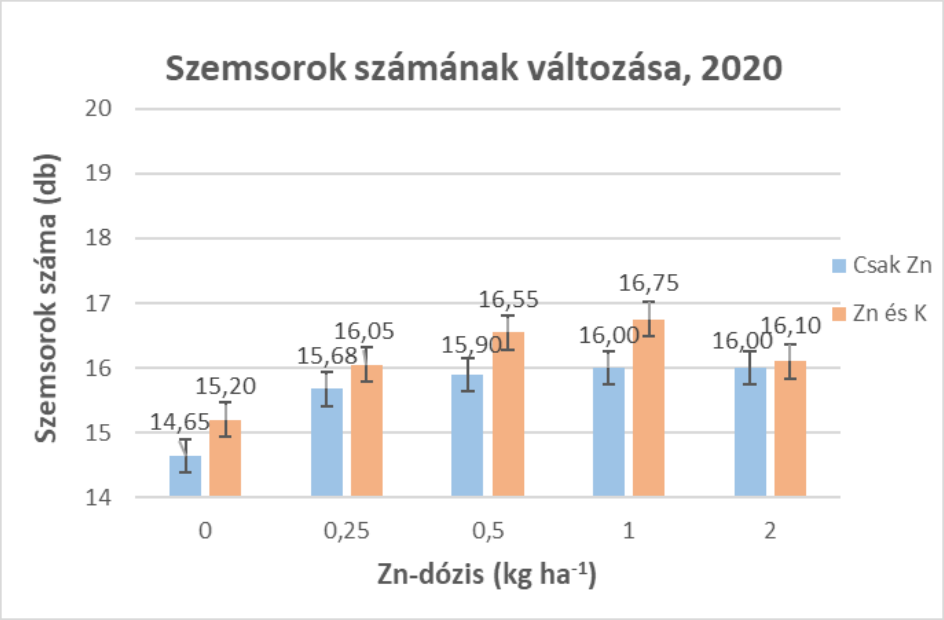
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 1,03; $SzD_{1\%}$: 1,39

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a leghosszabb kukoricacsövet a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, amely a kontrollparcellához képest 15 %-os növekedést jelent. Valamennyi kezeléssel csőhossz növekedést értünk el, 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú kezeléstől pedig szignifikáns többletet is mértünk. A legnagyobb csőhosszt kálium kijuttatása mellett, 2 kg ha^{-1} cink dózis esetén kaptuk (17,53 cm), amely több, mint 17 %-os növekedést jelentett a legkisebb mért csőhosszhoz képest (14,90 cm), melyet a káliummal kezelt és 0 kg ha^{-1} cink dózist kapott területen mértünk.

4.3.2. Szemsorok számának változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a szemsorok száma 1 kg ha^{-1} cink dózisig növekvő tendenciát mutatott a növekvő műtrágya adagok függvényében, azonban a legnagyobb cink dózisú (2 kg ha^{-1}) kezelések esetében már csökkent a szemsorok száma (33. ábra). A káliummal kezelt területeken minden esetben több szemsort figyelhettünk meg, mint a csak cinkkel kezelt parcellák esetében.



33. ábra: Kezelések hatása a kukorica szemsorainak számára, 2020

Figure 33.: Effect of treatments on number of rows per cob, 2020

A kapott adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit a 38. táblázat mutatja be.

38. táblázat: 2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemsorainak számára

Table 38.: Analysis of variances of treatments on number of rows per cob in 2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	6,169	2,056	2,070
Kezelés	9	13,316	1,480	1,490
Cink	4	10,440	2,610	2,628
Kálium	1	2,352	2,352	2,368
Zn × K	4	0,524	0,131	0,132
Hiba	27	26,819	0,993	
Összes	39	46,304		

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

A kezelések hatására a szemsorok számának változásában az egyes kezelések értékei között statisztikailag igazolható különbséget nem találtunk.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 39. táblázat foglalja össze.

39. táblázat: A kukorica szemsorok számának (db) eredménytáblázata, 2020

Table 39.: Result table on number of rows per cob, 2020

Szemsorok száma (db)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	14,65	15,68	15,90	16,00	16,00	15,65
K kezelt	15,20	16,05	16,55	16,75	16,10	16,13
Átlag	14,93	15,87	16,23	16,38	16,05	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

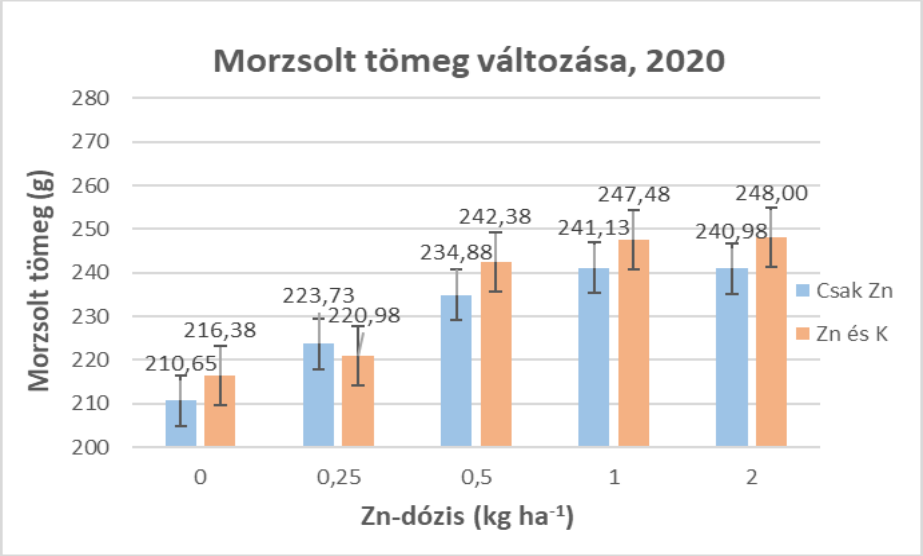
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A 2020. évi kísérletek során a legtöbb szemsort a káliummal ellátott, 1 kg ha^{-1} cink dózisú kezelések esetében kaptuk.

4.3.3. A morzsolt szemek tömegének változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kapott morzsolt tömegek növekvő tendenciát mutattak a növekvő műtrágya dózisok függvényében (34. ábra).



34. ábra: Kezelések hatása a morzsolt tömegre, 2020
Figure 34.: Effect of treatments on grain yield of corn, 2020

A kapott morzsolt tömeg adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 40. táblázat foglalja össze.

40. táblázat: 2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica morzsolt tömegére

Table 40.: Analysis of variances of treatments on grain yield of corn in 2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	55,841	18,614	0,460	
Kezelés	9	6643,589	738,177	18,233	**
Cink	4	6271,067	1567,767	38,725	**
Kálium	1	227,529	227,529	5,620	*
Zn × K	4	144,994	36,248	0,895	
Hiba	27	1093,089	40,485		
Összes	39	7792,519			

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések a kukorica morzsolt tömegére 99 %-os szignifikancia szinten hatásosak voltak. A cink levéltrágyázás 99 %-os szignifikancia szinten, a káliummal történő műtrágyázás 95 %-os szignifikancia szinten növelte a morzsolt tömeget, azonban a cink-kálium interakciónak nem volt statisztikailag igazolható hatása. A kontroll parcellához képest a cinkkel történő levéltrágyázás már a legkisebb, 0,25 kg ha^{-1} cink dózistól kezdve 99 %-os szignifikancia szinten növelte a kukorica morzsolt tömegét.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 41. táblázat foglalja össze.

41. táblázat: A kukorica morzsolt tömegének (g) eredménytáblázata, 2020

Table 41.: Result table on grain yield of corn (g), 2020

Morzsolt tömeg (g)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	210,65	223,73	234,88	241,13	240,98	230,27
K kezelt	216,38	220,98	242,38	247,48	248,00	235,04
Átlag	213,52	222,36	238,63	244,31	244,49	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 9,22; $SzD_{1\%}$: 12,46

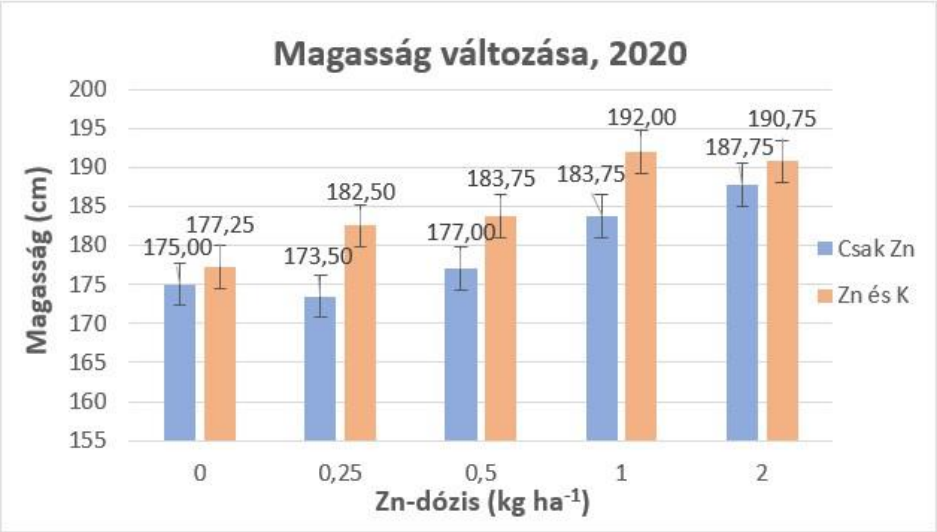
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 6,52; $SzD_{1\%}$: 8,81

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 4,41; $SzD_{1\%}$: ns

A 2020. évi kísérletek során a legnagyobb morzsolt tömeget a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelések esetében kaptuk, mely 248 g. A kezelések maximálisan 17,7 %-al növelték a kukorica morzsolt tömegét. A káliummal kezelt parcellák mintáiból átlagosan 2 %-al nagyobb morzsolt tömeget mértünk, mint a káliummal kezeletlen területeken.

4.3.4. A magasság változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kukorica magassága növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink és kálium dózisok függvényében, azonban cinkkel és káliummal is kezelt területen a legnagyobb (2 kg ha^{-1}) cink dózis esetében már csökkent a magasság (35. ábra).



35. ábra: Kezelések hatása a kukorica magasságára, 2020
Figure 35.: Effect of treatments on plant height, 2020

A kukorica magasságának adatain elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 48. táblázat mutatja be.

48. táblázat: 2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica magasságára

Table 48.: Analysis of variances of treatments on plant height in 2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	8,875	2,958	0,066	
Kezelés	9	1535,025	170,558	3,822	**
Cink	4	1117,650	279,412	6,261	**
Kálium	1	342,225	342,225	7,669	*
Zn × K	4	75,150	18,788	0,421	
Hiba	27	1204,875	44,625		
Összes	39	2748,775			

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

A kapott eredmények alapján a kezelések 99 %-os szignifikancia szinten voltak hatásosak. A cinkkel történő levéltrágyázás 99 %-os szignifikancia szinten növelte a kukorica magasságát, a káliummal történő alaptrágyázás 95 %-os szignifikancia szinten bizonyult hatásosnak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 49. táblázat foglalja össze.

49. táblázat: A kukorica magasságának (cm) eredménytáblázata, 2020

Table 49.: Result table on plant height (cm), 2020

Növény magasság (cm)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	175,00	173,50	177,00	183,75	187,75	179,40
K kezelt	177,25	182,50	183,75	192,00	190,75	185,25
Átlag	176,13	178,00	180,38	187,88	189,25	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 9,68; $SzD_{1\%}$: 13,08

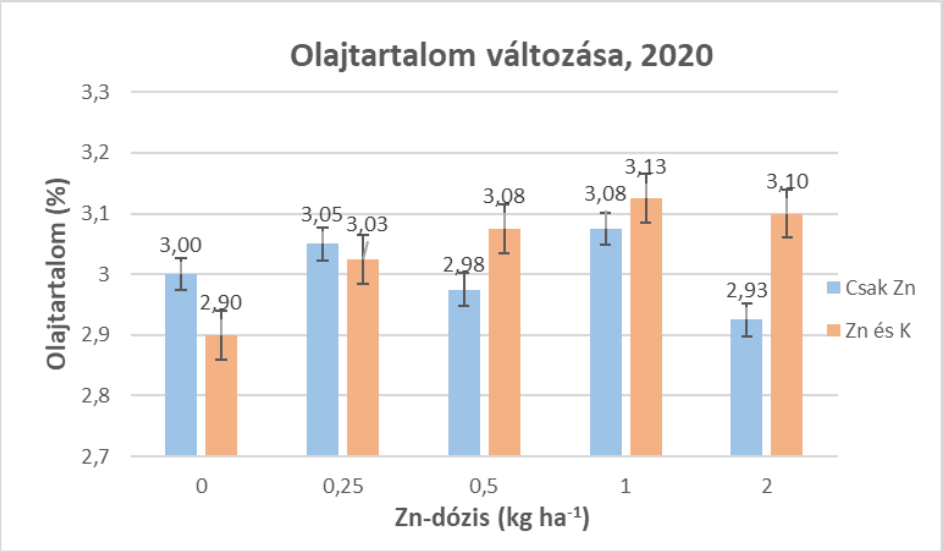
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 6,85; $SzD_{1\%}$: 9,25

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 4,33; $SzD_{1\%}$: ns

Az összes cinkkel történő kezelés növelte a növény magasságát, azonban csak az 1, illetve a 2 kg ha^{-1} cink dózisú levéltrágyázás bizonyult szignifikánsan hatásosnak a kontroll parcellához képest. A legnagyobb növény magasságot a káliummal ellátott, 1 kg ha^{-1} cink dózissal kaptuk (192 cm), amely közel 11 %-al volt magasabb, mint a legkisebb mért magasság (173,5 cm). A meghatározott szignifikáns differenciák (SzD) alapján a kezeletlen kontrollhoz képest 99 %-os szignifikancia szinten hatásosak voltak az 1 és 2 kg ha^{-1} cink dózissal kezelt parcellák.

4.3.5. Az olajtartalom változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kukorica olajtartalma kismértékű növekvő tendenciát mutatott, a legnagyobb cink dózisú (2 kg ha^{-1}) kezelésnél enyhe csökkenéssel. A kezelések hatására az olajtartalomban bekövetkező változások statisztikailag nem igazolhatók (36. ábra).



36. ábra: Kezelések hatása a kukorica szemtermés olajtartalmára, 2020
Figure 36.: Effect of treatments on oil content of corn, 2020

A kapott olajtartalom adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 42. táblázat foglalja össze.

42. táblázat: 2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés olajtartalmára

Table 42.: Analysis of variances of treatments on oil content of corn in 2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,059	0,020	0,809
Kezelés	9	0,200	0,022	0,915
Cink	4	0,093	0,023	0,952
Kálium	1	0,016	0,016	0,659
Zn × K	4	0,091	0,023	0,942
Hiba	27	0,656	0,024	
Összes	39	0,915		

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések a kukorica olajtartalmára 95 %-os szignifikancia szinten statisztikailag igazolható különbségeket nem mutattak. A nem igazolható különbségek ellenére a műtrágyázott kezelések nagyobb olajtartalommal rendelkeztek a kontroll értékeihez képest.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 43. táblázat foglalja össze.

43. táblázat: A kukorica szemtermés olajtartalmának eredménytáblázata, 2020

Table 43.: Result table on oil content of corn (%), 2020

Olajtartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	3,00	3,05	2,98	3,08	2,93	3,01
K kezelt	2,90	3,03	3,08	3,13	3,10	3,05
Átlag	2,95	3,04	3,03	3,11	3,02	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

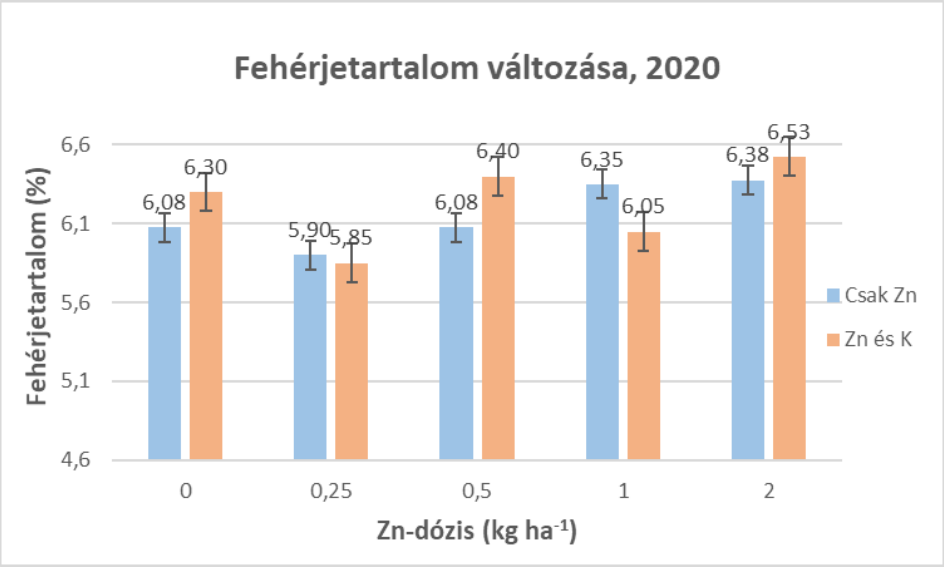
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A 2020. évi kísérletek során a legnagyobb olajtartalmat a káliummal ellátott, 1 kg ha^{-1} cink dózisú kezelések esetében kaptuk. Az így kapott olajtartalom 3,13 % volt. A legalacsonyabb olajtartalom 2,9 % volt, melyet a cinkkel kezeletlen, káliummal ellátott területen kaptuk.

4.3.6. A fehérjetartalom változása a kezelések hatására

A kukorica fehérjetartalma a kezelések hatására kismértékben növekedett, azonban ez a növekedés statisztikaileg nem volt igazolható (37. ábra).



37. ábra: Kezelések hatása a kukorica szemtermés fehérjetartalmára, 2020
Figure 37.: Effect of treatments on protein content of corn, 2020

A kapott morzsolt tömeg adatokon elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményét a 44. táblázat foglalja össze.

44. táblázat: 2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés fehérjetartalmára

Table 44.: Analysis of variances of treatments on protein content of corn in 2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,690	0,230	0,515
Kezelés	9	1,896	0,211	0,472
Cink	4	1,354	0,338	0,758
Kálium	1	0,049	0,049	0,110
Zn × K	4	0,493	0,123	0,276
Hiba	27	12,050	0,446	
Összes	39	14,636		

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

A statisztikai elemzések alapján a kukorica fehérjetartalma 95 %-os megbízhatósági szinten nem mutatott különbségeket. A 2020. évi kísérletek során a fehérjetartalom a kontrollhoz képest 0,5 kg ha^{-1} cink dózistól kezdve növekedett kismértékben.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 45. táblázat foglalja össze.

45. táblázat: A kukorica szemtermés fehérjetartalmának eredménytáblázata, 2020

Table 45.: Result table on protein content of corn (%), 2020

Fehérje-tartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	6,08	5,90	6,08	6,35	6,38	6,16
K kezelt	6,30	5,85	6,40	6,05	6,53	6,23
Átlag	6,19	5,88	6,24	6,20	6,46	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

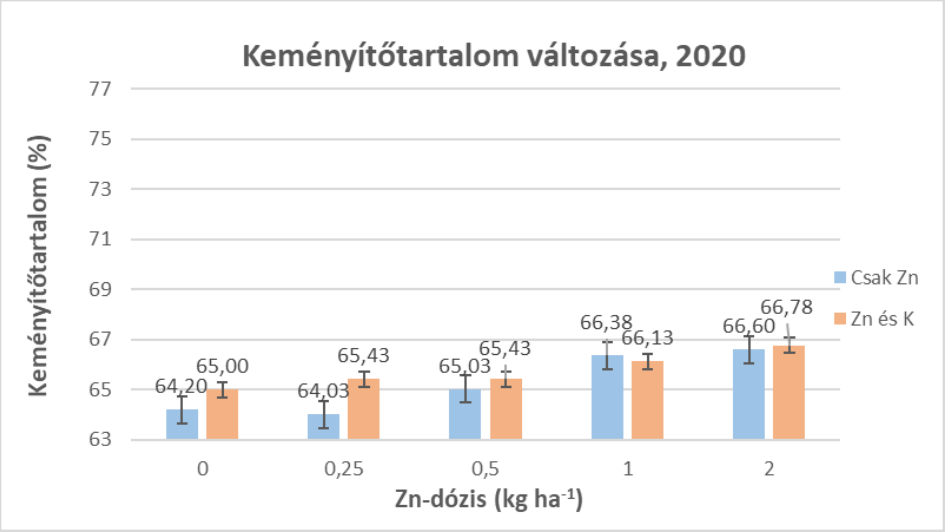
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a legnagyobb fehérjetartalmat a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el. Az így kapott fehérjetartalom 6,53 % volt, ez a kontroll kezeléshez képest 7,4 %-os növekedést jelent.

4.3.7. A keményítőtartalom változása a kezelések hatására

A kezelések hatására a kukorica keményítőtartalma egyértelműen növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink és kálium dózisok hatására (38. ábra). A káliummal kezelt parcellákon az 1 kg ha^{-1} cink dózisú parcellák kivételével mindenhol nagyobb keményítőtartalmat mértünk, mint a káliummal kezeletlen párjaik esetében.



38. ábra: Kezelések hatása a kukorica szemtermés keményítőtartalmára, 2020
Figure 38.: Effect of treatments on starch content of corn, 2020

A kapott keményítőtartalom adatain elvégzett kéttényezős varianciaanalízis eredményeit a 46. táblázat mutatja be.

46. táblázat: 2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés keményítőtartalmára

Table 46.: Analysis of variances of treatments on starch content of corn in 2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	5,213	1,738	1,399	
Kezelés	9	33,377	3,709	2,985	**
Cink	4	27,671	6,918	5,569	**
Kálium	1	2,550	2,550	2,053	
Zn × K	4	3,156	0,789	0,635	
Hiba	27	33,540	1,242		
Összes	39	72,130			

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

A varianciaanalízis eredményei alapján a kezelések 99 %-os szignifikancia szinten növelték a kukorica keményítőtartalmát. A cinkkel történő levéltrágyázás 99 %-os szignifikancia szinten bizonyult hatásosnak a kukorica keményítőtartalmát tekintve. A káliummal történő műtrágyázás kismértékben növelte a kukorica keményítőtartalmát, azonban ez a növekedés nem volt szignifikánsan kimutatható. A két elem interakciója a keményítőtartalomra 95 %-os szignifikancia szinten nem bizonyult hatásosnak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 47. táblázat foglalja össze.

47. táblázat: A kukorica szemtermés keményítőtartalmának eredménytáblázata, 2020

Table 47.: Result table on starch content of corn (%), 2020

Keményítő-tartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	64,20	64,03	65,03	66,38	66,60	65,25
K kezelt	65,00	65,43	65,43	66,13	66,78	65,75
Átlag	64,60	64,73	65,23	66,26	66,69	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 1,62; $SzD_{1\%}$: 2,18

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 1,14; $SzD_{1\%}$: 1,54

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A 2020. évi kísérletek során a legnagyobb keményítő tartalmat a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, a legalacsonyabbat az 0,25 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén. Az így kapott keményítő tartalmak 66,78 % illetve 64,03 % voltak.

4.3.8. A 2020. évi eredmények összefoglalása

A 2020-as évi kísérleti eredményeink hasonlóképpen alakultak a **morzsolt szemek** változásának szempontjából, mint a 2019. évben. A cink levéltrágyázás már a legkisebb, 0,25 kg ha^{-1} cink dózistól kezdve 99%-os ***szignifikancia*** szinten, a káliummal történő műtrágyázás 95%-os szignifikancia szinten növelte a morzsolt tömegét. A kezelések hatására 17,7%-al nőtt a morzsolt tömeg.

A kezelések hatására nőtt a **csőhossz**. Valamennyi kezeléssel csőhossz növekedést értünk el, 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú kezeléstől pedig ***szignifikáns*** többletet is mértünk ($P<0,01$). A kezelések során a leghosszabb kukoricacsövet a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, amely a kontrollparcellához képest 15%-os növekedést jelent.

A kezelések hatására a kukorica **keményítőtartalma** növekvő tendenciát mutatott. A cinkkel történő levéltrágyázás 99%-os ***szignifikancia*** szinten bizonyult hatásosnak 1, illetve 2 kg ha^{-1}-os cink dózis mellett. A két legnagyobb cink dózisú kezelés esetében közeli értékeket kaptunk, a legnagyobb keményítőtartalmat ebben az évben azonban 180 kg ha^{-1} kálium és 2 kg ha^{-1} cink kijuttatása mellett értük el.

Hasonlóan az előző év eredményeihez, a kezelések hatására a növény **magasság**a 1 kg ha^{-1}-os cink dózisig növekvő tendenciát mutatott. A káliummal ($P<0,05$) és a cinkkel ($P<0,01$) történő tápanyagutánpótlás is ***szignifikánsan*** növelte a növény magasságát. A maximum értéket (192 cm) 180 kg ha^{-1} kálium és 1 kg ha^{-1} cink dózis kijuttatása mellett kaptuk.

A kezelések ebben az évben ***sem voltak statisztikailag*** hatásosak a **szemsorok szám**ára, az **olajtartalom**ra és a **fehérjetartalom**ra.

4.4. 2018-2020 évi kísérletek eredményei

A 2018-2020. évben végzett kezelések eredményeit az 50. táblázat tartalmazza.

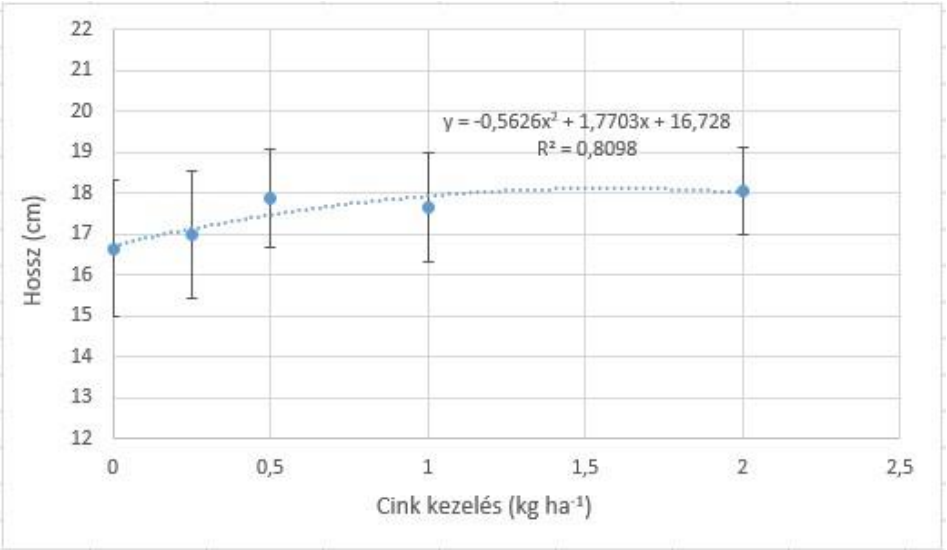
50. táblázat: 2018-2020 évi kísérleti eredmények

Table 50.: Experimental results, 2018-2020

Kijuttatott tápelem	Zn dózis kg ha^{-1}	Csőhossz cm	Szemsorok száma db	Morzsolt tömeg g	Olaj %	Fehérje %	Keményítő %	Magasság cm
Csak Zn	0	16,52±1,61	17,07±1,92	231,99±18,75	3,05±0,12	5,58±0,64	69,31±4,36	177,75±5,34
	0,25	17,13±1,53	17,24±1,25	241,28±18,97	3,02±0,13	5,61±0,46	69,68±4,67	176,50±6,19
	0,5	17,85±1,35	17,56±1,51	251,16±15,12	3,07±0,21	5,71±0,58	70,15±4,15	181,13±6,01
	1	17,70±1,40	17,58±1,65	249,53±9,53	3,13±0,18	5,81±0,55	70,56±3,66	191,75±10,04
	2	17,70±0,80	17,65±1,36	246,65±11,36	2,98±0,22	5,78±0,56	70,61±3,60	193,38±7,19
Zn + K	0	16,79±1,78	16,84±1,49	236,28±16,43	2,91±0,14	5,75±0,49	70,58±4,64	182,50±6,52
	0,25	17,14±1,79	17,30±1,47	243,58±18,96	3,01±0,18	5,66±0,47	70,60±4,22	186,00±8,28
	0,5	17,94±1,09	17,72±1,24	260,34±14,33	3,09±0,11	5,87±0,54	70,65±4,20	190,50±10,32
	1	17,63±1,35	17,70±1,17	256,82±11,19	3,12±0,19	5,78±0,55	70,88±3,88	197,25±10,95
	2	18,42±1,19	17,54±1,43	257,32±11,43	3,12±0,22	5,91±0,60	70,88±3,58	198,25±10,48

4.4.1. A kezelések hatása a csőhosszra

A kezelések hatására a kapott csőhossz adatok növekvő tendenciát mutattak a növekvő cink dózisok függvényében (39. ábra).



39. ábra: Cink kezelések hatása a kukorica csőhosszára, 2018-2020
Figure 39.: Effect of zinc treatments on cob length, 2018-2020

A 3 év átlagában elvégzett csőhossz adatok kéttényezős varianciaanalízis eredményeit az 51. táblázat foglalja össze.

51. táblázat: 2018-2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica csőhosszára

Table 51.: Analysis of variances of treatments on cob length in 2018-2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	0,090	0,030	0,131	
Kezelés	9	12,046	1,338	5,819	**
Cink	4	10,833	2,708	11,773	**
Kálium	1	0,420	0,420	1,827	
Zn × K	4	0,793	0,198	0,862	
Hiba	27	6,211	0,230		
Összes	39	18,347			

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések 99%-os szignifikancia szinten eredményesek voltak a kukoricacsövek hosszára. A cinkkel történő lombtrágyázás 99 %-os szignifikancia szinten növelte a csőhosszat, azonban a káliummal történő műtrágyázás és a kálium-cink interakció nem voltak hatásosak 95 %-os szignifikancia szinten a kukorica csőhosszára. A 2018-2020. évi kísérletek során a csőhosszat minden cink és kálium kezelés növelte. A 0,5 kg ha^{-1} és annál nagyobb cink dózisú kezelések 99 %-os szignifikancia szinten hatásosak a kontrollhoz képest.

Az egyes kezelések közötti különbségeket az 52. táblázat foglalja össze.

52. táblázat: A kukorica csőhosszának (cm) eredménytáblázata, 2018-2020

Table 52.: Result table on cob length (cm), 2018-2020

Kukoricacső hossz (cm)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	16,52	17,13	17,85	17,70	17,70	17,38
K kezelt	16,79	17,14	17,94	17,63	18,42	17,58
Átlag	16,66	17,14	17,90	17,67	18,06	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 0,70; $SzD_{1\%}$: 0,94

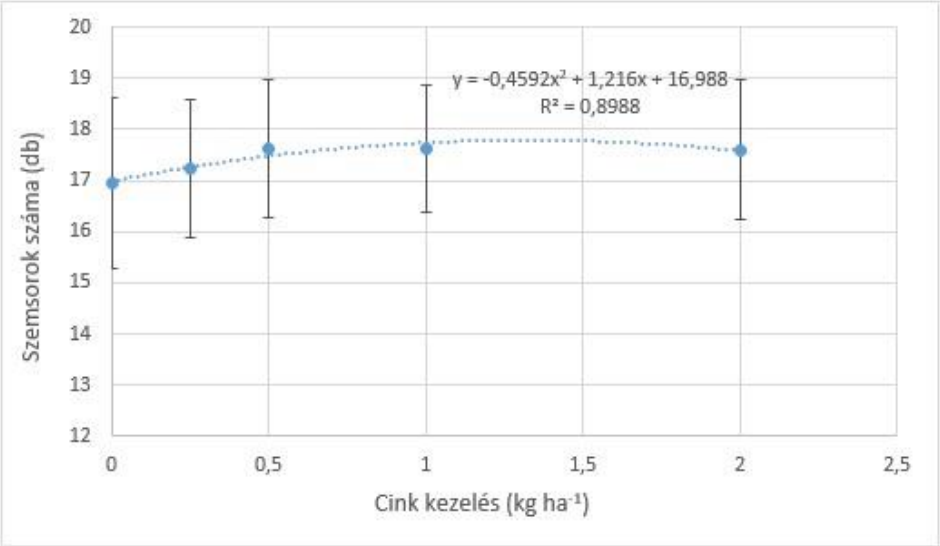
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 0,49; $SzD_{1\%}$: 0,66

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a legnagyobb csőhosszat a káliummal kezelt, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, ami 18,42 cm volt. A kezelések során a csőhossz másodfokú függvénye ($y = -0,5626x^2 + 1,7703x + 16,728$, $r^2=0,8098$) 1,57 kg ha^{-1} cink dózis esetén éri el maximumát.

4.4.2. A kezelések hatása a szemsorok számára

A kezelések hatására a szemsorok száma növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink dózisok függvényében (40. ábra).



40. ábra: Cink kezelések hatása a kukorica szemsorok számára, 2018-2020
Figure 40.: Effect of zinc treatments on number of rows per cob, 2018-2020

A 3 év átlagában elvégzett csőhossz adatok kéttényezős varianciaanalízis eredményeit az 53. táblázat foglalja össze.

53. táblázat: 2018-2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemsorainak számára

Table 53.: Analysis of variances of treatments on number of rows per cob in 2018-2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	0,978	0,326	1,833	
Kezelés	9	3,234	0,359	2,020	
Cink	4	2,892	0,723	4,063	*
Kálium	1	0,114	0,114	0,639	
Zn × K	4	0,228	0,057	0,321	
Hiba	27	4,804	0,178		
Összes	39	9,016			

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

A kapott eredmények alapján a cinkkel történő kezelések a kukorica szemsorainak számára legalább 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak voltak. A káliummal történő műtrágyázás és a kálium-cink interakció 95 %-os szinten nem mutattak statisztikailag igazolható változást. A 2018-2020. évi kísérletek során a kísérletek átlagában a szemsorok számát tartalmat minden kezelés növelte.

Az egyes kezelések közötti különbségeket az 54. táblázat foglalja össze.

54. táblázat: A kukorica szemsorok számának (db) eredménytáblázata, 2018-2020

Table 54.: Result table on number of rows per cob, 2018-2020

Szemsorok száma (db)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	17,07	17,24	17,56	17,58	17,65	17,42
K kezelt	16,93	17,47	17,82	17,77	17,66	17,53
Átlag	17,00	17,36	17,69	17,68	17,66	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

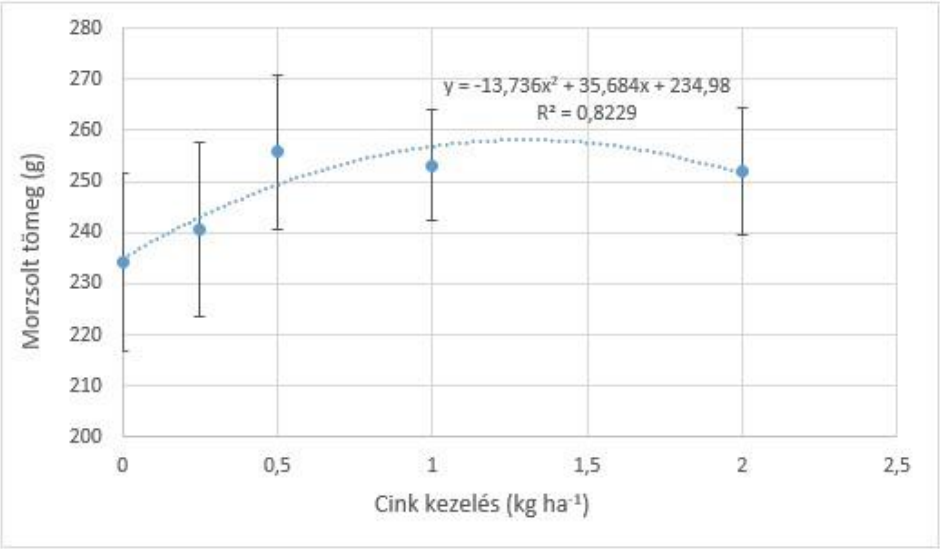
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 0,43; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a legnagyobb szemsor számot a káliummal ellátott, 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, ami 17,82 db volt. A kezelés során a szemsorok számára illesztett másodfokú függvény ($y = -0,4592x^2 + 1,216x + 16,988$, $r^2=0,8988$) 1,32 kg ha^{-1} cink dózis esetén érte el a maximumát.

4.4.3. A kezelések hatása a morzsolt tömegre

A kezelések hatására a morzsolt tömeg növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink dózisok függvényében 0,5 kg ha^{-1} cink dózisig, Az ennél nagyobb cink dózis kijuttatásának hatására csökkeni kezdett a morzsolt tömeg és enyhe termésdepressziót lehetett észlelni (41. ábra).



41. ábra: Cink kezelések hatása a kukorica morzsolt tömegére, 2018-2020
Figure 41.: Effect of zinc treatments on grain yield of corn, 2018-2020

A 3 év átlagában elvégzett morzsolt tömeg adatok kéttényezős varianciaanalízis eredményeit az 55. táblázat foglalja össze.

55. táblázat: 2018-2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica morzsolt tömegére

Table 55.: Analysis of variances of treatments on grain yield of corn in 2018-2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	19,129	6,376	0,132	
Kezelés	9	3147,662	349,740	7,215	**
Cink	4	2597,995	649,499	13,399	**
Kálium	1	454,950	454,950	9,386	**
Zn × K	4	94,717	23,679	0,489	
Hiba	27	1308,750	48,472		
Összes	39	4475,542			

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

Az elvégzett statisztikai elemzés során a kapott morzsolt tömeg adatok között 99 %-os szignifikancia szinten találtunk különbségeket. A 2018-2020. évi kísérletek során a morzsolt tömeget minden kezelés növelte. Szignifikáns növekedést már a legkisebb, 0,25 kg ha^{-1} cink dózistól bizonyítottunk (95 %-os szignifikancia szinten), a 0,5 kg ha^{-1} cink dózistól kezdve pedig 99 %-os szignifikancia szinten nőtt a morzsolt tömeg a kezelések hatására.

Az egyes kezelések közötti különbségeket az 56. táblázat foglalja össze.

56. táblázat: A kukorica morzsolt tömegének (g) eredménytáblázata, 2018-2020

Table 56.: Result table on grain yield of corn (g), 2018-2020

Morzsolt tömeg (g)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	231,99	241,28	251,16	249,53	246,65	244,12
K kezelt	236,28	243,58	260,34	256,82	257,32	250,87
Átlag	234,14	242,43	255,75	253,18	251,99	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 10,09; $SzD_{1\%}$: 13,64

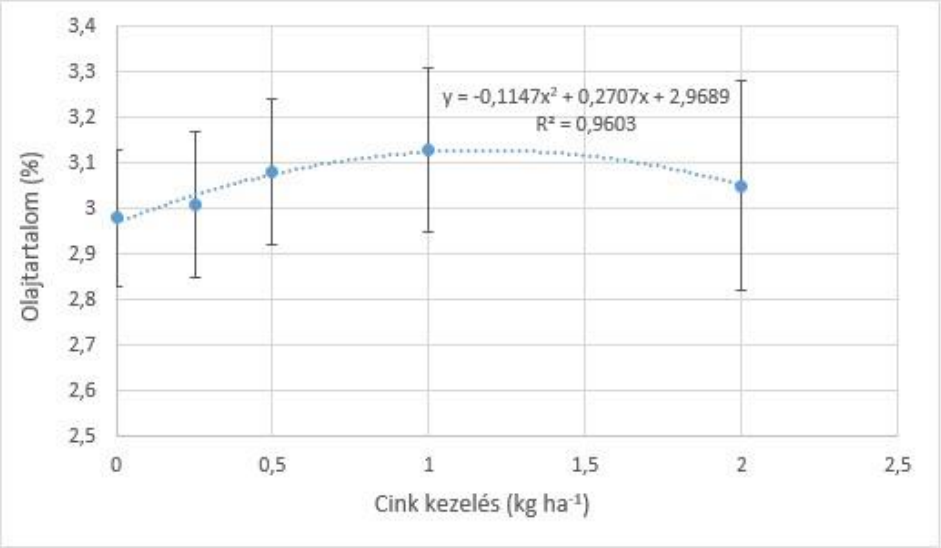
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 7,14; $SzD_{1\%}$: 9,64

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 4,51; $SzD_{1\%}$: 6,10

A kezelések során a legnagyobb morzsolt tömeget a káliummal ellátott, 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, ami 260,34g volt. Ez a kontroll kezeléshez képest több mint 12 %-os növekedést jelent. A morzsolt tömegre illesztett másodfokú függvény ($y = -13,736x^2 + 35,684x + 234,98$, $r^2=0,8229$) 1,30 kg ha^{-1} cink dózis esetén érte el a maximumát.

4.4.4. A kezelések hatása az olajtartalomra

A kezelések hatására az olajtartalom növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink dózisok függvényében 1 kg ha^{-1} cink dózisig. A 2 kg ha^{-1}-os cink dózis esetén már jelentősen visszaesett az olajtartalom (42. ábra).



42. ábra: Cink kezelések hatása a kukorica szemtermés olajtartalmára, 2018-2020

Figure 42.: Effect of zinc treatments on oil content of corn, 2018-2020

A 3 év átlagában elvégzett olajtartalom adatok kéttényezős varianciaanalízis eredményeit az 57. táblázat foglalja össze.

57. táblázat: 2018-2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés olajtartalmára

Table 57.: Analysis of variances of treatments on oil content of corn in 2018-2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,014	0,005	0,301
Kezelés	9	0,181	0,020	1,310
Cink	4	0,103	0,026	1,681
Kálium	1	0,000	0,000	0,002
Zn × K	4	0,078	0,019	1,265
Hiba	27	0,414	0,015	
Összes	39	0,609		

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések hatására a kukorica olajtartalmát tekintve a különböző kezelések között nem találtunk szignifikáns különbségeket a statisztikai elemzés során. A 2018-2020. évi kísérletek során az olajtartalmat minden cink kezelés növelte, azonban ez a növekedés csak kismértékű volt és nem szignifikáns. A káliummal történő kezelések átlagában nem történt változás.

Az egyes kezelések közötti különbségeket az 58. táblázat foglalja össze.

58. táblázat: A kukorica szemtermés olajtartalmának (%) eredménytáblázata, 2018-2020

Table 58.: Result table on oil content of corn (%), 2018-2020

Olajtartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	3,05	3,02	3,07	3,13	2,98	3,05
K kezelt	2,91	3,01	3,09	3,12	3,12	3,05
Átlag	2,98	3,02	3,08	3,13	3,05	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

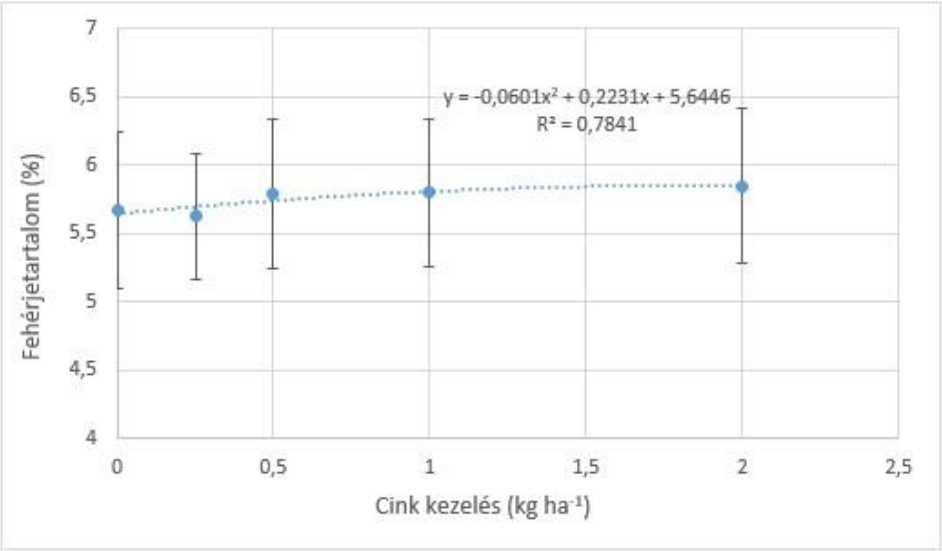
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a legnagyobb olajtartalmat a káliummal nem trágyázott, vagy K-pótlásban nem részesült 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, ami 3,13 % volt. Az olajtartalomra illesztett másodfokú függvény ($y = -0,1147x^2 + 0,2707x + 2,9689$, $r^2=0,9603$) 1,18 kg ha^{-1} cink dózis esetén érte el a maximumát.

4.4.5. A kezelések hatása a fehérjetartalomra

A kezelések hatására a kukorica fehérjetartalma növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink dózisok függvényében (43. ábra).



43. ábra: Cink kezelések hatása a kukorica szemtermés fehérjetartalmára, 2018-2020

Figure 43.: Effect of zinc treatments on protein content of corn, 2018-2020

A 3 év átlagában elvégzett fehérjetartalom adatok kéttényezős varianciaanalízis eredményeit az 59. táblázat foglalja össze.

59. táblázat: 2018-2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés fehérjetartalmára

Table 59.: Analysis of variances of treatments on protein content of corn in 2018-2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*
Ismétlés	3	0,159	0,053	0,615
Kezelés	9	0,408	0,045	0,528
Cink	4	0,265	0,066	0,772
Kálium	1	0,090	0,090	1,051
Zn × K	4	0,053	0,013	0,154
Hiba	27	2,319	0,086	
Összes	39	2,886		

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések a kukorica fehérjetartalmát 95 %-os szignifikancia szinten nem befolyásolták. A 2018-2020. évi kísérletek során a fehérjetartalmat a 0,25 kg ha^{-1} cink dózis kivételével minden kezelés növelte, azonban ez a növekedés csak kismértékű volt és nem szignifikáns.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 60. táblázat foglalja össze.

60. táblázat: A kukorica szemtermés fehérjetartalmának (%) eredménytáblázata, 2018-2020

Table 60.: Result table on protein content of corn (%), 2018-2020

Fehérje-tartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	5,58	5,61	5,71	5,81	5,78	5,70
K kezelt	5,75	5,66	5,87	5,78	5,91	5,79
Átlag	5,67	5,64	5,79	5,80	5,85	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

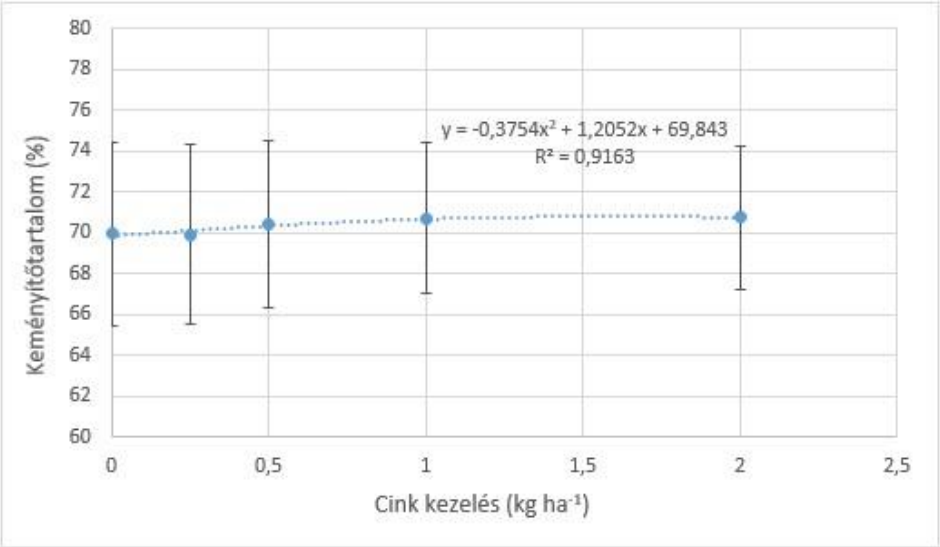
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A kezelések során a legnagyobb olajtartalmat a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, ami 5,91 % volt. A fehérjetartalomra illesztett másodfokú függvény ($y = -0{,}0601x^2 + 0{,}2231x + 5{,}6446$, $r^2=0{,}7841$) 1,86 kg ha^{-1} cink dózis esetén érte el a maximumát.

4.4.6. A kezelések hatása a keményítőtartalomra

A kezelések hatására a kukorica keményítőtartalma növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink dózisok függvényében. Mindegyik kezelés esetében magasabb keményítőtartalmat értünk el, mint a kontroll parcella esetében (44. ábra).



44. ábra: Cink kezelések hatása a kukorica szemtermés keményítőtartalmára, 2018-2020
Figure 44.: Effect of zinc treatments on starch content of corn, 2018-2020

A 3 év átlagában elvégzett keményítőtartalom adatok kéttényezős varianciaanalízis eredményeit a 61. táblázat foglalja össze.

61. táblázat: 2018-2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica szemtermés keményítőtartalmára

Table 61.: Analysis of variances of treatments on starch content of corn in 2018-2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	1,821	0,607	1,424	
Kezelés	9	9,737	1,082	2,538	*
Cink	4	3,932	0,983	2,306	
Kálium	1	4,312	4,312	10,117	**
Zn × K	4	1,493	0,373	0,876	
Hiba	27	11,508	0,426		
Összes	39	23,066			

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések 95 %-os szignifikancia szinten eredményesek voltak a kukorica keményítőtartalmára. Az elvégzett statisztikai elemzés során a cinkkel történő lombtrágyázás és a cink-kálium interakció tekintetében nem adódott szignifikáns különbség az egyes kezelések között, azonban a káliummal történő műtrágyázás 99 %-os szignifikancia szinten hatásos volt a kukorica keményítőtartalmára. A 2018-2020. évi kísérletek során a keményítőtartalmat minden cink és kálium kezelés növelte.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 62. táblázat foglalja össze.

62. táblázat: A kukorica szemtermés keményítőtartalmának (%) eredménytáblázata, 2018-2020

Table 62.: Result table on starch content of corn (%), 2018-2020

Keményítő-tartalom (%)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	69,31	69,68	70,15	70,56	70,61	70,06
K kezelt	70,58	70,60	70,65	70,88	70,88	70,72
Átlag	69,95	70,14	70,40	70,72	70,75	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 0,95; $SzD_{1\%}$: ns

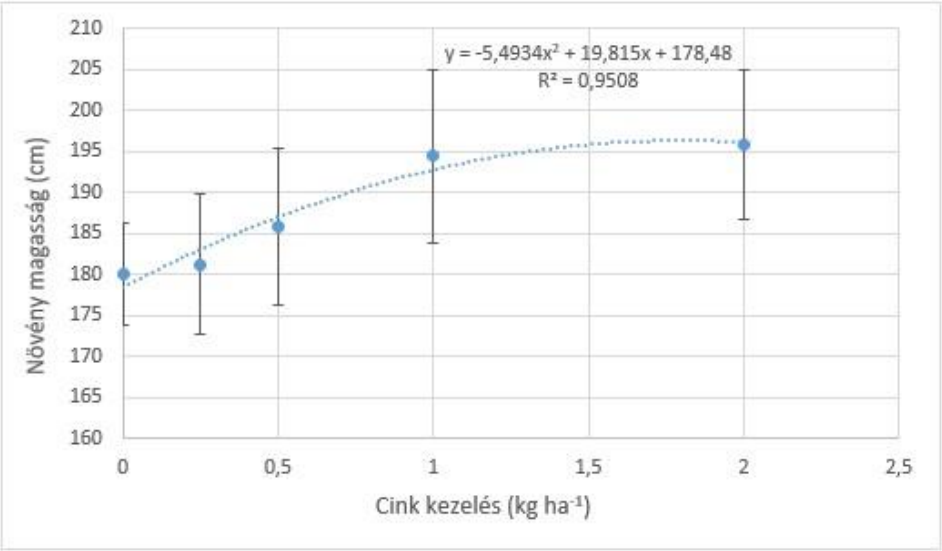
A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : ns; $SzD_{1\%}$: ns

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 0,42; $SzD_{1\%}$: 0,57

A kezelések során a legnagyobb keményítőtartalmat a káliummal kezelt, 1, illetve 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelések esetén értük el, ami 70,88 % volt. A kezelések során a keményítőtartalom másodfokú függvénye ($y = -0,3754x^2 + 1,2052x + 69,843$, $r^2=0,9163$) 1,61 kg ha^{-1} cink dózis esetén éri el maximumát.

4.4.7. A kezelések hatása a magasságra

A kezelések hatására a kukorica magassága növekvő tendenciát mutatott a növekvő cink dózisok függvényében (45. ábra).



45. ábra: Cink kezelések hatása a kukorica magasságára, 2018-2020
Figure 45.: Effect of zinc treatments on plant height, 2018-2020

A 3 év átlagában elvégzett növénymagasság adatok kéttényezős varianciaanalízis eredményeit a 63. táblázat foglalja össze.

63. táblázat: 2018-2020. évi kezelések varianciaanalízise a kukorica magasságára

Table 63.: Analysis of variances of treatments on plant height in 2018-2020

Tényező	*d.f.*	*SS*	*MS*	*F-érték*	
Ismétlés	3	53,350	17,783	0,568	
Kezelés	9	2224,625	247,181	7,893	**
Cink	4	1715,188	428,797	13,693	**
Kálium	1	462,400	462,400	14,766	**
Zn × K	4	47,038	11,759	0,376	
Hiba	27	845,525	31,316		
Összes	39	3123,500			

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

A kapott eredmények alapján az elvégzett kezelések a növény hatásosak voltak 99 %-os szignifikancia szinten. A 2018-2020. évi kísérletek során a magasságot minden kezelés növelte. A kontroll kezeléshez képest 1 kg ha^{-1} cink dózistól kezdve 99 %-os szignifikancia szinten voltak a kezelések hatásosak.

Az egyes kezelések közötti különbségeket a 64. táblázat foglalja össze.

64. táblázat: A kukorica magasságának (cm) eredménytáblázata, 2018-2020

Table 64.: Result table on plant height (cm), 2018-2020

Növény magasság (cm)	Cink dózisok (kg ha^{-1})					
	Zn0	Zn0,25	Zn0,5	Zn1	Zn2	Átlag
K nem kezelt	177,75	176,50	181,13	191,75	193,38	184,10
K kezelt	182,50	186,00	190,50	197,25	198,25	190,90
Átlag	180,13	181,25	185,82	194,50	195,82	

Bármely két kombináció között $SzD_{5\%}$ – : 8,11; $SzD_{1\%}$: 10,96

A "cink" tényező változatai között a "kálium" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 5,74; $SzD_{1\%}$: 7,75

A "kálium" tényező változatai között a "cink" tényező átlagában $SzD_{5\%}$ – : 3,63; $SzD_{1\%}$: 4,90

A kezelések során a legnagyobb magasságot a 3 év átlagában a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén mértük, ami 198,25 cm volt. Ez a kontroll parcellához képest több mint 11,5 %-os növekedést jelent. A növény magasságára illesztett másodfokú függvény ($y = -5{,}4934x^2 + 19{,}815x + 178{,}48$, $r^2=0{,}9508$) 1,80 kg ha^{-1} cink dózis esetén érte el a maximumát.

4.4.8. A három év kísérleti eredmények összefoglalása

A 2018-2020. évi kísérletek során a **morzsolt tömeg**et minden kezelés növelte. Szignifikáns növekedést már a legkisebb, 0,25 kg ha^{-1} cink dózistól bizonyítottunk (95 %-os szignifikancia szinten), a 0,5 kg ha^{-1} cink dózistól kezdve pedig 99 %-os szignifikancia szinten nőtt a morzsolt tömeg a kezelések hatására. A kezelések során a legnagyobb morzsolt tömeget a káliummal ellátott, 0,5 kg ha-1 cink dózisú kezelés esetén értük el, ami 260,34 g volt. Ez a kontroll kezeléshez képest több mint 12 %-os növekedést jelent. A morzsolt tömegre illesztett másodfokú függvény 1,30 kg ha^{-1} cink dózis esetén érte el a maximumát. A 3 kísérleti év közül a 2018. évben értük el a legnagyobb morzsolt tömeget.

A kezelések hatására a kapott **csőhossz** adatok növekvő tendenciát mutattak a növekvő cink dózisok függvényében. A 2018-2020. évi kísérletek során a csőhosszat minden cink és kálium kezelés növelte. A 0,5 kg ha^{-1} és annál nagyobb cink dózisú kezelések 99 %-os szignifikancia szinten hatásosak a kontrollhoz képest. A kezelések során a legnagyobb csőhosszat a káliummal kezelt, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, ami 18,42 cm volt. A kezelések során a csőhossz másodfokú függvénye 1,57 kg ha^{-1} cink dózis esetén éri el maximumát.

A kezelések során a legnagyobb **keményítőtartalm**at a káliummal kezelt, 1, illetve 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelések esetén értük el, ami 70,88 % volt. Az elvégzett statisztikai elemzés során a cinkkel történő lombtrágyázás és a cink-kálium interakció tekintetében nem adódott szignifikáns különbség az egyes kezelések között, azonban a káliummal történő műtrágyázás 99 %-os szignifikancia szinten hatásos volt a kukorica

keményítőtartalmára. A kezelések során a **keményítőtartalom** másodfokú függvénye 1,61 kg ha^{-1} cink dózis esetén éri el maximumát.

A kezelések során a legnagyobb magasságot a 3 év átlagában a káliummal ellátott, 2 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén mértük, ami 198,25 cm volt. Ez a kontroll parcellához képest több mint 11,5 %-os növekedést jelent. A kontroll kezeléshez képest 1 kg ha^{-1} cink dózistól kezdve 99 %-os szignifikancia szinten voltak a kezelések hatásosak. A növény magasságára illesztett másodfokú függvény 1,80 kg ha^{-1} cink dózis esetén érte el a maximumát.

A kezelések során a legnagyobb **szemsor szám**ot a káliummal ellátott, 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú kezelés esetén értük el, ami 17,82 db volt. A kapott eredmények alapján a cinkkel történő kezelések a kukorica szemsorainak számára legalább 95 %-os szignifikancia szinten hatásosak voltak. A kezelés során a szemsorok számára illesztett másodfokú függvény 1,32 kg ha^{-1} cink dózis esetén érte el a maximumát.

A kezelések a 3 év átlagában nem voltak statisztikailag hatásosak az olajtartalomra és a fehérjetartalomra.

KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

Kisparcellás szántóföldi kísérletek kerültek beállításra a cink és a kálium kukoricában (*Zea mays* L.) történő visszapótlására agyagos vályogtalajon. A cink kijuttatása bázisos cink-karbonát formájában történt a kukorica 6-8 leveles korában, 5 különböző dózisban (0; 0,25; 0,5; 1; 2 kg ha^{-1}). A kálium kijuttatása ősszel történt kálisó formájában, 2 dózisban (0; 180 kg ha^{-1}).

A vizsgálatok bizonyították, hogy cink- és káliumhiányos talajon a két elem kombinált hatása képes a kukorica kvantitatív és kvalitatív tulajdonságainak javítására.

A kísérlet eredményeinek vizsgálata során az alábbi megállapítások és javaslatokat fogalmaztuk meg:

- Az elvégzett kisparcellás szántóföldi kísérletek alapján megállapítható, hogy az alkalmazott cinktartalmú készítmény és a kálium műtrágya kombinált alkalmazása cink- és káliumhiányos talajon alkalmas az említett elemek hiányának enyhítésére és a hozam növelésére. A kísérletek során a vizsgált kukorica növény esetében hozamnövelés céljából ~1,30 kg ha^{-1} cink dózis az optimális.

- A beltartalmi értékek közül a kálium alkalmas káliumhiányos talajon a káliumhiány enyhítésére, és a keményítő-tartalom növelésére.

- A cink és a kálium kombinált hatása alkalmas a kukorica növény egyéb látható, vizuális paramétereinek javítására is. A növény magasságának, a csövek hosszának és a szemsorok számának növeléséhez kijuttatott bázisos cink-karbonát optimális mennyisége átlagosan 1,56 kg ha^{-1}.

ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Az elvégzett kísérletek alapján bizonyítást nyert, hogy a gyógyszeripari gyártás intermedier termékeiből, cink-kloridból illetve cink-szulfátból olyan készítmény állítható elő (bázisos cink-karbonát), mely levélfelületen keresztül alkalmazva már 0,5 kg ha^{-1} cink dózistól kezdve szignifikánsan növeli a kukorica csőhosszát, szemsorainak számát, morzsolt tömegét és a kukorica növény magasságát.
2. Cink- és káliumhiányos talajon beállított kisparcellás kísérleteink során az ősszel kijuttatott kálium tartalmú kálisó, és tavasszal, 6-8 leveles korban kijuttatott bázisos cink-karbonát kezelések hatására szignifikáns termésnövekedést tapasztaltunk. Kálium kijuttatása mellett, 0,5 kg ha^{-1} cink dózis esetén több, mint 12 %-al növekedett a kukorica morzsolt tömege. A szántóföldi kísérlet körülményei között a maximális morzsolt tömeget 1,30 kg ha^{-1} cink dózis esetén kaptuk.
3. A három év során a vizsgált paramétereink (csőhossz, szemsorok száma, növény magasság, olajtartalom, fehérjetartalom, keményítőtartalom) átlagában a legkedvezőbbnek az 1,51 kg ha^{-1} cink adag bizonyult.
4. A káliummal történő alaptrágyázás szignifikánsan növelte a morzsolt tömeget, a keményítőtartalmat és a növény magasságát. A cinkkel történő levéltrágyázás szignifikánsan növelte a csőhosszt, a szemsorok számát, a morzsolt tömeget és a növény magasságát.

ÖSSZEFOGLALÁS

Munkánk során arra kerestük a választ, hogy a cink mikroelem levélen keresztüli pótlása megoldható-e hulladékból készült bázisos cink-karbonát felhasználásával, illetve cink- és káliumhiányos talajon e két elem pótlásával növelhetőek-e a kukorica növény kvalitatív és kvantitatív tulajdonságai.

Vizsgálataink során az alábbi célokat tűztük ki:

- Megvizsgálni, hogy milyen eredmények érhetőek el kálium és cinkhiányos területen a kálium talajkezeléssel, a cink levéltrágyázás útján történő visszapótlásakor.
- Megvizsgálni, hogyan hasznosítja a növény a lombkezelések során kijuttatott cink vegyületet (bázisos cink-karbonát) kielégítő kálium trágyázás, illetve annak hiánya esetén.
- Megvizsgálni, hogyan befolyásolja a megfelelő (tápanyag-gazdálkodási tervben meghatározott) kálium ellátottság a növény Zn igényét és a kijuttatott Zn lombtrágya hasznosulását?
- Megvizsgálni, hogy mekkora az az optimális cink-dózis, amely a legnagyobb mértékben növeli a kukorica terméseredményét és javítja beltartalmi értékeit?
- Megvizsgálni, hogy a két alkalmazott tápelem között fennáll-e bármilyen szinergista hatás.

Vizsgálataink során 4 ismétléses véletlen blokk elrendezésű szántóföldi kisparcellás kísérletet állítottunk be 3 éve keresztül (2018-2020) Bogyoszlón. A vizsgált terület kiválasztásánál a talajvizsgálati eredmények alapján a területek alacsony cink- és káliumtartalma volt az elsődleges szempont. A beállított kísérleti parcellák mérete 22,5 m^2 volt.

A kísérleti területet talaja alacsony mésztartalmú, agyagos vályog / vályog talaj. A kálium (kálisó) kijuttatása és talajba dolgozása minden évben ősszel történt, a cink kijuttatására lombkezelések formájában a kukorica 6-8 leveles korában került sor. A tenyészidőszak alatt vizsgáltuk a növény magasságának, illetve a 2019-es év során a SPAD-értékének változását a kezelések hatására. A betakarított mintákból a kukorica különböző paramétereit (csőhossz, szemsorok száma, morzsolt tömeg) és a beltartalmi értékeit (olajtartalom, fehérjetartalom, keményítő-tartalom) is vizsgáltuk.

A kiértékelt adatok alapján bizonyítást nyert, hogy a kálium alaptrágya és a már 0,5 kg ha^{-1} cink dózisú lombtrágya kijuttatása a kukorica mennyiségi és minőségi paramétereit pozitívan befolyásolták.

A kezelések a 3 év átlagában a csőhosszban 11,5 %-os, a szemsorok számában 4,3 %-os, a morzsolt tömeg esetén 12 %-os, a keményítő-tartalom esetében 2,2 %-os, a növény magasságát tekintve 11,5 %-os növekedést eredményeztek. A vizsgált olajtartalomban és fehérjetartalomban nem tudtunk a kezelések hatására szignifikáns változást kimutatni. A maximális hozamot 1,30 kg ha^{-1} cink dózisú lombtrágya kijuttatása esetén kaptuk, míg az összes vizsgált paramétert tekintve 1,51 kg ha^{-1} cink dózis bizonyult a legkedvezőbbnek.

A cinkkel történő levéltrágyázás szignifikánsan növelte a csőhosszt ($P < 0.01$), a szemsorok számát ($P < 0.05$), a morzsolt tömeget ($P < 0.01$) és a növény magasságát ($P < 0.01$) egyaránt. A káliummal történő alaptrágyázás szignifikánsan növelte a morzsolt tömeget ($P < 0.01$), a keményítőtartalmat ($P < 0.01$) és a növény magasságát ($P < 0.01$). A cink és a kálium interakciója egyik vizsgált paraméter esetében sem mutatott szignifikáns különbséget.

PUBLIKÁCIÓS JEGYZÉK

Tudományos közlemény, külföldi, idegen nyelvű lektorált folyóiratban:

*Vona V. – **Tóth E. A.** – Centeri Cs. – Giczi Zs. – Biró Zs. – Jakab G. – Milics G. – Kulmány I. M. – Kalocsai R. – Kovács A. J.* (2021): The effect of soil physicochemical characteristics on zinc analyses methods. Soil & Water Research., 16: 180−190. (impact factor: 0,982)

*Szakál T. – Szüle B. – Kalocsai R. – Korim T. – Szalka É. – **Tóth E. A.** – Szakál P.* (2021): Ion exchange with copper-tetraamine on NaA (LTA) type synthesised zeolite. Nova Biotechnologica et Chimica Volume 20, Issue 1 (impact factor: 0,73)

Tudományos közlemény, magyar nyelvű, lektorált folyóiratban:

Tóth E. A. *– Kalocsai R. – Giczi Zs. – Vona V.* (2021): Cink lombtrágyázás hatása a kukorica (Zea mays L.) főbb értékmérő tulajdonságaira, azonos kálium alaptrágyázás mellett; Acta Agronomica Óváriensis Vol. 62. Különszám II.: 174-190 p.

Tóth E. A. *– Kalocsai R.* (2021): A cink szerepe a talajban és a növényekben; Acta Agronomica Óváriensis Vol. 61. No. 1.: 32-48 p.

Tóth E. A. *– Kalocsai R. – Dorka-Vona V. – Szakál T.* (2018): A Zn-lombtrágyázás hatása az őszi búza főbb értékmérő tulajdonságaira; Acta Agronomica Óváriensis Vol. 59. No. 1: 4-12 p.

Giczi Zs. – Kalocsai R. – Lakatos E. – Dorka-Vona V. – ***Tóth E. A.*** (2018): Réz, a mezőgazdaság nélkülözhetetlen eleme; Acta Agronomica Óváriensis Vol. 59. No. 2: 4-31. p

Tóth E. A. *– Kalocsai R. – Dorka-Vona V. – Giczi Zs.* (2018): Az esszenciális mikroelemek szerepe a növények élettani folyamataiban; Acta Agronomica Óváriensis Vol. 59. No. 2: 126-150 p.

Magyar nyelvű konferenciaközlemény folyóiratban vagy konferenciakötetben

Tóth E. A. *– Kalocsai R.*: Cink és kálium trágyázás hatása a kukorica mennyiségi és minőségi paramétereire. 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, 379-386.

Egyéb, más témakörben megjelent publikációk:

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 Vol. 60. No. 1. 140-164 p.

IRODALOMJEGYZÉK

1. *Ali, A., Hussain, M., Habib, H. S., Kiani, T. T., Anees, M. A., Rahman, M. A.* (2016): Foliar spray surpasses soil application of potassium for maize production under rainfed conditions. Turk. J. Field Crops. **21**(1): 36-32.
2. *Aboyeji, C. M., Dunsin, O., Adekiya, A. O., Suleiman, K. O., Chinedum, C., Okunlola, F. O., Joseph, A., Ejue, S. W., Adesola, O. O., Olofintoye, T. A. J., Owolabi, I. O.* (2020): Synergistic and antagonistic effects of soil applied P and Zn fertilizers on the performance, minerals and heavy metal composition of groundnut. Open Agriculture **5**:1-9.
3. *Akram, M., Ashraf, M. Y., Ahmad, R., Rafiq, M., Ahmad, I., Iqbal, J.* (2010): Allometry and yield components of maize (*Zea mays* L.) hybrids to various potassium levels under saline conditions. Arch Biol Sci **62**(4): 1053-1061.
4. *Alam, M. R., Ali, M. A., Molla, M. S. H., Momin, M. A., Mannan, M. A.* (2009): Evaluation of different levels of potassium on the yield and protein content of wheat in the high Ganges river floodplain soil. Journal of Agriculture Research, Bangladesh **34**: (1) 97-104.
5. *Alderfasi, A. A., Refay, Y. A. (*2010): Integrated Use of Potassium Fertilizer and Water Schedules on Growth and Yield of Two Wheat Genotypes under Arid Environment in Saudi Arabia 1- Effect on Growth Characters. American-Eurasian J. Agric. & Environ. Sci., **9** (3): 239-247
6. *Alloway, B.J.* (2008). Micronutrient Deficiencies in Global Crop Production. Springer Netherlands.
7. *Alloway, B. J.* (2009): Soil factors associated with zinc deficiency in crops and humans. Environmental Geochemistry & Health. **31**, 537-548.
8. *Amberger, A.* (1979): Pflanzenernährung. Ökologische und physiologische Grundla-gen. Ulmer. Stuttgart.

9. *Antal J.* (2000): Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó. Budapest.
10. *Antal J., Jolánkai M. (szerk.) (2005):* Növénytermesztéstan 1. Elektronikus jegyzet. Digitális Tankönyvtár – http://www.tankonyvtar.hu/hu (letöltve: 2020.12.14.).
11. *Arif, M., Tasneem, M. T., Bashir, F., Yaseen, G., Anwar A.* (2017): Evaluation of different levels of potassium and zinc fertilizer on the growth and yield of wheat. Int J Biosen Bioelectron. **3**(2):242–246
12. *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.
13. *Aubert, H., Pinta, M.* (1977): Trace elements in soils. Developments in Soil Science. Vol. **7**. Elsevier Scientific Publishing Company. Amsterdam-Oxford-New York.
14. *Bennett, W. F.* (1993). Plant nutrient utilization and diagnostic plant symptoms. In *W. F. Bennett* (Ed). Nutrient deficiencies and toxicities in crop plants. APS Press, St Paul, Minnesota.
15. *Bergmann, W.* (1979): Termesztett növények táplálkozási zavarainak elõfordulása és felismerése. Mezõgazdasági Kiadó. Budapest.
16. *Bergmann, W.* (1986): Ernährungsstörungen bei Kulturpflanzen. Gustav Fischer Verlag, Jena. 762 S.
17. *Bhandal, I. S., Malik, C. P.* (1988). Potassium estimation, uptake and its role in the physiology and metabolism of flowering plants. Int. Rev. Cytol. **10**, 205–224.
18. *Bhupinder, S., Kumar, S., Natesan, A., Singh, B., Usha, K.* (2005): Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. Current Science. 88. pp. 36-44.

19. *Blevins, D. G., Barnett, N. M., Frost, W. B.* (1978): Role of potassium and malate in nitrate uptake and translocation by wheat seedlings. Plant Physiol **62**:784–788
20. *Broadley, M. R., White, P. J., Hammond, J. P., Zelko, I., Lux, A.* (2007): Zinc in plants. New Phytol. **173**:677–702
21. *Brown, P. H., Cakmak, I., Zhang, Q.* (1993): Form and function of zinc in plants. Chap. 7, In *A. D. Robson* (Ed). pp 90-106. Zinc in Soils and Plants, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
22. *Buzás I.* (1983): A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest
23. *Cakmak I.* (2008): Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil. **302**:1–17.
24. *Cakmak, I.* (2012): Zinc in fertilizers. International Zinc Association. Brochure.
25. *Çalişkan, B., Çalişkan, A. C.* (2019): Potassium Nutrition in Plants and Its Interactions with Other Nutrients in Hydroponic Culture. In: Improvement of Quality in Fruits and Vegetables Through Hydroponic Nutrient Management, Asaduzzaman M and Asao T (Eds.) Books on Demand, IntechOpen, London p 9-22
26. *Clewer, A. G., Scarisbrick, D. H.* (2001): Practical statistics andexperimental design for plant and crop science. John Wiley & Sons,Chichester.
27. *Csathó P., Árendás T., Szabó A., Sándor R., Ragályi P., Pokovai K., Tóth Z., Kremper R.* (2019): Phosphorus-induced zinc deficiency in maize (*Zea mays* L.) on a calcareous chernozem soil. Agrokémia és Talajtan, **68**, Supplement, 40-52.
28. *Debreczeni B., Németh T.* (Szerk.) 2009: Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérletek (OMTK) kutatási eredményei (1967–2001). Akadémia Kiadó, Budapest. 478 p.

29. *Degl'Innocenti, E., Hafsi, C., Guidi, L., Navari-Izzo, F.* (2009): The effect of salinity on photosynthetic activity in potassium-deficient barley species. J Plant Physiol **166**:1968–1981.
30. *Dobos A. Cs.* (2013): A legfontosabb mérőműszerek a precíziós növénytermesztésben. In *Dobos A. Cs.*: Precíziós növénytermesztés. Digitális Tankönyvtár – htttp://www.tankonyvtar.hu/hu (letöltve: 2021.03.24).
31. *Elek É., Kádár I.* (2003): A foszforműtrágyázás hatása a makro- és mikrotápanyagok felvételére. A mezőgazdaság kemizálása. VI. Ankét, Keszthely. pp. 89-93
32. *Eteng, E. U., Asawalam, D. O., Ano, A. O.* (2014): Effect of Cu and Zn on maize (*Zea mays* L.*)* yield and nutrient uptake in coastal plain sand derived soils of southeastern Nigeria. Open Journal of Soil Science, Vol. **4**, No.7, pp. 235-245.
33. Fageria, N. K., Barbosa Filho, M. P., da Costa, J. G. C. (2001): Potassium-use efficiency in common bean genotypes. J Plant Nutr **24**:1937–1945
34. *Filius I.* (1994): A zöldségtermesztés élettani alapjai. In: *Balázs S.* szerk.: Zöldségtermesztők kézikönyve. 2. javított kiadás. Mezőgazda Kiadó. Budapest
35. *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: 2020.11.27.).
36. *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.
37. *Füleky Gy.* (1999): Tápanyag-gazdálkodás. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.

38. *Gergely Sz.* (2005): Gabonák nyersanyag-minősítése - Közeli infravörös spektroszkópia. Oktatási segédanyag. Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Budapest. pp. 1-15.
39. *Gianquinto G., Abu-Rayyan, A., Tola, L. D., Piccotino, D., Pezzarossa, B.* (2000): Interaction effects of phosphorus and zinc on photosynthesis, growth and yield of dwarf bean grown in two environments. Plant and Soil **220**: 219-228
40. *Giczi Zs., Szakál P., Schmidt R., Kalocsai R., Barkóczi M.* (2005): Bázisos cinkkarbonát és napraforgóhamu talajkezelések hatása a burgonya (*Solanum tuberosum*) hozamára és minőségére. Acta Agronomica Óváriensis. **47**. (1.) pp. 153-158.
41. *Gourley, C. J. P.* (1999): 'Potassium', In Soil Analysis - an interpretation manual, ed Peverill, Sparrow & Reuter, CSIRO Publishing, Melbourne.
42. *Győri Z., Győriné M. I.* (2011): A búza és kukorica minősége és feldolgozása. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest.
43. *Hafeez, B., Khanif, Y. M., Saleem, M.* (2013): Role of zinc in plant nutrition- a review. Amer. J Expt. Agric 3(2):374- 391.
44. *Havlin, J. L., Beaton, J. D., Tisdale, S. L., Nelson, W. L.* (2005): Soil Fertility and Fertilizers. Pearson Education, Inc., Upper Sadle River, New Jersey. ch. 9. pp. 298-361.
45. *Ivány K., Kismányoky T., Ragasits I.* (1994): Növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest
46. *Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs***.** (2005): A mikroelemek hatása az őszi búza minőségére. Agro Napló IX. évf. 2005/10. 35-38.p
47. *Kádár I.* (1993): A kálium-ellátás helyzete Magyarországon. Budapest.
48. *Kádár I.* (2005): Magyarország Zn- és Cu-ellátottságának jellemzése talaj- és növényvizsgálatok alapján. Acta Agronomica Óváriensis. **47.** (1.) pp. 11.

49. *Kádár I.* (2008): A mikroelemkutatások eredményeirõl, különös tekintettel a Cu és Zn elemekre. Acta Agronomica Óvariensis. **50**, (1) 9–12
50. *Kalocsai R.* (2010): A levéltrágyázás szerepe a tápanyagellátásban. Agro Napló. 2010/02. pp. 75-76.
51. *Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P.* (2004): A kukorica cinkhiányát kiváltó okok és gyógyítás lehetőségei. Agro Napló, Országos Mezőgazdasági Szakfolyóirat, VIII. évfolyam. **4.** pp. 35-35.
52. *Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs***.** (2005): A mikroelemek hatása az őszi búza minőségére. Agro Napló IX. évf. 2005/10. 35-38.p
53. *Kalocsai R., Schmidt R., Szakál P., Giczi Zs***.** (2006): A talajvizsgálati eredmények értelmezése. Agro Napló X. évf. 2006/09. 35-38.p
54. *Kanai, S., Moghaieb, R. E., El-Shemy, H. A., Panigrahi, R., Mohapatra, P. K., Ito, J., Nguyen, N. T., Saneoka, H., Fujita, K.* (2011): Potassium deficiency affects water status and photosynthetic rate of the vegetative sink in green house tomato prior to its effects on source activity. Plant Sci **180**:368–374
55. *Khan, M. U., Qasim, M., Khan, K.* (2007): Effect of Zn fertilizer on rice grown in different soils of dera ismail khan. Sarhad J. Agric. **23**(4), 34-38.
56. *Kirkby, E. A.* (2005): Essential elements. In: *Hillel D.* (edit.): Encyclopedia of soil in the Environment. Elsevier / Academic Press. pp. 478-485.
57. *Központi Statisztikai Hivatal (KSH*) (2019): STATISZTIKAI TÜKÖR. 2019. augusztus 16. https://www.ksh.hu/docs/hun/xftp/gyor/vet/vet1906.pdf (Letöltve: 2020.10.15)
58. *Központi Statisztikai Hivatal (KSH)* (2020): Lassuló ütemben nő a világ népessége. Népesedési világnap, 2020. július 11.

https://www.ksh.hu/infografika/2020/nepesedesi_vilagnap_2020.pdf (Letöltve: 2020.10.15.)

59. *Központi Statisztikai Hivatal (KSH)* (2021): A fontosabb szántóföldi növények betakarított területe, összes termése és termésátlaga (1990-) [adatbázis]. Stadat. https://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_eves/i_omn007a.html (Letöltve: 2021.03.24.)
60. *Kramer, U., Clemens, S.* (2005): Function and homeostasis of zinc, copper and nickel in plants. Topics in Current Genetics. **14.** pp. 215-271.
61. *Láng F.* (2002): Növényélettan, a növényi anyagcsere 1. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 164-166. 624.
62. *Lee, C., Craddock, D., Hammar, H.* (1969): Factors affecting plant growth in high-zinc medium. I. Influence of iron on growth of flax at various zinc levels. Agronomy Journal. **61**. 562-565
63. *Lindsay, W.* (1972): Zinc in soils and plant nutrition. Advances in Agronomy **24**:147–186
64. *Liu, H., Gan, W., Rengel, Z., Zhao, P.* (2016): Effects of zinc fertilizer rate and application method on photosynthetic characteristics and grain yield of summer maize. J. Soil Sci. Plant Nutr. vol. **16**, No. 2. pp. 550-562.
65. *Liu, D. Y., Zhang, W., Liu, Y. M., Chen, X. P., Zou, C. Q.* (2020): Soil Application of Zinc Fertilizer Increases Maize Yield by Enhancing the Kernel Number and Kernel Weight of Inferior Grains. Frontiers in Plant Science, **11**, 188.
66. *Loch J., Nosticzius Á.* (2004): Agrokémia és növényvédelmi kémia. Mezőgazda Kiadó.
67. *Lu, Z. G., Grewal, H. S., Graham, R. D.* (1998): Dry matter production and uptake of zinc and phosphorus in two oilseed rape genotypes under

differential rates of zinc and phosphorus supply. Journal of Plant Nutrition **21**: 25-38.

68. *Mandal, B., Mandal, L. N., Ali, M. H.* (1993) Chemistry of zinc availability in submerged soils in relation to zinc nutrition of rice crop. In: Proceedings of the workshop on nicronutrients, Bhubaneswar, India, **22–23.** pp 240–253.
69. *Marschner, H.* (1995): Mineral nutrition of higher plants. Academic Press, London.
70. *Mauritz, B., Vendl, A.* (1942): Ásványtan I. Általános Ásványtan. Magyar Királyi Egyetemi Nyomda, Budapest. 423-439.
71. *Mazé, P*. (1914): Influences respective des elements de la solution minérale sur le development du mais. Ann Inst Pasteur (Paris). 1914;**28**:21–68
72. *Mengel, K.* (1976): A növények táplálkozása és anyagcseréje. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp. 162-163.
73. *Mengel, K., Kirkby, E. A.* (1987): Principles of Plant Nutrition. International Potash Institute, Worblaufen-Bern, Switzerland.
74. *Mitscherlich, E. A.* (1909): Das gesetz des minimums und das gesetz des ab-nehmenden bodenertrages. Landwirtschaftliche Jahrbcher **38**:537–55
75. *Mohsin, A. U., Ahmad, A. U. H., Farooq, M., Ullah, S*. (2014): Influence of zinc application through seed treatment and foliar spray on growth, productivity and grain quality of hybrid maize. *The Journal of Animal & Plant Sciences.* ***24***(5), 1494−1503.
76. *Mortvedt J. J., Gilkes R. J.* (1993): Zinc Fertilizers. In: Robson A.D. (eds) Zinc in Soils and Plants. Developments in Plant and Soil Sciences, vol. **55**. Springer, Dordrecht.
77. *Mortvedt J. J., Shuman L. M*. (1991): Chemical Forms of Micronutrients in Soils. SSSA Book Series. Chapter 5.

78. *MSZ-08-0202:1977:* Helyszíni mintavétel mezőgazdasági célú talajvizsgálatokhoz. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
79. *MSZ 12540:1988:* Morzsolt kukorica takarmányozási célra. Magyar Szabványügyi Testület, Budapest. (A visszavonás napja: 2017-10-01)
80. *MSZ EN ISO 11085:2015:* Gabonafélék, gabonaalapú termékek és takarmány. A nyerszsír- és az összes zsírtartalom meghatározása Randall-féle extrakciós módszerrel (ISO 11085:2015). Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
81. *MSZ EN ISO 5983-1:2005*: Takarmányok. A nitrogéntartalom meghatározása és a nyersfehérje-tartalom kiszámítása. 1. rész: Kjeldahl-módszer (ISO 5983-1:2005). Magyar Szabványügyi Testület, Budapest.
82. *Munson, R. D., Welch, L. F., Flannery, R. L.* (1985): Potassium Nutrition of Corn. ACSESS Publications.
83. *Náray-Szabó, I.* (1973): Kémia, 2. átdolg. kiadás. Műszaki Könyvkiadó.
84. *Norvell W. A.* (1991): Reactions of metal chelates in soils and nutrient solutions. In: *Mortvedt J. J.,* ed. Micronutrients in agriculture, Vol. 2 Madison, WI: Soil Science Society of America, 187–227.
85. *Noulas, C., Tziouvalekas, M., Karyotis, T.* (2018): Zinc in soils, water and food crops. J. Trace Elem. Med. Biol. **49**, 252–260.
86. *OMSZ* (2021): Bogyoszló meterológiai állomás meta adatai. Szóbeli közlés.
87. *Orabi, A., Mashadi, H., Abdallah, A., Morsy, M.* (1981): Effect of zinc and phosphorus on the grain yield of corn (*Zea mays* L.) grown on a calcareous soil. Plant and Soil. **63**. pp. 291-294.
88. *Pártay G.* (1971): A talajt alkotó ásványok keletkezése és átalakulása. Agrokémia és Talajtan **20**. 401–410.
89. *Peck, A., McDonald, G., Graham, R.* (2008): Zinc nutrition influences the protein composition of flour in bread wheat (*Triticum aestivum L.*). Journal of Cereal Science. **47.** pp. 266-274.

90. *Péntek A., Fazekas Cs*. (2016): A cink hiányának kiváltó okai a talaj-növény rendszerben. Acta Agraria Kaposváriensis. Vol **20** No 1, 48-61.p.
91. *Phipps, D. A.* (1981): Chemistry and biochemistry of trace metals in biological systems. In: *N.W. Lepp* (Ed.), Effect of heavy metal pollution on plants: effects of trace metals on plant function, vol. I, Applied Sci Publ, London and New Jersey, pp. 1-54.
92. *Potarzycki, J., Grzebisz, W.* (2009): Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. Plant Soil Environment, **55**, 519-527
93. *Rashid, A., Bughio, N., Rafique, E.* (1994): Diagnosis zinc deficiency in rapeseed andmustard by seed analysis. Communications of Soil Science Plant Analysis, **25**. 3405-3412
94. *Raulin, J.* (1869): Études cliniques sur la vegetation. *Ann Sci Nat Bot Biol Veg Ser 5.* **11**:93.
95. *Ragab, S.* (1980): Phosphorus effects on zinc translocation in maize. Communications in Soil Science and Palnt Analysis. **11.** pp. 1105-1127.
96. *Regős A*. (2009): Tápanyanyag-gazdálkodási terv (számítógép program). 3RPsystem Vállalkozás, Makó
97. *Robson, A. D., Pitman, M. G.* (1983): Interactions between nutrients in higher plants. In: *Lauchli A, Bieleski RL,* eds. Encyclopaedia of plant physiology, Vol **15** A. New series. Berlin and New York: Springer-Verlag, 287-312.
98. *Rózsa E., Pecze Zs., Nagy L., Szakál P.* (2011): Az esszenciális mikroelemek jelentősége. Acta Agronomica Óváriensis. **53.** (1.) pp. 125-129.
99. *Ruzsányi L.* (1987): Agrotechnika a kukoricatermesztésben. Magyar Mezőgazdaság. **42**:18. pp. 8-9.

100. *Safa, A., Hakimi, L., Pypker, T. G., Khosropour, E.* (2020): The effect of ZnSO4 and KNO3 on quantitative and qualitative properties of Punica granatum L. Journal of Plant Nutrition, **43**:9, 1286-1292.

101. *Sager, M.* (2007): Trace and nutrient elements in manure, dung and compost samples in Austria. Soil Biology and Biochemistry. **39**. 1383-1390.

102. *Sarkadi J.* (1975): A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

103. *Sarret, G., Balesdent, J., Bouziri, L., Garnier, J. M., Marcus, M. A. et al.* (2004): Zn speciation in the organic horizon of a contaminated soil by micro-X-ray fluorescence, micro- and powder-EXAFS spectroscopy, and isotopic dilution. Environ Sci Technol. **38**:2792–801

104. *Scaife, A., Turner, M.* (1983) Diagnosis of Mineral Disorders in Plants: Volume **2**, Vegetables. Her Majesty's Stationery Office, London.

105. *Schmidt R., Szakál P., Beke D., Barkóczi M., Matus L.* (2008): A Zn-komplex vegyület jelentősége a burgonyatermesztésben. Acta Agronomica Óváriensis. **50**. (1.) pp. 43-48.

106. *Schmidt R., Szakál P., Kalocsai R., Barkóczi M., Giczi Zs.* (2003): N-oldat-, valamint Cu- és Zn-kezelés hatása az őszi búza hozamára és nyersfehérjetartalmára. Mikroelemek a táplálékláncban. pp. 183-191

107. *Shahab, Q., Afzal, M., Sarfaraz, Q.,* (2015): Response of maize to different rates and methods of zinc application. Environment and Plant Systems **1**, 43-47

108. *Sharma, C. P.* (2006): Plant Micronutrients. Science Publishers, Enfield, NH, USA.

109. *Shukla, U.* C., Mukhi, A. K. (1979): Sodium, Potassium, and Zinc Relationship in Corn. Agron. J. **71**, 235–237.

110. *Sillanpää, M.* (1990): Micronutrient assessment at the country level: An international study. FAO Soils Bulletin. **63.**

111. *Singh, J. P., Karamanos, R. E., Stewart, J. W. B.* (1988): The mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in bean (Phaseolus vulgaris L.). Canadian Journal of Soil Science **68**: 345-358.
112. *Sommer, A. L., Lipman, C. B.* (1926): Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. Plant Physiol. 1926;**1**:231–49
113. *Sparks, D. L.* (1987): Potassium dynamics in soil. Advances in soil science **6**: 1-63.
114. *Stefanovits P.* (1975): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
115. *Stefanovits P.* (1992): Talajtan. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
116. *Stefanovits P., Filep Gy., Füleky Gy* (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
117. *Sváb, J.* (1973): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
118. *Szabó S. A., Regiusné M. Á., Győri D., Szentmihályi S.* (1987): Mikroelemek a mezőgazdaságban I. Esszenciális mikroelemek. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest
119. *Szakál P., Barkóczy M.* (1989): Réztartalmú hulladékból előállított rézkomplex hatása az őszi búza beltartalmára. Agrokémia és Talajtan, **38**, 330-334.
120. *Szakál, P., Pécsi, S.* (1993): Dolomit- és fémkomplex adagolás hatása növények mennyiségi és minőségi mutatóira, valamint egészségi állapotára. Magyar Kémikusok Egyesülete. Budapest. 1993. február.
121. *Szakál P., Szalka É.* (2008): A Zn-talajkezelés hatása a “Cleopatra” fajtájú burgonya termésátlagára és minőségére. Acta Agronomica Óváriensis. **50**. (1.) pp. 49-55.
122. *Szentpéteri ZS., Jolánkai M., Kleinheincs CS., Szőllősi G.* (2005): Effect of Nitrogen Topdressing on Winter Wheat. Cereal Research Communication. **33**. 2-3. 619-727.

123. *Szűcs István* (2002): Alkalmazott statisztika, AGROINFORM Kiadó és Nyomda Kft, Budapest.

124. *TIM* (2021): Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer. https://portal.nebih.gov.hu/-/a-tim-azaz-a-talajvedelmi-informacios-es-monitoring-rendszer-. Szóbeli közlés.

125. *Tisdale, S. L., Nelson, W. L.* (1966): A talaj termékenysége és a trágyázás. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.

126. *Tisdale, S. L., Nelson, W. L., Beaton, J. D.* (1985): Soil Fertility and Fertilizers. The Macmillian Company. New York.

127. *Tiwari, K. N., Nigam, V., Pathak, A. N.* (1982): Effect of potassium and zinc applications on dry-matter production and nutrient uptake by potato variety 'Kufri chandramukhi' (*Solanum tuberosum L.*) in an alluvial soil of Uttar Pradesh. Plant Soil **65**:141–147 (1982).

128. *Tóth G., Hengl, T., Hermann T., Makó A., Kocsis M., Tóth B., Berényi Üveges J.* (2015): Magyarország mezőgazdasági területeinek talajtulajdonság-térképei (Soil property maps of the agricultural land of Hungary). EUR 27539, JRC Technical Reports.

129. *Várallyay Gy., Szabóné Kele G., Berényi Üveges J., Marth P., Karkalik A., Thury I.* (2009): Magyarország talajainak állapota a Talajvédelmi Információs és Monitoring rendszer alapján. Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium, Budapest.

130. *Vazin, F.* (2012): Effect of zinc sulfate on quantitative and qualitative characteristics of corn (Zea mays L.) in drought stress. Cercetari Agronomice in Moldova, **45**(3), 15–24.

131. *Viets, F. G. Jr.* (1962): Chemistry and availability of micronutrients in soils. Journal of Agricultural Food Chemistry, **10**:174- 178.

132. *Wallihan, E., Heymann-Herschberg, L.* (1956): Some factors affecting absorption and translocation of zinc in citrus plants. Plant Physiology. **6.** p. 239.

133. *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. (eds): Nutrient Use Efficiency in Plants. Plant Ecophysiology, vol **10**. Springer
134. *Wiklander, L.* (1954): Forms of potassium in the soil. Potassium Symposium. 1954: 109-121.
135. *Xiao-Lei, W., Hai-Qiu, Y., Ning, L., Bing, Y. I., Jing, W., Xing-Tao, L., XinHua, Z., Min-Jian, C.* (2012): Some physiological characteristics in maize (*Zea mays* L.) inbred lines tolerant to low potassium from grain filling to maturity. Afr J Agric Res **7**(11):1761–1771
136. *Zare, M., Khoshgoftarmanesh, A., Norouzi, M., Schulin, R.* (2009): Critical soil zinc deficiency concentration an tissue iron: zinc ratio as a diagnosti tool for prediction of zinc deficiency in corn. Journal of Plant Nutrition. **32**. 1983-199.
137. *Zhao, D., Oosterhuis, D. M., Bednarz, C. W.* (2001): Influence of potassium deficiency on photosynthesis, chlorophyll content, and chloroplast ultrastructure of cotton plants. Photosynthetica **39**(1):103–109
138. *Zong, X., Wang, H., Song, Z., Liu, D., Zhang, A.* (2011): Foliar Zn-fertilization impacts on yield and quality in pearl millet (Pennisetum glaucum). Frontiers of Agriculture in China. **5.** pp. 552-555.

Faostat : http://www.fao.org/faostat/en/ letöltés ideje: 2020.11.26.

Url[1]:
http://www.agr.unideb.hu/ebook/szantofoldinovenyek/szrmazsa_jelentsge_felhasznlsa7.html letöltés ideje: 2020.10.12.

Url[2]: https://www.exkalapalatt.info/2015/09/13/tapanyagellatas-belterben-i/ letöltés ideje: 2020.11.26.

Url[3]: https://www.mississippi-crops.com/2012/04/21/zinc-deficient-corn-observed-in-ms-delta/ letöltés ideje: 2021.06.22.

Url[4]: https://andersonscanada.com/2014/10/14/potassium-key-ingredient-quality-crops/ letöltés ideje: 2020.11.28.

Url[5]: https://www.statista.com/statistics/254294/distribution-of-global-corn-production-by-country-2012/ letöltés ideje: 2021.06.22.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

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

Köszönöm témavezetőmnek, Dr. habil. Kalócsai Renátónak, hogy biztosította a munkámhoz szükséges feltételeket, és folyamatos támogatását, mely nélkül ez a disszertáció nem valósulhatott volna meg.

Köszönöm Prof. Dr. Szakál Pálnak, hogy biztosította a kísérlet során felhasznált anyagokat, továbbá hogy szakmai támogatásával segítette a kísérletek elvégzését.

Köszönöm Dr. Giczi Zsoltnak a laboratóriumi munkákban, az adatok statisztikai értékelésében és a dolgozat lektorálásban nyújtott segítségét.

Köszönöm az adminisztratív munkában nyújtott sokrétű, precíz segítséget Törökné Vas Mariannának.

Végezetül köszönöm családom támogatását, megértését és türelmét.