

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**A pH, A Fe- ÉS Zn-ELLÁTÁS, VALAMINT A BIOTRÁGYA KEZELÉS
HATÁSA A FIATALKORI KUKORICA, UBORKA ÉS BAB MORFOLÓGIAI
ÉS FIZIOLÓGIAI TULAJDONSÁGAIRA**

Bákonyi Nóra

Témavezető: **Dr. Lévai László**
egyetemi docens



Debreceni Egyetem

**Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszertudományok Doktori
Iskola**

**Debrecen
2013**

1. BEVEZETÉS

A Föld talajainak túlnyomó többsége kisebb-nagyobb mértékben cinkhiányos. Különböző országok, 298 talajára kiterjedő vizsgálat szerint a legáltalánosabban elterjedt mikroelem hiány a cink hiány (SILLANPÄÄ, 1990). GRAHAM és WELCH (1996) szerint a Földön gabonatermesztésre használt talajok 50%-ánál igen alacsony a termesztett növények számára hozzáférhető cink. KALOCSAI és munkatársai (2006) szerint hazánk talajainak, nemzetközi összehasonlításban is gyenge a cink-ellátottsága. Talajaink cinkkel közepesen vagy leginkább gyengén ellátottak. A cinkhiányos területek nagysága meghaladja a megművelt terület 50%-át. KÁDÁR (2008) megállapítása szerint Magyarországon a vizsgált talajok 46%-a cinkkel gyengén ellátott, ugyanakkor ez az arány Békés és Fejér megyékben 85-87%-ra tehető. A cinkhiányos területen termesztett növények cinktartalma kevés, amely népelelmezési szempontból veszélyes, hiszen a cink hiányában gyakorivá válnak az idegrendszeri, izom-, és bőrszöveti betegségek. Különösen a gabonafélékre alapozott népelelmezés hordoz rendkívüli humán-egészségügyi veszélyeket, elsősorban a cinkhiányos területeken (CAKMAK, 2006). A cinkhiány termést limitáló tényező.

A növényfajok érzékenysége a cinkhiányra eltérő és csak súlyos cinkhiány esetén vannak egyértelmű cink hiánytünetek. Rejtett, látens vagy sub-klinikai cinkhiányról beszélünk abban az esetben, amikor marginális vagy mérsékelt a cinkhiány és a terméshozam jelentősen csökken vizuális hiánytünetek nélkül, illetve akkor amikor van cink a talajban, de a növény mégis a cinkhiány tüneteit mutatja. Az ilyen mértékű cinkhiány talaj vagy növényi diagnosztikai vizsgálatok nélkül sok esetben észrevétlenül marad, amely jelentős gazdasági kárt és minőségi csökkenést okoz a növénytermesztésben (IZA, 2011). A tápelemek oldódása és felvétele a talaj (rhizoszféra) és a növény bonyolult, dinamikus, kapcsolatrendszerének eredménye. A tápanyagok felvételét, illetve a növényi sejtbe történő bejutását számos tényező befolyásolja, így a talaj fizikai és kémiai jellemzői, pl.: magas agyagtartalma, pH-ja, puffer kapacitása, illetve az ionantagonizmus jelensége (KÁDÁR, 1995; KÁDÁR, 2008; LINGLE et al., 1963; OLSON et al., 1965; ALAM et al., 1999).

A kedvezőtlen környezeti feltételek csökkentik a tápanyagok oldódását és felvételét, a növény szervesanyag-felhalmozását, ezzel az elérhető termés mennyiségét is. A nehezen oldódó tápelemek mobilizálásában, illetve a növények látens tápanyaghiányának mérséklésében meghatározó szerepe lehet a talajéletnek, hiszen a

talajban élő hasznos baktériumok PGPB (Plant Growth Promoting Bacteria) képesek stimulálni az adott fajra specifikus gazdanövény növekedését pl.: szerves savak, fitohormonok kiválasztásán keresztül (BLOEMBERG és LUGTENBERG, 2001). Napjainkban a talajélet jelentősége felértékelődik, hiszen az állattenyésztés csökkenésével egyre kevesebb szerves trágya keletkezik, amely a talajok humusztartalmának csökkenését, illetve a talajok hasznos baktériumokban való elszegényedését idézi elő. Ez a probléma ad okot a 21. században egyre inkább előtérbe kerülő baktérium alapú biotrágyák tesztelésére és hatékony felhasználására.

Kísérleteinkben a tápoldat és az apoplazmatikus bikarbonát, az abszolút cinkhiány és NES kezelés, az optimálistól eltérő Fe/Zn arány, a nagy agyag- és szervesanyag-tartalmú talajokon alkalmazott Beremendi mészkézelés, illetve egy biotrágya hatását vizsgáltuk a közeg pH-jára, a kísérleti növények tápanyagfelvételére, fiziológiai paramétereire, illetve a gyökerek savkiválasztására és ezek kapcsolatára a látens cinkhiány kialakulásában.

2. ANYAG ÉS MÓDSZER

A kísérletek során a környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $300 \mu\text{mol m}^{-2} \text{s}^{-1}$, a hőmérséklet periodicitása 25/20 °C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom 65-75%, a megvilágítás/sötét periódus 16h/8h volt.

2.1. Kísérleti növények előnevelése

2.1.1. Alkalmazott kísérleti növények

Kísérleteimben kukoricát (*Zea mays L. cv. Reseda SC.*, *Zea mays L. Dekalb DKC 4490*), uborkát (*Cucumis sativum L. cv. Rajnai fürtös*, *Cucumis sativus L. cv. Delicatess*), illetve babot (*Phaseolus vulgaris L. cv. Debreceni Tarka*) használtam, az egy- és kétszikű növények eltérő tápanyag-felvételi mechanizmusa miatt (MARSCHNER et al., 1986).

2.1.2. A magvak sterilizálása

A kukoricaszemek felületét 25 percig tartó 18%-os H₂O₂-os kezeléssel sterilizáltam. A H₂O₂ nyomait többszörös steril desztillált vizes öblítéssel távolítottam el. Az utolsó öblítő folyadék a kukorica esetében a steril $5 \times 10^{-3} \text{M}$ CaSO₄ volt. Ebben négy óráig

áztak a szemek. Az uborka és a bab magokat sterilizálás nélkül helyeztem szűrőpapírra. A magvakat geotróposan stimuláltam, oly módon, hogy csírával lefelé, függőleges helyzetben csíráztattam nedves, steril H₂O-szűrőpapír tekercsben 24 °C-on, klímaszobában.

2.1.3. A tápoldatos növénynevelés körülményei

A növények neveléséhez az alábbi összetételű tápoldatot használtam: 2,0 mM Ca(NO₃)₂, 0,7 mM K₂SO₄, 0,5 mM MgSO₄, 0,1 mM KH₂PO₄, 0,1 mM KCl, 1 μM (kukorica) vagy 10 μM (uborka) H₃BO₃, 1 μM MnSO₄, 1 μM ZnSO₄, 0,25 μM CuSO₄, 0,01 μM (NH₄)₆Mo₇O₂₄. A kísérleti növények a vasat 10⁻⁴M FeEDTA (komplex) formában kapták.

2.1.4. A tápoldatos kísérletek során alkalmazott kezelések

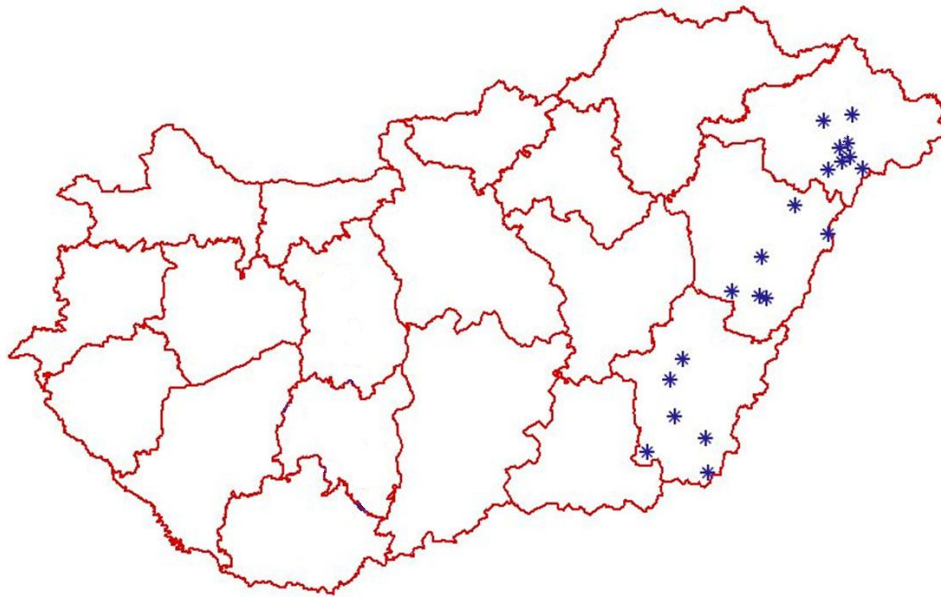
A tápoldathoz adott bikarbonát (gyökéren keresztüli ion-felvétel), illetve az infiltrálással (a levél apoplazmájából való felvétel) bejutatott bikarbonát hatásának vizsgálata során a növények számára a bikarbonátot NaHCO₃ formában adtam. A tápoldat, illetve az infiltráló folyadék bikarbonát koncentrációja 10, 20, 40- és 80 mM-os volt.

A teljes cinkhiány és a NES (alfa-naftil-ecetsav) növényfiziológiai hatásának vizsgálata során a következő kezeléseket alkalmaztam: kontroll, -Zn (teljesen cinkhiányos), -Zn+NES (teljesen cinkhiányos és NES kezelés). Szintetikus auxin kezelést alkalmaztam NES formájában, cseppenként adagolva a hajtáscsúcsra, háromnaponta. Egyszeri kezelés: 1 csepp NES (0,03369g=5,37x10⁻¹M) hajtáscsúcs⁻¹ növényenként.

Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatásának vizsgálatokor 15 különböző Fe és Zn aránypárt állítottam be. A -Fe és a -Zn kezelések esetén a tápoldat nem tartalmazott vasat, illetve cinket. Az egyszeres Fe mennyisége 10⁻⁴M FeEDTA dm⁻³ volt, az egyszeres Zn mennyisége pedig 1 μM ZnSO₄ dm⁻³ volt. A kontroll kezelésnél a tápoldat egyszeres Fe és Zn mennyiséget tartalmazott.

2.1.5. A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott talajok származása

A rhizoboxos kísérletekben használt talajokat három megyéből (Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar, Békés) gyűjtöttük a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) rendszer koordinátái és adatai alapján (**1. ábra**). Továbbá a vett talajminták vizsgálatát kiegészítettük a DE AGTC Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészlepedékes csernozjom talajjal.



1. ábra: A kiválasztott, legkisebb cink-ellátottságú mintavételi pontok Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar és Békés megyékben.

2.1.6. A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott talajok tulajdonságai

A talajminták talajtani és kémiai vizsgálata során meghatároztam azok fizikai talajféleségét, humusz és só %-át, a vizes és a CaCl_2 -os pH-át, valamint a CaCl_2 -oldható N-formákat és a szerves N tartalmat. A K_A alapján kalkuláltam a talajok agyag %-át. Továbbá mértem az Ammónium Laktát-oldható P, K, Ca és Mg tartalmat, valamint a talajok Lakanen Erviö (LE)-oldható Zn, Fe és Mn tartalmát.

2.1.7. A rhizoboxban történő növénynevelés körülményei

Egy rhizoboxba három, közel azonos méretű csíranövény került. Kísérleteimben 1 cm mély, 255 cm^3 -es rhizoboxokat használtam. Az ismétlések száma 3 volt. A talajok rhizoboxba helyezése előtt, a rhizoboxokba ioncserélt vízzel benedvesített szűrőpapírt helyeztem, amellyel biztosítottam a növények számára az egyenletes vízfelvételt. A rhizoboxokat 45° -ban megdőntve helyeztem el egy speciális rhizobox tartó keretben, így a geotrópos stimulus hatására a gyökerek a rhizobox átlátszó fala mentén növekedtek, amely lehetővé tette a gyökerek folyamatos vizsgálatát. Naponta mértem a rhizoboxok tömegét és a hiányzó vízmennyiséget pótoltam.

2.1.8. *A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott kezelések*

Az előzetesen bemutatott 19 TIM pontról és a DE AGTC Látóképi Kísérleti Telepről származó talajokat az alkalmazott biotrágyával - két héttel a kísérlet beállítása előtt - inkubáltunk, 1 ml dm⁻³ koncentrációban. A talajokat a szántóföldi vízkapacitás 50%-ra nedvesítettük. A nedvesítés során a biotrágya kezeléseknél a desztillált vízhez adagoltunk a biotrágyát.

A fenti vizsgálatokat követően a 20 talaj közül kiválasztottam azokat, amelyek magas szervesanyag-tartalommal rendelkeznek, valamint a felvehető cink-tartalmuk nagy. Ezek alapján hét (8, 10, 15, 16, 18, 19, 20) talaj lett kiválasztva. A kiválasztott talajokat 1 g kg⁻¹ mész (pH 9), 2 g kg⁻¹ mész (pH 10), 7 g kg⁻¹ mész (pH 11) adagokkal kezeltük. A ismétlések száma 3 volt. A talajokat - VK_{sz} 50% közeli értékre - nedvesítettem, úgy hogy azok morzsás szerkezetűek legyenek.

2.2. Alkalmazott biotrágya

A kísérletekben használt biotrágya *Bacillus megaterium var. phosphaticum* (1-2×10⁸ db cm⁻³) és *Azotobacter chroococcum* (1-2×10⁹ db cm⁻³) baktériumtörzseket tartalmaz. A biotrágya alkalmazott koncentrációja 1 ml dm⁻³ volt.

2.3. Alkalmazott mész

Az alkalmazott mész a Carmeuse Hungarya Kft. Beremendi gyarából származik. Minőségét tekintve melléktermék, ugyanakkor kiválóan alkalmas a talajok pH-értékének emelésére, mivel káliumban és nátriumban gazdag (**1. táblázat**), így a keletkező KOH és NaOH képes jelentős mértékben lúgosítani a közeg pH-ját, amely lehetővé teszi, hogy provokatív módon vizsgáljuk az extrém magas pH hatását a kísérleti növények fiziológiai paramétereire. A továbbiakban a Beremendi mésszel beállított kísérletek leírásakor és kiértékelésekor a egyszerűség kedvéért a „mész” és „meszezés” kifejezéseket használom.

1. táblázat: Az alkalmazott Beremendi mész vizsgált elemtartalma (mg kg⁻¹).

Elemek	Al	B	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe
mg kg ⁻¹	1070	3,72	4,41	321500	1,08	4,32	1,42	377
Elemek	K	Mg	Mn	Na	Ni	P	S	Zn
mg kg ⁻¹	1116	2372	16,8	254	<1	23,2	567	12

2.4. Mérési módszerek

2.4.1. A tápoldat és az apoplazmát oldat pH-jának mérése

A tápoldat pH-jának méréséhez OPTIMA 200A készüléket, az apoplazmatikus pH méréséhez az előző készülékhez csatlakoztatott Orion Micro Combination 12 cm-es pH elektródot használtam. A növényeket magas páratartalmú térbe helyeztem, majd a guttációs cseppek megjelenése után, mértem azok pH-ját.

2.4.2. Az abszolút és relatív klorofill-tartalom meghatározása

Mértem a növények leveleinek relatív klorofill tartalmát SPAD 502 Minolta készülékkel az eltérő fejlettségű (1., 2. és 3.), de már teljesen kifejlett levelekben. Az abszolút klorofill-tartalom meghatározása MORAN és PORATH (1980), VIDICIAN és CACHITA-COSMA (2010) módszerével történt. A mintákat a növény fejlettségétől függően a második és harmadik levélből vettem. 0,5 g levélkoronghoz 5 ml N, N-dimetil-formamidot (DMF) adtam. Ebben az oldószerben álltak a minták 72 órán át, 4 °C-os hőmérsékleten. 72 óra elteltével a korongokat eltávolítottam és mértem az oldatban az abszolút klorofill-*a*, klorofill-*b*, karotinoidok mennyiségét METEREK SP-830 Spektrofotométerrel.

2.4.3. A hajtás- és a gyökértérfogat meghatározása

Mértem a kukorica hajtásának, valamint a kukorica és az uborka gyökerének térfogatát a kezelések hatására. A mérésekhez desztillált vízzel feltöltött mérőhengert használtam. A térfogatot a növényi rész vízkiszorításával - a mérőhenger skálájának leolvasásával - határoztam meg.

2.4.4. Infiltrálás

Az infiltrálás során 400-405 mbar vákuumot létesítettünk a növényt is tartalmazó zárt térben. Ilyen vákuum mellett a levelek sejt közötti járataiból a levegő a sztómákon keresztül távozik, majd a légköri nyomás óvatos visszaengedésével a leveleket körbevevő infiltráló folyadékot préseli a levél sejt közötti járataiba. Az infiltráló folyadék bikarbonát koncentrációja 10-, 20-, 40-, illetve 80 mM-os NaHCO₃, a kontroll esetében desztillált víz volt.

2.4.5. A gyökérnövekedés meghatározása

A rhizobox-kísérletek során mértem a reggeli és az éjszakai gyökérnövekedését, reggel 6 és este 10 órakor. A gyökerek napszaki növekedését rajzolásos módszerrel követtem, majd vonalzó segítségével mértem.

2.4.6. Agar-agar és brómkrezolbíbor festék készítése

Speciális brómkrezol-bíbor indikátort tartalmazó agar-agar táptalajt készítettem (pH 6,0) a kísérleti növények által kiválasztott gyökérsav mennyiségi kimutatásához. Az indikátor oldat 1,25% brómkrezol-bíbort, az agaros táptalaj 100 ml-enként 1,25 g agar-agarot tartalmazott. Az indikátoros agarlapokat 24 óra elteltével távolítottam el a gyökerekről.

2.4.7. A növényi és talajminták száraz tömegének és elemtartalmának meghatározása

A mintavételt követően a növényi mintákat előmelegített 85 °C-os MEMMERT UIM 400 szárítószekrényben 2 nap alatt tömegállandóságig szárítottam. Száraz tömegket szobahőmérsékletre való lehűlést követően OHAUS típusú analitikai mérleggel mértem. A minták szárítása és darálása után 1 g-ot mértünk ki. Az előroncsolás során a növényi mintához 10, a talajmintákhoz 5 cm³ HCO₃-at adtam, amit 30 percig 60 °C-on tartottam. A mintákat lehűlésük után 10 (növény), illetve 5 (talaj) cm³ H₂O₂-val egészítettem ki, a roncsolást a további 90 percig (növény), illetve 270 percig (talaj) 120 °C-on végeztem, majd a mintákat lehűlés után ioncserélt vízzel 50 cm³-re egészítettem ki. MN 640 W (növény) és Filtrak 388 (talaj) szűrőpapírral szűrtem azokat. Az analitikai meghatározáshoz Perkin Elmer gyártmányú, OPTIMA 3300 DV típusú ICP-OES spektrométert használtunk.

2.4.8. A kísérleti eredmények statisztikai kiértékelése

A kísérleti eredmények statisztikai kiértékelése Microsoft® Excel 2007 és SigmaPlot 8.0, 11.0 (T-teszt, Varianciaanalízis) programokkal történt.

3. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

3.1. A tápoldathoz adott bikarbonát és egy biotrágya hatásának növényfiziológiai vizsgálata

A tápközeg pH-ja az egyik legfontosabb környezeti tényező, amely meghatározza a tápelemek oldódását és felvételét. Kísérleteimben a tápanyagok optimális mennyiségben álltak rendelkezésre, így felvételük csak a környezeti feltételektől függött. A kísérleteinkben alkalmazott NaHCO_3 minden esetben lúgosította a tápoldat pH-ját (2. táblázat). A biotrágya kiegészítés mérsékelte a bikarbonát lúgosító hatását. A bikarbonát a tápközeg pH-jának lúgosításával nehezítette a tápanyagok oldódását és felvételét. A csökkent mértékű tápanyagfelvétel eredményeként mérsékelt hajtás- és gyökernövekedést tapasztaltam, amely a bikarbonát koncentrációjának emelésével tovább csökkent. A biotrágya kiegészítés hatására mérséklődött a növekedésgátlás. A bikarbonát 16%-64%-kal csökkentette a gyökerek teljes hosszát, 27%-64%-kal a kukorica hajtásának teljes hosszát, valamint 32%-79%-kal az uborka levelek számát. A 80 mM bikarbonáthoz adott biotrágyás kiegészítés hatására 9% és 15%-kal mérséklődött a kukorica hajtás és a gyökér növekedésgátlása, egyenként. A biotrágya kiegészítés maximálisan 11% és 40%-kal mérsékelte a bikarbonát gátló hatását az uborka levelek számára, illetve a gyökerek hosszára, egyenként.

2. táblázat: A kezelések hatása a tápoldat pH-jára tápoldaton nevelt 2 és 8 napos kukorica esetén (n=3±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Szignifikáns eltérés a friss tápoldat pH-hoz képest: ^ap<0.05, ^bp<0.01, ^cp<0.001.

Kezelések	2. nap		8. nap	
	friss pH	lecserélt pH	friss pH	lecserélt pH
	0 h	72 h	0 h	72 h
kontroll	7,06±0,23	6,44±0,16 ^b	4,86±0,06	7,04±0,24 ^c
kontroll+biotrágya	6,94±0,45	5,75±0,12 ^{**b}	4,85±0,03	7,01±0,45 ^c
10mMNaHCO ₃	6,50±0,43	8,08±0,50 ^{**b}	6,86±0,14 ^{***}	7,53±0,15 ^{ab}
10mMNaHCO ₃ + biotrágya	6,43±0,42	7,71±0,46 ^{***a}	6,84±0,10 ^{***}	7,53±0,03 ^{bc}
20mMNaHCO ₃	7,89±0,09 ^{**}	8,08±0,03 ^{***b}	7,74±0,03 ^{***}	8,23±0,63 [*]
20mMNaHCO ₃ + biotrágya	7,81±0,08 ^{**}	8,06±0,34 ^{***}	7,70±0,06 ^{***}	8,18±0,32 ^{**}
40mMNaHCO ₃	8,21±0,07 ^{***}	8,65±0,38 ^{***}	8,09±0,01 ^{***}	8,31±0,04 ^{***c}
40mMNaHCO ₃ + biotrágya	8,20±0,07 ^{***}	8,03±0,34 ^{***}	8,06±0,04 ^{***}	8,25±0,17 ^{**}
80mMNaHCO ₃	8,22±0,02 ^{***}	8,70±0,10 ^{***c}	8,36±0,03 ^{***}	8,96±0,31 ^{***a}
80mMNaHCO ₃ + biotrágya	8,18±0,21 ^{***}	8,43±0,31 ^{***}	8,33±0,07 ^{***}	8,80±0,52 ^{**}

A bikarbonát 30%-75%-kal csökkentette a kukorica, 57%-99%-kal az uborka gyökértérfogatát. A 40 mM bikarbonáthoz adott biotrágya kezelés 21% és 71%-kal mérsékelte a bikarbonát gyökértérfogat csökkentő hatását a kukorica és az uborka esetén egyenként. A bikarbonát gátolta a szárazanyag-felhalmozást (**3. táblázat**).

3. táblázat: A kezelések hatása a tápoldaton nevelt 8 napos kukorica és 24 napos uborka szárazanyag-felhalmozására (kukorica $n=10 \pm s.e.$, uborka $n=8 \pm s.e.$) (g növény⁻¹). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: ** $p<0.01$, *** $p<0.001$. Szignifikáns eltérés a biotrágyával nem kezeltéhez képest: ^a $p<0.05$, ^c $p<0.001$.

Kezelések	kukorica		uborka	
	hajtás	gyökér	hajtás	gyökér
kontroll	0,2211±0,06	0,0636±0,01	2,3515±0,56	0,4075±0,19
kontroll+biotrágya	0,1810±0,02	0,0481±0,01**	2,4236±0,66	0,4390±0,16
10mMNaHCO ₃	0,1345±0,04**	0,0467±0,01***	0,8803±0,25***	0,1634±0,07**
10mMNaHCO ₃ + biotrágya	0,1135±0,06**	0,0421±0,01***	0,9745±0,52**	0,1730±0,05**
20mMNaHCO ₃	0,0319±0,02***	0,0432±0,01***	0,3327±0,14***	0,0761±0,04***
20mMNaHCO ₃ + biotrágya	0,1138±0,04** ^c	0,0783±0,13	0,4196±0,08***	0,0842±0,02***
40mMNaHCO ₃	0,0785±0,03***	0,0369±0,01***	0,1060±0,09**	0,0069±0,00***
40mMNaHCO ₃ + biotrágya	0,0684±0,02***	0,0378±0,01***	0,2189±0,02*** ^a	0,0130±0,00**
80mMNaHCO ₃	0,0436±0,02***	0,0360±0,01***	-	-
80mMNaHCO ₃ + biotrágya	0,0477±0,03***	0,0363±0,01***	-	-

A kukorica és az uborka hajtás száraztömege átlagosan 39%-95%-kal, a gyökér száraztömege átlagosan 27%-98%-kal csökkent a bikarbonát koncentráció függvényében. A biotrágyás kiegészítés hatására a 40 mM bikarbonát okozta csökkenés 52%-kal és 47%-kal a mérséklődött az uborka hajtás és gyökér száraz tömege esetén, egyenként.

Kísérleteimben megfigyeltem, hogy a vizsgált környezeti feltétel hatása komplexebb a vártnál. A pH-tól függő tápanyagfelvétel befolyásolta a fotoszintetikus pigmentek szintézisét. A bikarbonát kezelés hatására 10%-64%, valamint 5%-47%-kal csökkent a kukorica és az uborka 2. és 3. levelében a relatív klorofill-tartalom, egyenként (**4. táblázat**). A biotrágyás kezelés hatására 3%-50%, 1%-30%-kal nagyobb volt a kukorica és az uborka 2. és 3. levelében a mért SPAD index a biotrágyával nem kezeltéhez képest, egyenként. A levelek klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoidok tartalmának vizsgálatokor szignifikáns (a legnagyobb bikarbonát kezelés hatására a kukorica (80 mM) és az uborka (40 mM) 2. levelében átlagosan klorofill-*a*: 65%, klorofill-*b*: 67%, karotinoidok: 53%-os) csökkenést figyeltem meg a bikarbonát kezelésekre, amelyet a biotrágya kezelés jelentős mértékben (kukoricánál 1,5%-4,7%-kal, uborkánál 44%-124%-kal) mérsékelte. A kísérleti növények közül a kukorica reagált érzékenyebben a bikarbonát

kezelésre olyan tekintetben, hogy a SPAD indexben, illetve a klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoidok mennyiségében a bikarbonát kezelés nagyobb mértékű csökkenést okozott, mint uborkánál.

4. táblázat: A bikarbonát és a biotrágya hatása a 8 napos kukorica és a 24 napos uborka levelek relatív klorofill tartalmára (SPAD egységek) (n=30±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Szignifikáns eltérés a biotrágyával nem kezelthez képest: ^ap<0.05, ^bp<0.01, ^cp<0.001.

Kezelések	kukorica		uborka	
	2. levél	3. levél	2. levél	3. levél
kontroll	44,17±1,62	41,15±1,97	44,44±1,75	40,36±1,60
kontroll+biotrágya	45,78±2,38	42,42±1,43	46,20±2,93	43,90±4,01
10mMNaHCO ₃	35,17±5,49**	36,88±3,21**	41,70±5,87	38,48±2,03
10mMNaHCO ₃ + biotrágya	42,30±3,17 ^a	38,63±3,53	42,58±1,29	38,80±0,44
20mMNaHCO ₃	35,35±4,15***	31,38±3,80***	37,98±4,21**	-
20mMNaHCO ₃ + biotrágya	41,47±3,14 ^b	39,40±1,60 ^c	44,12±3,09 ^a	-
40mMNaHCO ₃	30,27±5,32***	31,38±3,66***	23,70±0,99***	-
40mMNaHCO ₃ + biotrágya	36,37±1,19*** ^a	35,78±3,47*** ^a	34,03±0,78*** ^c	-
80mMNaHCO ₃	16,10±4,82***	18,40±5,70***	-	-
80mMNaHCO ₃ + biotrágya	32,33±3,86*** ^c	26,88±6,73*** ^a	-	-

A bikarbonát kezelések hatására jelentősen növekedett a gyökerek által kiválasztott szerves savak mennyisége, amely a biotrágyás kezeléseknél mérsékeltebb volt, miszerint a mikroorganizmusok képesek tehermentesíteni a növényt kedvezőtlen környezeti tényezők esetén, így a gyökerek szerves sav kiválasztása mérséklődik. A bikarbonát gátolta a kukorica és az uborka oldal- és hajszálgökér fejlődését, amelyek kiemelt szerepet játszanak a víz és a tápanyagok felvételében. A biotrágya kezelés hatására a gyökerek morfológiailag differenciáltabbak voltak, amely hatékonyabb tápanyagfelvételt tesz lehetővé magas pH esetén is.

Összességében megállapítható, hogy a bikarbonát kezelés növelte a tápoldat pH-ját, melynek hatására csökkent a tápanyagok oldékonysága és felvétele, ezért csökkent a hajtás és a gyökér növekedése, a hajtás és gyökér hossza, a levelek száma, a gyökerek térfogata, a levelek abszolút és relatív klorofill-tartalma és így a hajtás és a gyökér száraz tömege. A bikarbonát kezelés gátolta a gyökerek morfológiai differenciálódását, illetve a pH emelésével fokozta a gyökerek szerves sav kiválasztását. A biotrágyás kiegészítés hatására mérséklődött a bikarbonát stressz okozta szerves sav kiválasztás, illetve a gyökereken több oldal- és hajszálgökér differenciálódott.

A bikarbonát kezelésre az uborka érzékenyebben reagált, mint a kukorica, mivel az abszolút és relatív klorofill-tartalom kivételével minden vizsgált paraméterben nagyobb volt a gátlás mértéke az uborkánál, mint a kukoricánál, amely az egy és kétszikű növények eltérő tápanyag-felvételi mechanizmusával magyarázható.

Eredményeim szerint a bikarbonát okozta stresszhatás mérsékelhető volt az alkalmazott baktérium tartalmú biotrágya kiegészítő használatával. Feltételezzük, hogy a kedvező hatás mögött a baktériumok és a magasabb rendű növények tápanyag-felvételi hasonlóságai vannak.

3.2. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatásának növényfiziológiai vizsgálata

Az apoplazmába infiltrált bikarbonát befolyásolta annak pH-ját, amely meghatározza a tápelemek oldódását és beépülését a növényi anyagcserébe. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát a koncentráció emelésével arányosan gátolta a kukorica hajtás és gyökernövekedését. A kukorica hajtásának és gyökerének hosszúsága 11%-17%, 30%-44%-kal; az uborka gyökerének hossza 38%-51%-kal csökkent a kontrollhoz képest. Az apoplazmába bejutatott bikarbonát a koncentráció függvényében átlagosan 18%-70%-kal csökkentette a hajtás és 8%-68%-kal a gyökér száraz tömegét a kontrollhoz képest (5. táblázat).

5. táblázat: A kezelések hatása a 8 napos kukorica és a 24 napos uborka szárazanyag-felhalmozására (kukorica $n=12 \pm s.e.$, uborka $n=4 \pm s.e.$) (g növény⁻¹). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Kezelések	kukorica		uborka	
	hajtás	gyökér	hajtás	gyökér
kontroll	0,7121±0,25	0,0895±0,02	3,5546±0,56	0,8968±0,14
H ₂ O-val inf.	0,5746±0,12*	0,0905±0,04	1,5101±0,33*	0,4882±0,11*
10 mM NaHCO ₃ -val inf.	0,5648±0,23*	0,0728±0,03*	1,3552±1,16*	0,4795±0,81
20 mM NaHCO ₃ -val inf.	0,5804±0,23*	0,0804±0,02*	1,3196±0,13**	0,4713±0,17*
40 mM NaHCO ₃ -val inf.	0,5572±0,22*	0,0797±0,04	1,0791±0,35**	0,2895±0,07**
80 mM NaHCO ₃ -val inf.	0,5355±0,17**	0,0563±0,01***	-	-

Az uborka érzékenyebben reagált a bikarbonátos infiltrálásra, mint a kukorica - hasonlóan a tápoldatos kísérletekhez -, mivel a bikarbonát okozta gátlás mértéke a vizsgált paraméterekben minden esetben kettő, illetve többszöröse volt a kukoricához képest.

6. táblázat: Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a 8 napos kukorica és a 24 napos uborka csíranövények relatív klorofill-tartalmára (SPAD egység) (kukorica: n=20±s.e., uborka: n=25±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Kezelések	kukorica		uborka	
	2. levél	3. levél	2. levél	3. levél
kontroll	42,88±2,48	43,55±1,07	49,88±4,47	51,84±4,77
H ₂ O-val inf.	43,55±1,07	39,33±1,04*	43,73±3,21	42,04±6,04
10 mM NaHCO ₃ -val inf.	41,13±4,72	39,85±3,77	33,69±2,48**	40,88±2,20*
20 mM NaHCO ₃ -val inf.	39,05±1,36*	33,63±5,57**	23,60±3,76***	35,56±1,20**
40 mM NaHCO ₃ -val inf.	29,38±8,47*	38,73±2,50*	24,10±7,49***	34,24±2,00**
80 mM NaHCO ₃ -val inf.	28,50±2,68***	28,25±9,57**	-	-

Mivel a szárazanyag-tartalom alakulását nagyban meghatározza a fotoszintézis, ezért vizsgáltam a levelek relatív klorofill-tartalmát, amely átlagosan 4%-52%-kal csökkent a 2. és 8%-35%-kal a 3. levelében, a kontrollhoz képest (**6. táblázat**). A bikarbonát a mezofillum pH-jának emelésével megakadályozhatja a klorofill szintézishez szükséges tápelemek, például a vas bejutását a sejtekbe, amelynek következtében csökken a fotoszintézis hatékonysága, amelyet követ a szervesanyag-termelés csökkenése, amely az egész növény mérsékeltebb növekedését eredményezi.

Megállapítható, hogy a tápoldathoz adott és az infiltrálással bejutatott bikarbonát hasonlóan hatott a vizsgált fiziológiai paraméterekre. Az eredmények alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a gyökér és a mezofillum sejtek tápanyagfelvétele azonos mechanizmus szerint történhet.

3.3. A tápoldathoz adott és infiltrálással bejutatott bikarbonát és a biotrágya hatása az apoplaszt oldat pH-jának alakulására

Vizsgáltam a tápoldathoz és infiltrálva adott bikarbonát, valamint egy biotrágya hatását a mezofillum sejtközötti járatok nedvének pH-jára. Az apoplazmatikus pH vizsgálatához a növényeket guttációra „kényszerítettük” és az így kapott guttációs cseppek pH-ját mértük.

Eredményeim szerint az optimális tápanyagellátás hatására az apoplazmatikus pH 5,45-5,65 közötti, amely megfelelő a tápelemek oldódásához és azok a növényi sejtbe való bejutásához. A mezofillumba infiltrált bikarbonát 10%-38%-kal növelte az apoplaszt oldat pH-ját az infiltráló folyadék bikarbonát koncentrációjának függvényében, amelyet a növény eredeti apoplaszt oldata pufferni tudott (**7. táblázat**).

7. táblázat: A bikarbonáttal 4, 6 és 8 napos korban infiltrált, kontroll tápoldaton nevelt kukorica csíranövények apoplazmatikus pH-ja (n=6±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Kezelések	infiltráló folyadékok pH-ja	infiltrálva		
		4 napon	6 napon	8 napon
Kontroll	-	6,11±0,39	4,69±0,82	5,66±0,16
H ₂ O-val inf.	5,80	5,88±0,41	5,55±0,56	6,87±0,34***
10 mM NaHCO ₃ -val inf.	8,54	6,75±0,26**	5,65±0,26*	7,93±0,82***
20 mM NaHCO ₃ -val inf.	8,77	7,68±0,57***	5,11±0,54	7,66±0,25***
40 mM NaHCO ₃ -val inf.	8,81	8,65±0,20***	6,91±0,35***	8,05±0,61***
80 mM NaHCO ₃ -val inf.	9,04	8,99±0,09***	7,00±0,02***	9,12±0,22***

Az esti apoplazmatikus pH kisebb volt, mint a reggeli, melynek oka, hogy a fotoszintézis fényszakasa során megtermelt szerves anyag, illetve szerves sav kiválasztás az apoplaszt oldat pH-ját csökkenti (**8. táblázat**). Megfigyeltük, hogy az idősebb korú növények eredeti apoplaszt oldatának tompító hatása - 8%-15%-kal - kisebb, mint a fiatalabb növényeké.

8. táblázat: Kontroll tápoldaton nevelt, 4 és 8 napon infiltrált kukorica csíranövények apoplazmatikus pH-ja a különböző napszakokban (n=8±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Kezelések	4 napon infiltrált		8 napon infiltrált	
	reggel (8 óra)	este (20 óra)	reggel (8 óra)	este (20 óra)
Kontroll	6,11±0,39	6,48±0,29	6,03±0,75	5,87±0,29
H ₂ O-val inf.	5,88±0,41	5,59±0,43**	6,03±0,57	6,12±0,33
10 mM NaHCO ₃ -val inf.	6,75±0,26**	6,11±0,16*	7,03±0,32*	6,82±0,22***
20 mM NaHCO ₃ -val inf.	7,68±0,57***	6,63±0,31*	7,58±0,14***	7,19±0,16***
40 mM NaHCO ₃ -val inf.	8,65±0,20***	8,06±0,61***	7,98±0,35***	7,48±0,21***
80 mM NaHCO ₃ -val inf.	8,99±0,09***	8,91±0,33***	8,23±0,64***	7,78±0,42***

9. táblázat: A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a 4 napos kukorica és 15 napos uborka csíranövények apoplazmatikus pH-jára (kukorica: n=10±s.e.; uborka: n=6±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Szignifikáns eltérés a biotrágyával nem kezeltéhez képest: ^bp<0.01.

Kezelések	kukorica	uborka
kontroll	8,00±0,30	7,55±0,49
kontroll+biotrágya	8,20±1,27	8,60±0,16** ^b
10 mMNaHCO ₃	7,35±0,43*	8,06±0,34
10 mMNaHCO ₃ + biotrágya	8,62±0,03**	8,12±0,44
20 mMNaHCO ₃	7,71±0,11*	8,23±0,35
20 mMNaHCO ₃ + biotrágya	7,73±0,43*** ^b	-
40 mMNaHCO ₃	6,48±0,61***	-
40 mMNaHCO ₃ + biotrágya	6,95±0,37***	-
80 mMNaHCO ₃	6,13±0,20***	-
80 mMNaHCO ₃ + biotrágya	6,78±0,52***	-

Eredményeink szerint a tápoldat pH-ja, illetve a tápközegben jelenlévő mikroorganizmusok képesek befolyásolni az apoplaszt oldat pH-ját (**9. táblázat**). A tápoldathoz adott bikarbonát 4%-23%-kal csökkentette az apoplazmatikus pH-t. A biotrágya kezelés hatására átlagosan 1%-17%-kal emelkedett az apoplaszt oldat pH-ja a biotrágyával nem kezeltéhez képest.

3.4. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés növényfiziológiai vizsgálata

A cink szerepe a növekedési folyamatokban kiemelt jelentőséggel bír. A cinkhiányos tápoldaton nevelt növények a hajtás és a gyökér növekedése akadályozott volt. A cinkhiány jelentősen csökkentette a hajtás és a gyökér növekedését, száraz tömegét (a hajtás esetén 34%-36%-kal, a gyökér esetén 29%-64%-kal) a kontrollhoz képest (**10. táblázat**). A NES kezelés kukoricánál 1%, uborkánál 92%-kal növelte a gyökér száraz tömegét a -Zn kezeléshez képest, amely mutatja, hogy a cink szerepe az auxin szintézise révén kiemelt a növekedési folyamatokban.

10. táblázat: A kezelések hatása a 15 napos kukorica és a 30 napos uborka szárazanyag-felhalmozásra (kukorica: $n=27\pm s.e.$, uborka: $n=12\pm s.e.$) ($g\ növény^{-1}$). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

Kezelések	<i>kukorica</i>		<i>uborka</i>	
	hajtás	gyökér	hajtás	gyökér
Kontroll	0,57±0,15	0,18±0,06	3,55±0,56	0,86±0,11
- Zn	0,37±0,12***	0,12±0,04***	2,46±0,06*	0,32±0,10***
- Zn+NES	0,37±0,12***	0,13±0,04***	2,50±0,36*	0,61±0,13*

Kísérleteimben a cink hiánya jelentősen befolyásolta a klorofill szintézist. Kísérleti eredményeim szerint a 2. és 3. levél relatív klorofill-tartalma 13%-45%-kal csökkent a cink hiányos kezelés hatására (**11. táblázat**). A NES kezelés kukoricánál 9%-44%, uborkánál 30%-35%-kal növelte a levelek SPAD indexét a cinkhiányos kezeléshez képest. A cinkhiány 57% és 63%-kal csökkentette az összklorofill-tartalmat az uborka 1. és 2. levelében.

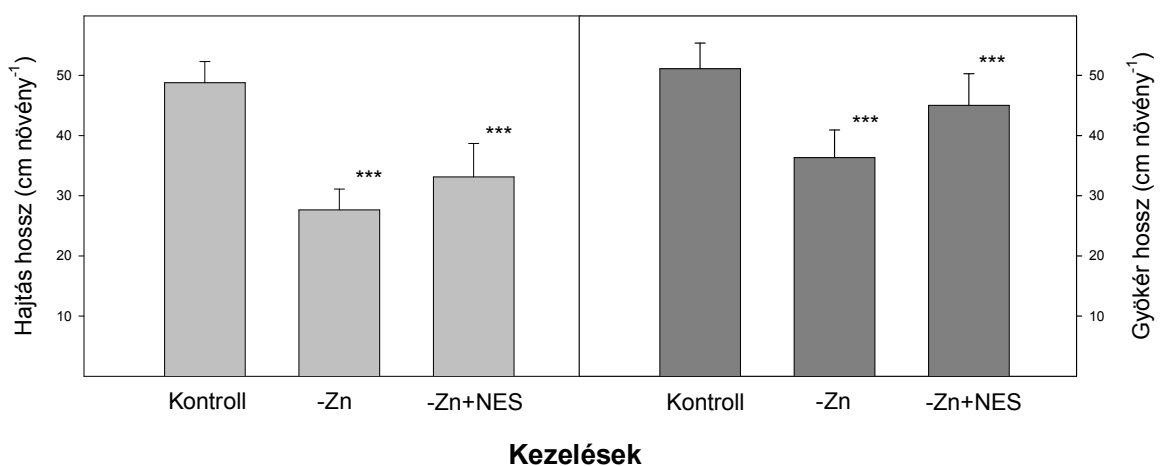
Cinkhiányban a klorofill-*a*, -*b* és karotinoidek mennyisége átlagosan 11%-62%, 30%-71%, 19%-70%-kal csökkent a kukorica és az uborka 2. és 3. levelében a kontrollhoz képest. A NES kezelés átlagosan 17%-72%-kal növelte a vizsgált pigmentek mennyiségét a kukorica 2. és 3. levelében a -Zn kezeléshez képest. Az uborkánál a NES

kezelés hatásosabb volt, mivel a 2. és 3. levélben 15%-54%-os növekedés volt mérhető a cinkhiányos kezeléshez képest.

11. táblázat: A kezelések hatása a levelek relatív klorofill-tartalmára (kukorica: $n=475\pm s.e.$, uborka: $n=250\pm s.e.$) (SPAD egység). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

Növény	Mérés időpontja	Mérés helye	Kezelések		
			Kontroll	- Zn	- Zn+NES
kukorica	7. nap	2. levél	46,5±4,41	36,0±7,14***	44,2±5,29*
	14. nap		45,1±4,50	37,5±6,48***	47,1±5,12
		3. levél	45,3±3,84	39,5±6,04*	48,9±4,25*
uborka	12. nap	2. levél	53,7±5,64	41,4±4,83***	45,5±6,51*
	16. nap		50,8±1,19	31,6±3,00***	48,7±2,97
	22. nap		52,6±0,79	35,9±1,73***	51,0±4,09
		3. levél	52,9±2,37	29,0±5,89***	51,6±4,25

A cinkhiány szignifikánsan 41%-kal csökkentette a kukorica hajtásának hosszát a kontrollhoz képest, amely jelzi, hogy cinkhiány esetén a növényállomány lemarad a fonológiai fázisra jellemző magasságtól (**2. ábra**). Cinkhiányban a gyökerek hossza kukoricánál 29%-kal, uborkánál 41%-kal volt rövidebb, mint a kontroll. A NES kiegészítés 14%-kal mérsékelte a cinkhiány okozta a hajtás-hossz csökkenést, 18%-24%-kal a gyökér-hossz csökkenést. Az uborka levelek száma 35%-kal csökkent a cinkhiányos kezelés hatására a kontrollhoz képest.



2. ábra: A cinkhiány és a NES kezelés hatása a tápoldaton nevelt 15 napos kukorica hajtásának és gyökérének hosszára (cm növény⁻¹), ($n=30\pm s.e.$). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *** $p < 0.001$.

Az internódiumok száma 25%-26%-kal csökkent a -Zn és -Zn+NES kezelés hatására a kontrollhoz képest (**12. táblázat**). A cink hiányában a szártagok rövidülnek. Eredményeink szerint a -Zn kezelés hatására az internódiumok hossza 68% és 55%-kal csökkent a kontrollhoz képest. Kísérleteimben átlagosan 29%-kal nőtt az szártagok hossza a NES kezelés hatására az abszolút cinkhiányos kezeléshez képest. A cinkhiányos növények gyökerei morfológiailag - a kontrollhoz képest - kevésbé voltak differenciáltak. A NES kiegészítés hatására több oldal-, és a hajszálgökér képződött.

12. táblázat: A cinkhiány és a NES kezelés hatása a 30 napos uborka internódiumainak számára (db növény⁻¹) és az internódiumok hosszára (cm növény⁻¹) (n=5±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: ***p<0.001.

Kezelések	Internódiumok száma	Internódiumok hossz
kontroll	13,80±3,42	5,80±1,06
- Zn	10,40±2,07	1,84±0,54***
- Zn+NES	10,20±1,92	2,60±0,38***

Megfigyeléseink szerint a cinkhiány, az auxin szintézis gátlásán keresztül kedvezőtlenül hatott a vizsgált fiziológiai paraméterekre, valamint megállapítható, hogy a kétszikű uborka érzékenyebben reagált a cinkhiányra, mint a kukorica.

3.5. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány növényfiziológiai vizsgálata

A szakirodalom szerint a növényi szövetek magas Fe-tartalma gátolhatja a cink felvételét és növényben történő szállítását. Kísérleteimben a cinkhiányos tápoldaton nevelt uborka hajtásának vastartalma jelentősen, 42%-kal megemelkedett a kontrollhoz képest (**13. táblázat**). Kísérleteimben a cinkhiányos levelekben lévő vas és cink aránya 9,22, míg a kontroll esetén 2,41 volt.

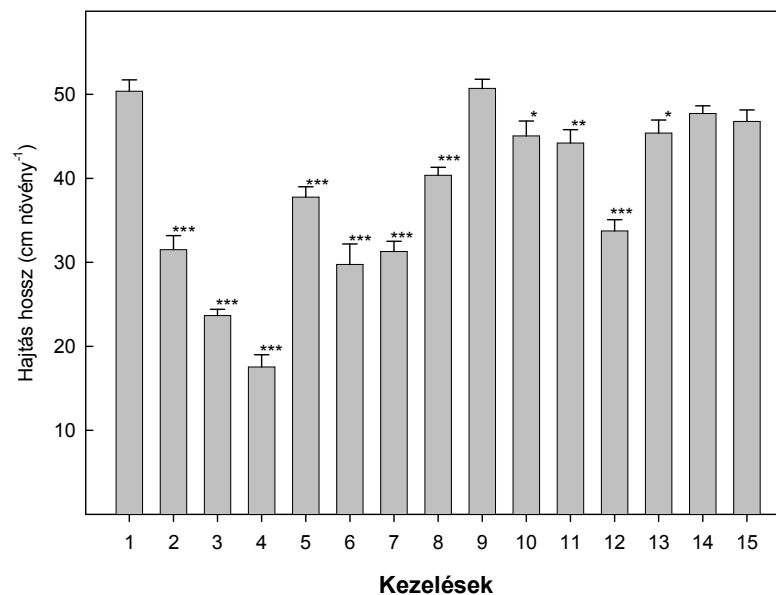
13. táblázat: A kontroll és az abszolút cinkhiányos tápoldaton nevelt 23 napos uborka hajtásának vas- és cink-tartalma, valamint Fe/Zn arányának alakulása (mg kg⁻¹) (n=3±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, ***p<0.001.

Kezelések	Fe	Zn	Fe/Zn arány
Kontroll	99,40±1,04	41,60±4,55	2,41
- Zn	141,25±35,70*	15,58±2,90***	9,22

Az optimálistól eltérő koncentrációjú cink és vas kezelések hatására a kukoricánál az abszolút cinkhiányos kezeléseknél a hajtás és a gyökér növekedése arányosan csökkent

a tápoldathoz adott vas koncentrációjának emelésével a kontrollhoz képest. Továbbá jelentősen csökkentette a kukorica gyökérnövekedését a tápoldat extrém magas - tízszeres - vas koncentrációja is. Az uborka gyökérnövekedésében jelentős különbségeket tapasztaltam a különböző koncentrációjú cink és vas kezelésekre hatására. Az abszolút vashiányos kezeléseknél a kukorica és az uborka levelein a vas hiánytüneteit figyeltem meg.

Az optimálistól eltérő cink- és vas-ellátás 3%-57%, 2%-50%-kal csökkentette a kukorica hajtásának (3. ábra) és gyökérének hosszát a kontrollhoz képest. Az uborka gyökérének hossza a kezelése függvényében (5%-24%-os) csökkenést vagy (5%-19%-os) növekedést mutatott a kontrollhoz képest. Az uborka leveinek száma jelentősen 38%-60%-kal csökkent a cinkhiányos tápoldathoz adott növekvő vas adagok hatására, valamint 14%-49%-kal az egy-, öt- és tízszeres cinkkezeléshez adott különböző vas adagok hatására a kontrollhoz képest.



3. ábra: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelésekre hatása a 14 napos kukorica hajtásának hosszára (cm növény⁻¹) (n=8±s.e.). 1: kontroll, 2: - Zn+1xFe, 3: - Zn+5xFe, 4: - Zn+10xFe, 5: 1xZn+ -Fe, 6: 1xZn+5xFe, 7: 1xZn+10xFe, 8: 5xZn+ -Fe, 9: 5xZn+1xFe, 10: 5xZn+5xFe, 11: 5xZn+10xFe, 12: 10xZn+ -Fe, 13: 10xZn+1xFe, 14: 10xZn+5xFe, 15: 10xZn+10xFe. Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Vizsgáltam a kezelésekre hatást az internódiumok számára és hosszára, mivel cink hiányában a szártagok rövidülnek és mert megfelelő cink-ellátás mellett jelentkezhet cinkhiány, ha a szövetek Fe/Zn aránya nem optimális. Kísérleteimben a cinkhiányos,

növekvő vas adagokkal kezelt uborka internódiumainak száma és hossza 19%-43%, 71%-90%-kal csökkent a kontrollhoz képest, egyenként. A különböző koncentrációjú vassal és cinkkel ellátott uborka internódium-száma 14%-43%-kal csökkent a kontrollhoz képest (**14. táblázat**).

A hajtás térfogat 15%-67%-kal csökkent a cinkhiányos kezeléshez adott különböző vasadagok hatására a kontrollhoz képest. A gyökértérfogat átlagosan 1%-87%-kal csökkent az optimálistól eltérő vas- és cink-ellátás hatására a kontrollhoz képest.

14. táblázat: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 23 napos uborka internódiumainak számára (db növény⁻¹) és az internódiumok hosszára (cm növény⁻¹) (n=6±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001.

Kezelések	Internódiumok száma	Internódiumok hossza
kontroll	7,0±1,0	2,38±0,78
- Zn+1xFe	5,7±0,5	0,68±0,32***
- Zn+5xFe	5,0±1,0*	0,35±0,13***
- Zn+10xFe	4,0±1,0**	0,24±0,04***
1xZn+ -Fe	8,0±2,0	1,84±1,03
1xZn+5xFe	6,0±0,0	0,72±0,32***
1xZn+10xFe	7,0±1,7	1,38±0,70**
5xZn+ -Fe	4,7±0,5*	0,59±0,04***
5xZn+1xFe	5,0±1,0*	0,81±0,54***
5xZn+5xFe	6,0±1,0	1,04±0,05***
5xZn+10xFe	4,7±1,5*	0,44±0,36***
10xZn+-Fe	4,0±0,0**	0,30±0,18***
10xZn+1xFe	6,0±0,0	0,90±0,19***
10xZn+5xFe	5,3±1,5	0,59±0,30***
10xZn+10xFe	5,0±1,0*	0,50±0,20***

Az optimálistól eltérő vas- és cink-ellátás eredményeként a kísérleti növények hajtásának száraz tömege átlagosan 1%-69%-kal, a gyökerének száraz tömege átlagosan 8%-73%-kal csökkent a kontrollhoz képest.

A kukorica 2. levelének relatív klorofill-tartalma közel 50%-kal csökkent az abszolút vashiányos kezelések hatására a kontrollhoz képest (**15. táblázat**). A 2. és a 3. levélben átlagosan 5%-25%-kal csökkent a SPAD index a cinkhiányos tápoldathoz adott emelkedő vas adagok hatására a kontrollhoz képest. Az egy- és többszörös adagú cinkkezeléshez adott vashiányos kezelések 28%-43%-kal csökkentették a 2. és 47%-72%-kal a 3. levélben a relatív klorofill-tartalmat a kontrollhoz képest. Az uborka 2. és 3. levelének relatív klorofill-tartalma átlagosan 3%-70%, 2%-69%-kal csökkent a 18. és a 22. mérési napon a kontrollhoz képest, egyenként. A kukorica 2. és 3. levelének

abszolút klorofill-*a* tartalma átlagosan 46%-87%-kal, klorofill-*b* tartalma 52%-83%-kal, a karotionoidok mennyisége 45%-82%-kal csökkent a vashiányos kezelések hatására a kontrollhoz képest. Az uborkánál a különböző koncentráció cink és vas kezelések hatására a 2. és a 3. levelében átlagosan 1%-58%-kal volt kevesebb a klorofill-*a*, 3%-64%-kal a klorofill-*b*, valamint 4%-58%-kal a karotionoidok abszolút mennyisége a kontrollhoz képest. A klorofill-*a*, a klorofill-*b* és a karotinooidok mennyisége az abszolút vashiányos kezeléseknél átlagosan 32%-58%, 40%-64%, 33%-58%-kal csökkent a kontrollhoz képest, egyenként.

15. táblázat: A relatív klorofill-tartalom alakulása a 18 és 22 napos uborka 2. és 3. levelében a különböző adagú cink és vas kezelések hatására. (SPAD egység) (n=20±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Kezelések	18. nap		22. nap	
	2. levél	3. levél	2. levél	3. levél
kontroll	41,28±1,64	37,40±1,57	43,53±0,51	42,80±3,12
- Zn+1xFe	43,90±3,87	39,45±2,89	42,10±4,96	43,50±1,15
- Zn+5xFe	48,13±2,60**	19,13±22,31	42,17±3,92	39,70±5,41
- Zn+10xFe	22,30±5,75***	20,95±4,19	43,43±3,10	38,73±4,80
1xZn+ -Fe	36,73±2,16**	32,78±6,44	34,73±1,26***	28,57±1,47**
1xZn+5xFe	35,03±3,37	30,60±20,41	39,97±1,32**	41,17±0,58
1xZn+10xFe	12,43±4,85***	31,68±3,35	44,27±2,84	38,10±5,72
5xZn+ -Fe	28,65±0,61***	30,18±4,80*	28,60±1,73***	21,43±3,59***
5xZn+1xFe	44,98±2,02*	43,65±2,38**	43,60±1,05	41,60±3,36
5xZn+5xFe	00,00±0,00***	0,00±0,00***	47,97±2,84*	47,60±1,42
5xZn+10xFe	21,95±5,40***	30,25±3,38	46,20±1,93	42,63±0,84
10xZn+-Fe	27,48±1,72***	26,45±3,61***	24,10±2,36***	22,37±3,06***
10xZn+1xFe	45,00±3,53	39,75±1,31	46,40±4,10	43,53±2,92
10xZn+5xFe	32,7±2,16	30,38±3,63	45,00±3,68	41,80±1,80
10xZn+10xFe	42,50±2,02	40,0±3,30	42,43±7,77	39,20±140

Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány eredményeként különbségeket tapasztaltam a gyökerek szerves sav kiválasztásában. A vashiányos kukorica gyökerek szerves sav kiválasztása volt a legnagyobb mértékű, melynek oka, hogy vas hiányában a fűféléknél megnő a gyökerek fitosziderofor kiválasztása. Az uborkánál az optimálistól eltérő cink és vas kezelések hatására - egy kezelés kivételével (5xZn+5xFe) - minden kezelésnél a kontrollhoz hasonló mennyiségű volt az uborka gyökérsav kiválasztása.

Az abszolút cinkhiányos tápoldathoz adott növekvő vas adagok (2., 3., 4. kezelések) - a vas koncentrációjának emelésével arányosan - csökkentették a kukorica gyökerének méretét. Jelentős csökkenést tapasztaltam a kukorica gyökér differenciálódásában azon

kezeléseknél, ahol a tápoldat tízszeres koncentrációban tartalmazott vasat. Az uborka gyökerének morfológiai differenciáltságát legnagyobb mértékben a vashiányos és az extrém magas vas koncentrációjú kezelések gátolták.

Összességében elmondható, hogy az optimálistól eltérő Fe/Zn arány zavart okoz a szövetekben, amely kihat számos fiziológiai paraméterre, azáltal, hogy a cink koncentrációjától nagyobb szöveti vas koncentráció látens Zn hiányt idéz elő, amelyet leginkább a cinkhiányhoz társuló magas vas arány demonstrál.

3.6. A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya hatásának növényfiziológiai vizsgálata

Vizsgáltuk a biotrágya kezelések hatását a különböző tulajdonságú, gyenge cink-ellátottságú - KCl-EDTA kivonási módszer esetén $1,5 \text{ mg kg}^{-1} \text{ Zn}$ (MÉM NAK, 1979) tartalom alatti - talajokon nevelt növények növekedésére. A talajokhoz adott 1 ml dm^{-3} koncentrációjú biotrágya kezelés a legtöbb esetben növelte a kukorica hajtásnövekedését a biotrágyával nem kezelt kontrollhoz képest. A biotrágya kiegészítés hatására a kukorica gyökérnövekedése a homokos vályog 9 és 11-es talajok, valamint az agyag fizikai talajféleségű 18-as talaj kivételével minden esetben nagyobb volt, mint a kontroll. A biotrágya kezelések kedvezően hatottak a gyökerek nappali és éjszakai növekedésére (**16. táblázat**). A nappali gyökérnövekedés átlagosan 2%-71%-kal volt nagyobb a 1., 2., 3. napon a biotrágya kezelése hatására, amely a 16-os agyag és a 17-es homokos vályog talajoknál volt a legkifejezettebb. Az éjszakai gyökérnövekedés az 1., 2. és 3. napon átlagosan 1%-78%-kal volt nagyobb, mint a kontroll a biotrágya kezelése hatására. A biotrágya kezelés kedvező hatása az éjszakai gyökérnövekedésre a 17-es homokos vályog és a 18-as agyag talajnál volt a legkifejezettebb. Ennek megfelelően a napi összes gyökérnövekedés a biotrágya kiegészítés hatására a legtöbb kezelésnél - átlagosan 1%-65%-kal - növekedett a kontrollhoz képest.

Különbségeket figyeltem meg a hajtás és a gyökér száraz tömegében a biotrágya kezelése és a talajtípusok között. Jelentős különbségeket tapasztaltam a biotrágya kiegészítés hatására. Egyes kezeléseknél (1%-36%-os) csökkenést, míg más kezeléseknél (2%-26%-kal) növekedett a kukorica hajtásának száraz tömege a kontrollhoz képest. A biotrágya kezeléseknél esetenként 12%-35%-kal nagyobb volt a gyökér száraz tömeg, míg más esetben a kontrollal megegyező vagy annál (2%-70%-kal) kisebb volt. A száraztömegében mért jelentős különbségek a talajtulajdonságok különbözőségét mutatják.

Kísérleteimben az alkalmazott PGPR tartalmú biotrágya kezelés kedvezően hatott a gyökérnövekedésre, számos esetben a szárazanyag-felhalmozásra, valamint a hajtás és a gyökér növekedésére, amely mutatja, hogy a baktériumok növelhetik a talaj tápelem feltáródását, mobilizálását és ezáltal a felvehető tápanyagok mennyiségét.

16. táblázat: A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a rhizoboxban nevelt 1, 2 és 3 napos kukorica nappali, éjszakai gyökérnövekedésére (n=9±s.e.) (cm gyökér⁻¹). +P: biotrágya kiegészítés. Szignifikáns különbség a kezeletlen talajhoz képest: p* < 0.05, p** < 0.01, p*** < 0.001.

Kez.	1. nap		2. nap		3. nap	
	nappali	éjszakai	nappali	éjszakai	nappali	éjszakai
1	1,28±0,21	1,57±0,31	2,77±0,25	2,01±0,46	2,40±0,68	2,01±0,47
1P	1,36±0,32	2,13±0,54*	3,10±0,35	2,25±0,37	3,06±0,48	2,36±0,58
2	1,11±0,46	1,66±0,34	2,65±0,38	2,27±0,34	2,92±0,15	2,17±0,26
2P	1,40±0,31	1,66±0,16	3,04±0,37	2,36±0,63	2,91±0,56	2,34±0,41
3	1,42±0,47	1,72±0,61	2,88±0,90	2,32±0,84	2,54±0,54	2,12±0,40
3P	1,85±0,22*	2,16±0,30	3,23±0,20	2,62±0,47	2,64±0,82	2,26±0,34
4	1,53±0,32	1,94±0,42	3,12±0,23	2,29±0,31	2,42±0,89	1,66±0,59
4P	1,79±0,20	2,18±0,28	3,51±0,23**	2,56±0,30	2,94±0,70	2,12±0,73
5	1,60±0,25	1,71±0,31	2,78±0,64	2,30±0,36	3,02±0,61	2,15±0,55
5P	2,19±0,28**	2,32±0,28***	3,33±0,27**	2,37±0,21	2,73±0,56	2,20±0,45
6	2,08±0,08	2,19±0,22	2,72±0,23	2,18±0,33	2,69±0,51	2,01±0,18
6P	2,21±0,14	2,26±0,19	2,85±0,23	2,21±0,32	2,69±0,76	2,09±0,22
7	1,61±0,26	1,88±0,39	2,52±0,43	2,11±0,55	2,26±1,18	1,62±0,76
7P	1,99±0,16*	2,14±0,32	3,10±0,41*	2,48±0,13	2,66±0,12	2,78±0,67*
8	1,57±0,18	1,58±0,52	2,69±0,23	2,14±0,13	2,82±0,62	1,69±0,48
8P	1,71±0,21	1,71±0,52	2,84±0,11*	2,33±0,18*	3,24±0,29	1,99±0,41
9	1,60±0,43	1,72±0,23	2,67±0,77	2,25±0,09	3,21±0,10	2,33±0,25
9P	1,99±0,34	1,89±0,25	3,46±0,96	2,25±0,22	3,58±1,95	2,25±0,15
10	1,93±0,09	1,87±0,23	2,29±0,33	2,17±0,31	2,42±0,52	1,75±0,34
10P	1,99±0,12	1,97±0,22	2,83±0,17*	2,25±0,23	2,55±0,31*	1,75±0,53
11	1,00±0,41	1,11±0,30	1,88±0,43	1,68±0,75	2,42±0,51	2,00±0,30
11P	1,16±0,31	1,11±0,26	2,08±0,14	1,81±0,68	2,47±0,24	2,10±0,51
12	1,39±0,24	1,31±0,18	1,94±0,43	1,83±0,78	2,26±0,75	1,89±0,40
12P	1,61±0,22	1,33±0,30	2,34±0,24	1,91±0,63	2,37±0,66	2,34±0,30*
13	1,44±0,39	1,44±0,23	2,19±0,72	2,28±0,49	2,58±0,10	2,16±0,29
13P	1,49±0,26	1,44±0,22	2,30±0,40	2,31±0,32	2,52±0,10	2,15±0,57
14	1,39±0,33	1,36±0,22	2,06±0,21	1,99±0,30	2,24±0,81	1,84±0,20
14P	1,89±0,24**	1,60±0,21	2,25±0,25	2,06±0,31	2,38±0,23	2,00±0,44
15	1,64±0,37	1,45±0,16	2,38±0,34	2,26±0,41	2,33±0,35	2,14±0,21
15P	1,88±0,41	1,48±0,35	2,38±0,23	2,38±0,27	2,45±0,17	2,15±0,33
16	0,77±0,24	1,34±0,32	2,13±0,66	1,04±0,32	1,93±0,54	1,49±0,49
16P	1,13±0,34*	1,53±0,32	2,33±0,46	1,41±0,36	2,61±0,50*	2,41±0,18**
17	0,64±0,24	0,54±0,31	0,80±0,43	0,95±0,27	1,50±0,00	1,29±0,63
17P	0,73±0,59*	2,49±0,55***	2,77±0,50***	2,26±0,58**	2,43±0,87*	1,30±0,30
18	0,72±0,25	1,54±0,19	2,24±0,43	1,26±0,57	2,18±0,27	1,08±0,48
18P	0,97±0,32	1,58±0,30	2,36±0,68	1,51±0,34	2,18±0,32	1,93±0,68
19	1,36±0,11	1,73±0,22	2,79±0,27	1,43±0,54	2,82±0,39	1,98±0,33
19P	1,51±0,27	1,95±0,06**	2,92±0,37	1,87±0,24	3,16±0,45	2,36±0,51
20	0,87±0,28	1,26±0,47	2,30±0,73	1,28±0,53	1,85±0,96	1,44±0,53
20P	1,17±0,25	1,58±0,19	2,57±0,38	1,74±0,16*	2,40±0,42	1,86±0,32

3.7. A mészkezelés hatásának növényfiziológiai vizsgálata

A különböző koncentrációjú 1, 2, 7 g kg⁻¹ mészadagok hatására csökkenést tapasztaltam a növekedésben, amely a mész koncentrációjának emelésével tovább csökkent. A mészadagok növelésével arányosan több, mint 15%-kal csökkent a hajtáshossz a kontrollhoz képest.

Az internódiumok hossza is csökkent a különböző adagú mészkezelések hatására (**17. táblázat**). A legnagyobb adagú (7 g mész kg⁻¹ talaj) mészkezelés hatására közel 3 cm-rel csökkent a szik alatt szárrész, valamint több mint 1 cm-rel a szik feletti 1. szárrész átlagos hossza a kontrollhoz képest. A hajtás hosszának, illetve a szártagok hosszának rövidülése a cinkhiány egyik tünete. A szakirodalom szerint a cink mobilitása és felvehetősége a pH, az agyag- és mésztartalom, valamint a foszfor ellátottság emelkedésével csökken. Kísérleteimben a mészkezelés hatására megemelkedett talaj pH gátolta a tápanyagok (Zn) felvételét, amely a szártagok rövidülést okozta.

17. táblázat: A kezelések hatása a 13 napos bab hipokotiljaink és epikotiljainak hosszára (n=9±s.e.) (cm növény⁻¹). Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: p*<0.05.

Talajok számozása	szik alatti szárrész			
	kontroll	1 g mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész kg ⁻¹ talaj
8	4,38±1,90	3,39±1,31	3,28±1,79	3,02±1,54
10	4,57±0,42	4,50±0,42	4,38±1,07	3,07±1,72
15	3,73±0,55	4,31±0,69	3,72±1,03	3,53±1,12
16	5,44±0,92	4,40±0,76*	4,22±0,13*	4,05±0,71*
18	3,94±1,85	3,36±1,52	3,22±1,59	2,97±1,46
19	4,20±1,03	3,44±2,26	3,34±0,47	3,09±0,47
20	4,47±1,16	2,91±1,77	2,89±1,91	1,67±1,32*
Talajok számozása	szik feletti 1. szárrész			
	kontroll	1 g mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész kg ⁻¹ talaj
8	3,42±0,69	2,86±1,51	2,79±1,72	2,50±1,30
10	3,27±0,50	3,12±0,63	3,11±0,52	2,63±1,66
15	3,43±1,58	2,91±0,95	2,44±1,51	2,37±1,18
16	3,56±0,51	2,74±1,19	2,73±1,18	2,53±0,51*
18	3,60±0,80	3,11±2,21	2,59±1,00	2,11±1,59
19	2,91±0,43	2,19±1,21	2,08±1,39	2,07±1,07
20	2,73±1,01	2,17±1,64	2,06±1,38	0,99±1,13

Kísérleteimben a kukorica levelek relatív klorofill-tartalma 3%-20%-kal, a bab levelek SPAD indexe 7%-75%-kal csökkent a mészkezelések hatására a kontrollhoz képest (**18.**

táblázat). A fotoszintézis intenzitása meghatározza a szárazanyag-produkciót. Eredményeim szerint a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozása jelentősen (45%-60%-kal) csökkent a kukoricánál. A bab hajtásának és gyökerének száraz tömege a mézszadagok koncentrációjának függvényében 12%-29%, 17%-23%-kal csökkent a kontrollhoz képest, egyenként. A mézszkezelések okozta jelentős csökkenés a szárazanyag-produkcióban a magas pH és a gátolt tápanyagfelvétel összefüggésével magyarázható.

18. táblázat: A különböző adagú mézszkezelések hatása a 10 napos kukorica 2. és a 13 napos bab 1. levélének relatív klorofill-tartalmára (SPAD egységek) (kukorica: n=30±s.e., bab: n=45±s.e.). Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: p* < 0.05, p** < 0.01.

Növény	Talajok számozása	kontroll	1 g mézsz kg ⁻¹ talaj	2 g mézsz kg ⁻¹ talaj	7 g mézsz kg ⁻¹ talaj
<i>kukorica</i>	8	33,76±4,48	32,34± 7,43	32,12± 4,07	30,37± 1,72
	10	35,50±4,58	33,13± 3,30	31,88± 2,70	30,62± 6,45
	15	37,76±1,69	37,44± 3,15	35,74± 1,53	32,28± 7,52
	16	46,02±1,11	36,00± 0,52*	36,90± 1,06	36,27± 3,11
	18	42,12±2,50	35,44± 1,46*	34,38± 4,69*	37,85± 0,07
	19	42,83±3,99	32,78± 6,16*	32,24± 4,69*	31,60± 1,41*
	20	42,75±1,42	33,20± 1,95*	34,15± 1,52*	32,28± 3,51*
<i>bab</i>	8	45,27±2,43	41,93±15,81*	33,18±13,94**	33,03±14,62**
	10	46,66±3,53	42,58± 5,28	41,16± 2,63	30,03±17,64*
	15	48,17±3,71	43,98± 5,99	40,67± 5,60	33,10±13,62*
	16	49,38±3,98	41,71±15,73	40,75± 7,69	35,08±19,88*
	18	47,10±3,17	45,43± 5,04	39,11± 6,06	26,32±19,92*
	19	47,08±2,56	40,34± 2,54*	40,12± 2,42*	39,38± 3,29*
	20	51,10±3,29	33,47±23,03	32,98± 19,33*	13,41±20,62*

Eredményeim szerint az összes napi gyökérnövekedés 2%-45%-kal csökkent az 1., 2. és 3. napon átlagosan a különböző mézszadagok hatására a kontrollhoz képest, amelyből a kukoricánál az éjszakai és nappali gyökérnövekedés átlagosan 6%-43%, 2%-47%-kal csökkent az 1. napon, 9%-59%, 4%-37%-kal a 2. napon, valamint 8%-50%, 5%-35%-kal a 3. napon a különböző adagú mézszkezelések hatására a kontrollhoz képest, egyenként. A babnál a mézszadagok koncentrációjának emelésével csökkent a gyökerek nappali és éjszakai növekedése, amely csökkenés a legnagyobb mézszadag hatására 29%, 53%-ot is elérte. A gyökérnövekedés adatok szemléltetik a növekvő mézszadagok hatásaként jelentkező csökkenést a gyökérnövekedésben, amely a legtöbb vizsgált talaj esetén megfigyelhető. A gyökérnövekedés csökkenése kedvezőtlenül hat a növény tápanyag-fellevő képességére, mivel a kisebb gyökérzet kevesebb mennyiségű vizet és tápanyagot képes a talajból felvenni.

4. ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A tápközeg pH-ja kiemelt jelentőséggel bír a tápelemek oldódásában és felvételében. A mezőgazdasági növények többsége számára az enyhén savanyú talajok (pH 6,0-7,0) a legkedvezőbbek, mivel a legtöbb tápelem hozzáférhetősége enyhén savanyú, vagy semleges pH-n a legjobb. **Megállapítottam, hogy a kísérleteimben alkalmazott bikarbonát stresszorként hatott, lúgosította a közeg pH-ját, ezáltal jelentősen gátolta a kukorica és az uborka növekedést, befolyásolta a fotoszintetikus pigmentek szintézisét a kukorica és az uborka leveleiben, így a fotoszintézis hatékonyságát. A bikarbonát okozta lúgos pH növelte a kukorica és az uborka gyökereinek szerves sav kiválasztását, valamint gátolta a gyökerek morfológiai differenciálódását.**
2. Az apoplazmába infiltrálással bejutatott bikarbonát - a tápközeg pH-jához hasonlóan - a kukorica mezofillum sejtközötti járatainak pH-ját is lúgosította. **Megállapítottam, hogy a lúgos apoplazmatikus pH - a pH emelkedésével - növekedésgátlást, illetve a klorofill-tartalom csökkenését okozza ugyanúgy, ahogyan a tápközeg lúgos pH-ja esetén, amely szerint a gyökér és a mezofillum sejtek tápanyagfelvétele azonos mechanizmus szerint történik.**
3. Az apoplaszt oldat tartalmából, pH-jából következtethetünk az abban lejátszódó folyamatokra. **Elsőként vizsgáltam az apoplaszt oldat pH-ját a tápoldathoz adott és infiltrálással bejutatott bikarbonát és a biotrágya kezelés hatására az apoplazmatikus nedv guttálással történő kinyerésével. A guttációs vizsgálatok eredményei alapján megállapítottam, hogy a tápoldat pH-ja (bikarbonát koncentrációja) befolyásolja a kukorica és az uborka apoplazmatikus pH-ját.**
4. A tápoldathoz adott kiegészítő biotrágya kezelés emelte a kukorica és az uborka apoplaszt oldatának pH-ját, míg a tápoldat pH-ját (lúgosságát) ellenkezően módosította (mérsékelte). **Megállapítottam, hogy a tápközegben jelenlévő (*Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* és *Azotobacter chroococcum*) baktériumok képesek módosítani a kukorica és az uborka apoplaszt oldatának pH-ját stressz körülmények (lúgos pH) között is, ezáltal elősegíteni a tápanyagok oldódását, azok növényi sejtbe történő bejutását. Kimutattam, hogy a növények apoplaszt oldatának - a talaj pH-jához hasonlóan - van pufferoló**

képessége, így a növény képes a mezofillum pH-ját módosítani, a kedvezőtlen környezeti tényezők hatásait mérsékelni.

- 5. A cink szerepe - az auxin szintézis révén - kiemelt fontosságú a növekedési folyamatokban. Megállapítottam, hogy az abszolút cinkhiány - az auxin szintézis gátlásán keresztül - képes jelentősen csökkenteni a kukorica hajtásának hosszát, az uborka internódiumainak számát és hosszát (így a növényállomány magasságát), a kukorica és az uborka leveleinek relatív klorofill-tartalmát és a fotoszintetikus pigmentek abszolút mennyiségét. A cinkhiány gátolja a kukorica és az uborka gyökérdifferenciálódást. Kimutattam, hogy kukoricánál és uborkánál a cinkhiányban alkalmazott NES kezelés mérsékelte a cinkhiány okozta növekedésgátlást, a kontroll szintjére emelte a fotoszintetikus pigmentek mennyiségét, elősegítette az oldal- és hajszálgökér képződést.**

5. A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. A tápközegben jelenlévő élő PGPB mikroorganizmusok számos módon képesek elősegíteni a gazdanövény növekedését. **Megállapítottam, hogy az alkalmazott (*Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*-ot és *Azotobacter chroococcum*-ot tartalmazó) biotrágya mérsékelte a bikarbonát tápközeg-lúgosító hatását, ezáltal a bikarbonát kedvezőtlen hatásait, így a növekedésgátlást, a fotoszintetikus pigmentek mennyiségének csökkenését kukoricánál és uborkánál. A biotrágya kedvezően hatott a kukorica és az uborka gyökerek morfológiai differenciálódására (ezzel fokozva a tápanyagfelvétel hatékonyságát); mérsékelte a kukorica és az uborka gyökerek szerves sav kiválasztását (ezzel elősegítve azt, hogy a megtermelt szerves anyag a gazdasági termést gyarapítsa stressz körülmények között is). A fentiek alapján javasolt biotrágya alkalmazása enyhén lúgos, lúgos pH-jú talajokon a tápanyagfelvétel fokozása érdekében.**
2. **Kimutattam, hogy az alkalmazott (*Bacillus megaterium* var. *phosphaticum*-ot és *Azotobacter chroococcum*-ot tartalmazó) biotrágya a tápoldat pH-jának mérséklésével, illetve az apoplaszt oldat pH-jának emelésével egy új típusú hatásmechanizmus révén elősegíti a közeg optimális pH-jának megteremtését, ezáltal a tápelemek oldódását, így a tápanyagfelvételt.**
3. A kísérleteimben használt kísérleti növények közül a szakirodalom szerint a kukorica és a bab a cinkhiányra legérzékenyebb kultúrák közé tartozik. **Rámutattam, hogy az uborka a legtöbb vizsgált paraméterben (hajtás és gyökérhossz, levél szám, gyökér száraz tömeg, relatív klorofill-tartalom, a 2. levél klorofill-*a*, -*b*, karotinoidek tartalom) érzékenyebben reagált a cinkhiányra, mint a kukorica.**
4. Az optimálistól eltérő szöveti Fe/Zn arány zavart okoz az anyagcserében. **Megállapítottam, hogy a nem optimális Fe/Zn arány hatására csökken a kukorica és az uborka hajtás és a gyökérnövekedése, az uborka internódiumok száma és hossza, ezért a talajvizsgálatok alkalmával javasolt a talajok Fe/Zn arányának megállapítása diagnosztikai célú növényanalízissel kiegészítve.**

6. PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai, lektorált folyóiratban

Veres, Sz.–Lévai, L.–**Bákonyi, N.**–Gajdos, É.: 2008. Correlation of nutrient contents and biofertilization. *Cereal Res. Commun.* 36. 1831–1835. ISSN 0133–3720.

Veres, Sz.–**Bákonyi, N.**: 2009. Applicability of chlorophyll-fluorescence parameters as stress indicator under insufficient nutrient supply. *Cereal Res. Commun.* 37. 2: 261–264. ISSN 0133–3720.

Bákonyi, N.: 2010. Examination of Zn deficiency on some physiological parameters in case of maize and cucumber seedlings. *Agrártudományi Közlemények/Acta Agr. Debr.* 5–9. ISSN: 1588–8363.

Tóth, B.–**Bákonyi, N.**–Veres, Sz.: 2010. Effects of different industrial wastes on the plant growth and development in the agro-ecosystem. *Növénytermelés/Crop production.* 59. 2: 605–607. ISSN 0546–8191.

Bákonyi, N.–Marozsán, M.–Kovács, B.: 2011. Enhancement of nutrient uptake of plant by biofertilizer under alkaline conditions. *Növénytermelés/Crop production.* 60. 2: 275–278. ISSN 0546–8191.

Bákonyi, N.: 2011. Response of maize seedlings to the latent zinc deficiency under different Fe/Zn ratio. *Agrártudományi Közlemények/Acta Agr. Debr.* 44. 125–128. ISSN: 1588–8363.

Bákonyi, N.–Kiss, L.–Marozsán, M.–Gajdos, É.: 2012. Improvement of growth of Zn deficient plants by biofertilizer as a part of green water concept. *Növénytermelés/Crop production.* 61. 2: 133–136. ISSN 0546–8191.

Tudományos közlemény idegen nyelvű lektorált folyóiratban

Lévai, L.–Veres, Sz.–Gajdos, É.–**Bákonyi, N.**: 2008. The Possible Role of Bacteria Containing Bio-fertilizers in Sustainable Agriculture. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition.* Special Issue. (8) 3: 188–189. (IF: 0,596).

Tóth, B.–Veres, Sz.–**Bákonyi, N.**–Gajdos, É.–Marozsán, M.–Lévai, L.: 2012. Industrial side-products as soil-amendments. *Environmental Journal of Biology.* 33. 2: 425–429. ISSN: 0254–8704. (IF: 0,48).

Tudományos közlemény magyar nyelvű lektorált folyóiratban

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Tóth, B.–Marozsán, M.–Kovács, Sz.–Veres, Sz.–Lévai, L.: 2010. A közeg pH-jának szerepe a látens tápanyaghiány kialakulásában fiatal kukorica és uborka növényeknél. *Növénytermelés/Crop production.* 59. 2: 1–19. ISSN 0546–8191.

Bákonyi, N.: 2010. Az apoplazmatikus pH szerepe a tápanyagfelvételben. *Agrártudományi Közlemények/Acta Agr. Debr.* HU-ISSN 1587–1282. (megjelenés alatt)

Tóth, B.–Veres, Sz.–Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Marozsán, M.–Lévai, L.: 2010. Mész- és cementgyári porok növényfiziológiai hatásának vizsgálata. *Növénytermelés/Crop production.* 59. 3: 65–83. ISSN 0546–8191.

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány

Bákonyi, N.: 2007. The effect of bicarbonate on the uptake of nutrients of cucumber and corn plants. [In: Writing papers for the 31st Conference of Agricultural Students with International participation.] Novi Sad. Serbia. 10–15. ISBN 978–86–7520–127–4.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Lévai, L.–Veres, Sz.–Tóth, B.–Marozsán, M.: 2009. Comparison of effects of different biofertilizers on early development of cucumber and wheat seedlings. [In: Marič, S.–Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 491–495. ISBN 978–953–6331–97–3.

Lévai, L.–Veres, Sz.–Gajdos, É.–Marozsán, M.–Bákonyi, N.–Tóth, B.: 2009. Possibilities in plant nutrition. [In: Proceedings of 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 556–560. ISBN 978–953–6331–97–3.

Marozsán, M.–Veres, Sz.–Gajdos, É.–Bákonyi, N.–Tóth, B.–Lévai, L.: 2009. The possible role of bio-fertilizers in agriculture. [In: Proceedings of 44th Croatian & 4th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 585–588. ISBN 978–953–6331–97–3.

Bákonyi, N.–Tóth, B.–Gajdos, É.–Bódi, É.–Marozsán, M.–Veres, Sz.–Lévai, L.: 2009. Role of biofertilizers in plant nutrition. [In: Proceedings of the 18th CIEC Symposium of the International Scientific Centre of Fertilizers.] Rome. Italy. 17–22. ISSN 1971–0755.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Tóth, B.–Marozsán, M.–Veres, Sz.–Lévai, L.: 2010. Effects of carbonate on nutrition of crop plants. [In: Marič, S.–Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 667–671. ISBN 978–953–6331–79–6.

Lévai, L.–Veres, Sz.–Tóth, B.–Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Faragó, E.–Marozsán, M.: 2010. Necessity to use living bacteria in plant nutrition. [In: Marič, S.–Lončarić, Z. (eds.) Proceedings of 45th Croatian & 5th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 818–822. ISBN 978–953–6331–79–6.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Tóth, B.–Makleit, P.–Lévai, L.–Veres, Sz.: 2011. The effect of Zn deficiency on the contents of photosynthetic pigments. [In: Proceedings of the 3rd International Conference on „Research People and Actual Tasks on Multidisciplinary Sciences”.] Lozenec. Bulgaria. 1. 18–21. ISSN 13–13–7735.

Bákonyi, N.–Lévai, L.–Gajdos, É.–Tóth, B.–Veres, Sz.: 2011. Physiological responses of maize and cucumber to the biofertilizer treatment under alkaline condition. *Agroglas.* [In: Stipešević, B.–Sorić, R. (eds.) Proceedings of 4th International

scientific/professional conference on Agriculture in Nature and Environment Protection.] Vukovar. Croatia. 130–135. ISBN 978–953–7693–01–5.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Tóth, B.–Marozsán, M.–Lévai, L.–Veres, Sz.: 2011. The effect of Fe/Zn ratio on the evolution of latent zinc deficiency in crop plants. [In: Pospisil M. (ed.) Proceedings of 46th Croatian & 6th International Symposium on Agriculture.] Opatija. Croatia. 775–759. ISBN 978–953–6135–90–5.

Lévai, L.–Tóth, B.–Gajdos, É.–Bákonyi, N.–Veres, Sz.: 2011.: Bio-Fertilizers for the Quality of Agricultural Production. [In: Efe-Münir, R.–Öztürk-Ibrahim, A. (eds.) Proceedings of International Symposium on Kaz Mountains (Mount IDA) and Edremit. Global Changes in the Mediterranean Region (IKES 2011).] 531–539. ISBN 978–605–87840–0–0.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Veres, Sz.–Lévai, L.: 2007. A tápközeg pH-jának szerepe a növények tápanyagfelvételében és a látens tápanyaghiány kialakulásában. Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia „A tudomány mindenkié”. Konferenciakötet I. Kecskemét. 159–162. ISBN 978–963–7294–63–1. ISBN 978–963–7294–64–8.

Gajdos, É.–Bákonyi, N.–Lévai, L.–Veres, Sz.: 2007. Biotrágyázás, mint alternatív tápanyag-utánpótlási lehetőség alkalmazása szennyezett talajokon. Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia „A tudomány mindenkié”. Konferenciakötet II. Kecskemét. 885–888. ISBN 978–963–7294–63–1. ISBN 978–963–7294–64–8.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Lévai, L.–Veres, Sz.–Marozsán, M.–Tóth, B.: 2008. Különböző biotrágyák fiziológiai összehasonlítása. VI. Alföldi Tudományos Tájgazdálkodási Napok/6th International Scientific Days of Land Management in the Great Hungarian Plain. Konferenciakötet. CD kiadvány. Mezőtúr. 176–180. ISBN 978–963–87874–2–2.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Tóth, B.–Marozsán, M.–El-Rodeny, W. M.–Lévai, L.–Veres, Sz.: 2010. A cinkhiány és auxin kezelés növényfiziológiai hatásai kukorica és uborka csíranövényeken. Az Élhető Vidékért 2010 Környezetgazdálkodási Konferencia. Konferenciakötet. Siófok. 135–141. ISBN 978–963–229–871–9.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Tóth, B.–Marozsán, M.–El-Rodeny, W. M.–Lévai, L.–Veres, Sz.: 2011. A Zn hiány hatása a levelek és a gyökerek morfológiájára. [In: Mócsy, I. et al. (szerk.) Proceeding of VII. Kárpát-Medencei Környezetgazdálkodási Konferencia.] Konferenciakötet I. Kolozsvár. Románia. 395–399. ISBN 1842–9815.

Bákonyi, N.–Veres, Sz.: 2012. Biotrágyák hatásának vizsgálata tápelem hiányos talajokon nevelt uborka növényeknél. [In: Szabó, A. (szerk.) Alap és Alkalmazott kutatások eredményei a növénytudományokban Konferenciakötet.] ISBN 978-615-5183-17-1.

Idegen nyelvű absztrakt

Lévai, L.–Széles, É.–Veres, Sz.–Lisztes-Szabó, Zs.–Bákonyi, N.–Kövér, G.–Gajdos, É.: 2007. Effects of different Zn-supply on maize seedlings. Zinc Crops 2007, Improving

crop production and human health in Zinc Fertilizers and Crop Nutrition. Book of Abstracts CD. Istanbul. Turkey. 46.

Bákonyi, N.–Donath, S.–Imran, M.–Weinmann, M.–Neumann, G.–Müller, T.–Römheld V. 2008. Effectiveness of Commercial Bio-Fertilisers for Improved Phosphorus acquisition: Use of Rapid Screening Tests. [In: Tielkes, E. (ed.) Tropentag International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development.] Book of Abstracts. Stuttgart. Germany. 414. ISBN: (3-86727-372-3) 978-3-86727-372-5.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Tóth, B.–Marozsán, M.–El-Rodeny, W. M.–Lévai, L.–Veres, Sz.: 2010. Effects of Zn deficiency on some physiological parameter of maize and cucumber seedlings. [In: Bona, L.–Pauk, J. (eds.) 3rd IFSDAA International Seminar on Crop Science for Food security, Bio-energy and Sustainability.] Book of Abstracts. Szeged. 60.

Magyar nyelvű absztrakt

Bákonyi, N.: 2007. A bikarbonát hatása néhány növény növekedésére. XXVIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia. Előadás kivonatok. Debrecen. 275. ISBN 978-963-9732-12-4.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Veres, Sz.–Lévai, L.: 2007. A bikarbonát hatása az uborka és a kukorica tápanyagfelvételére. XLIX. Georgikon Napok, 49th Georgikon Scientific Conference „Agrárgazdaság a vidékért, a környezetért, az életminőségért” „Agri-business for Rural Development, Environment and Quality of Life”. Összefoglalók. Keszthely. 144. ISBN 978-963-9639-20-1.

Bákonyi, N.: 2008. A talajbaktériumok szerepe a környezeti stressz mérséklésében. FVM Tudomány Ünnepe – „Fiatal kutatók az élhető földért”. Összefoglalók. Budapest.

Bákonyi, N.: 2009. Néhány fiziológiai mutató vizsgálata környezeti stressz hatására. XXIX. Országos Tudományos Diákköri Konferencia. Agrártudományi Szekció. Előadás kivonatok. 292. Gödöllő. ISBN 978-963-269-095-7.

Bákonyi, N.–Gajdos, É.–Lévai, L.–Veres, Sz.–Marozsán, M.–Tóth, B.: 2009. Baktérium alapú biotrágyák szerepe a mezőgazdasági növények tápanyag-gazdálkodásában. LI. Georgikon Napok, Lokalizáció–Megoldás a fenntarthatóságra?. Keszthely. Összefoglalók. 25. ISBN 978-963-9639-34-8.

Ismeretterjesztő publikáció

Bákonyi, N.: 2010. A pH szerepe a tápanyagfelvételben. Értékálló Aranykorona, Havonta megjelenő Országos Mezőgazdasági Szaklap. X. évfolyam. 10. szám. 15-16. ISSN: 1586-9652.

Benedek, Sz.–Bákonyi, N.: 2011. A baktériumtrágyázás, mint az egészséges élelmiszer előállításának része Mezőfalván. Agro Napló, Országos Mezőgazdasági Szakfolyóirat. XV. évfolyam. 6. szám. 31-32. ISSN 2061-5523.