

**DEBRECENI EGYETEM
AGRÁR- ÉS GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYOK CENTRUMA
MEZŐGAZDASÁG-, ÉLELMISZERTUDOMÁNYI ÉS
KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI KAR
NÖVÉNYTUDOMÁNYI INTÉZET
NÖVÉNYTANI ÉS NÖVÉNYÉLETTANI TANSZÉK**

**HANKÓCZY JENŐ NÖVÉNYTERMESZTÉSI, KERTÉSZETI ÉS
ÉLELMISZERTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA**

Doktori iskolavezető:

Dr. Kátai János

egyetemi tanár, CSc

Témavezető:

Dr. Lévai László

egyetemi docens, PhD

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

Készítette:

Bákonyi Nóra



DEBRECEN

2013

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

Értekezés a doktori (Ph.D.) fokozat megszerzése érdekében
a Növénytermesztési és Kertészeti Tudományok tudományágban

Írta: Bákonyni Nóra okleveles agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és
Élelmiszertudományok doktori iskolája
(Fenntartható Növénytermesztés Programja) keretében

Témavezető: Dr. Lévai László egyetemi docens, PhD

A doktori szigorlati bizottság:

elnök: Dr. Gonda István egyetemi tanár, CSc
tagok: Dr. Pethő Menyhért professor emeritus, CSc
Dr. Fodor Ferenc egyetemi docens, PhD

A doktori szigorlat időpontja: 2012. november 27.

Az értekezés bírálói:

Dr. Sárvári Mihály egyetemi tanár, CSc
Dr. Izsáki Zoltán egyetemi tanár, CSc

A doktori bíráló bizottság tagjai:

	<i>Név</i>	<i>Tud. fok.</i>	<i>Aláírás</i>
Elnök:			
Tagok:			
			
			
Titkár:			
Opponensek:			
			

Az értekezés védésének időpontja: 2013.

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....	6
2. CÉLKITŰZÉSEK.....	9
3. SZAKIRODALOMI FELDOLGOZÁS.....	11
3.1. A TALAJTANI TÉNYEZŐK ÉS A pH SZEREPE A TÁPANYAGFELVÉTELSEN.....	11
3.1.1. A mezőgazdasági növények talaj-pH igényei.....	11
3.1.2. A talaj-pH, a puffer kapacitás és a talaj szervesanyag-tartalmának kapcsolata.....	11
3.1.3. A talaj levegőzöttségének hatása a talaj-pH alakulására.....	12
3.1.4. A műtrágyázás talaj-pH-t befolyásoló hatása.....	13
3.1.5. A szélsőséges talaj-pH kedvezőtlen hatásai.....	14
3.1.6. A nitrogénkötő növények hatása a talaj-pH-jára.....	15
3.1.7. A talaj-pH hatása a talajlakó mikroorganizmusok aktivitására.....	16
3.2. AZ APOPLAZMA SZEREPE A TÁPANYAGFELVÉTELSEN.....	16
3.2.1. Módszerek az apoplaszt oldat kinyerésére.....	17
3.2.2. Az apoplazmatikus pH szerepe a tápelemek hasznosulásában.....	17
3.3. AZ OPTIMÁLISTÓL ELTÉRŐ TALAJ pH KEDVEZŐTLEN HATÁSAI, MÓDSZEREK ANNAK MEGVÁLTOZTATÁSÁRA.....	18
3.3.1. A meszezés hatása a savanyú talajok oldható cink mennyiségére.....	18
3.3.2. A karbonátok (a bikarbonát) szerepe a tápanyagfelvételsen.....	19
3.3.3. A kalcium és a pH szerepe a cink felvételében.....	20
3.4. A KÖRNYEZETI STRESSZ ÉS A pH SZEREPE A GYÖKEREK SZERVES-SAV KIVÁLÁSTÁSÁBAN.....	21
3.5. A CINK (Zn).....	24
3.5.1. A cink a talajban.....	24
3.5.2. Magyarország talajainak cink-ellátottsága.....	26
3.5.3. A cink felvétele, növényélettani szerepe, a cinkhiány kialakulásának okai, tünetei, a cink pótlásának módjai.....	27
3.5.4. A kultúrnövények cink-táplálása.....	30
3.5.5. A P-Zn kölcsönhatás szerepe az indukált cinkhiány kialakulásában.....	32
3.5.6. A kedvezőtlen Fe/Zn arány hatása a látens cinkhiány kialakulására.....	36
3.5.7. Zn kivonási módszerek.....	40
3.6. A PGPB (PLANT GROWTH PROMOTING BACTERIA) JELENTŐSÉGE, MINT BIOTRÁGYA.....	40
3.7. A TIM RENDSZER.....	43
3.8. A SZAKIRODALMI FELDOLGOZÁS ÖSSZEFOGLALÁSA.....	44
4. ANYAG ÉS MÓDSZER.....	46
4.1. KÍSÉRLETI NÖVÉNYEK ELŐNEVELÉSE.....	46
4.1.1. Alkalmazott kísérleti növények.....	46
4.1.2. A magvak sterilizálása.....	46
4.1.3. A tápoldatos növénynevelés körülményei.....	47
4.1.4. A tápoldatos kísérletek során alkalmazott kezelések.....	47
4.1.5. A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott talajok származása.....	49
4.1.6. A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott talajok talajtani és kémiai paraméterei.....	50
4.1.7. A rhizoboxban történő növénynevelés körülményei.....	51
4.1.8. A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott kezelések.....	52
4.2. ALKALMAZOTT BIOTRÁGYA.....	54
4.3. ALKALMAZOTT MÉSZ.....	54
4.4. MÉRÉSI MÓDSZEREK.....	55
4.4.1. A tápoldat és az apoplaszt oldat pH-jának mérése.....	55
4.4.2. Az abszolút és relatív klorofill-tartalom meghatározása.....	56
4.4.3. A hajtás- és a gyökértér fogat meghatározása.....	57
4.4.4. Infiltrálás.....	57
4.4.5. A gyökérnövekedés meghatározása.....	58

4.4.6.	Agar-agar és brómkrezolbórból festék készítése	59
4.4.7.	A növényi minták szárazanyag-tartalmának meghatározása	59
4.4.8.	A növényi minták elemtartalmának meghatározása	60
4.4.9.	A talajminták elemtartalmának meghatározása	60
4.4.10.	A talajminták fizikai talajféleségének meghatározása	61
4.4.11.	A talajminták só%-nak meghatározása	61
4.4.12.	A talajminták vizes és CaCl ₂ -os pH-jának meghatározása	61
4.4.13.	A N-formák meghatározása CaCl ₂ -os talajextrakciós eljárással	61
4.4.14.	A mikroelem-tartalom (Zn, Fe, Mn) meghatározása Lakanen Ervió kivonószerezrel.....	62
4.4.15.	A P, K, Ca és Mg meghatározása AL-kivonószerezrel.....	62
4.4.16.	A kísérleti eredmények statisztikai kiértékelése	62
5.	EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK	63
5.1.	A TÁPOLDATHOZ ADOTT BIKARBONÁT ÉS EGY BIOTRÁGYA HATÁSÁNAK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA.....	63
5.1.1.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a tápoldat pH-jára	63
5.1.2.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a növekedésre	64
5.1.3.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a hajtás és a gyökér hosszára, valamint a levelek számára	65
5.1.4.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a gyökértérfogó alakulására	66
5.1.5.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozására	67
5.1.6.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a levelek relatív klorofill-tartalmára	68
5.1.7.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a levelek klorofill- <i>a</i> , klorofill- <i>b</i> és karotionidok tartalmára	69
5.1.8.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a gyökerek szerves sav kiválasztására	70
5.1.9.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a gyökerek morfológiai alakulására.....	72
5.2.	AZ INFILTRÁLÁSSAL BEJUTATOTT BIKARBONÁT HATÁSÁNAK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA.....	73
5.2.1.	Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a növekedésre.....	73
5.2.2.	Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a hajtás- és a gyökérhossz alakulására	74
5.2.3.	Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozására.....	75
5.2.4.	Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a levelek relatív klorofill-tartalmára.....	76
5.3.	A TÁPOLDATHOZ ADOTT ÉS INFILTRÁLÁSSAL BEJUTATOTT BIKARBONÁT ÉS A BIOTRÁGYA HATÁSA AZ APOPLASZT OLDAT pH-JÁNAK ALAKULÁSÁRA.....	76
5.3.1.	Az optimális tápanyagellátás hatása az apoplaszt oldat pH-jára	77
5.3.2.	Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása az apoplaszt oldat pH-jára.....	77
5.3.3.	Az apoplaszt oldat pH-jának napszaki változása az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatására	78
5.3.4.	A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása az apoplaszt oldat pH-jára	79
5.4.	AZ ABSZOLÚT CINKHIÁNY ÉS A NES KEZELÉS NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA	79
5.4.1.	Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a növekedésre	79
5.4.2.	Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a hajtás és a gyökér hosszára, valamint a levelek számára	80
5.4.3.	Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása az internódiumok számának és hosszának alakulására.....	82
5.4.4.	Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a szárazanyag-felhalmozásra.....	82
5.4.5.	Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a relatív klorofill-tartalom alakulására	83
5.4.6.	Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a levelek klorofill- <i>a</i> , klorofill- <i>b</i> és karotionidok tartalmára	84
5.4.7.	Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a gyökerek morfológiai alakulására.....	86
5.5.	AZ OPTIMÁLISTÓL ELTÉRŐ Fe/Zn ARÁNY NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA.....	87
5.5.1.	Az optimális vas- és cink-ellátás, valamint a cinkhiány hatása a Fe/Zn arány alakulására	88
5.5.2.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a növekedésre.....	88
5.5.3.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a hajtás és a gyökér hosszára, a levelek számára	89
5.5.4.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása az internódiumok számának és hosszának alakulására.....	91
5.5.5.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a hajtás és a gyökértérfogatra.....	92
5.5.6.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozására.....	94
5.5.7.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a relatív klorofill-tartalom alakulására	95

5.5.8.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a levelek klorofill- <i>a</i> , - <i>b</i> és karotinoidok tartalmára	98
5.5.9.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a gyökerek szerves sav kiválasztására.....	99
5.5.10.	Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a gyökerek morfológiai alakulására	99
5.6.	A GYENGE CINK-ELLÁTOTSÁG ÉS A BIOTRÁGYA HATÁSÁNAK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA.....	101
5.6.1.	A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a növekedésre	101
5.6.2.	A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a gyökérnövekedésre.....	101
5.6.3.	A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a szárazanyag-felhalmozásra.....	104
5.7.	A MÉSZKEZELÉS HATÁSÁNAK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA.....	106
5.7.1.	A mészkezelések hatása a növekedésre.....	106
5.7.2.	A mészkezelések hatása a hajtás hosszára.....	106
5.7.3.	A mészkezelések hatása az epikotil és a hipokotil hosszára	107
5.7.4.	A mészkezelések hatása a relatív klorofill-tartalom alakulására	108
5.7.5.	A mészkezelések hatása a szárazanyag-felhalmozásra.....	109
5.7.6.	A mészkezelések hatása a gyökérnövekedésre	109
6.	EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK	111
6.1.	<i>A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya növényfiziológiai vizsgálatának következtetései</i>	<i>111</i>
6.2.	<i>Az infiltrálással bejutatott bikarbonát növényfiziológiai vizsgálatának következtetései</i>	<i>113</i>
6.3.	<i>A tápoldathoz adott és infiltrálással bejutatott bikarbonát és biotrágya kezelés az apoplazmát oldat pH-jára irányuló vizsgálatának következtetései.....</i>	<i>114</i>
6.4.	<i>A bikarbonát, a biotrágya kezelés és a tápoldat, valamint az apoplazmatikus pH összefüggéseinek következtetései.....</i>	<i>114</i>
6.5.	<i>Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés növényfiziológiai vizsgálatának következtetései</i>	<i>116</i>
6.6.	<i>Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány növényfiziológiai vizsgálatának következtetései</i>	<i>117</i>
6.7.	<i>A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelések növényfiziológiai vizsgálatának összefüggései</i>	<i>120</i>
6.8.	<i>A mészkezelések növényfiziológiai vizsgálatának következtetései</i>	<i>121</i>
7.	ÖSSZEFOGLALÁS.....	123
8.	SUMMARY	127
9.	ÚJ ÉS ÚJSZERŰ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK.....	131
10.	A GYAKORLATBAN HASZNOSÍTHATÓ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK	133
11.	IRODALOMJEGYZÉK	134
	MELLÉKLETEK.....	150
	KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS.....	164
	NYILATKOZATOK	165
	PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN.....	166

RÖVIDÍTÉSJEYZÉK

EM:	Effective Microorganisms
ICP-OES:	induktív csatolású plazma optikai emissziós spektrométer
LE:	Lakanen Erviö kivonási módszer
NES:	alfa-naftil-ecetsav, szintetikus auxin
OH ⁻ :	hidroxil gyök
PEP:	foszfo-enol-piruvát
PGPB:	Plant Growth Promoting Bacteria
PGPR:	Plant Growth Promoting Rhizobacteria
ROS:	reaktív oxigén gyökök
SOD:	szuperoxid diszmutáz
TIM:	Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer
TS:	töménysavas kivonási módszer

1. BEVEZETÉS

Napjainkban, a megnövekedett műtrágya-, növényvédőszer-árak, valamint a globális klímaváltozás hatásai, az egyre inkább jelentkező szélsőséges abiotikus környezeti tényezők pl. az aszály, valamint a víz-, a talaj- és a levegő szennyezése, illetve a hulladékok környezetterhelése, mind gazdaságilag, mind környezetvédelmi szempontból nehezítik a mezőgazdasági termelést. SURÁNYI-MÁNDY már 1955-ben felhívja a figyelmet arra, hogy a kukorica fejlődését, életfolyamatait a csírázástól a teljes beérésig a környezeti tényezők hatásai befolyásolják. SÁRVÁRI (2005) szerint a kukorica termésstabilitását és adaptációs képességét nagyban befolyásolja a globális klímaváltozás, az időjárási szélsőségek és az egyre intenzívebb és gyakoribb aszály stressz. A nagy mennyiségben alkalmazott N-trágyázás talajaink savanyodását idézi elő, amely a rhizoszférában a toxikus nehézfémek oldódásának kedvez, és amely humán-élelmezési szempontból további problémákat vet fel.

Mindemellett a Föld népessége rohamosan gyarapszik. Az amerikai Népszámlálási Hivatal (U. S. Census Bureau) 2011-es felmérése szerint 2050-re a Föld népessége meghaladja a 9 milliárdot. Ez a növekedés a fejlődő országokban jelentős, ahol eddig is komoly élelmezési problémák voltak. Az alultáplált emberek száma már 1999-ben meghaladta a 800 milliót a fejlődő országokban (PINSTRUP-ANDERSEN et al., 1999), a FAO 2010-es felmérése szerint ez az érték 925 millióra tehető. 1999-ben, a gyermekek 30 %-a alultáplált globálisan, ami különösen az 5 év alatti korosztálynál jelent komoly rizikó tényezőt. Ezekben az országokban a nem kellő élelmiszerellátás többnyire természeti okokra (víz, talajadottságok), mintsem szociális problémákra vezethető vissza. A talajok általános mikroelem hiánya, mint amilyen a vas, a cink és jód alig visszafordítható hatással vannak a népesség egészségére, ide értve a fizikai képességek kialakulását, az immunrendszer épségét, a szellemi kapacitás megfelelő szintjét, és a korai halandóságot (WELCH és GRAHAM, 2000). A talajok mikroelem hiánya ugyanakkor az iparilag fejlett országokban is előfordul. Több mint 3 milliárd ember szenved világszerte a vas és a cink hiányától (GRAHAM et al., 2001). A hagyományosan „éhség zónáknak” nevezett Ázsia, Afrika, és Latin- Amerika esetében a probléma minőségi és mennyiségi is, hiszen a mikroelem hiányos talajokon termesztett növények maguk is alacsony mikroelem tartalommal bírnak, ami kihat az ott élő emberek egészségére, ugyanakkor a termés mennyisége sem éri el azt a szintet, hogy csökkent minőségű élelemmel, de legalább elégséges mennyiséggel el lehessen látni a lakosságot.

A fejlettebb régiókban a probléma minőségileg más. A termés mennyisége itt többnyire elegendő, viszont a minőség, a mikroelemek hiánya miatt, itt sem éri el mindenhol a kívánatos szintet.

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. 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. Törökország központi gabonatermesztő területein, Anatóliában a cink pótlólagos adagolásával esetenként 554%-os termésnövekedést értek el (CAKMAK et al., 1996). Ugyancsak jelentős termésnövekedést értek el cinkkezeléssel Ausztráliában (GRAHAM et al., 1992) és Indiában (TANDON, 1995; 1998). 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 (több mint 40%-kal) 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). SÁRVÁRI és GYŐRI (1982) közli, hogy a növényi termékek minőségét a fajtatulajdonság, a termőhelyi viszonyok, a műtrágyázás, az öntözés, valamint az egyes növényvédelmi beavatkozások jelentősen befolyásolják. Így a terméseredmények és a termésminőség javításának, illetve a tápelem-hiány kiküszöbölésének egyik módja a műtrágyák alkalmazása. Becslések szerint a Világ műtrágya felhasználása az 1995-97-es 133-167 millió tonnáról 2030-ra 199 millió tonnára emelkedik (FAO, 2000). A műtrágyák növekvő mennyiségi felhasználása mellett változik azok kémiai összetétele is. Fokozatosan jelennek meg a speciálisan, az adott termelési övezetek számára gyártott, sajátos mikroelem összetételű műtrágyák. A fokozott makroelem műtrágyázás eredményeképpen, ugyanis számos országban a vas és a cink fokozódó hiánytüneteit figyelték meg. A mikroelem-hiány káros hatásainak

mérséklésére, megszüntetésére több lehetőség kínálkozik. Az egyik legáltalánosabban elterjedt, bár igen költséges módszer, a mikroelemek pótlólagos kijuttatása. Ez történhet lombtrágya formájában, vagy az egyébként is alkalmazott NPK műtrágyákhoz adalékként adva. A talajok egy része tartalmaz ugyan elegendő mikroelemet, csak a talaj pH-ja, vagy egyéb talajtani tényezők miatt felvehetetlenek a mikro- és a makroelemek is. A talajjavítás megfelelő módszer lehet a talaj pH-jának kedvező megváltoztatása. Ugyanakkor meszezett talajokon könnyen alakul ki vas hiánytünet. Becslések szerint a Világ termőtalajainak mintegy 30%-a vashiányos, vagy a benne lévő vas felvehetetlen, amely limitálja a termés mennyiségét és minőségét is (CHEN és BARAK, 1982; VOSE és AFFILIATION, 1982). A vas hiánytünet (klorózis) kezelése nehéz, bármilyen módszerrel idő- és költségigényes. A műtrágyákkal bevitt vas a talajtípustól függően, de általában alig, vagy nehezen oldódik, ezért a hiányt többnyire a vegetációs periódusban lehet hatékonyan pótolni.

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, pH-ja, puffer kapacitása, illetve az ionantagonizmus jelensége. A kedvezőtlen környezeti feltételek csökkentik a tápanyagok oldódását és felvételét, a növény szervesanyag-felhalmozását, ezzel az elérhető termés mennyiséget is. Előfordul tehát, hogy a talajban megtalálható az adott tápelem, ugyanakkor felvehetetlen, vagy ha felvehető is a növényben nem hasznosul és a növény az adott elem hiánytüneteit mutatja. Más esetekben, amikor mérsékelt a tápelem-hiány egyéb talaj-fizikai (pl.: magas agyagtartalom (KÁDÁR, 1995; KÁDÁR, 2008) vagy talaj-kémiai (pl.: ionantagonizmus) (LINGLE et al., 1963; OLSON et al., 1965; ALAM et al., 1999; KÁDÁR, 2008) tényezők miatt, a növény nem mutatja az adott elem hiánytüneteit, amely így rejtve marad. Ez a jelenség a látens tápanyaghiány, amely az a tápanyagstátusz, amely során „elegendő, adott esetben megfelelő mennyiségű” tápanyag van a talajban, növényben, de különböző okok miatt nem képes bejutni a növényi sejtbe, tehát nem tud hasznosulni. A nehezen oldódó tápelemek mobilizálásában, illetve a növények látens tápanyaghiányának mérséklésében meghatározó szerepe lehet a talajéletnek, hiszen a talajban élő hasznos baktériumok PGPB 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.

2. CÉLKITŰZÉSEK

Célkitűzéseim voltak, hogy laboratóriumi körülmények között

1. Igazoljam a tápoldathoz adott bikarbonát és egy biotrágya - mintegy a közeg pH-jának - szerepét a tápoldaton nevelt kísérleti növények tápanyag-felvételében, növekedésében, a klorofill-tartalom alakulásában, a gyökerek szerves sav kiválasztásában, valamint a gyökerek morfológiai alakulásában, *mivel a közeg lúgos pH-jának kedvezőtlen hatásai csak részben ismertek, illetve nem ismert, hogy a növények növekedését elősegítő PGPB baktériumok képesek-e módosítani a talaj pH-ját, illetve kedvezően befolyásolni a tápanyagfelvételt alkalikus pH esetén.*
2. Bizonyítsam az infiltrálással bejutatott bikarbonát - mintegy az apoplazma pH-jának - szerepét a tápoldaton nevelt kísérleti növények tápanyag-felvételében, növekedésében és a klorofill-tartalom alakulásában.
3. Igazoljam az optimális tápanyag-ellátás, az infiltrálással bejutatott bikarbonát, valamint a tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya kezelés hatását az apoplaszt oldat pH-jára tápoldaton nevelt növényeknél. *Apoplazma vizsgálatok szükségesek az apoplazmában lejátszódó folyamatok pontosabb megismeréséhez. A guttációval, mint „új vizsgálati módszerrel” kinyert apoplazmatikus nedv pH-jának segítségével szükséges lenne vizsgálni a lúgos apoplazmatikus pH és a tápanyagfelvétel összefüggését, illetve a lúgos apoplazmatikus pH hatását a klorofill-tartalomra, továbbá a tápközeg pH-jának és a tápközegben jelenlévő baktériumok a mezofillum sejtközüti járatok pH-jára gyakorolt hatását, mivel az ezen vizsgálatokra irányuló ismeretanyagok hiányosak.*
4. Igazoljam az abszolút cinkhiány és NES szerepét a tápoldaton nevelt kísérleti növények tápanyag-felvételében, növekedésében, a klorofill-tartalom, valamint a gyökerek morfológiai alakulásában. *Számos eredmény áll rendelkezésre a cinkhiány a termésmennyiségére gyakorolt kedvezőtlen hatásával kapcsolatban, ugyanakkor limitált kutatási eredmény van a cinkhiány egyszikű és kétszikű növényekre irányuló összehasonlító vizsgálatokról, illetve a cinkhiány hatásának a fotoszintetikus pigmentek mennyiségére és egymáshoz viszonyított arányára, illetve a gyökerek morfológiai alakulására mutató információkról. A cinkhiány gátolja a növekedést a triptofán, így az auxin szintézisének gátlásán keresztül, melynek okán szükséges vizsgálni a cinkhiányban alkalmazott auxin adagolás hatását a kísérleti növények fiziológiai paramétereire.*

5. Igazoljam az optimálistól eltérő Fe/Zn arány szerepét a kísérleti növények látens cinkhiányának kialakulásában, a tápoldaton nevelt kísérleti növények növekedésében, a klorofill-tartalom alakulásában, a gyökerek szerves sav kiválasztásában, valamint morfológiai alakulásában. *Amint az ismeretes a cinkhiány jelentősen befolyásolja a vas felvételét és növényben történő szállítását, ugyanakkor nem ismert, hogy a tápközeg optimálistól eltérő Fe és Zn aránya miként befolyásolja a növények növekedését, a klorofill-tartalom alakulását és az egyéb fiziológiai paramétereket.*
6. Igazoljam a gyenge cink-ellátás és egy biotrágya hatását a kísérleti növények növekedésére, a gyökerek növekedésére, rhizobox kísérletekben. *A PGPB baktériumok képesek stimulálni a gazdanövény fejlődését azáltal, hogy elősegítik a növények tápanyagellátását a nehezen oldható tápanyagok mobilizálásán keresztül okot adva a napjainkban egyre inkább terjedő baktérium alapú biotrágyák gyenge cink-ellátottságú talajokon való tesztelésére a tápanyagfelvétel fokozása érdekében.*
7. Igazoljam a különböző koncentrációjú Beremendi mészkezelések hatását a rhizoboxban nevelt kísérleti növények tápanyag-felvételére, növekedésére, a klorofill-tartalom alakulására, a gyökerek növekedésére és szerves sav kiválasztására. *A talaj nagy mésztartalma képes korlátozni a cink felvételét és növényben történő szállítását, ezért szükséges vizsgálni a növekvő mészadagok hatását a növények növekedésére, fiziológiai paramétereik alakulására a látens tápanyaghiány kialakulásának elkerülése érdekében, mivel az erre vonatkozó eredmények limitáltan állnak rendelkezésre.*

3. SZAKIRODALOMI FELDOLGOZÁS

3.1. A TALAJTANI TÉNYEZŐK ÉS A pH SZEREPE A TÁPANYAGFELVÉTEL BEN

A talaj, mint közeg, különböző kémiai elemek, illetve élőlények bonyolult és összetett rendszere. A talajtulajdonságok komplexen befolyásolják a növények számára szükséges tápelemek mozgékonyágát és felvételét, ezen keresztül a növénytermesztés eredményességét.

Elengedhetetlen a talajok pH-jának és puffer-kapacitásának ismerete és az ehhez alkalmazkodó kultúrák kiválasztása. Fontos kritérium a talajok kémhatásának optimális tartományban történő fenntartása, hiszen a növénytermesztés eredményességét meghatározó, egyik legfontosabb tényező a talaj pH-ja. Bár a talaj pH-jának hatása sokrétű, mégis a leginkább kutatott terület a pH és a talajok felvehető tápanyagtartalmának összefüggése.

A talaj pH és a növénytermesztés eredményessége között szoros összefüggés van, amelyek a következőképpen összegezhetők:

1. Számos tápanyag oldhatóságát és hozzáférhetőségét a talaj pH-ja határozza meg.
2. A talaj pH hat a talaj toxikus elemeinek hozzáférhetőségére (Al, Mn, nehézfémek).
3. Meghatározza a talaj szerkezetét a Na és a Ca relatív mennyiségén keresztül.
4. Befolyásolja a tápanyagok felvételét.
5. A talajlakó mikroorganizmusok aktivitására is hat.

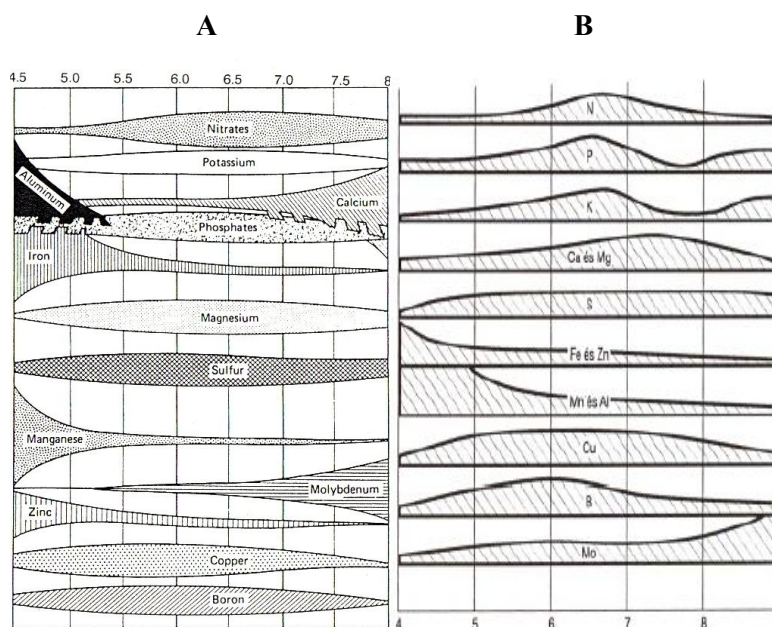
3.1.1. A mezőgazdasági növények talaj-pH igényei

A növények többsége számára az enyhén savanyú talajok (pH 6,0-7,0) a legkedvezőbbek. Néhány növény a kifejezetten savanyú talajokat (pH<5,5) kedveli (azálea, kamélia, ixora, rododendron), míg más fajok (lucerna) inkább az enyhén alkalikus talajokon hozzák a legjobb termést. Wolf (1999) megállapítása szerint a főbb mezőgazdasági növények optimális talaj pH értékei eltérőek (**1. sz. melléklet**).

3.1.2. A talaj-pH, a puffer kapacitás és a talaj szervesanyag-tartalmának kapcsolata

Szoros összefüggést mutattak ki a talaj pH és a talaj szerves anyag tartalma között. 5%-os szerves anyag tartalom mellett a legtöbb talajon a pH 6,0-7,0 között volt, míg 10%-os szerves anyag tartalom mellett a pH-t 5,8-nak mérték. 20% szerves anyag tartalom

mellett a talaj pH-ja tartósan 5 körül volt. A tápanyagok hozzáférhetőségét a szerves talajokon mérték a legnagyobbak, ahol a szerves szén mennyisége pH 5,0-6,0 értékeknél 12-18% között van (WOLF, 1999). Az **1. ábra** a fontosabb tápanyagok oldékonyságát mutatja be a pH függvényében.



1. ábra: A pH hatása a tápanyagok hozzáférhetőségére (A - WOLF, 1999), (B - KALOCSAI et al., 2006).

A talajok állapotát és az onnan felvehető tápanyagok mennyiségét jelentősen befolyásolja a talajok puffer kapacitása is. Megállapították, hogy ez a talaj eredeti pH-jától, a szerves anyag tartalomtól és a talaj kation tartalmától függ elsősorban. A talaj legalacsonyabb puffer kapacitását akkor tapasztalták, amikor a talaj eredeti pH-ja 6,0 volt. Az eredeti pH növekedésével és csökkenésével a talaj puffer kapacitása is nőtt (SCHALLER és FISCHER, 1985; NYE, 1986).

3.1.3. A talaj levegőzöttségének hatása a talaj-pH alakulására

A talaj levegőtlen (anoxia) állapota kedvezőtlenül befolyásolja a talaj és növény gyökérszöveinek pH-ját. Az aerobról anaerob körülményre való átváltáshoz kapcsolódó anyagcsere folyamatokat vizsgálva azt tapasztalták, hogy a pH csökkenése a citoplazmatikus etanol növekedését eredményezi (ROBERTS et al., 1984/a), nő a citoplazma aciditása, amely a pH-kontrol elvesztéséből és a tonoplaszt protongrádiensének megszűnéséből következik (ROBERTS et al., 1984/b; 1985). Nő a

növényi szövetek tejsav mennyisége és fokozódik a gyökerek tejsav kiválasztása is (KENNEDY et al., 1992).

A szerves savakat a talaj mikroorganizmusai is termelhetik, aktivitásukat a gyökerek által kiválasztott szerves anyagok és a talajban termelődő CO_2 stimulálják. Ugyanakkor a jól szellőzött talajokon a talaj eredetű CO_2 -nek a talaj pH-jára gyakorolt szerepe elhanyagolható, ugyanis a CO_2 gyorsan diffundál a talajból (NYE, 1986).

A gyökerek által indukált talaj pH-változásban a leglényegesebb tényező az anion/kation felvétel aránya és ennek megfelelően a H^+ , HCO_3^- , vagy OH^- és a szerves savak kiválasztása. Számos esetben a gyökerek általi szerves sav kiválasztás a gyökerek válasza a növény tápanyag-státuszára (MARSCHNER et al., 1987). Ismert a cink hiányos gyapot és más kétszikű növények (CAKMAK és MARSCHNER, 1990), valamint a vas-hiányos nem-fűféle növények (RÖMHELD, 1987/a; 1987/b) rizoszférájának savasodása. Mindkét példa esetén a nettó proton kiválasztás növekedése szorosan összefügg a kation/anion felvétel arányával. Vas-hiányban ez a savasodás akkor is megfigyelhető, amikor a növényeket nitráttal tápláljuk (GRINSTED et al., 1982).

3.1.4. A műtrágyázás talaj-pH-t befolyásoló hatása

A talaj pH-ját befolyásolja az emberi tevékenység is. Az alkalmazott műtrágyák a kation/anion felvételi arányon keresztül hatnak a talaj pH-ra. Az egyik legjelentősebb hatást a rhizoszféra pH-jára - a kálium klorid mellett - a nitrogén műtrágyák (ammónium sók) fejtik ki a több éves (MARSCHNER és RÖMHELD, 1983) és az évelő fajok esetében is (ROLLWAGEN és ZASOSKI, 1988).

A nitrát nitrogén alkalmazása magasabb nettó HCO_3^- kiválasztással, illetve kisebb H^+ felhasználással jár, mint amilyen a H^+ kiválasztás mértéke, míg ammónium nitrogén alkalmazásakor a helyzet fordított. Semleges, vagy bázikus talajokon a rhizoszféra savasodása az ammónium nitrogén alkalmazásakor növeli a gyengén oldható kalcium-foszfátok mobilitását, és ezért kedvez a növények foszfát (GAHOONIA et al., 1992) és a mikroelemek - a bór, a vas, a mangán és cink - felvételének (REYNOLDS et al., 1987). Savanyú talajokon a nitrát alkalmazása növeli a pH-t. Ez ugyancsak kedvez a foszfát felvételének, ugyanis a kiválasztott HCO_3^- lecseréli a vashoz és az alumínium oxidokhoz kötött foszfátot (GAHOONIA et al., 1992). ALAM et al. (1999) megállapítja, hogy nagy mennyiségű NO_3^- felvételekor a gyökerek több hidroxil (OH^-) iont választanak ki, amely csökkenti a talajban lévő vas oldódását. Szoros összefüggést

találtak a savanyú talajokon található foszforhiányos gyepek esetében a foszforban elszegényedett rhizoszféra és a rhizoszféra pH-jának emelkedése között (ARMSTRONG és HELYAR, 1992). Jelentős különbségek mérhetők az eltérő növényfajok rhizoszféra pH-jában nitrát nitrogén adagolásakor. A hajdínát (*Fagopyrum esculentum* L.) (RAIJ és VAN DIEST, 1979) és a borsót (*Pisum sativum* L.) (MARSCHNER és RÖMHELD, 1983) vizsgálva igen alacsony rhizoszféra pH-t tapasztaltak a búzához és a kukoricához viszonyítva. Feltételezik, hogy ezek a genotípusos különbségek a kation/anion felvétel eltérő arányából adódnak (BEKELE et al., 1983).

3.1.5. A szélsőséges talaj-pH kedvezőtlen hatásai

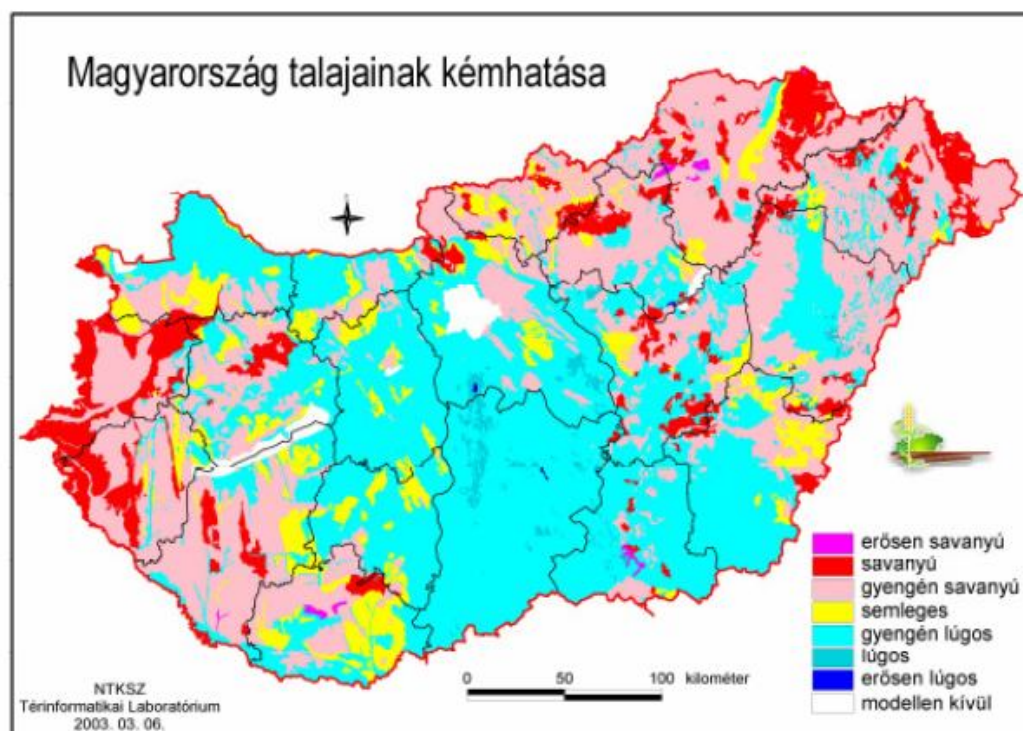
Az optimálistól eltérő talaj pH stresszorként is hathat. A legtöbb termesztett növény számára a semleges vagy az enyhén savanyú talajkémhatás az optimális. A semleges pH tartományból való elmozdulás hatására megváltoznak a talajban az oldódási viszonyok, melynek hatására olyan anyagok kerülnek nagy tömegben az oldatba, amelyek mérgezést okoznak.

Magyarországon a mezőgazdaságilag hasznosított területek 25%-án (2,2 M ha) savanyú a talaj (2. ábra). A talaj folyamatos, erős kilúgzása, valamint az eleve savanyú talajképző közet okozója lehet a savanyú, telítetlen talajok kialakulásának, amelyet gyorsít a savanyító hatású műtrágyák alkalmazása (FILEP, 1999/a). A pH csökkenésével nő a karbonátok, foszfátok és szulfátok oldékonysága, valamint az alapvető kationok fokozott hozzáférhetősége, amely általában pozitívan hat a termés mennyiségére is. Ugyanakkor ez a fokozott oldékonyság a talaj tápanyagban való elszegényedéséhez vezethet csapadékos időjárás, vagy humid klíma esetén.

ALAM et al. (1999) megállapítja, hogy erősen savanyú pH esetén nő a toxikus elemek oldékonysága. Ezen elemek (Al^{3+} , Fe^{3+} , Mn^{2+} , Cu^{2+} , Cd^{2+} , Zn^{2+} , Ni^{2+} , Pb^{2+}) felvétele és akkumulációja növekedésgátlást okoz (KERÉNYI, 1995), valamint humán- és növényegészségügyi szempontból is veszélyes (WOLF, 1999). Savanyú pH - magas H^+ koncentráció - hatására továbbá csökken a talaj szűrő képessége, a szerves szennyezőket elimináló, detoxikáló potenciálja. Továbbá immobilizálódhat a foszfor, nehezen hozzáférhetővé válnak a makroelemek (N, Ca, Mg, K, P), valamint az esszenciális mikroelemek közül a Mo^{2+} és a Se^{2+} (AVDONYIN, 1972; ADAMS, 1981).

Magyarországon a Duna-Tisza közti Homokhátság és a Tiszántúl (Hortobágy, Nagykunság, Körös vidék) szikes talajain kívül nem jellemzők a lúgos talajok.

Magas talaj pH esetén csökken a mikroelemek oldékonysága. A molibdén kivételével, e létfontosságú tápelemek felvétele akadályozott. Ennek oka az emelkedő pH-val fokozódó adszorpció és percipitáció, így tehát a pH 6,5-7 közötti érték optimálisnak tekinthető, csak e pH tartomány felett kell talajkémhatásból adódó tápanyagzavarral számolni (TERBE, 2009).



2. ábra: Magyarország talajainak kémhatása (KALOCSAI et al., 2006).

A pH hatása vitathatatlan a növények növekedésére és a tápanyagok felvételére. Nehéz ugyanakkor mérsékelni a szélsőséges pH kedvezőtlen hatásait, annak ellenére, hogy számos termesztési körzetben komoly erőfeszítéseket tesznek a növények normális növekedésének érdekében (ALAM et al., 1999).

3.1.6. A nitrogénkötő növények hatása a talaj-pH-jára

A szimbióta nitrogénkötő növények szintén befolyásolják a talaj pH-t. A 10 tonna/ha/év szénatermést adó lucerna esetében a gyökerek savanyító hatását 600 kg ha⁻¹ CaCO₃-tal mérték egyenértékűnek (NYATSANAGA és PIERRE, 1973). Ez az adat arra figyelmeztet, hogy a tartósan nitrogénkötő, pillangósokkal hasznosított területeken, a

talaj savanyodása miatt megnövekszik az oldható mangán (és más nehézfémek) mennyisége, amely toxikózt eredményezhet (BROMFIELD et al., 1983/a; 1983/b).

3.1.7. A talaj-pH hatása a talajlakó mikroorganizmusok aktivitására

A talaj pH-ja meghatározza a mikroorganizmusok aktivitását (1. és 2. táblázat). A baktériumok többsége 4,5-5-nél alacsonyabb pH-n nem fejlődik, így csökken baktériumok mennyisége - különösen *Azotobacter* és a gyökérgümő-baktériumok (*Rhizóbiumok*), amelyek a levegő nitrogénjével gazdagítják a talajt -, a gombák mennyisége viszont jelentősen növekszik. Ennek következtében lelassul, vagy leáll a nitrifikáció, a légköri nitrogénkötés, továbbá savanyú, nehezen bomló humuszanyagok képződnek (AVDONYIN, 1972).

1. táblázat: A mikroorganizmusok viszonya a közeg pH-jához (AVDONYIN, 1972).

Talaj pH	Baktériumok száma (db g ⁻¹ talaj)	Talaj pH	Gombák száma (db g ⁻¹ talaj)
6,2	13 600 000	6,6	26 200
5,6	12 600 000	6,2	39 100
5,1	4 800 000	5,8	73 000
4,8	4 000 000	4,0	110 000

2. táblázat: A mikroorganizmusok viszonya a közeg kémhatásához (AVDONYIN, 1972).

Mikroorganizmusok	Talaj pH		
	minimum	optimum	maximum
<i>Rothasztó baktériumok</i>	4,5	7,0	6,0
<i>Gümőbaktréiumok</i>	4,3	7,0	10,0
<i>Azotobacter</i>	5,0	7,0	9,0
<i>Nitrifikálók</i>	4,0	7,8-8,0	10,0
<i>Aktynomyces</i>	4,5	7,0	9,0
<i>Penészgombák</i>	1,5	7,0	9,0

3.2. AZ APOPLAZMA SZEREPE A TÁPANYAGFELVÉTELBN

Az utóbbi időben növekvő figyelmet kap az apoplazma vizsgálata, mivel magas koncentrációban tartalmaz anyagcseretermékeket, mint például a citromsavat, illetve

számos enzimet és cukrokat. Az apoplazma fontos szerepet játszik a levegő szennyezőanyagainak méregtelenítésében is. Az apoplazmában lejátszódó folyamatokra az abban található apoplaszt oldatból következtethetünk.

3.2.1. Módszerek az apoplaszt oldat kinyerésére

Az apoplaszt oldat analízisére két módszer ismert a szakirodalomban. Az egyik módszer alapján nyomás és módosított Scholander-bomba segítségével nyerhető ki a levélből az apoplaszt oldat (JACHETTA et al., 1986; HARTUNG et al., 1992 in DANDEL et al. 1995). A másik módszer az infiltrációs és centrifugás technika használata, amellyel a sejt közötti járatokban lévő oldat kinyerhető (TERRY és BONNER, 1980; ROHRINGER et al., 1983; PFANZ és OPPMANN, 1991; AKED és HALL 1993; PINEDO et al., 1993 in DANDEL et al. 1995). Az első módszerrel kapott nyers apoplaszt oldat mennyisége gyakran túl kicsi ahhoz, hogy analizálható legyen, ugyanakkor a második módszer sokkal nagyobb mennyiséget ad. Ennél a módszernél a levél infiltrálható különböző puffer oldatokkal, sóoldatokkal, desztillált vízzel, ezzel megváltoztatjuk az apoplaszt oldat pH-ját vagy ionkoncentrációját. A infiltrált és aztán centrifugálással nyert apoplaszt oldat „higítottak számít” (DANDEL et al., 1995), amely szintén nehezíti annak vizsgálatát.

DANDEL et al. (1995) új mintavételi eljárást dolgoztak ki miszerint a 7 napos, tápoldaton nevelt napraforgó legidősebb levelét a levéllemez alapjánál elvágták. A levágott leveleket összetekerve a levélnyelükkel lefelé egy centrifugacsőbe rakták, majd centrifugálták, a sebesség folyamatos növelésével (500, 1000, 4500xg), majd az oldatok frakcióit folyamatosan összegyűjtötték és analizálták. Mindezt 4 °C hőmérsékleten végezték, azért, hogy csökkentsék az evaporációt, illetve azért, hogy megakadályozzák azt, hogy minimális változás történjen az apoplaszt oldat összetételében.

3.2.2. Az apoplazmatikus pH szerepe a tápelemek hasznosulásában

ISLAM et al. (1980) szerint a növények egészséges növekedéséhez szükséges tápelemek koncentrációja a szövetnedvben akkor optimális, ha a közeg pH-ja 5,5.

A növények által felvett tápanyagok szállítása és célsejtekbe jutása bonyolult folyamatok összessége. A szövetnedv pH-ja, hasonlóan a talaj, vagy a tápoldat pH-jához, meghatározhatja a tápelemek oldódását, a már felvett tápanyagok hasznosulását, bejutását a sejtekbe.

Az apoplazmatikus pH és a tápanyagfelvétel összefüggésében a leginkább kutatott terület a vas felvétele és hasznosulása. A növény belső vas ellátásának leglényegesebb lépése az Fe^{3+} redukciója a gyökér apoplazmájában, amely kontrollként is működik az Fe^{2+} citoplazmába irányuló membrántranszportjában. Azt tapasztalták, hogy a Fe^{3+} redukció az apoplazma pH-jától függő. Az apoplazma $\text{pH} > 5,4$ értékénél az Fe^{3+} redukciója teljesen gátolt volt, amikor a növények $\text{NO}_3^-/\text{HCO}_3^-$ nitrogén ellátást kaptak. A levelekben a Fe^{3+} redukcióját befolyásolta a magas apoplazmatikus pH, ellentétben a gyökereknél tapasztaltakkal, amit a nitrát/ H^+ kotranszport indukált (MENDEL és KOSEGARTEN, 2001). Ezt támasztja alá KOSEGARTEN et al. (1999) megfigyelése is. A leveleket nitráttal táplálva az apoplazmatikus pH 7,0-re emelkedett, ami teljesen visszaszorította az Fe^{3+} redukcióját. NIKOLIC és RÖMHELD (2001) vizsgálatai szerint a levelek apoplazmatikus pH-jának emelése megakadályozza a Fe^{3+} redukcióját. Azt tapasztalták napraforgónál, hogy magas levél-apoplazmatikus pH esetén is jelentkezik vas-klorózis, amikor azt a levél vastartalma nem indokolja, ezt a jelenséget látens Fe-hiányak nevezték el. MACHOLD et al. (1968, in MENDEL, 1976) szerint a növényi szövetek pH-ját a bikarbonát is növelheti, így megakadályozza a Fe^{3+} redukcióját Fe^{2+} -ra, amely főleg karbonátos talajokon okozhat problémákat.

3.3. AZ OPTIMÁLISTÓL ELTÉRŐ TALAJ pH KEDVEZŐTLEN HATÁSAI, MÓDSZEREK ANNAK MEGVÁLTOZTATÁSÁRA

A talaj - optimálistól eltérő - pH-jának megváltoztatására számos módszer áll rendelkezésre. Lúgos talajokon a gipszezés bevált módszer, amellyel tompítható a - feltalajukban szénsavas meszet és vízben oldható sókat tartalmazó - szikes talajok lúgossága, így termékenységük fokozható. Savanyú talajokon a pH emelése meszezéssel vagy lúgos kémhatású ipari melléktermékekkel (mész, szennyvíziszap) oldható meg, ezzel befolyásolhatjuk a tápelemek mozgékonyságát, így a növények tápanyagfelvételét. Ebben a fejezetben a savanyú talajok mésszel történő javítását emelném ki, mivel hazánkban számottevően ezzel a problémával számolhatunk.

3.3.1. A meszezés hatása a savanyú talajok oldható cink mennyiségére

MARTH et al. (1996) munkájukkal felhívták a figyelmet a korszerű talajvédő gazdálkodás fontosságára. Hangsúlyozzák, hogy a talajok mészállapotának fenntartása

elengedhetetlen, amellyel megóvható a talajszerkezet és harmonikus növény táplálás valósítható meg. Megállapításuk szerint ma Magyarországon mintegy az összes 4,2 millió hektár mezőgazdaságilag művelt területből 2,8 millió hektáron található savanyú talaj, amely javításra szorúl. AVDONYIN (1972) szerint a talaj meszezésének szükségessége a pH, a hidrolitos aciditás és a bázistelítettség függvénye.

Azáltal, hogy a meszezés megváltoztatja a közeg kémhatását, csökkenthető a talajban lévő nehézfémek felvétele. A meszezés kedvező hatásaként említhető, hogy a műtrágyázás hatékonysága nő, azáltal, hogy a mész pufferozza a műtrágyák savanyító hatását és a talaj pH-ját megfelelő tartományban tartja (AVDONYIN, 1972). A meszezés a talajok fizikai tulajdonságait is befolyásolja. A mésszel bevitt kalcium koagulálja a kolloidokat, általában javítja a talaj mikrostruktúráját és növeli annak termékenységét és megkönnyíti a talajművelést.

A megfelelő mészállapot kedvezően befolyásolja a talajok víz-, és levegőgazdálkodását, és ezen keresztül a tápelemek feltáródásához elengedhetetlen mikrobiológiai folyamatokat is. Meszezéssel a talaj pH optimalizálható, a mikroorganizmusok mennyisége növekszik, amely különösen kedvező a nitrifikálók, a *Clostridium*-fajok és a cellulózbontók aktivitására, amelyek fontos szerepet játszanak a talajok termékenységének és a növények által felvehető tápelemek mennyiségének növelésében (AVDONYIN, 1972).

SCHMIDT és SZAKÁL (1998) vizsgálta a savanyú talajokon a meszezés hatását a búza termésátlagára. Vizsgálták a minőségi paramétereket a termés kémiai összetételére. A meszezés hatására emelkedett a talaj pH-ja. A mésszdózisok nagyságával egyenes arányban csökkent a hidrolitos aciditás értéke. Igazolták, hogy a talajok elsavanyodása csökkenti a terméshozamokat.

3.3.2. A karbonátok (a bikarbonát) szerepe a tápanyagfelvételben

A karbonátos talajok, illetve ezen talajok talajoldatának nagy bikarbonát koncentrálja jelentősen determinálja a mikroelemek oldódását és felvételét, melyek közül a Fe felvétele az egyik leginkább kutatott terület (ZECH, 1970 in MENGEL, 1976), mivel ezen talajok pH-ja magas, így a vas nem, vagy alig oldható formában van jelen, amely vashiányt okoz (HOLMES és BROWN, 1955 in MENGEL 1976; ALAM et al., 1999), amely Fe-klorózist indukál (SAGLIO, 1969 in MENGEL, 1976).

Más szerzők is egyetértenek abban, hogy a növények tápanyag ellátását (Fe) meghatározó legfontosabb tényezők a talaj nedvességtartalmán és alacsony vastartalmán túl, annak foszfor-, a hidrogénkarbonát-, nitrát- és mésztartalma (WALLACE et al., 1981; WALLACE és ABOU-ZAMZAM, 1984). A nitrát, a bikarbonát és a foszfor csak alacsony talaj-vastartalom esetén mutat antagonizmust (WALLACE, 1990).

BERTONI et al. (1990) vizsgálatai szerint a vízkultúrán nevelt (pH 7,5) csillagfürt vas-klorózisa a bikarbonát felhalmozódásával volt összefüggésben. 3 mM bikarbonátot adva a tápoldathoz a fiatal levelek halványodását tapasztalták már a kezelést követő első napon, míg a vas-klorózis tipikus tünetei a harmadik napon jelentek meg. A tünetek megjelenése gyorsabb, ha a közeg pH 7,5 és a bikarbonát a gyökérlégzés során felszabadult széndioxidból származik. A magas kalcium koncentráció (2,5-7,5 mM Ca) a klorózis megjelenése nélkül gátolta a csillagfürt növekedését. A tápközeg magas kalcium tartalma növelte a különböző növényi részek kalcium tartalmát is (21%-kal a levelekben, 49%-kal a szárban és 75%-kal a gyökérben) a kontrollhoz viszonyítva. A kalcium többlet viszont gátolta más kationok felvételét. A Mn esetében 39%-os csökkenés volt tapasztalható, valamint a felvett vas mennyiségét is csökkentette.

GARDNER et al. (1981) szerint a felhalmozódó bikarbonát vas-klorózist indukált. A bikarbonát más fémionok felvételét is akadályozza. Bikarbonát adagolás mellett csökkent a levelek kálium- és magnéziumtartalma is.

A bikarbonáttal való vizsgálatok során kimutatták, hogy mész-gazdag talajokon a gyökerek által kiválasztott nettó H^+ lényeges szerepet tölt be a rhizoszféra pH csökkentésében, ahol a bikarbonát köti a kiválasztott H^+ -t (ROMERA et al., 1992).

3.3.3. A kalcium és a pH szerepe a cink felvételében

KALOCSAI et al. (2006) szerint a kalcium és a cink a növények számára létfontosságú tápelemek, ugyanakkor fontos együtt említeni őket, sajátos antagonisztikus kapcsolatuk miatt.

A cink mobilitása és a növények általi felvehetősége csökken a pH, az agyagtartalom, a mésztartalom és a P-ellátottság emelkedésével (KÁDÁR, 1995; KÁDÁR, 2005). Savanyú homoktalajon - a cink oldódásának kedvező alacsony pH miatt 2-, 3-szoros volt az árpaszem cink-tartalma a kontrollhoz képest (KÁDÁR és MORVAI, 2008). KÁDÁR (1995) szerint bázikus, szénsavas mésztartalmú pl.: karbonátos vályogtalajon a cink nem mobilis, kilúgzódása nem igazolható, ezért más mikroelemekhez hasonlóan gyakran

cinkhiánnyal kell számolnunk, míg a cinkkel jól ellátott talajokon sok esetben a talajok kedvezőtlen savanyúsága, azaz gyenge mészellátottsága okoz problémát. Az utóbbi esetben a talajjavítás érdekében végzett meszezés javítja növények Ca utánpótlását, ugyanakkor gyakran cinkhiány jelentkezik (KALOCSAI, 2006). MARSCHNER (1995) szerint a mészklorózis néven ismert tünet gyakran köthető a vashiány mellett a cinkhiány kialakulásához is.

3.4. A KÖRNYEZETI STRESSZ ÉS A pH SZEREPE A GYÖKEREK SZERVES-SAV KIVÁLASZTÁSÁBAN

A gyökérválادékok kiválasztását számos exogén és endogén faktor befolyásolja, így főként a rhizoszféra tápanyag dinamikája, a tápanyagok mozgékonyasága, a növény tápanyag-státusza, valamint a mechanikai akadályok. A gyökerek által kiválasztott gyökérválادékok egyaránt tartalmaznak magas-, és kis-molekulasúlyú oldatokat. A magas molekulasúlyú gyökérválادékok legfontosabb alkotói a mucigél és az ektoenzimek, míg a kis-molekulasúlyú gyökérválادékok a szerves savak, cukrok, fenolok és aminosavak, beleértve a fitoszideroforokat is. Az összetevők részaránya növényfajonként, valamint a növény tápanyag-ellátottságától függően más és más. Megállapították, hogy a kis-molekulasúlyú gyökér válادékok nagyobb mennyiségben választódnak ki a gyökér csúcsi zónájában, mint a gyökér alapi részében (MARSCHNER, 1995), illetve azt is, hogy a szerves savak kiválasztása a gyökér csúcs közvetlen közelében történik (LI et al., 2000; RYAN et al., 2001). HOFFLAND (1992) megállapítja, hogy a gyökérszóna fiatalabb részei képesek jelentős mennyiségű szerves sav kiválasztásra.

A gyökerek szerves sav kiválasztása a környezeti tényezők függvénye. A növények tápanyaghiány esetén sajátos anyagokat választanak ki a gyökerek plazmalemmáján keresztül. A proton és a fitosziderofor kiválasztáson kívül kimutatták a ciklikus hidroxámsavak kiválasztását és szerepét a növények tápanyagfelvételében (PETHŐ, 1992; LÉVAI, 1998). A vas a talajban igen gyakran ferrifoszfát formában található. A lucerna (*Medicago sativa* L.) képes ezt a nehezen oldódó vas-formát mobilizálni (MASAOKA et al., 1993). A gyökerek által kiválasztott szerves anyagok közül a citromsav és az almasav szerepe intenzíven kutatott az utóbbi időben. HOFFLAND (1992) vizsgálta a foszforhiányos növények malát és citrát kiválasztásának és a talaj

pH-jának összefüggéseit. Eredményei szerint a foszfor hiányos növények jelentős mennyiségű citrát és malát kiválasztásával savanyítják a rhizoszféra pH-ját. ZHANG et al. (1997) vizsgálta az retek és a repce gyökerek kis-molekulasúlyú gyökérváladékainak kiválasztását foszfor hiány hatására. Eredményeik szerint a kiválasztott citromsav mennyisége több, mint 12-szer, a citromsavé több, mint 65-ször nagyobb volt az abszolút foszforhiányos kezelés hatására.

Megállapították, hogy a kiválasztott citrátnak jelentős szerepe van az alumínium toxicitás mérséklésében, ugyanakkor segíti a nehezen oldható alumínium-foszfátok feltáródását, ezzel a foszfor hozzáférhetőségét a talajban. A magas citrát kiválasztással rendelkező növények kevésbé érzékenyek a talajok hozzáférhető foszfor hiányára. SILVA et al. (2001) vizsgálta az Al-toxicitás és gyökerek által kiválasztott szerves savak közötti összefüggéseket szójanál. Eredményeik szerint a citrát és a malát kiválasztás növekedett minden vizsgált genotípusban alumíniumtoxicitás hatására. Megállapították, hogy az oldalgyökerek kevesebb citromsavat választanak ki mint a főgyökér, ezért kisebb az alumínium toleranciájuk. A szerves savak kulcsfontosságú komponensei az alumínium toxicitással és a foszfor hiánnyal szembeni adaptációs mechanizmusoknak (KOCHIAN, 1995; LOPEZ-BUCIO et al., 2000). Az alumínium, vagy a foszfor hiány által indukált fokozott szerves sav kiválasztás hosszú időn át megfigyelhető, miközben nem mérhető a kiválasztott szerves savak szintézisében résztvevő enzimek (PEP-karboxiláz, malát-dehidrogenáz, izocitrát-dehidrogenáz, citrát-szintetáz) aktivitásának növekedése és a gyökér szöveteinek szerves-sav mennyisége sem változik. Ezt speciális, a membránban lokalizált transzporterek aktivitásának növekedésével magyarázzák (KOCHIAN és JONES, 1997; RYAN et al., 2001).

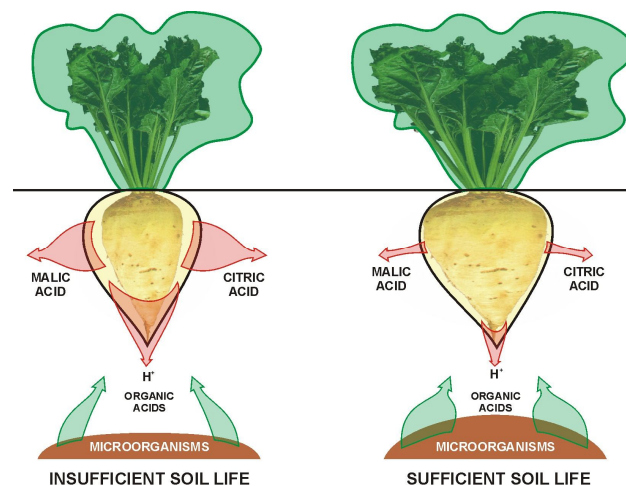
Azt tapasztalták, hogy indukált vashiány esetén kifejezettebb a citrát és a malát kiválasztása (BRANCADORO et al., 1995), míg a kávésavé (OLSEN és BROWN, 1980) mérsékeltebb. A kiválasztott szerves savak különösen hatékonyak bizonyultak a vas-hidroxid mobilizálásában (JONES et al., 1996).

Célzott kutatások folynak olyan transzgenetikus növények előállításával kapcsolatban, amelyek nagy mennyiségű szerves sav termelésére képesek. DE LA FUENTE et al. (1997) kutatásaikban a *Pseudomonas aeruginosa* citrát szintetáz génjét a dohány DNS-ébe ültetve azt tapasztalták, hogy a gyökér szövetek citrát tartama tízszeres, a gyökerek citrát kiválasztása is több mint négyszeres volt a kontrollhoz képest.

A gyökér extrudátumok fontos szerepet játszanak a talaj ásványi anyagainak (P, Fe, Zn, Cu, Mn) mobilizálásában (ZHANG et al., 1997) és így a növények tápanyagfelvételében.

A gyökerekbe irányuló szerves szén mennyisége a fotoszintézisben megkötött szén 30-60%-a is lehet, melynek jelentős része a rhizoszférába választódik ki (LYNCH és WHIPPS, 1990). A gyökerek által kiválasztott anyagok mennyisége és kémiai összetétele függhet a fényintenzitástól, a talaj hőmérsékletétől, a tápanyagok hozzáférhetőségétől, a talaj pH-jától, a növény korától és a mikroorganizmusok jelenlététől, vagy hiányától (CURL és TRUELOVE, 1986; MARSCHNER, 1993). DINKELAKER et al. (1989 in ZHANG et al., 1997) szerint a citromsav kiválasztás szignifikánsan csökkentette a rhizoszféra pH-ját, ezáltal képes volt a talaj kalcium foszfát tartalmát mobilizálni.

HOFFLAND (1992) feltételezése szerint a gyökerek által kiválasztott szerves savak a levélben termelődnek és később szállítódnak a gyökérbe. LÉVAI et al. (2005) szerint a répatestbe transzlokálódott szacharóz több úton használódik fel. A szacharóz egyrészt raktározódik, másrészt felhasználódik a légzésben, ezzel biztosítva a szintetikus folyamatok és a tápanyagfelvétel energiaigényét, harmadrészt szerves savak formájában kiválasztódik a rhizoszférába, ezzel segítve a tápanyagfelvételt. A talajban élő baktériumok által kiválasztott szerves savak tehermentesíthetik a növényt, aminek eredményeként csökkenhet a szerves anyag veszteség, valamint növekszik a termés mennyisége (3. ábra).



3. ábra: A talaj mikroorganizmusainak lehetséges hatása a cukorrépa termésére (LÉVAI et al., 2005).

3.5. A CINK (Zn)

Az Egészségügyi Világszervezet 2002-es jelentése szerint a világ népességének közel egyharmada szenved a nem megfelelő cink bevitel miatt, melynek aránya 4-73%-ig terjed a különböző országokban.

A cink hiánya számos problémát okozhat az emberi szervezetben. Az idegrendszer károsodása, a növekedés gátlása, a reprodukcióért felelős szervek károsodása, immunproblémák, bőrproblémák, megrendült egészségi állapot, étvágytalanság, sápadtság és hajhullás, mind az elégtelen cink-bevitel következményeként említhető.

3.5.1. A cink a talajban

A cink koncentrációja a talajban általában igen alacsony. A cink az agyagásványok (biotit, augit, amfibol) kristályrácsaiban fordul elő (MENGEL, 1976), illetve a Fe-, Al-oxidokban is jól kötődik (KIRKBY, 2005). Ásványi alkotóként Zn^{2+} , $ZnOH^+$, valamint $ZnCl^-$ formájában fordul elő a talajban (MENGEL, 1976). Az agyagásványok a Zn^{2+} ionokat kicserélhetően abszorbeálják, míg a humuszkolloidok komplex kötést képeznek velük. A cink-komplexek közül néhány a növények által felvehető (MENGEL és KIRKBY, 1987). MARSCHNER (1995) szerint az gyenge cink-ellátást magas pH-jú meszes talajokon főként a cink agyagásványokhoz való adszorpciója vagy a nagy $CaCO_3$ tartalom, illetve az alig oldható $Zn(OH)_2$ vagy $ZnCO_3$ forma okozza. FILEP (1999/a) leírja, hogy a talajoldatban általában, cinkoxid, cinkszulfát és cink-kelát formában van jelen. Ha a pH kisebb, mint 7,7 a Zn^{2+} , ha pedig a pH nagyobb, mint 7,7 $ZnOH^+$ ion a domináns forma.

A különböző talajok Zn-ellátottsága eltérő (**3. táblázat**). A cink mennyiségét elsősorban a talajképző kőzet ásványainak cink-tartalma határozza meg. A homoktalajok cink-tartalma a legkisebb (KALOCSAI, 2006). India talajait vizsgálva TAKKAR et al. (1989) megállapították, hogy a cink kritikus mennyisége $0,38 - 1,40 \text{ mg kg}^{-1}$ közötti tartományban mozog. A DTPA és EDTA-val kivonható cink-tartalom a talajban $0,55 - 2,10 \text{ mg kg}^{-1}$ és $0,50 - 1,36 \text{ mg kg}^{-1}$ között van.

3. táblázat: A talaj EDTA-oldható cink-ellátottságának megítélése (MÉM NAK, 1979).

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

A cink kötődése a talaj ásványi részeihez a pH emelkedésével fokozódik, így a cink mozgékonyasága a talajban - különösen semleges és lúgos talajokon - csekély (KIRKBY, 2005; GRIMME 1968 in MENGEL, 1976). A mozgékony cink mennyiségét a pH mellett, az szerves anyag- és humusztartalom, valamint a talaj redox potenciálja is jelentősen befolyásolja (MENGEL és KIRKBY, 1987). Savanyú talajokban a vízdoldható és kicserélhető cink-tartalom lényegesen nagyobb, mint a lúgos vagy semleges kémhatású talajokban. Az oldható szerves anyagok a cink mozgékonyágát a talajban növelik, a nem oldhatók csökkentik (KIRKBY, 2005).

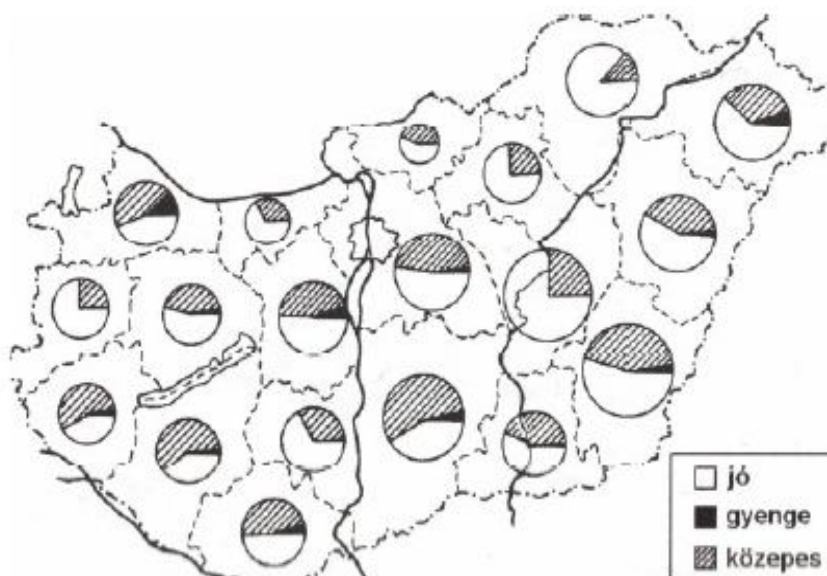
A cink zömmel a feltalajban, talaj felső 30 cm-es rétegében található. A talajműveléssel, a forgatás során a felszínre került altalaj nem teszi lehetővé a megfelelő cink-ellátást (PAPP, 1974; KÁDÁR, 2002). Nem megfelelő cink-ellátás esetén cinkhiánnyal számolhatunk, amely általában a homok-, homokos vályog, karbonátos és magas szerves anyag tartalmú talajokon jelentkezik. BHUPINDER et al. (2005) szerint a talajok cinkhiánya $0,6 - 2,0 \text{ mg kg}^{-1}$ közötti cink-ellátottságnál jelentkezik kivonási módszertől függően. A MÉM NAK által meghatározott cinkhiány kritikus szintje KCl-EDTA kivonási módszer esetén $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ (MÉM NAK, 1979).

NAUMOV et al. (1984 in TURÁN, 2003) megállapították, hogy a talaj magas P-tartalmának, alacsony humusztartalmának és magas pH-jának fontos szerepe van a felvehető cink csökkentésében. MARTENS és LINDSAY (1990) szerint a cinkhiány két fő okozója közül az egyik az, hogy a talaj összes cink-tartalma eredetileg kevés, illetve az, hogy a cink-felvétel gátolt. Ez utóbbi gyakoribb, amelyet a túlzott P-ellátottság és a magas talaj pH erősít. MARSCHNER (1995) megállapítja, hogy meszeztést követően, illetve meszes talajon jelentősen megnő a cinkhiány kockázata. Megfogalmazza azt is, hogy a magas pH mellett a magas anyagtartalom, a magas foszfor-ellátottság, illetve az alacsony talaj hőmérséklet is szintén emeli a cinkhiány kialakulásának kockázatát. KÁDÁR (2008) megállapítja, hogy magas pH-jú, illetve túlmeszezett talajokon számolni kell a Fe-, Mn-, Zn-, Cu-hiányával, illetve foszforral jól ellátott talajokon a cinkigényes kultúrák cink-trágyázásra szorulnak. Más szerzők megállapítást tesznek, miszerint a nagy adagban foszfátrágyázott (KÜHN, 1962; STUKENHOLZ et al., 1966 in MENGEL 1976), illetve a nagy mennyiségű szénsavas meszet tartalmazó, valamint a nagy mennyiségben meszezett talajok gyakran cinkhiányosak (KALOCSAI, 2006; KALOCSAI et al., 2006).

KÁDÁR és MORVAI (2008) kimutatta, hogy általában a talajok maximális cink-tartalma 200 mg kg^{-1} , az évente kiadható mennyiség 30 kg ha^{-1} . Az emberi fogyasztásra szánt lisztben, gabonaőrleményekben a 9/2003. (III.13.) ESZCSM rendelet szerint 30 mg Zn kg^{-1} a megengedett. A cink az állatok szervezetében, antioxidáns enzimek proszterikus csoportjainak alkotója, amely indokolja takarmányokban a cink optimális mennyiségét. Kísérletek bizonyítják, hogy az antioxidánsokkal jól ellátott takarmányok etetése a tejelő teheneknél a tejhozam növekedését eredményezte. Takarmányokra a hazai szabályozás nem ad útmutatást (KÁDÁR és MORVAI, 2008). CHANEY (1982) szerint takarmányban az egészségügyi maximum állatfajonként a következő lehet: juh: 300, marha: 500, sertés és csirke: $1000 \text{ mg Zn kg}^{-1}$.

3.5.2. Magyarország talajainak cink-ellátottsága

KALOCSAI et al. (2006) szerint hazánk talajainak, nemzetközi összehasonlításban is gyenge a cink-ellátottsága (4. ábra).

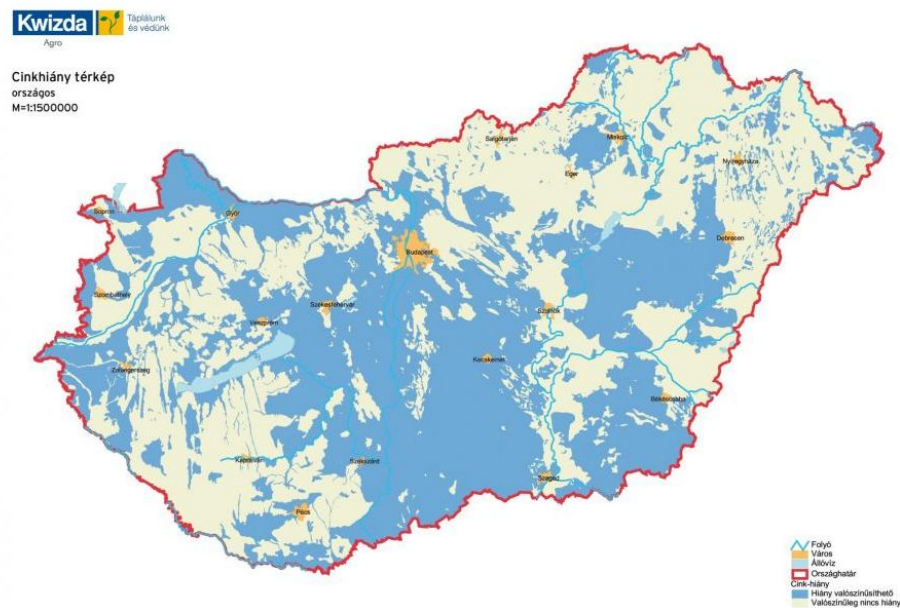


4. ábra: Magyarország talajainak cink-ellátottsága (KALOCSAI et al., 2006).

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.

2011-ben a KWIZDA Agro Hungary Kft. egy átfogó talajtani felmérést végezett el, amely többek között kiterjedt Magyarország talajainak cink-ellátottságára is. Az eredményeket összefoglaló térképen kék színnel jelölték a cinkhiányos területek arányát (5. ábra).



5. ábra: Magyarország talajainak cink-ellátottsága 2011-ben (KWIZDA, 2011).

3.5.3. A cink felvétele, növényélettani szerepe, a cinkhiány kialakulásának okai, tünetei, a cink pótlásának módjai

A növények cink-felvétele, cink igénye kicsi (MENGEL, 1976). A növények a cinket Zn^{2+} -ion formában, illetve kelátként veszik fel a talajból.

A cink felvételét a talajból akadályozza a cink-foszfor és a cink-kalcium antagonizmus, a talaj lúgossága valamint az a tény, hogy a cink erősen kötődik az agyagásványok rácsaiban, így a magas koncentrációban alkalmazott foszfor műtrágyák (MÁNDY, 1974; KHOSGOFTARMANESH et al., 2006; KREMPER et al., 2009; TURÁN, 2003), a magas pH és kalcium karbonát tartalom a fő okozói az akadályozott cink-felvételnek (KARIMIAN és MOAFPOURYAN, 1999, ALAM et al., 1999).

COX (1990) megállapítja, hogy a földimogyoró cink-felvételét két tényező: a talaj oldható cink koncentrációja és pH-ja határozza meg, ugyanakkor e két faktor kombinált

hatása nem tisztázott teljesen. Eredményei szerint exponenciális csökkenés mutatható ki a levél cink-tartalmában a pH 4,3-ról 6,1-re való emelésével. Mások vizsgálták a növekvő cink adagok és az emelkedő pH hatását a levelek cink-tartalmára. Eredményeik szerint a talaj pH-ja jobban befolyásolja levelek cink-tartalmát, mint a talaj cink koncentrációja (PARKER et al., 1990).

IYENGAR et al. (1981) 19 különböző talaj és azok cink frakcióinak vizsgálata során megállapították, hogy a cink-felvételét pozitívan befolyásolta a vízdoldható és kicserélhető cink, a specifikusan abszorbeált és a szerves anyagokban kötődött cink. Ugyanakkor a cink felvételét negatívan befolyásolta a talaj pH.

A cink nélkülözhetetlen mikroelem, azáltal, hogy enzimaktivátor és számos enzim alkotórésze. Részt vesz a fehérje-anyagcserében és az auxin termelésében, ezért fontos szerepet játszik a növekedés szabályozásában (KALOCSAI, 2006). A cink élettani jelentőségére először Raulin utalt 1863-ban, amikor is gombákkal végzett kísérletében igazolta, hogy a növekedéshez szükség van cinkre (THORNE, 1957 in TURÁN, 2003). A cink esszenciális voltát 1926-ban SOMMER és LIPMANN (in TURÁN, 2003) jegyezte le elsőként, amelyet követően már 1927-ben sikeresen kezeltek cinkhiányos kukoricát, borsót, földimogyorót cinkszulfáttal, Floridában.

CAKMAK (2000) kísérletei alapján megállapítja, hogy a növényi sejtek fiziológiai károsodást szenvednek cinkhiány esetén, amely növekedést, differenciálódását és fejlődését gátló tényező. A cink alapvető szerepet játszik számos fiziológiai folyamatban, úgy, mint fehérje-anyagcsere, gén-expresszió, a biomembránok szerkezeti és funkcionális integritása, a fotoszintetikus szén anyagcseréje és az auxin szintézise (MARSCHNER, 1995 in CAKMAK, 2000). Ezért cinkhiány következtében az embrionális szövetek károsodnak, a felső levelek érközi klorózisa, a levéllemez teljes kifehéredése, illetve törpenövés tapasztalható. A levelek nem fejlődnek és a kialakuló auxinhiány rozettásodást, torzulást, valamint a szártagok (internódiumok) rövidülését (törpe szártagúság) okozza. Az állomány lemarad a fenológiai fázisra jellemző növénymagasságtól. A vegetatív szervek károsodása mellett a generatív szervek fejlődésében is zavarok lépnek fel; cinkhiány esetén a virágképződés késik, sőt sok esetben el is marad. Erős cinkhiány esetén a virág- és termésképzési zavarok hatására csökkenhet a hektáronkénti termés mennyisége (KALOCSAI, 2006).

A cinkhiányos növényi részek triptofán-tartalma igen alacsony, mivel a triptofán az auxin perkurzora, ezért a cink szerepe az auxin-szint szabályozása révén a növekedési folyamatokban nagyon fontos. A triptofán szintézisének fokozódását figyelték meg

bőséges cink-ellátás esetén (HÖFNER, 1957 in MENGEL, 1976). cinkhiányban csökken az auxin szintézise, míg oxidációja fokozódik. Kötött állapotban cinket viszonylag kevés növényi enzim tartalmaz (SOD), ennek ellenére cinkhiány esetén számos enzim aktivitása csökken (méregtelenítési reakciók gátlása). Cinkhiányban a kloroplasztiszokban nem alakul ki gránumos szerkezet. A gránumok finomszerkezete helyett vakuólumok keletkeznek (THOMPSON és WEIER, 1962 in MENGEL 1976). MÁNDY (1974) szerint a cink hiánya élettani zavarokat okoz, így a klorofillok képződése elmarad. RANDALL és BOUMA (1973) leírja, hogy a cink hiánya befolyásolja a fotoszintézist, valamint cinkhiány esetén jelentős csökkenés figyelhető meg a levelek klorofill-tartalmában és a klorofill-*a*, és -*b* arányában is (CHEN et al., 2008).

Magyarországon elsőként a gyümölcstermesztők körében vált ismertté a cinkhiány fogalma. HUSZ (1940) figyelte meg és írta le a cinkhiány tünetét (a törpeszártágúságot és az ecsetágúságot) elsőként hazánkban, amit a Duna-Tisza közti gyümölcsösökben tapasztaltak, amelynek oka, hogy a cink rendszerint a talaj felső rétegeiben erősen kötődik, így a mélyen gyökerező gyümölcsfák gyakran szenvednek cinkhiányban (BENSON, 1966 in MENGEL, 1976; MÁNDY, 1974).

MÁNDY (1961) leírja, hogy a cinkhiányra az évelő növények sárgulásából a leveleik alsó szélének vagy hegyének elsápadásából lehet következtetni. A levél felületén a szöveti elhalások foltokban jelennek meg, majd a levelek eltorzulnak. A legjellemzőbb cink hiánytünetek a kétszikű növényeken (pl.: gyümölcsfákon) figyelhetők meg, amelyek a következők: az internódiumok hosszának csökkenése, azaz rövidszártágúság (rozettabetegség), valamint drasztikus csökkenés a levélméretben (MARSCHNER, 1995; CAKMAK et al., 1998), azaz aprólevelűség melynek következtében terméskötődési problémák jelentkeznek. A gyümölcsfák jellegzetes törpeszártágúságát, a vesszők csúcsi és oldalrügyeiből képződő rövid szártágú hajtások adják, amelyeken a normálisnál nagyságrendekkel kisebb, keskeny, lándzsa alakú klorotikus levelek fejlődnek, valamint rozettaszerűen helyezkednek el. A gyümölcsfák cinkhiány tünete leginkább a korona csúcsi részeire koncentrálódik. A gyümölcsfák termőképessége jelentősen csökken, a gyümölcsök aprók és alaktalanok lesznek. A tünetek leggyakrabban az alma-, birs-, szilva- és őszibarack-ültetvényekben lépnek fel. A szőlészetben szintén jelentős problémaként jelentkezik a cink hiánya. A hajtások

fejletlenek, vékonyak, a levelek kicsik és aszimmetrikusak, sok hónalj-hajtás képződik, valamint a bogyók aprók maradnak (GÄRTEL, 1962 in MENGEL 1976).

HOFFMAN szerint (1969 in MENGEL, 1976) nagyobb a növény cink igénye melegebb klimatikus viszonyok között, mivel bizonyos fitohormonok, mint az auxin gyorsabban bomlanak a növényekben.

A cink pótlásával kapcsolatban leírják, sok esetben nem az a probléma, hogy a cink hiányzik a talajból, hanem az, hogy nagymértékben kötve található a talajban, így a talaj cink-trágyázása sokszor nem jár sikerrel (HEWITT és GARDENER, 1956 in MENGEL, 1976). BENSON et al. (1957 in MENGEL, 1976) szerint a cink-sókkal történő többszöri levéltrágyázás, illetve a cink-kelát trágyákkal történő talaj vagy levéltrágyázás igen hatásos módja a cink pótlásának. KALOCSAI (2006) szerint a cink pótlása talajon, illetve lombozaton keresztül egyaránt célravezető. A talajon keresztüli cinkpótlást számos környezeti tényező befolyásolhatja, ezért a levéltrágyázás közvetlen és gyors hatása révén hatékonyabb eszköze lehet az állományban fellépő cinkhiány orvoslásának. Különösen a meszes és sok felvehető foszfort tartalmazó talajokon javasolt a cink levéltrágyázással történő pótlása. A talajon keresztül végzett cinkpótlás általános adagjai $3-10 \text{ kg ha}^{-1}$ hatóanyag nagyságúak, azonban indokolt esetben $30-50 \text{ kg ha}^{-1}$ Zn engedélyezett. Az alkalmazható trágyaanyagok spektruma igen széles a szervesetlen cinksóktól a különböző komplex vegyületekig. Cinkhiányos termőhelyen a helyesen kivitelezett cink-levéltrágyázás termesztett növényeink értékmérő tulajdonságainak akár 30-40%-os javulását is eredményezheti. KREMPER et al. (2012) magas foszfor ($200 \text{ kg P}_2\text{O}_5 \text{ ha}^{-1}$) adaggal trágyázott talajon vizsgálta a Zn permetezőtrágyázás hatását a kukorica termésére és tápelem-összetételére. Eredményei szerint a cinktrágyázás hatására szignifikánsan növekedett az ezerszemtömeg.

3.5.4. A kultúrnövények cink-táplálása

A növényekben szárazanyag-tartalomra vetítve átlagosan $25-150 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn található (KALOCSAI, 2006). HOFFMAN szerint (1969 in MENGEL, 1976) a gyümölcsfák leveleiben szárazanyagra vonatkoztatva legalább 50 mg kg^{-1} cink a szükséges mennyiség, míg mérsékelt klímán $30-40 \text{ mg kg}^{-1}$ közötti érték is elegendő lehet a fitohormonok magasabb hőmérséklet okozta bomlása miatt.

A hazai talajok gyenge cink-ellátottsága miatt az azokon termesztett növények is alacsony cink-tartalmat mutatnak (KÁDÁR, 2008). NELSON (1956 in MENGEL,

1976) szerint a cinkkel jól ellátott növények 30 mg kg^{-1} tartalmazzak, míg a cinkhiányos szója szárazanyaga 15 mg kg^{-1} cinket tartalmazott. Egy későbbi kutatás szerint a cinkhiányos szőlő 10 mg kg^{-1} cinket tartalmazott, míg a tünetmentes, egészséges szőlőben $38\text{-}40 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn volt (GÄRTEL, 1969 in MENGEL, 1976). KALOCSAI (2006) szerint a levélszövet 20 mg kg^{-1} szárazanyag alatti cink-tartalma elégtelen cink-ellátottságot jelez. SHULKA és MORRIS (1967 in TURÁN, 2003) szerint a növény levelének és szárszövetének cink-koncentrációja akkor minősül cinkhiányosnak, ha ott a cink-tartalom 12 mg kg^{-1} alatti. BORKERT et al. (1998) vizsgálták a Zn és a Cu toxicitás kritikus szintjét néhány gazdasági növény esetén. Kukoricánál toxikusnak bizonyult a (Mehlich-3 oldható) 300 mg dm^3 feletti talaj cink koncentráció.

A különböző növényfajok különböző módon reagálnak a cinkhiányra (MENGEL, 1976). A fűfélék és a nem fűféle növények tápanyagfelvételében különbség van. Az eltérés azonban nem csak a cink, hanem a vas, a réz, a mangán és a különböző nehézfémek felvételében is megmutatkozik (TREEBY et al, 1989; RÖMHELD, 1991; AWARD és RÖMHELD, 1997). A nem fűfélék rhizoszférájukat képesek savanyítani, ezáltal a talajban nehezen hozzáférhető tápanyagokat felvehetővé tenni. A fűfélék fitoszideroforokat választanak ki, amelyek kelát formában kötik a rhizoszférában található cinket (MARSCHNER et al., 1986; RÖMHELD, 1991).

A cink hiánya súlyos termésvesztést okoz, különösen a cinkhiányra érzékeny kultúrák esetén. VIETS et al. (1954 in MENGEL, 1976) szerint néhány gabonaféle (zab, búza, árpa, rozs) érzéketlen a cinkhiányra. A burgonya, a paradicsom, a cukorrépa, a lucerna és vörös here közepesen érzékeny. Megállapítják, hogy a kukorica, a komló, a len és a *Phaseolus*-babok a legigényesebbek a cink-ellátásra. A spárga, a borsó és a keresztesvirágú növények a cinkhiányra kevésbé érzékeny növények közé sorolandók. Ahogyan azt a korábbiakban a cinkhiány tüneteinek részletezésénél kifejtettem a korábban ismertetett okok miatt a gyümölcsfákon és szőlőn is gyakran észleltek cinkhiányt (HOFFMAN, 1969 in MENGEL, 1976).

SÁRVÁRI (2005) a kukorica termesztéséről megállapítja, hogy a kukorica termését jelentősen három faktor határozza meg, így a tápanyagellátás, a vetésidő és az állománysűrítettség. MENGEL és KIRKBY (1987) szerint a kukoricatermesztésben

az egyik leggyakoribb probléma a cink hiánya, ami termésveszteséget és minőségromlást okozhat. KÁDÁR (1987) a kukorica ásványi tápanyagellátása című tanulmányában hangsúlyozza a cink-ellátás fontosságát, hiszen a cink hiánya kukorica estén akár 80 %-os termésveszteséget is okozhat a vontatott fejlődés vagy az elégtelen termékenyülés miatt. A hibridkukorica vetőmag-előállításban kiemelt jelentőséget kap a megfelelő cink-ellátottság biztosítása az anya vonalak megfelelő termékenyülése miatt. Más szerzők megállapítják, a talajok szervesanyag-tartalmának jelentős degradálódása szintén cinkhiányt okoz kukoricánál (BERGMANN 1979; BERGMANN és NEUBERT, 1976; KÁDÁR és TURÁN, 2002).

Vizsgálatok szerint a cink hiány tünetei különbözőek a kukorica genotípusának megfelelően. A beltenyésztett kukorica a fejlődés korai stádiumában rezisztenciát mutatott, míg később érzékennyé vált a cink hiányra. Fordított hatást figyeltek meg más kukorica vonalak esetén, miszerint érzékenyek voltak a növények a fejlődés korai állapotában, míg később ellenállóak voltak a cink hiányra. A különböző kukorica vonalak magvainak tartalék tápanyagkészlete változatos. Azon kukorica vonalak magvainak, amelyek korai rezisztenciát és későbbi fejlettségi állapotban érzékenységet mutattak magas volt a cink-tartalma, míg a késői rezisztenciát mutató vonalak magvai alacsony cink-tartalommal rendelkeztek (HALIM et al., 1968).

3.5.5. A P-Zn kölcsönhatás szerepe az indukált cinkhiány kialakulásában

A 20. században a foszfor-trágyázás igen elterjedt volt a fejlett növénytermesztéssel rendelkező országokban. A foszfor-trágyázás jelentősége, annak termésnövelő hatásában van. IZSÁKI (2008) megállapítja, hogy a P-trágyázás szignifikánsan, átlagosan 0,32 t ha⁻¹-val növelte a szemtermés mennyiségét, amely 160-220 mg kg⁻¹ közötti AL-P₂O₅ ellátottságnál érte el a maximumot.

TURÁN (2003) leírja, hogy a P-Zn kölcsönhatások vizsgálata az 1930-as évektől indult. Azt tapasztalták, hogy a szuperfoszfát hosszú időn át tartó használatával bizonyos növényeken (bab, kukorica) cink-hiánytünetek észlelhetők. A növény- és talajvizsgálatok alapján a két elem közötti antagonizmusra következtettek. A 20. század második felében a P-trágyák egyre inkább terjedő alkalmazásával a P-indukálta cinkhiány is terjedt, ezért a P és a Zn közti kölcsönhatás számos kutató által vizsgált területté vált.

WARD et al. (1963 in TURÁN, 2003) a P-tartalmú startertrágyák cinkhiányt előidéző hatását tanulmányozták öntözés miatt, tömődött talajon. Megállapították, hogy a talaj magas P-tartalma cinkhiányt okoz. MARTIN et al. (1965) bizonyították, hogy az alacsony talajhőmérséklet P bőséggel társítva a cinkhiány kialakulását segíti elő. RAJAGOPAL és METHA (1971 in TURÁN, 2003) vizsgálatai során arra a következtetésre jutott, hogy $100 \text{ kg ha}^{-1} \text{ P}_2\text{O}_5$ -kezelés a növényben 34,4%-kal mérsékelte a cink-tartalmat. A cinkhiány és a P adagolás kapcsolatának vizsgálata során bizonyították, hogy a kukorica levélszövetek Zn és P akkumulációjában különbségek vannak. KÁDÁR (1987) szerint a túlzott P-ellátottság termésdepressziót idézhet elő, amelynek kezelésére $20\text{-}50 \text{ kg ha}^{-1} \text{ ZnSO}_4$ -ot javasol, így a talaj cink-szolgáltató képessége tartósan javul.

CSATHÓ et al. (1989) $80\text{-}150 \text{ mg kg}^{-1}$ körüli értékben állapították meg az optimális P/Zn arányt a kukorica levelében, mivel eredményeik szerint a 200 mg kg^{-1} érték már cinkhiányt jelent, továbbá leírják, hogy a $150\text{-}200 \text{ mg kg}^{-1}$ -nél nagyobb AL- P_2O_5 -vel trágyázott parcellákon 12 mg kg^{-1} alá csökkent a virágázáskori levelek Zn-tartalma.

HALIM et al. (1968) vizsgálataiban a Zn és P koncentrációja nem mutatott kapcsolatot a cink hiány tüneteivel. A magas P tartalom nem csökkentette a cink felvételét, de csökkenést eredményezett a szárazanyag-felhalmozásban. GYŐRI és MÁTZ (1979) a kukoricaszem cink és triptofán tartalma közötti összefüggést vizsgálva azt állapította meg, hogy a növekvő P dózis hatására csökken a cink és a triptofán tartalom, így a kukorica takarmányértéke romlik.

MENGEL (1976) szerint a foszfát cink-felvételre gyakorolt kedvezőtlen hatása abban mutatkozik meg, hogy a nehezen oldható cinkfoszfátok képződnek a talajban. HABER és TOLBERT (1959) szerint a felvett szerves foszfát egy része már a gyökerekben szerves foszfáttá alakul. OLSON et al. (1965) szerint a P-Zn antagonizmus a növények gyökerében jelentkezik, mivel a növény gyökerében és hajtásában eltérően alakul a cink-tartalom a P trágyázás hatására.

Kukoricán végzett kísérletekben kimutatták, hogy a foszfátbőség esetén jelentősen gátolt a föld feletti részekben a cink-transzportja, míg a gyökerek cink-felvétele kevésbé gátolt (STUKENHOLZ et al., 1966), amelynek oka, hogy a P-trágyázással kiváltott cinkhiány nem a foszfátok általi közvetlen cinkkicsapódás - cink-foszfátként - következménye, hanem növényfiziológiai alapú (STUKENHOLZ, 1965; GÄRTEL, 1969 in MENGEL, 1976). LÁNG (1976) felhívja a figyelmet a mikroelemek közül a cinkre, melynek hiánya P-val trágyázott talajon jelentkezik. KÁDÁR és PUSZTAI

(1982) a P-trágyázás cink-tartalom csökkentő hatásáról számol be tenyészedény-kísérletben végzett 6 leveles kukoricánál, karbonátos csernozjom talajon. Közleményükben felhívják a figyelmet a P-Zn antagonizmusra és a feltöltő trágyázás következtében kialakuló mikroelem-tartalmat befolyásoló veszélyekre. A cinkhiány és a P toxicitás kapcsolatát vizsgálták abban a tanulmányban, amelyben két P (250, 2000 μM) és négy cink-dózis (0, 0,25, 1, 2 μM) kombinációit állították be. A növekvő P adagok Zn-hiánytüneteket indukáltak, melyet a cink adagolás megszüntetett. Az egyszeri P kezeléshez adott alacsony cink adagok hatására csökkent a szárazanyag-tartalom. A nagyobb P adag hatására drasztikusan csökkent a hajtás és a gyökér szárazanyag-tartalma, valamint a termés is. A növekvő cink adagok hatására növekedett a levelek cink koncentrációja és csökkentett a P koncentrációja. Feltételezik, hogy a P koncentrációjának emelésével a cink szállítása gátolt volt, azáltal, hogy jelentős mennyiségű P szállítódik a hajtásba. Melynek következtében a levelekben toxikus mennyiségben akkumulálódik a P, így Zn-hiánytüneteket idéz elő (LONERAGAN et al., 1982). További kutatások bizonyítják, hogy a P nagy dózisban való alkalmazása Zn-hiánytüneteket idéz elő, mivel a P túlsúlya metabolikus zavart okoz, amely Zn-hiánytünetek kialakulásához vezet (MENGEL és KIRKBY, 1987).

RAGAB (1980) három egyiptomi talajon vizsgálta a P hatását a cink szállítására kukoricánál. Megállapította, hogy a P kezelések csökkentették a hajtás cink koncentrációját. Azt tapasztalta, hogy a cink mennyisége a gyökérben és hajtásban eltérő volt a kezelések hatására, mivel a P adagolás a gyökérben növelte, a hajtásban csökkentette a cink koncentrációját, tehát az alkalmazott P sokkal jobban növelte a hajtás P koncentrációját, mint a gyökérét. Az alkalmazott talajok túlzott CaCO_3 tartalma is befolyásolja a P-Zn kapcsolatát a növényben a cink szállításának csökkenésével és a P szállításának növelésével a gyökérből a hajtásba.

CAKMAK és MARSCHNER (1986) vizsgálta a P indukálta cinkhiány hatását gyapot növényen. Eredményeik szerint a növekvő P ellátás erős Zn-hiánytüneteket és P toxicitás tüneteket eredményezett (érközi klorózist). A cink hiánya jelentősen növelte a P felvételének és szállításának arányát. A gyapot, valamint más növény fajok cink hiányát elsődlegesen a P felvétele és szállítása okozza, nem pedig a cink-felvétel gátlása. A szerzőpáros ^{32}P -izotóppal vizsgálta a Zn-P kölcsönhatását cinkhiányos növényeknél. Megállapították, hogy a ^{32}P mindössze 7,8%-a szállítódott bazipetálisan. Ez az arány cinkkel normálisan ellátott növényeknél 43% volt, amelynek magyarázata egy, a hajtásban lévő a gyökerek P-felvételét és a P-transzportot szabályozó

viSSZacsatolási mechanizmus, amely cinkhiány estén károsodik, így a foszfor toxikus mértékben halmozódik fel a levelekben, azáltal, hogy a gyökér felé történő viSSZacsatolás lecsökken vagy elmarad, így nem mérséklődik a gyökér P-felvétele. A vizsgálatok egységesen arra következtettek, hogy a P/Zn arány eltolódásának és a gyökér, valamint a levelek erősen eltérő P- és Zn-tartalmának az oka, hogy a cinkhiány által kiváltott rendellenesség következtében a gyökérből a levelek irányába zajló cinkszállítás lecsökken, a P-szállítás pedig megnő (MARSCHNER és CAKMAK, 1986).

ALAM et al. (1999) megállapítja, hogy a Fe, Zn, Mn és Cu oldhatósága igen alacsony meszes talajon. Az alkalmazott P a mikroelemekkel való antagonisztikus kapcsolata révén gátolja azok felvételét. KÁDÁR és TURÁN (2002) szabadföldi P-Zn műtrágyázási tartamkísérletükben, löszön képződött mély humusgrétegű, vályog összetételű karbonátos csernozjomtalajon vizsgálták a P-Zn kölcsönhatását, ahol megállapították, hogy a KCl-EDTA kivonószerezrel becsült cinkkészlet szintén tükrözte az adott cinktrágya adagját, illetve a kiadott cink adagok évek során csökkenő tendenciát jeleztek a trágyázott kezelések talajában. Kísérleteik eredménye azt mutatta, hogy a növényi szervek P-tartalmát a cinktrágyázás érdemben nem módosította. A kukorica cinktartalmában P-Zn kölcsönhatások figyelhetők meg, mivel a fellépő P túlsúly nyomán a növényi szervek cinktartalma igazolhatóan mérséklődik. 1000 kg P₂O₅ ha⁻¹ felöltőadaggal indukált cinktartalom csökkenés megközelítőleg 40 kg ha⁻¹ cinktrágyázással kiegyensúlyozható. Ha a talaj foszforral és cinkkel egyaránt gyengén ellátott, foszfor feltöltés esetén szükséges lehet cink feltöltő adag kijuttatása is a kiegyensúlyozott P-Zn táplálás biztosítása céljából. Irodalmi források szerint a 4-6 leveles kukorica optimuma 0,3-0,5% P és 20-60 mg kg⁻¹ Zn; címerhányáskor a levél optimuma 0,25-0,5% P, illetve 25-100 mg kg⁻¹ Zn koncentráció tartományban ingadozhat. Az optimális P-Zn arány 50-150 mg kg⁻¹ közötti. Ha a cinkhez viszonyított P túlsúlya 200 felé emelkedik a fiatal hajtásokban a cinktrágyázás hatékony lehet (BERGMANN, 1976; CSATÓ et al., 1989 in KÁDÁR és TURÁN, 2002; KÁDÁR, 2008). IZSÁKI (2011) műtrágyázási tartamkísérletben vizsgálta a kukorica P-tápláltságát és a foszfor-cink kölcsönhatását csernozjom réti talajon. A vizsgálati adatok szerint a kukoricalevél címerhányás kezdetekori cink koncentrációja 16-19 mg kg⁻¹ (8 t ha⁻¹-nél nagyobb termésátlagot adó években), valamint 25-34 mg kg⁻¹ (kisebb termésszintű években) volt P-trágyázás nélkül. 158-222 mg AL-P₂O₅ kg⁻¹ foszfor ellátottsági szinten a levél cink koncentrációja közel azonos - átlagosan 19 mg kg⁻¹ - volt

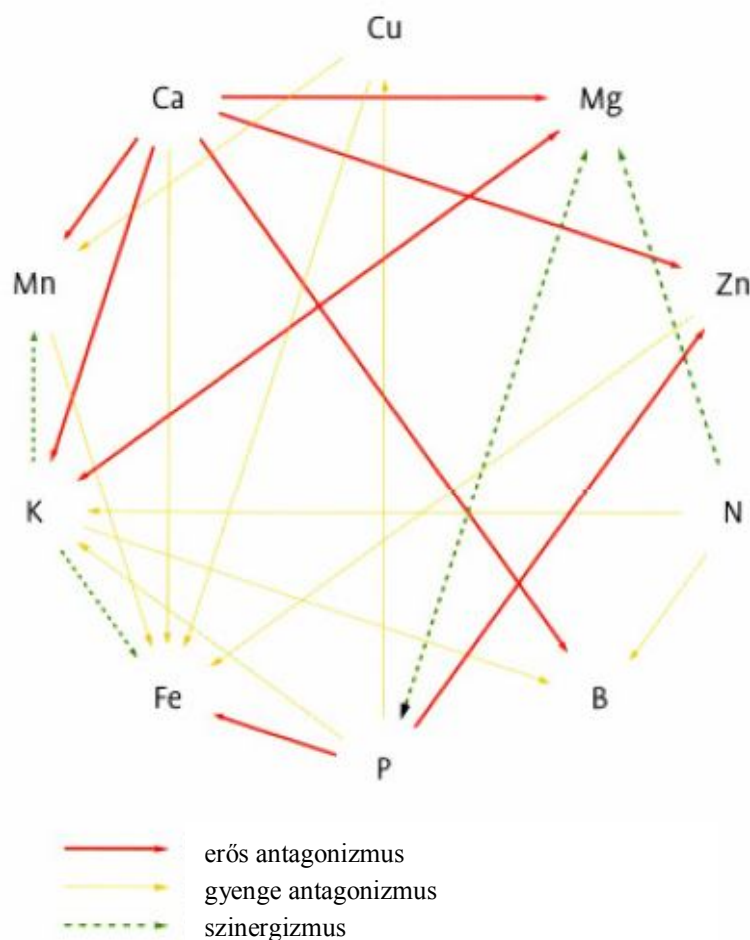
a vizsgált években, és négy évben volt szignifikáns csökkenés a cink koncentrációjában a P-trágyázás hatására a kontrollhoz viszonyítva. A növekvő P-trágyázással járó P-Zn antagonizmus a 160 mg AL-P₂O₅ kg⁻¹ ellátossági szinttől érvényesült. ELEK és KÁDÁR (2003) mészlepedékes csernozjomon őszi búzával beállított szabadföldi NPK-kísérletben végzett vizsgálataik során megállapították, hogy a nagy adagú P trágyázás akár 40%-kal is csökkenheti a növény cink-tartalmát.

Későbbi kutatások is megerősítik a megállapítást miszerint a P túlsúlya gátolja a cink növényi transzportját, mivel a két elem közti antagonizmus a növényben játszódik le, ami faj, valamint fajtaspecifikus (KÁDÁR, 2008). KREMPER et al. (2009) tenyészedény-kísérletben vizsgálták a cinktrágyázás hatását és a kivonószerek megbízhatóságát 15 db, a MÉM-NAK határérték szerinti, vegyes cink-ellátottságú (cinkhiányos és cinkkel jól ellátott), Szabolcs Szatmár Bereg és Hajdú Bihar megyéből származó, különböző fizikai és kémiai tulajdonságú talajokon. A talajmintákat a TIM adatbázis pontjain vették, tesztnövényként angolperjét használták. Eredményeik a cinktrágyázás kedvező hatására, a szárazanyag-tartalom emelkedésére mutattak rá cinkhiányos és viszonylag magas Zn-, és nagy P-tartalmú talajok esetén is. A fentiek alapján bizonyított a túlzott P-trágyázás cinkhiányt indukáló hatása, amely a termés minőségét is befolyásolhatja. IZSÁKI (2006) vizsgálta a P-ellátottság és a kukorica minősége közötti összefüggéseket és eredményei alapján felhívja a figyelmet a termőhelyhez illeszkedő minőségorientált tápanyag utánpótlásra.

3.5.6. A kedvezőtlen Fe/Zn arány hatása a látens cinkhiány kialakulására

A növény mérsékelt cink-felvételéért és növényben történő korlátozott szállításért egyrészt a talaj nagy CaCO₃-tartalma, másrészt a foszfátok és a cink közötti antagonizmus, valamint a cinkhiányos szövetekben kialakult magas Fe-tartalom okolható (6. ábra). LINGLE et al. (1963) a vas felvételére és transzportjára irányuló munkájuk során megállapították, hogy a cink az egyik legerősebb ion, amely akadályozza a Fe felvételét és transzportját a hajtásba. BROWN és TIFFIN (1962 in LINGLE et al., 1963) szerint a cink sók alkalmazása nagy koncentrációban Fe hiányt indukál cinkhiányos talajokon, kukorica esetén. Más kutatók szárazanyagra vetítve 1580 mg kg⁻¹ Fe-t mértek cinkhiányos kukorica leveleiben szántóföldi körülmények között, valamint megállapították, hogy cinkhiány esetén cink alkalmazásával határozottan csökkent a levelek Fe-koncentrációja (JACKSON et al., 1967). 1 mg kg⁻¹ cinket

tartalmazó tápoldaton nevelt növényeknél vizsgálták a tápoldathoz adott nagyobb koncentrációjú FeCl_3 (5 mg kg^{-1}) hatását a kísérleti növények növekedésére. Versengést figyeltek meg a kötőhelyeknél a Zn^{2+} és a Fe^{3+} között. A cink zavarta a vas felvételét, míg a vas nem zavarta a cink felvételét (LEE et al., 1969).



6. ábra: Tápelemek közötti kölcsönhatások (KALOCSAI et al., 2006).

WARNOCK (1970 in TURÁN, 2003) kísérleteiben összefüggést tapasztalt a Fe-, Zn- és Mn-tartalom változásában. A meszes, cinkhiányos talajon nevelt kukorica leveleinek vas koncentrációja 573 mg kg^{-1} volt szárazanyagra vetítve, de amikor a növény megfelelően volt cinkkel ellátva, csak 80 mg kg^{-1} szárazanyag volt a vas koncentrációja, tehát a cinkhiányos növényekben a vas koncentrációja hétszeresére emelkedett, míg a mangán megkétszereződött. A Fe, Zn és Mn közötti antagonizmus következtében a megemelkedett Fe-koncentráció a cinkhiányos szövetek zavarát idézte elő. Más kísérleteknél megállapították, hogy a cinkhiányos levelekben a mangán koncentrációjában nem volt olyan dramatikus változás, mint a vas koncentrációjában.

Tápoldatos kísérletben a cinkhiány befolyásolta a vas felvételét és transzlokációját, így a cinkhiányos növényekben nagyobb a hajtás Fe koncentrációja (WALTER et al., 1994; RENGEL et al., 1988 in CAKMAK, 2000).

GANGWAR és MANN (1972) megállapította, hogy a túl magas Fe-tartalom cinkhiányt generál a rizsben. NAMBIAR és MOTIRAMANI (1981) szerint a Fe/Zn arányának meghatározása a kukorica szöveteiben, ígéretes diagnosztikai eszköz a cinkhiány megjósolására a mezőgazdasági növényekben. RAHIMI és BUSSLER (1979 in CAKMAK, 2000) tápoldatos kísérletben vizsgálták a vas túlzott akkumulációjának hatását cinkhiányos levelekben, kilenc különböző növénynél. A vas koncentrációja a növényben 180-800 mg kg⁻¹ szárazanyag között mozgott cinkhiány esetén és 75-300 mg kg⁻¹ szárazanyag volt cinkkel jól ellátott növény esetén. Egy másik tápoldatos kísérletben mérték a cinkhiányos búza hajtásának vas koncentrációját összehasonlítva a cinkkel jól ellátottal. Átlagosan kétszer nagyobb volt a hajtás vas koncentrációja kezdődő cinkhiánynál és négyszer nagyobb komoly cinkhiány esetén (CAKMAK et al., 1996).

Bizonyították, hogy a növekvő vas akkumuláció a növényekben (ahogyan cinkhiány esetén is) különböző stressz-faktorok esetén jelentkezik, ilyen a gyökér anoxia, az aszály és a magas fényintenzitás is (PRICE és HENDRY, 1991; HENDRY, 1993 in CAKMAK, 2000). Ezen stressz feltételek esetén a vas akkumulációja összekapcsolódik a lipidek növekvő peroxidációjával és klorofillok károsodásával. Elárasztott körülmények között nevelt növényekben nagy mennyiségű vas akkumulálódik. Az elárasztott növények Fe²⁺ oxidációja vezet szuperoxid gyökök termelődéséhez, amelyet a magas vízállás okozta károsodás elő idéz a növényben (CAKMAK, 2000). A Fe akkumulációja a cinkhiányos növényekben különösen kifejezett magas fényintenzitás alatt. A fény intenzitását 80 μmol m⁻² s⁻¹-ről 500-ra emelve a tápoldaton nevelt cinkkel jól ellátott bab növényben a vas koncentrációja 204-ről 242 mg kg⁻¹ szárazanyagra emelkedett és 269-ről 1203 mg kg⁻¹ szárazanyagra cinkhiány esetén (CAKMAK et al., 1988).

MARSCHNER (1995) szerint, ha a talajban alacsony a rendelkezésre álló vas mennyisége, az alkalmazott cink gátolja a vas felvételét. A cinkhiányos növényben növekszik a vas koncentrációja, így a vas nagy mennyiségben akkumulálódik a gyökérben és a hajtásban. A növényi szövetekben ilyen módon akkumulálódott magas Fe-tartalom tehető felelőssé a toxikus szabadgyökök hirtelen termeléséért és a sejtek széleskörű károsodásáért (CAKMAK, 2000).

A cink tetraéderes kötéseket képes létrehozni a különböző sejtalkotókban. A cink legfőbb sejt ligandumai a cisztein, hisztidin és aszpartát vagy glutamát, amelyek tetraéderes szerkezetűek. Ezek a ligandumok, különösképpen a cisztein és a hisztidin, nagyobb affinitással kötődnek a cinkhez, mint a vashoz. Tehát a legtöbb esetben a vas és a cink verseng a kötőhelyekért a fehérjéken és a foszfolipideken. Így a szabadgyök képződés, a vas és cisztein közötti reakciók gátoltak, ha megfelelő cink van jelen a közegben. A vas képes stimulálni a szabadgyök reakciókat azáltal, hogy kötődik a sejtalkotókhoz, így a fehérjékhez, foszfolipidekhez és a DNS-hez. GIROTTI (1985 in CAKMAK, 2000) szerint a cink képes versenyezni a vassal a kötőhelyekért a membránon, ami magyarázza a növekvő lipid peroxidációt, cinkhiány esetén. A membránlipidek negatív töltéshelyekkel rendelkeznek, amelyek vas kötőhelyek. A vassal történő versengés vagy másik redox-aktív fém (pl.: Cu^{2+} leköti a membránproteinek SH csoportját, a cink gátolja a fémek által indukált szuperoxid gyökök képződését és az ezzel összefüggő membránkárosodást. A megfelelő mennyiségű ZnSO_4 hatására, a Zn^{2+} ionok kötődnek a ciszteinhez, ezzel blokkolva a Fe kötődését a ciszteinhez és így a ROS keletkezését a Fe-cisztein komplex redox ciklusa alatt. BERG és SHI (1996 in CAKMAK, 2000) szerint magas vas és alacsony cink koncentráció mellett, a cink kötődik a kulcs fehérjékhez, de ezeket a Fe^{2+} lecseréli és H_2O_2 mellett jelentős mennyiségű OH^- keletkezik, amely a DNS károsodását idézi elő.

TURÁN (2003) megállapítja, hogy a Fe/Zn arány tekintetében a növényben végbemenő folyamatok megítélése eltérő. Egyesek a talaj nagy CaCO_3 -tartalmát teszik felelőssé a mérsékelt cink felvételért és növényben történő szállításért, mások a cinkhiányos szövetekben kialakult magas Fe-tartalomban látják az élettani zavarok okát.

ZARE et al. (2009) üvegházi kísérletben, 12 talajjal és 2 féle ZnSO_4 műtrágya adaggal (0 és 15 mg Zn kg^{-1}) vizsgálták a talaj DTPA és EDTA kivonható kritikus cink szintjét és a szövetek Fe/Zn arányát kukoricában. A kritikus hiány szint megállapítása a Cate-Nelson féle módszeren alapult, amellyel $1,50$ és $1,17 \text{ mg kg}^{-1}$ közötti DTPA és EDTA oldható cink mennyiséget állapítottak meg a talajokban. Megállapították, hogy nem lehet megbízható kritikus hiány szintet megállapítani a hajtás cink koncentrációjából. A hajtások cink koncentrációjának kritikus hiány szintjét a szövetek Fe/Zn arányával állapították meg, ami a kukorica hajtásában $3,9$ volt. Kijelentették, hogy amennyiben ez az arány $3,9$ -nél nagyobb, úgy az adott Fe mennyisége látens cinkhiányt indukál.

3.5.7. Zn kivonási módszerek

MONÁROS és GRÁ CZOL (2000) a TIM rendszer adatai alapján vett 289 db talajminta összes és felvehető Zn-tartalmát vizsgálta KCl-EDTA, LE és TS feltárással. Átlagosan a következő Zn-tartalmat és arányokat mérték kivonószereknél:

LE:	4,12 mg kg ⁻¹	1
KCl-EDTA:	2,41 mg kg ⁻¹	0,58
TS:	25,74 mg kg ⁻¹	6,24

Megállapították, hogy a kivonószerek viselkedése a talajtulajdonságok függvényében és elemenként jelentős különbséget mutat. A LE és KCl-EDTA által kivont mennyiség aránya a talaj-tulajdonságokon belül is változik.

KREMPER et al. (2008) 215 db magyarországi talaj, különböző kivonószerekkel való vizsgálata során megalapították, hogy a különböző kivonószerek: LE, KCl-EDTA, DTPA között korreláció van, így az általuk kioldott cink mennyisége hasonló. A kioldott cink mennyiségek nem mutattak összefüggést a talajféleséggel. Az agyag és agyagos talajon hasonló cink mennyiséget mértek. Megállapították, hogy az agyag talajok mikroelem tartalma nagyobb, melynek oka, hogy a mikroelemek egy része nagyon erősen kötődik a talaj agyagtartalmához, amit nem tud lecserélni az adott oldószer. A homokos talajok mikroelem tartalma alacsonyabb, ugyanakkor ezek a formák a kivonószerekkel jól oldhatók.

KREMPER et al. (2008) átváltási faktorokat kalkuláltak a KCl-EDTA, a LE és a DTPA között. A kalkulációikat az egész mintára és a csoportosított mintára is elvégezték. A talajokat textúra és karbonát-tartalom szerint csoportosították. Az átváltási faktorok nagyon hasonlóak voltak a csoportosított minták esetén, ezért a következő egyedi értékeket állapították meg:

$$1 \text{ mg KCl-EDTA kivonható Zn kg talaj}^{-1} = 0,51 \text{ mg CaCl}_2\text{-DTPA Zn kg talaj}^{-1}$$

$$1 \text{ mg KCl-EDTA kivonható Zn kg talaj}^{-1} = 1,28 \text{ mg LE Zn kg talaj}^{-1}$$

3.6. A PGPB (PLANT GROWTH PROMOTING BACTERIA) JELENTŐSÉGE, MINT BIOTRÁGYA

A talaj termékenységét nagymértékben meghatározza a talaj biológiai aktivitása. A talajban lévő élő mikroorganizmusok élettevékenységük révén hozzájárulnak a talaj kémiai, biológiai és fizikai tulajdonságainak alakításához, optimális feltételeket teremtve a termesztett növények számára.

A mikroorganizmusok aktív tevékenységének (ásványi anyagok átalakítása, humuszképződésben betöltött szerepük) köszönhetően megnövekszik a talaj csapadékvíz megtartó képessége és kedvező víz-levegő arány alakul ki. Mindemellett fontos megemlíteni azt is, hogy a talaj mikroorganizmusainak légzése növeli a növényállományban a CO₂ koncentrációját, így hatékonyabb a fotoszintézis, ami termésmenvelő hatású. Továbbá a hasznos baktériumok a talaj szerves anyagainak bontásával jelentősen hozzájárulnak a talómaradványok gyorsabb lebontásához, így a növények számára hozzáférhető tápanyagok mennyiségének növeléséhez.

A PGPB kifejezés azon talajbaktériumok széles választékát összegzi, amelyek kapcsolata a gazdanövénygel kölcsönösen előnyös kapcsolat (WU et al., 2005). A PGPB csoportba tartozó jelentősebb baktériumtörzsek a következők: *Azospirillum*, *Azotobacter*, *Bacillus*, *Pseudomonas* és a *Serratia* (BASHAN et al., 2004). A PGPR csoportba a rhizoszférában élő, hasznos baktériumok tartoznak, amelyek és bizonyítottan a növények patogénekkal szembeni természetes védelmében játszanak fontos szerepet (**2. sz. melléklet**).

A PGPB és PGPR csoporthoz tartozó baktériumok nem különíthetők el egymástól. Az utóbbi évtizedekben több ezer publikáció született a PGPB csoport vizsgálatával kapcsolatban és folyamatosan határoznak meg új baktériumtörzseket, amelyek nem tartoznak a PGPB csoportba (BASHAN és HOLGUIN, 1998).

A PGPB és PGPR csoportba tartozó hasznos baktériumok a szakirodalom szerint a következő tulajdonságokkal jellemezhetők: stimulálják a növény fejlődését (pl. fitohormonokon keresztül), javítják a növény tápanyagellátását (a biológiai N₂ fixáláson keresztül), a nehezen oldódó tápanyagok (P, K, NH⁴⁺, Fe, Mn, Zn) kémiai mobilizációján át, valamint közvetett úton tápanyagok hozzáférhetőségét javítják a gyökerek morfológiai differenciálódásán vagy a mikorrhizáltságon keresztül. A mikroorganizmusok képesek elősegíteni a tápelemek felvételét, azáltal, hogy anyagcseréjük során képesek szerves savakat kiválasztani, így csökkentik a közeg pH-ját, ezzel járulnak hozzá számos tápanyag oldódásához és így felvételéhez is. A PGPR csoportba tartozó baktériumok extracelluláris sziderofor kiválasztása révén képesek elősegíteni a vas-komplexek képzését és felvételét (KLOPPER et al., 1980).

Képesek javítani a növény egészségi állapotát, a biotikus és az abiotikus stressz faktorokkal szemben, rezisztencia kialakításával, valamint patogén szervezetekkel

szembeni antagonizmusuk révén (KLOPPER et al., 1980; BLOEMBERG és LUGTENBERG, 2001; VESSEY, 2003).

A mezőgazdaságban aktuálisan jelentkező problémák, mint például az egyoldalú műtrágyázás, a helytelen talajművelés, ill. a szerves trágyázás csökkenése miatt a talaj elsavanyodik, levegőtlené válik, amely a talaj hasznos mikroszervezetekben való elszegényedését, ill. pusztulását vonja maga után. Ezen problémák okot adhatnak a napjainkban egyre inkább előtérbe kerülő biotrágyák tesztelésére és felhasználására. Így a baktérium alapú biotrágyákkal közvetett vagy közvetlen, ugyanakkor természetes módon fokozható a növények tápanyagfelvétele. Egyre inkább elterjedt olyan specifikus baktériumtörzsek használata a növénytermesztésben, mint a *Pseudomonas*, az *Azotobacter* és a *Bacillus*, amelyekkel javítható a növények tápanyagellátása, elősegíthető a növények növekedése és növelhető a termés mennyisége. A *Pseudomonas*-ok a rhizoszférában való kolonizációjuk révén elősegítik a növények tápanyagfelvételét. KLOPPER et al. (1980) szántóföldi kísérletben 144%-kal több termést értek el *Pseudomonas*-ok használatával, burgonya, cukorrépa és retek növényeknél.

A baktériumtrágyák jelentőségét a különböző magvak csírázására és a csíranövények kezdeti fejlődésére számos kutató vizsgálta. NEZARAT és GHOLAMI (2009), valamint GHOLAMI et al. (2009) biotrágyát alkalmazott, mint mag-kezelést kukorica esetén. Eredményeik szerint a baktériumkezelés szignifikánsan növelte a csírázást és a kukorica növekedési erélyét 18,5%-kal a kezeletlen kontrolhoz képest. OFEK et al. (2011) szerint a növény-mikroorganizmus kölcsönhatás jelentősen befolyásolta a csírázást, illetve a gyökerek hosszanti megnyúlását a csírázás kezdeti stádiumában. SHAUKAT et al. (2006) szerint az *Azospirillum*, *Pseudomonas* és az *Azotobacter* törzsek befolyásolják a csírázást és a csíranövények növekedését. SIQUEIRA et al. (1993) kísérleteikben EM tartalmú biotrágyákat alkalmaztak, mint mag-kezelést. Azt tapasztalták, hogy a biotrágya kezelés szignifikánsan növelte a csírázást és a növekedési erélyt sárgarépa, uborka, borsó, répa és paradicsom növényeknél. KURDISH et al. (2008) vizsgálta az *Azotobacter vinelandii* biotrágya mag-kezelés hatását, miszerint az alkalmazott baktérium stimulálta a magvak csírázását és csíranövények fejlődését is. AKTER et al. (2007) biotrágyával átitatott szűrőpapírban csíráztatott uborka magokat. A biotrágya kezelés 20-25%-kal növelte a csírázást a

kontrollhoz képest. A *Bacillus* törzset tartalmazó biotrágyával kezelt búza termése 30%-kal, míg az *Azotobacter*-rel kezelt búza termése 43%-kal nagyobb volt, mint a kontroll (KLOPPER és BEAUCHAMP, 1992).

3.7. A TIM RENDSZER

Hazánkban a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer 1992 óta üzemel, melynek jogi háttérét az 1994. évi LV. számú törvény biztosítja. 1991-ben egy, az MTA TAKI irányításával működő szakértői bizottság kidolgozta a TIM koncepciót, melynek célja az aktuális talajállapot felmérése és az ország talajkészleteinek minőségében bekövetkező változások regisztrálása és ezen állapotváltozások folyamatos nyomon követése a megfelelő szabályozás érdekében.

A TIM rendszer kiterjed az ország egész területére művelési ágak, tulajdonjog és egyéb szempontok szerinti korlátozások nélkül. Helyismerettel rendelkező talajtani szakemberek 1237 mérési pontot jelöltek ki a kisebb természetföldrajzi egységek reprezentatív területein, ezért azok reálisan jellemzik az ország talajviszonyait (**3. sz. melléklet**).

A TIM pontok három fő csoportba sorolhatók. Az első csoportba tartoznak a mezőgazdasági területen lévő megfigyelési pontok (865 pont), a másodikba az erdészeti mérőpontok 183 ponttal, míg a harmadikba tartoznak azok a speciális mérőhelyek, amelyek a veszélyeztetett, illetve szennyezett területek jellemzését szolgálják, 189 ponton. A vizsgálandó paraméterek egy része, amelyek időben nem, vagy alig változnak, csak az induló évben, 1992-ben kerültek meghatározásra. A paraméterek másik részét évenként, 3 évenként vagy 6 évenként határozzák meg az adott talajtulajdonságok időbeni változékonyságától függően.

A TIM felügyeletét a Földművelésügyi és Vidékfejlesztési Minisztérium Növény- és Talajvédelmi Főosztálya végzi, viszont a szakmai irányítását az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete (MTA TAKI) által koordinált szakértői bizottság látja el. A megyei Növény- és Talajvédelmi Szolgálatok talajtani szakembereinek a feladata az évenkénti mintavétel. A talaj és talajvíz minták laboratóriumi vizsgálata 5 regionális talajvédelmi laboratórium feladata. Fontos megemlíteni, hogy az első évben GPS készülékkel mérték be a rendszerbe bevont talajszelvények helyeit, ezért az

adatbázisban megtalálhatók a korrigált GPS koordináták, valamint az átszámított EOV koordináták is. Amely lehetőség teremt az évenkénti visszanavigálásra (TIM, 1995).

3.8. A SZAKIRODALMI FELDOLGOZÁS ÖSSZEFOGLALÁSA

A szakirodalom szerint a talaj pH jelentősége meghatározó a tápanyagfelvételben azáltal, hogy eltérőek a növényfajok pH igényei, és mert a számos környezeti tényező (levegőzöttség, puffer kapacitás, szervesanyag-tartalom stb.) és emberi beavatkozás (műtrágyázás, meszezés stb.) módosíthatja azt. A közeg optimálistól eltérő (savanyú vagy lúgos) pH-jának kedvezőtlen hatásai csak részben ismertek, illetve nem ismert, hogy a növények növekedését elősegítő PGPB baktériumok képesek-e módosítani a talaj pH-ját, illetve kedvezően befolyásolni a tápanyagfelvételt alkalikus pH esetén.

Az apoplazma vizsgálatok segítségével információkat kapunk az apoplazmában lejátszódó folyamatokról. Az apoplazmatikus nedv kinyeréséhez a kutatók számos módszert dolgoztak ki, így a Scholander bomba mellett az infiltrációs és centrifugás technikát. A kinyert apoplazmatikus nedv pH-jának és a tápelemek koncentrációjának meghatározásával próbálták megállapítani az optimális apoplazmatikus pH-t, amely biztosítja a már felvett, de a sejtbe be nem jutott tápanyagok hasznosulását. Hiányosak az ismeretanyagok a lúgos apoplazmatikus pH és a tápanyagfelvétel, illetve a klorofill tartalom összefüggésének vizsgálatával kapcsolatban, továbbá a tápközeg pH-jának és a tápközegben jelenlévő baktériumok a mezofillum sejtközzötti járatok pH-jára gyakorolt hatásával kapcsolatban.

A különböző növényfajok eltérő érzékenységgel reagálnak a cinkhiányra. A szakirodalom megkülönböztet cinkhiányra érzékeny (kukorica, komló, len, bab), kevésbé érzékeny (spárga, borsó) és érzéketlen (zab, árpa, rozs) fajokat. A szakirodalom leírja, hogy a cinkhiány befolyásolja a fotoszintézist, de nem találni konkrét leírást arról, hogy a különböző növényfajoknál hogyan alakul a fotoszintetikus pigmentek mennyisége és egymáshoz viszonyított aránya cinkhiány esetén. A cinkhiány gátolja a növekedést a triptofán szintézisének gátlásán keresztül, amely a megnyúlásos növekedésért felelős auxin prekursora. Ennek okán érdemes lenne vizsgálni a cinkhiányban alkalmazott auxin adagolás hatását annak kimutatására, hogy melyek azok a fiziológiai paraméterek, amelyek cinkhiányban az auxin szintézise révén gátoltak. A szakirodalom számos eredményt sorakoztat fel a cinkhiány a gabonafélék (kukorica,

búza) termésmennyiségére gyakorolt kedvezőtlen hatásával kapcsolatban, ugyanakkor kevés kutatási eredmény áll rendelkezésre a cinkhiány a kétszikű növényekre, így például az uborkára és a babra irányuló vizsgálatokról és azok összehasonlításáról az eltérő tápanyagfelvétellel rendelkező egyszikű növényekkel (pl.: kukorica).

A túlzott foszfor-tárgyázás, illetve meszezés, így a P-Zn és a Ca-Zn antagonizmus hatásaként kialakult cinkhiány vizsgálata már évtizedek óta kutatott terület. Mindemellett kutatások folynak a cinkhiányos szövetekben kialakult magas Fe-tartalom okának feltárására. Kutatók bizonyították, hogy a cinkhiány befolyásolja a vas felvételét és növényben történő szállítását, ezért a cinkhiányos növényekben nagyobb a hajtás vas koncentrációja, valamint azt, hogy a túlzott Fe-tartalom a növényekben cinkhiányt alakíthat ki. Más kutatók vizsgálták a növényi szövetek Fe/Zn arányát annak érdekében, hogy megállapítsák azt kritikus cink szintet, amely látens cinkhiányt idéz elő. A kritikus cink koncentrációt jelző Fe/Zn arány megállapítása mellett igen fontos lenne megvizsgálni azt, hogy a tápközeg optimálistól eltérő Fe és Zn aránya miként befolyásolja a növények növekedését, a klorofill-tartalom alakulását és az egyéb fiziológiai paramétereket.

A talaj biológiai aktivitása a talaj termékenységét meghatározó egyik leglényegesebb tényező. A baktériumok szerepe igen jelentős a tápanyagok átalakításában, a humuszképződésben. A PGPB baktériumok képesek stimulálni a gazdanövény fejlődését többek között azáltal, hogy elősegítik a növények tápanyagellátását a nehezen oldható tápanyagok mobilizálásán keresztül okot adva a napjainkban egyre inkább terjedő baktérium alapú biotrágyák gyenge cink-ellátottságú talajokon való tesztelésére.

A talaj nagy mésztartalma képes mérsékelni a cink felvételét a talajból és korlátozni a növényben történő szállítását. Habár a savanyú talajok meszezéssel való javítása elengedhetetlen úgy magas szerves anyag tartalmú talajokon kiemelt figyelmet kell fordítani a felvehető tápanyagtartalom változására. Fontos lenne vizsgálni a növekvő mészadagok hatását a növények növekedésére, fiziológiai paramétereik alakulására a látens tápanyaghiány kialakulásának elkerülése érdekében, hiszen az erre vonatkozó információk gyéren állnak rendelkezésre.

4. ANYAG ÉS MÓDSZER

A növények nevelésére a DE AGTC Növénytudományi Intézet, Növényteni és Növényélettani Tanszékének laboratóriumában és klímaszobájában került sor. A növényi minták kémiai analízisét, illetve a talajminták elemtartalmának meghatározását a DE AGTC Agrárműszer Központban, a talajminták talajtani és kémiai analízisét az Agrokémiai és Talajtani Intézetben, illetve az egyéb méréseket a tanszéken végeztem.

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.

4.1. KÍSÉRLETI NÖVÉNYEK ELŐNEVELÉSE

4.1.1. Alkalmazott kísérleti növények

Kísérleteimben kukoricát (*Zea mays L. cv. Reseda SC.*, *Zea mays L. Dekalb DKC 4490*), uborkát (*Cucumis sativum L. cv. Rajnai fűrtös*, *Cucumis sativus L. cv. Delicatess*), illetve babot (*Phaseolus vulgaris L. cv. Debrecei Tarka*) használtam, az egy- és kétszikű növények eltérő tápanyag-felvételi mechanizmusa miatt (MARSCHNER et al., 1986). Azért esett a választásom ezekre a növényekre, mert hazánkban termesztett gabonafélék közül a kukorica az egyik legjelentősebb, amit takarmányként, ipari növényként és közvetlen emberi fogyasztásra is termesztnek. Az Európai Unión belül hazánk az egyik legfontosabb kukoricatermesztők közé tartozik (1,1-1,2 millió ha), valamint kukoricánál a cink hiánya komoly, akár 80 %-os termésvesztést is okozhat. Világszerte az uborka az egyik legjelentősebb konzervipari zöldségféle, amelynek megtermelt uborka mennyisége hazánkban 80 ezer tonna körül mozog. A kétszikűek közül a bab az egyik növényfaj, amely a cinkhiányra legérzékenyebb (VIETS et al., 1954).

4.1.2. A magvak sterilizálása

A kukoricaszemek felületét 25 percig tartó 18%-os H_2O_2 -os kezeléssel sterilizáltam. A H_2O_2 nyomaint többszörös steril desztillált vizes öblítéssel távolítottam el. Az utolsó öblítő folyadék a kukorica esetében a steril $5 \times 10^{-3} \text{M}$ CaSO_4 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.

4.1.3. A tápoldatos növénynevelés körülményei

A 2,5-3,0 cm koleoptillal rendelkező csíranövényeket folyamatosan levegőztetett tápoldatra helyeztem. A nevelés során a fiatal csíranövényeket 2,5 L-es edényben neveltem, amelyekbe kukoricából 10 növény, uborkából 4 növény került (7. ábra). Az uborka nevelésénél a növényeket két lombleveles kortól 1 L-es edényekbe helyeztem, egy edénybe egy növény került, így a gyökerek növekedését pontosan nyomon tudtam követni. Az ismétlések száma kukoricánál 3, uborkánál 4 volt. A tápoldatokat háromnaponta cseréltem és ezzel egy időben mértem a tápoldatok pH-ját.

A kukorica 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 H₃BO₃, 1 μM MnSO₄, 1 μM ZnSO₄, 0,25 μM CuSO₄, 0,01 μM (NH₄)₆Mo₇O₂₄. Az uborka neveléséhez használt tápoldat megegyezett a kukorica neveléséhez használt tápoldattal, azzal a különbséggel, hogy a bór koncentrációja az uborka tápoldatában 10 μM volt.

A tápoldatos kísérletben a kísérleti növények a vasat 10⁻⁴M FeEDTA (komplex) formában kapták, amely vas-forma a leginkább hasznosítható a növények számára.



7. ábra: Tápoldaton nevelt uborka csíranövények (Forrás: Bákonyi, 2007).

4.1.4. 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 NaHCO_3 formában adtam. A tápoldat, illetve az infiltráló folyadék bikarbonát koncentrációja 10 mM-, 20 mM-, 40 mM- és 80 mM -os volt. A tápoldathoz adott legmagasabb, 80 mM-os bikarbonát koncentráció hatására az uborka csíranövények 2 nappal a tápoldatra helyezést követően elhaltak. Vizsgáltam a kezelések hatását a kukorica és az uborka növekedésére, a hajtás és a gyökér hosszára, a levelek számára, a gyökértérfogat alakulására, a szárazanyag-felhalmozásra, a relatív klorofill-tartalomra, a levelek klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoidok tartalmára, a gyökerek szerves sav kiválasztására, valamint a gyökerek morfológiai alakulására.

A abszolút cinkhiány és a NES növényfiziológiai hatásának vizsgálta során a következő kezeléseket alkalmaztam: kontroll, -Zn (abszolút cinkhiányos), -Zn+NES (abszolút cinkhiányos és NES kezelés). Szintetikus auxin kezelést alkalmaztam NES formájában, cseppenként adagolva a hajtáscsúcsra, háromnaponta. Az adagolás helyéül azért a hajtáscsúcsot választottam, mert az auxinok a csúcs mögötti differenciálódási zónában szintetizálódnak. Egyszeri kezelés: 1 csepp NES ($0,03369\text{g}=5,37\times 10^{-1}\text{M}$) hajtáscsúcs⁻¹ növényenként. Vizsgáltam a kezelések hatását a hajtás és a gyökér növekedésére, száraz tömegére, a levelek relatív klorofill-tartalmára és a klorofill-*a*, -*b* és a karotinoidok abszolút mennyiségére, továbbá, valamint a gyökerek morfológiai változására és az internódiumok számára és hosszára. Az internódiumok hossza a cinkhiányban jelentkező rövidszártagúság meghatározását teszi lehetővé. Az internódiumok számát legtöbbször különböző stresszhatások pl.: aszálystressz (PERRY és LARSON, 1974; PEARSON és MANSFIELD, 1994) - de nem a cinkhiány - kapcsán vizsgálták. Ezért az internódiumok számának vizsgálatát is bevontunk a mérendő paraméterek közé, azért hogy megfigyeljük, hogy a cinkhiány befolyásolja-e a kísérleti növények internódiumainak számát.

Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatásának vizsgálatakor 15 különböző Fe és Zn aránypárt állítottam be (**4. táblázat**). A -Fe és a -Zn kezelések esetén a tápoldat nem tartalmazott vasat, illetve cinket. Az egyszeres Fe mennyisége 10^{-4}M FeEDTA dm^{-3} volt, az egyszeres Zn mennyisége pedig $1\text{ }\mu\text{M}$ ZnSO_4 dm^{-3} volt. A kontroll kezelésnél a tápoldat egyszeres Fe és Zn mennyiséget tartalmazott. Vizsgáltam a kezelések hatását a levelek Fe/Zn arányának alakulására, a kísérleti növények hajtásának és gyökerének növekedésére, térfogatára, hosszára, a levelek számára, az internódiumok számára és hosszára, a szárazanyag-produkcióra, a levelek relatív klorofill-tartalmára, a levelek

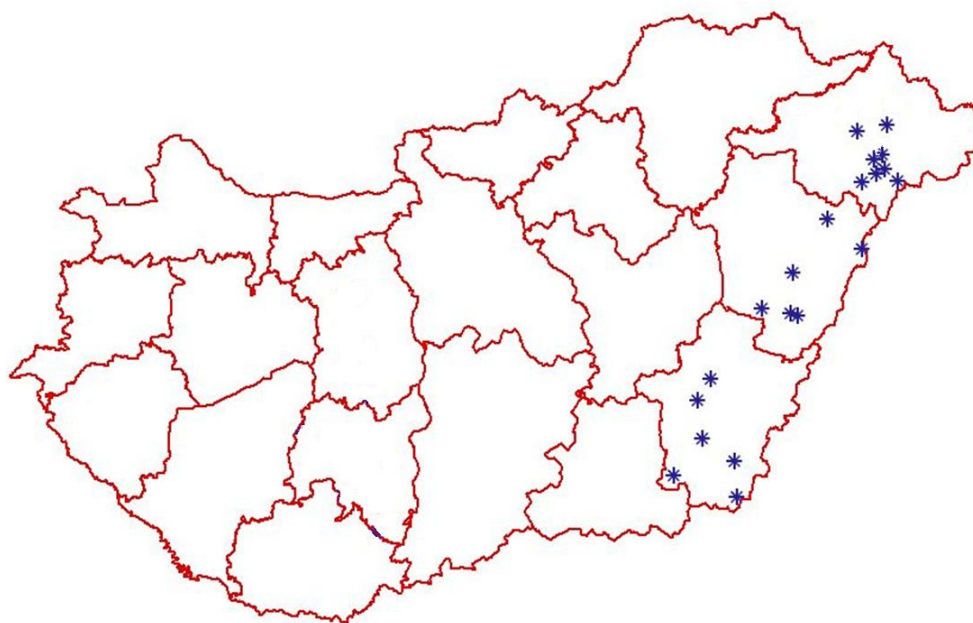
klorofill-*a*, -*b* és karotinoidok tartalmára és azok egymáshoz viszonyított arányára, a gyökerek szerves sav kiválasztására, illetve morfológiai alakulására.

4. táblázat: A Fe/Zn arány hatásának vizsgálatára beállított kezelések.

Sorszám	Kezelések	Sorszám	Kezelések	Sorszám	Kezelések
1	Kontroll	6	1xZn+5xFe	11	5xZn+10xFe
2	-Zn+1xFe	7	1xZn+10xFe	12	10xZn+ -Fe
3	-Zn+5xFe	8	5xZn+ -Fe	13	10xZn+1xFe
4	- Zn+10xFe	9	5xZn+1xFe	14	10xZn+5xFe
5	1xZn+ -Fe	10	5xZn+5xFe	15	10xZn+10xFe

4.1.5. A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott talajok származása

A rhizoboxos kísérletekben használt talajokat három megyéből (Szabolcs-Szatmár-Bereg, Hajdú-Bihar, Békés) gyűjtöttük a TIM rendszer koordinátái és adatai alapján.



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

Előzetesen Szabolcs-Szatmár-Bereg megyéből 7, Hajdú-Bihar és Békés megyékből a 6 leggyengébb cink-ellátottságú mintavételi pontok koordinátáit választottunk ki. A kiválasztott mintavételi pontokat a **8. ábra** és a **4., 5. és 6. sz. mellékletben** található térképek szemléltetik. A vett talajminták vizsgálatát kiegészítettük a DE AGTC

Látóképi Kísérleti Telepéről származó mészlepedékes csernozjom talajjal. A talajmintavételre a Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei talajok esetében: 2010. 05. 24. és 2010. 09. 07-én, a Hajdú-Bihar megyei mintánál 2010. 10. 21 és 22-én, a Békés megyei mintáknál pedig 2010. 06. 01 és 02-én került sor.

4.1.6. A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott talajok talajtani és kémiai paraméterei

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 LE-oldható Zn, Fe és Mn tartalmát (**7. sz. melléklet**).

A fizikai talajféleség tekintetében, illetve az agyag %-ban (13%-49%) a vizsgált talajok változatos képet mutatnak. A talajok vizes, valamint CaCl_2 -os pH-ja között nem volt jelentőse eltérés. A vizsgált talajok közül a Szabolcs-Szatmár-Bereg megyéből származó talajok savanyúak (pH 4,49-5,57), míg a Békés megyéből származók lúgosak (pH 7,92-8,17). A Hajdú-Bihar megyei talajok pH-ja változatos képet mutat (pH 6,21-8,29), hiszen találhatók közöttük gyengén savanyú, gyengén lúgos és lúgos pH-jú talajok is. A vízoldható összes só % meghatározása elsősorban szikes talajokon jelentős, mert a túl sok só a gyenge termékenység egyik oka. A vizsgált talajok kivétel nélkül kis sótartalmúnak voltak, hiszen a sók mennyisége kisebb, mint 0,05% volt.

A vizsgált talajok összes, illetve LE-oldható cink-tartalmát is meghatároztuk. A talajok cink-tartalma a legtöbb esetben gyenge ellátottságot mutat (20 talajból 16), megyénként néhány kivétellel, mivel a vett talajminták jelentős része a gyenge cink-ellátottságú kategóriába sorolható fizikai talajféleség alapján (MÉM NAK, 1979). Továbbá vizsgáltuk a talajok Fe és Mn tartalmát is LE kivonási módszerrel. A Fe (11., 15., 20. talajok) és a Mn (10., 11., 16. talajok) értékek között extrém magas értékek is megfigyelhetők.

Hazánkban a talajok humusztartalma 0,5-6% között van. A humusztartalom meghatározása a talajok szervesanyag-tartalmának jellemzésére szolgál, ezért a talajok hosszú távú nitrogénszolgáltató képességét a humusztartalom alapján határozzuk meg (MÉM NAK, 1979). A vizsgált talajok közül a Szabolcs-Szatmár-Bereg megyei talajok humusztartalma 2% alatt volt, amely jelzi, hogy e talajok kis humusztartalmúak. A

Hajdú-Bihar megyéből származó talajok között található gyenge, közepes és humuszban gazdag talajok is. A Békés megyei talajok humuszban közepesen, vagy jól ellátottak. A nitrogénformák, az összes nitrogén, valamint a szerves N értékei eltérést mutatnak.

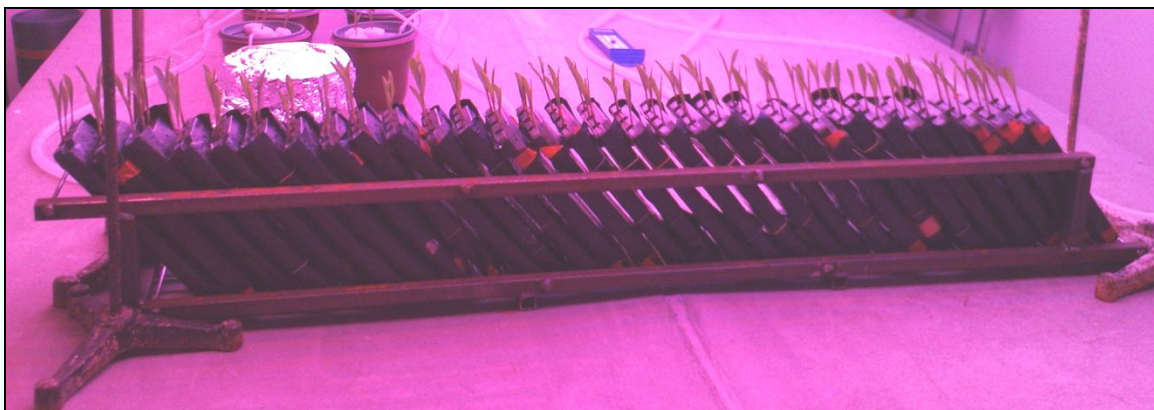
Magyarországon a növények számára hozzáférhető foszfor és kálium tartalom becslésére a 60-as évek óta AL (Ammónium-laktát) módszert alkalmaznak (MÉM NAK, 1979). Az AL-oldható P_2O_5 tartalom többnyire gyenge és közepes ellátottságot mutat. Az AL- oldható K_2O tartalom gyenge, közepes és jó ellátottsági kategóriákban sorolható. A Szabolcs-Szatmár-Bereg megyét kivéve a talajok Mg-val jól ellátottak. A Szabolcs-Szatmár-Bereg megyéből származó homok, homokos vályog talajok főként gyenge, vagy közepes ellátottságot mutatnak.

4.1.7. A rhizoboxban történő növénynevelés körülményei

A magvakat a sterilizálást követően, deszillált vízzel átitatott szűrőpapírban csíráztattam. Egy rhizoboxba három, közel azonos méretű csíranövény került (**9. ábra**). A rhizobox egy téglalap alakú, mérettől függően néhány cm mély, egyik oldalán átlátszó, műanyagból készült növénynevelő doboz, amely lehetővé teszi a rhizoszféra tanulmányozását. Kísérleteimben 1 cm mély, 255 cm³-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 rhizoboxok átlátszó oldalát fekete fóliával borítottam be. A rhizoboxokat 45°-ban megdöntve helyeztem el egy speciális rhizobox tartó keretben (**10. ábra**), 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 (**9. ábra**).



9. ábra: A rhizoboxok előkészítése, súlyellenőrzés (Forrás: Bákonyi, 2011).



10. ábra: A rhizoboxok speciális rhizobox-állványon (Forrás: Bákonyi, 2011).

A kísérletek lezárása, valamint a növényi mintavétel a 20 talajmintával történő biotrágyás kísérletek esetén az ültetést követő 4. napon történt, amikor a növények gyökere elérte a rhizobox alját. A Beremendi mészkészletek hatásának vizsgálatakor a kísérletek lezárása - a növények fejlődését figyelembe véve - kukorica esetén az ültetést követő 10. napon, babnál pedig az ültetést követő 14. napon történt.

4.1.8. A rhizoboxos kísérletekben alkalmazott kezelések

A 19 mintavételi pontról származó, különböző tulajdonságokkal rendelkező, alacsony cink-ellátottságú talajokkal, illetve a DE AGTC Látóképi Kísérleti Telepről származó mészlepedékes csernozjom talajjal rhizoboxos kísérleteket állítottunk be annak tisztázására, hogy a talajokhoz adott élő baktériumok anyagcseréjük révén képesek-e kevezően befolyásolni a talaj felvehető tápanyagkészletét és így a kísérleti növények növekedését (a biotrágya minimális nyomelemtartalmának figyelembevételével).

A talajokat a szántóföldi vízkapacitás 50%-ra nedvesítettük. A nedvesítés során a biotrágya kezeléseknél a desztillált vízhez adagoltunk a biotrágyát. A talajokat két héttel a kísérlet beállítása előtt inkubáltunk az alkalmazott biotrágyával, 1 ml dm⁻³ koncentrációban (**11. ábra**).

A biotrágya kezelés hatását vizsgáltam a kukorica hajtásának és gyökerének növekedésére, a gyökerek növekedésére és hajtás és a gyökér szárazanyag-tartalmának alakulására a már bemutatott gyenge cink-ellátottságú talajokon.



11. ábra: A talajok inkubálása (Forrás: Bákonyi, 2011).

A fenti vizsgálatokat követően a 20 talaj közül kiválasztottam azokat, amelyek magas szervesanyag-tartalommal rendelkeznek, valamint a felvehető cink-tartalmuk nagy. Ezek alapján hét talaj lett kiválasztva, amelyek számozása a következő: 8, 10, 15, 16, 18, 19, 20. Célkitűzésem volt, hogy tisztázzam a növekvő mészs-adagok, így az extrém lúgos pH hatását a rhizoboxban nevelt növények növekedésére feltehetően látens cinkhiányos, cinkkel ellátott, magas szervesanyag-tartalmú talajokon.

A kísérletek során Beremendi meszet használtunk, amely tápelemekben (pl.: K, Na) gazdag (**6. 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.

A kísérletekben kísérleti növényként kukoricát és babot használtam. A mészs-adagok meghatározására elő kísérletet állítottam be. Talajként a 19. számú talajt használtam. Célom volt olyan mészdózisok kikísérletezése, amelyek fél pH-értékkel növelik a talaj pH-ját. Az elő kísérlet eredményeit az **5. táblázat** szemlélteti.

5. táblázat: A mészs-adagok hatása a talaj pH-jára.

Mészs-adag g kg ⁻¹ talaj	H ₂ O pH
0,00	8,0
0,50	8,5
1,00	9,0
1,35	9,5
2,00	10,0
4,15	10,5
7,00	11,0
12,00	11,5

Az elő kísérlet adatai alapján azon mészdózisokat választottuk ki, amelyek 1 pH értékkel növelték a talaj pH-ját. Ennek megfelelően a beállított kezelések a következők voltak: kontroll (pH 8), 1 g kg⁻¹ mész (pH 9), 2 g kg⁻¹ mész (pH 10), 7 g kg⁻¹ mész (pH 11). A ismétlések száma 3 volt. A talajokat - VK_{sz} 50% közeli értékre - nedvesítettem, úgy hogy azok morzsás szerkezetűek legyenek. A különböző koncentrációjú mészadagok hatását vizsgáltam a kísérleti növények hajtásának és gyökerének növekedésére, a hajtás hosszára, az internódiumok hosszára, a relatív klorofill-tartalom alakulására, a hajtás és a gyökér szárazanyag-produkciójára, valamint a gyökérnövekedésre.

4.2. ALKALMAZOTT BIOTRÁGYA

A kísérletekben használt biotrágya a következő biokontroll engedélyszámmal rendelkezik: FM 9961/1992. Az alkalmazott biotrágyát Magyarországon több mint 100 ezer ha-on alkalmazzák. A készítmény egy viszkózus folyadék, amely élő mikroorganizmusokat tartalmaz. A két baktériumtörzs, amelyet a biotrágya tartalmaz a következők: *Bacillus megaterium* var. *phosphaticum* (1-2×10⁸ db cm⁻³) és *Azotobacter chroococcum* (1-2×10⁹ db cm⁻³). A biotrágya alkalmazott koncentrációja 1 ml dm⁻³ volt. A biotrágya nyomelemtartalma 1 dm⁻³-ben: 5 g B(OH)₃, 5 g (NH₄)MoO₄, 0,5 g KI, 0,5 g NaBr, 0,2g ZnSO₄, 0,3 g Al₂(SO₄)₃.

4.3. ALKALMAZOTT MÉSZ

Az alkalmazott mész a Carmeuse Hungaria Kft. Beremendi gyárából származik. Minőségét tekintve melléktermék, ugyanakkor kiválóan alkalmas a talajok pH-értékének emelésére. Az alkalmazott mész elemtartalmát a **6. táblázat** szemlélteti.

6. 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

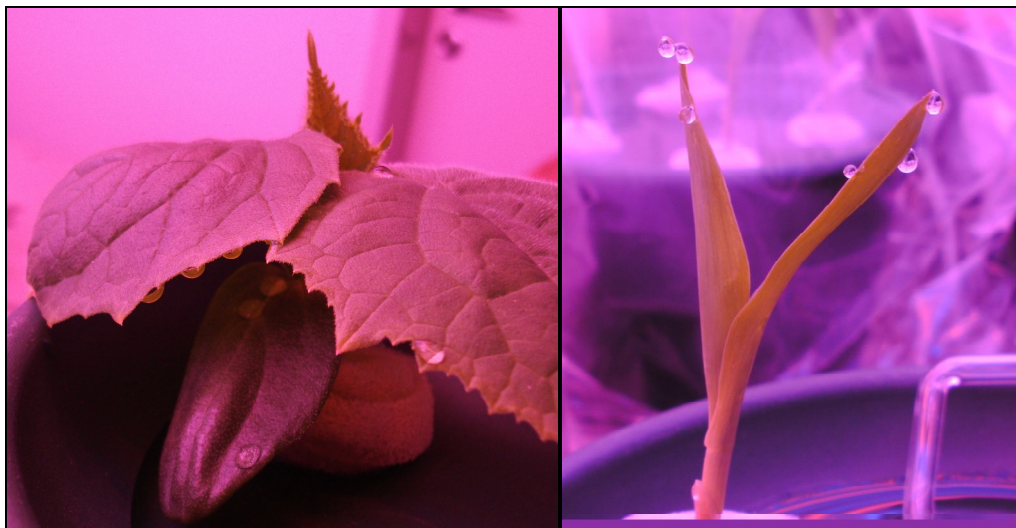
4.4. MÉRÉSI MÓDSZEREK

4.4.1. A tápoldat és az apoplaszt oldat pH-jának mérése

A tápoldat pH-jának méréséhez OPTIMA 200A (USA) készüléket, az apoplazmatikus pH méréséhez az előző készülékhez csatlakoztatott Orion Micro Combination 12 cm-es pH elektródot használtam. A növényeket (**12. ábra**) magas páratartalmú térbe helyeztem, majd a guttációs cseppek megjelenése után (**13. ábra**), mértem azok pH-ját (**14. ábra**).



12. ábra: A kísérleti növények magas páratartalmú térben (Forrás: Bákonyi, N., 2010).



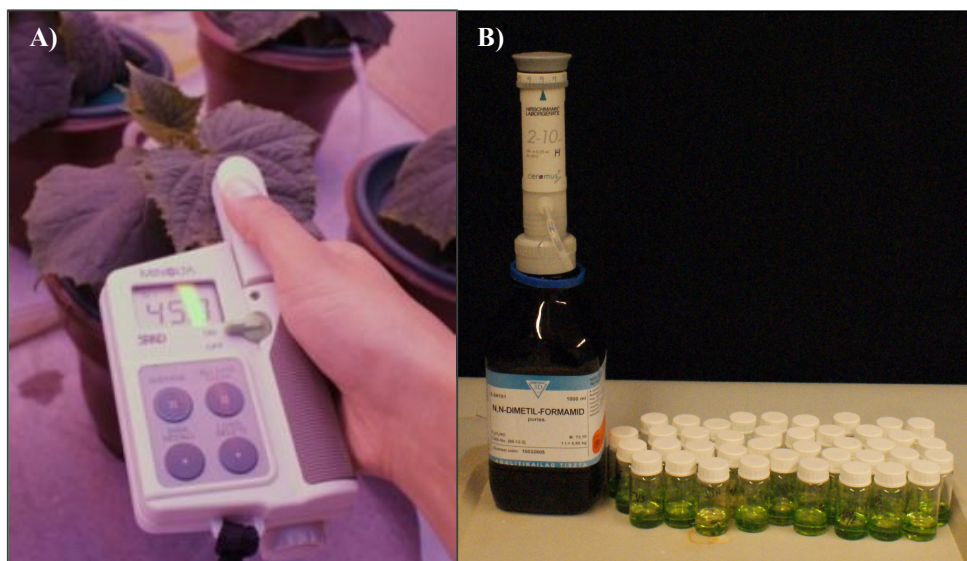
13. ábra: Guttáló uborka és kukorica csíranövények (Forrás: Bákonyi, 2010).



14. ábra: Az apoplazmatikus pH mérése Orion Micro Combination 12 cm-es pH elektróddal (Forrás: Csákyiné, F. E., 2010).

4.4.2. Az abszolút és relatív klorofill-tartalom meghatározása

Mértem a növények leveleinek relatív klorofill tartalmát, eltérő fejlettségű (1., 2. és 3.), de már teljesen kifejlett levelekben (**15. ábra**). Levelenként 5 mérést átlagoltam. Méréseimben SPAD-egységek (unitok) szerepelnek. SPAD 502 Minolta (Osaka, Japán) készüléket használtam.



15. ábra: Az uborka levél relatív klorofill-tartalmának meghatározása (A), valamint uborka levélkorongok DMF-os oldatban az abszolút klorofill-tartalom meghatározáshoz (B) (Forrás: Bákonyi, 2009).

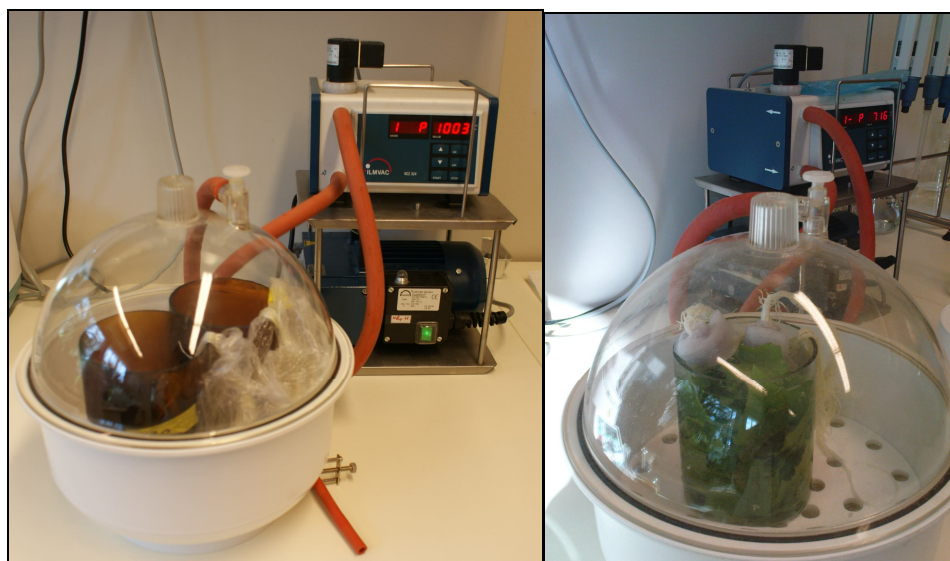
Az abszolút klorofill-tartalom meghatározása MORAN és PORATH (1980), VIDICIAN és CACHITA-COSMA (2010) módszerével történt. A mintákat a növény fejlettségétől függően a második és harmadik levélből vettem. 0,5 g levélkoronghoz 5 ml N,N-dimetil-formamidot (DMF) adtam (**15. ábra**). Ebben az oldószerben 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, a következő hullámhosszokon: 664 nm, 647 nm, 480 nm.

4.4.3. 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.

4.4.4. Infiltrálás

Az infiltrálás során 400-405 mbar vákuumot létesítettünk a növényt is tartalmazó zárt térben (**16. ábra**). 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 (**17. ábra**). Ezt az eljárást a hatékonyabb infiltráció érdekében többször megismételtem.



16. ábra: A kukorica- és uborkahajtások infiltrálása (Forrás: Bákonyi, 2009).

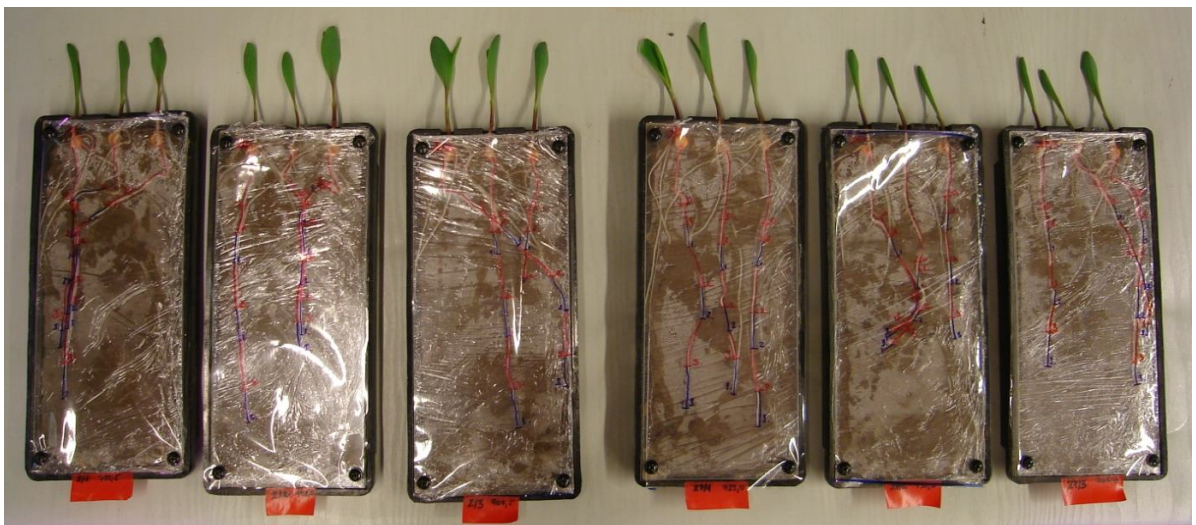
Az infiltráló folyadék a kontroll esetében desztillált víz volt. A kukorica hajtásoknál alkalmazott infiltráló folyadékok bikarbonát koncentrációja 10-, 20-, 40-, illetve 80 mM-os NaHCO_3 -volt. Az uborkánál - a tápoldatos kezelésekhez hasonlóan - a 40mM-os NaHCO_3 volt legnagyobb koncentráció.



17. ábra: Az infiltrált uborka hajtása. A sötét részek jelzik az infiltráló folyadékot a mezofillumiban (Forrás: Bákonyi, 2009).

4.4.5. A gyökérnövekedés meghatározása

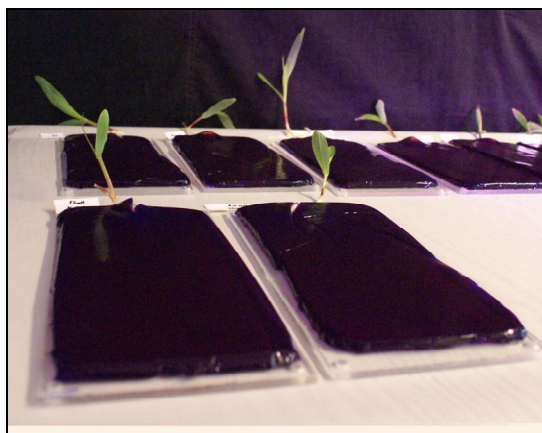
A rhizobox-kísérletek során mértem a reggeli és az éjszakai gyökérnövekedését, annak megfelelően, hogy a klímaszobában mikor váltják egymást a napszakok, ennek megfelelően reggel 6 és este 10 órakor. A gyökerek napszaki növekedését rajzolásos módszerrel követtem (**18. ábra**), majd vonalzó segítségével mértem.



18. ábra: A gyökérnövekedés nyomonkövetése rajzolásos módszerrel (Forrás: Bákonyi, 2011).

4.4.6. Agar-agar és brómkrezolbíbor festék készítése

Speciális brómkrezol-bíbor indikátort tartalmazó agar-agar táptalajt készítettem a kísérleti növények által kiválasztott gyökérsav mennyiségi kimutatásához (19. ábra).



19. ábra: A kukorica gyökerek szerves sav kiválasztásának vizsgálata 0,5 cm vastag brómkrezol-bíboros agarlap segítségével (Forrás: Bákonyi, 2011).

Az agaros táptalaj 100 ml-enként 1,25 g agar-agart tartalmazott. Az indikátor oldat 1,25% brómkrezol-bíbor (BCP-5',5''-dibromo-o-krezoszulfoftalein) volt, melynek pH-ját 1 N-os NaOH-val és 1 N-os H₂SO₄-val pH 6,0-ra állítottam be.

Az elkészített agaros táptalajhoz 3 ml bróm krezol bíbor indikátort kevertem, amelynek pH-ját 6,0-ra állítottam be. Így a táptalaj színe bordó volt. A gyökerek által történő savkiválasztás mértékének megfelelően történt a táptalaj színváltozása. Az indikátoros agarlapokat 24 óra elteltével távolítottam el a gyökerekről.

4.4.7. A növényi minták szárazanyag-tartalmának meghatározása

A szárazanyag-tartalom meghatározása termogravimetriás módszerrel történt. A vizsgálatokhoz eltávolítottam a növény koleoptil maradékát, majd külön vettem a hajtást és a gyökeret. A gyökerek felületéről a tápoldatból kötött ionokat 0,1 n-os sósavval, a sósav maradékokat desztillált vizes öblítéssel távolítottam el. A mintavételt követően a növényi mintákat előmelegített 85 °C-os MEMMERT UIM 400 szárítószekrénybe helyeztem (20. ábra), majd 2 nap alatt tömegállandóságig szárítottam. A szobahőmérsékletre való visszahűlést követően Ohaus (Svájc) típusú analitikai mérleggel mértem azok száraztömegét.



20. ábra: Tömegállandóságig szárított növényi minták a szárítószekrényben (Forrás: Bákonyi, 2009).

4.4.8. A növényi minták elemtartalmának meghatározása

A növényminták összelem-tartalmának meghatározásához $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ nedves roncsolási módszert alkalmaztunk (KOVÁCS et al., 1996, 2000).

Az elemtartalom meghatározáshoz a hajtás és a gyökérzet egészét használtam. A növényi minták előkészítése az elemtartalom meghatározáshoz az alábbiak szerint történt: a megfelelően előkészített 1 g növényi mintához az előroncsolás során 10 cm^3 HNO_3 -at adtam, amit 30 percig $60\text{ }^\circ\text{C}$ -on tartottam a Labor MIM OE 718/A típusú elektromos blokkroncsoló alumínium fűtőegységében. A minták lehűlése után 10 cm^3 H_2O_2 -val egészítettem ki a mintákat, a roncsolást további 90 percig $120\text{ }^\circ\text{C}$ -on végeztem.

A roncsolt mintákat, a lehűlésük után a roncsolócsövekben $0,05\text{ }\mu\text{S}$ vezetőképességű, ioncserélt vízzel 50 cm^3 -re egészítettem ki, majd MN 640 W szűrőpapírral szűrtem. Az analitikai meghatározáshoz Perkin Elmer gyártmányú, OPTIMA 3300 DV típusú ICP-OES berendezést használtunk.

4.4.9. A talajminták elemtartalmának meghatározása

A talajminták összelem-tartalmának meghatározásához $\text{HNO}_3\text{-H}_2\text{O}_2$ nedves roncsolási módszert alkalmaztunk (KOVÁCS et al., 1996, 2000).

A megfelelően előkészített (szárítás, darálás) talajmintákból 1 g-ot mértem be, amelyet az előroncsolás során 5 cm^3 HNO_3 -val, $60\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten 30 percig roncsoltam a Labor MIM OE 718/A típusú elektromos blokkroncsoló alumínium fűtőegységében. Ezt

követően a főroncsolás során 5 cm^3 30%-os H_2O_2 hozzáadásával, 270 percig $120\text{ }^\circ\text{C}$ hőmérsékleten roncsoltam. A roncsolmány lehűlése után a roncsolócsövekben $0,05\text{ }\mu\text{S}$ vezetőképességű, ioncserélt vízzel, 50 cm^3 -re töltöttem fel a kémcsöveket, majd Filtrak 388 szűrőpapírral szűrtem a mintákat. Ezt követően Perkin Elmer gyártmányú, OPTIMA 3300 DV típusú ICP-OES készülékkel mértük a minták elemtartalmát.

4.4.10. A talajminták fizikai talajféleségének meghatározása

A talajminták fizikai talajféleségét az Arany féle kötöttségi szám (K_A) alapján határoztuk meg a következőképpen: 50 g légszáraz talajhoz - dörzsmozsárban - 50 cm^3 -es bürettából desztillált vizet adagoltunk addig, míg el nem értük a talajok képlékenységeinek felső fokát (fonalpróba).

4.4.11. A talajminták só%-nak meghatározása

A só% meghatározása elektromos vezetőképesség alapján történt, amelyet $25\text{ }^\circ\text{C}$ -on, Orion Model 105 készülékkel mértem.

4.4.12. A talajminták vizes és CaCl_2 -os pH-jának meghatározása

A vizes kivonatot a talaj és a víz 1:5 arányú keverékéből készítettem. 30 g légszáraz talajhoz 1500 cm^3 desztillált vizet adtam. Az oldáshoz 250 cm^3 -s rázólabort használtam, amelyet sík rázógépen $1,5$ órán keresztül rázattam. A szuszpenziót redős szűrőpapíron szűrtem. Az oldatok pH-ját felkavarva mértem.

A CaCl_2 -os pH meghatározásához a vizsgálandó mintákból 5 g -ot mértem be táramérlegen, pH-mérő csőbe, majd $12,5\text{ cm}^3$ 1 M CaCl_2 -oldattal jól összeráztam. A talaj szuszpenziót 12 órán át állni hagytam, majd Ebro PHT 3140 pH-mérővel mértem.

4.4.13. A N-formák meghatározása CaCl_2 -os talajextrakciós eljárással

A talajmintákat szárítás, darálás és szitálás ($<2\text{ mm}$) után HOUBA et al. (1990) módszere szerint $0,01\text{ M dm}^{-3}$ CaCl_2 -os kivonószerrel, a 1:10 talaj-kivonószer aránynak megfelelően 5 g száraz talajmintát 50 cm^3 kivonószerrel 2 órán át körforgó rázógéppel ráztuk. Az extraktumok N-formáit (nitrát, ammónia és szerves N) a CONTIFLOW ANALYSIS (CFA-Continuous Flow Analyzer, Scalar SANPLUSYSTEM) Scalar SAN-PLUS SYSTEM folyamatos elemző készülékkel mértük. Vizsgált N-formák: a N_{total} frakció tartalmaz szervetlen ($\text{NO}_3 - \text{N} + \text{NH}_4 - \text{N}$) és könnyen oldódó,

oxidálható szerves nitrogént (N_{org}). A szerves nitrogén (N_{org}) az összes nitrogén (N_{total}) és a szervesetlen N-formák ($NO_3 - N + NH_4 - N$) különbségéből volt kalkulálva.

4.4.14. A mikroelem-tartalom (Zn, Fe, Mn) meghatározása Lakanen Erviő kivonószerrel

A talajok mikroelem-tartalmának (Zn, Fe, Mn) meghatározásakor LE (ecetsavas pH 4,63) kivonási módszert alkalmaztuk. A légszáraz talajból 5 g-t mértünk be, amelyet 20 °C-on, 50 ml LE kivonószerrel 1 órán át rázattunk, majd szűrtük MUNKTEL (80 g m², 110 mm) szűrőpapírral, majd mértünk a szűrletek mikroelem-tartalmát.

4.4.15. A P, K, Ca és Mg meghatározása AL-kivonószerrel

A talajmintákból szárítás, darálás és szitálás után 5 g-ot mértünk be, majd 100 ml AL-kivonószerrel két órán át rázattuk. Rázás után a talajmintákat Filtrak 132 típusú szűrőpapírral szűrtük. A foszfor meghatározásakor 5 ml szűrlethez 7 ml kénsavas ammónium-molibdenátot és 0,5 ml 1 t%-os aszkorbinsavat tartalmazó ón klorid oldatot adtunk. 30 perces pihentetés után fotometriásan, 730 nm-en METEREK SP-850 Spektrofotométerrel mértük. A kálium meghatározásakor 5 ml szűrlethez 0,5 ml 10 t%-os oxálsavat adtunk és az így elkészített mintákat a következő napon, 740 nm-en Láng Emissziós Fotometriás módszerrel (FES), Unicam SP-90B műszerrel mértük. A kalcium és a magnézium meghatározás során 0,2 ml szűrlethez 9,8 ml 1 g dm³ SrCl₂-t adtunk és SpectrAA 20 Plus típusú Atom Abszorpciós Spektrofotométerrel mértük.

4.4.16. A kísérleti eredmények statisztikai kiértékelése

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

5. EREDMÉNYEK ÉS ÉRTÉKELÉSÜK

5.1. A TÁPOLDATHOZ ADOTT BIKARBONÁT ÉS EGY BIOTRÁGYA HATÁSÁNAK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

5.1.1. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a tápoldat pH-jára

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 bikarbonát és az alkalmazott biotrágya kezelések hatását a tápoldat pH-jára a **7. táblázat** szemlélteti.

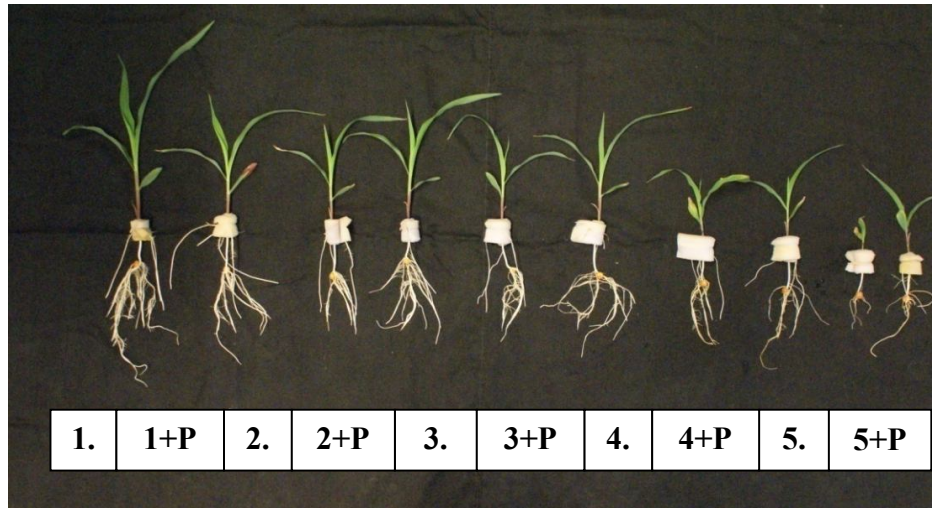
7. táblázat: A kezelések hatása a tápoldat pH-jára tápoldaton nevelt 2 és 8 napos kukorica esetén ($n=3\pm s.e.$). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. Szignifikáns eltérés a friss tápoldat pH-hoz képest: ^a $p < 0.05$, ^b $p < 0.01$, ^c $p < 0.001$.

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

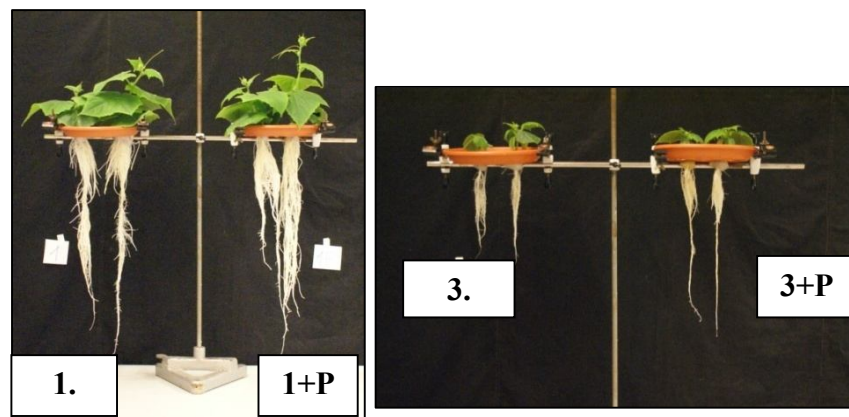
A bikarbonát a tápközeg pH-ját lúgosította, amely hatás koncentrációfüggő, mivel a bikarbonát koncentrációjának emelésével - 7%-72%-kal - növekedett a tápoldat pH-ja. A magas pH ($pH < 8$) csökkenti a legfontosabb makro- és mikroelemek oldódását, amely csökkentheti a növekedést és számos metabolikus folyamatot (TERBE, 2009). A biotrágya 1%-11%-kal mérsékelte a bikarbonát lúgosító hatását a friss és lecserélt tápoldatoknál egyaránt. A mikroorganizmusok által kiválasztott szerves savak csökkentik a közeg pH-ját, ezáltal elősegítik a tápelemek oldódását (BOWEN és ROVIRA, 1991).

5.1.2. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a növekedésre

A bikarbonát okozta magas pH eredményeként mérsékelt növekedést tapasztaltam (21. és 22. ábra).



21. ábra: A különböző koncentrációban adott bikarbonát és biotrágyás kiegészítés (+P) hatása a 9 napos kukorica hajtás és gyökér-növekedésére. 1: kontroll, 2: 10 mM NaHCO_3 , 3: 20 mM NaHCO_3 , 4: 40 mM NaHCO_3 , 5: 80 mM NaHCO_3



22. ábra: A bikarbonát és a biotrágya (+P) kezelés együttes hatása a 24 napos uborka hajtás és gyökérnövekedésére. 1: kontroll, 3: 20 mM NaHCO_3

Jelentős mértékben akadályozott volt mind a hajtás, mind a gyökér növekedése a kontrollhoz képest, ugyanakkor a biotrágyával kiegészített kezeléseknél a baktérium alapú biotrágya mérsékelte a bikarbonát okozta növekedésgátlást.

5.1.3. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a hajtás és a gyökér hosszára, valamint a levelek számára

Vizsgáltam a kezelések hatását a kukorica hajtásának és gyökerének hosszára, valamint uborkánál a levelek számára és a gyökerek hosszára (**8. táblázat**). A bikarbonát kezelések hatására jelentős csökkenés figyelhető meg a hajtás és gyökér hosszában, illetve a levelek számában a kontrollhoz képest, mely a koncentráció emelkedésével csökken. A 10 mM, 20 mM, 40 mM NaHCO₃ és 80 mM NaHCO₃ hatására a kukorica hajtásának hossza 16%, 35%, 45% és 64%-kal, a gyökerek hossza 27%, 33%, 54 és 64%-kal csökkent a kontrollhoz képest.

8. táblázat: A kezelések hatása a 8 napos kukorica hajtásának és gyökerének hosszára (cm növény⁻¹) (n=11±s.e.) és a 24 napos uborka leveleinek számára (db növény⁻¹) és gyökerének hosszára (cm növény⁻¹), (n=8±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	hajtás	gyökér	levél	gyökér
	kukorica		uborka	
kontroll	30,59±4,11	25,74±6,15	7,00±2,27	42,89± 9,63
kontroll+biotrágya	26,96±1,60** ^b	16,05±2,20*** ^c	7,13±1,89	43,38± 7,33
10mMNaHCO ₃	25,62±3,28**	18,87±7,61*	4,78±0,67**	32,91± 5,72*
10mMNaHCO ₃ + biotrágya	21,05±5,14*** ^a	13,35±2,29*** ^a	5,22±1,30	37,00± 5,66
20mMNaHCO ₃	19,85±5,89***	17,17±3,74***	3,56±0,88***	26,21± 5,31***
20mMNaHCO ₃ + biotrágya	21,39±3,41***	15,41±3,10***	4,22±0,67**	27,48±11,04**
40mMNaHCO ₃	16,90±4,04***	11,88±4,29***	1,50±1,00***	15,52± 7,93***
40mMNaHCO ₃ + biotrágya	17,45±2,47***	15,31±4,85***	2,50±0,55***	16,96± 6,68***
80mMNaHCO ₃	10,92±2,76***	9,15±2,78***	-	-
80mMNaHCO ₃ + biotrágya	12,00±3,11***	10,75±3,91***	-	-

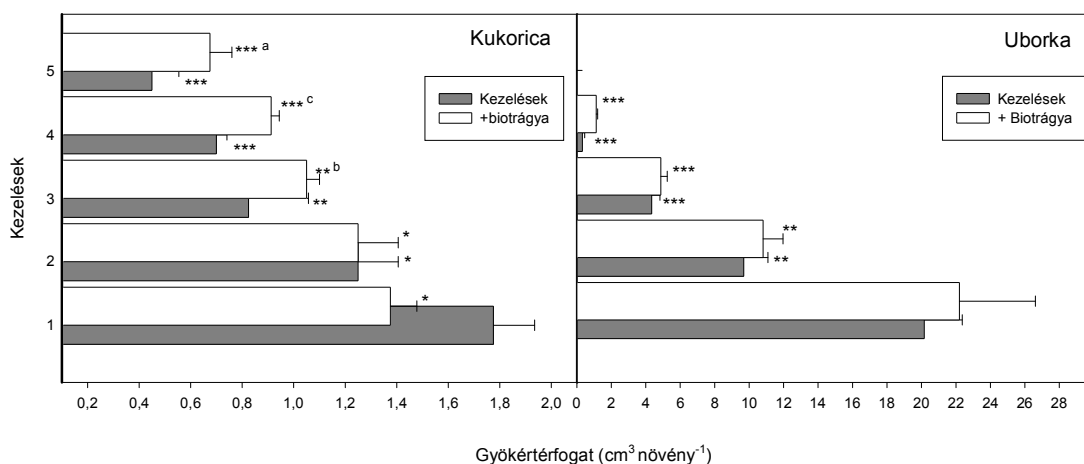
A 10 mM, 20 mM és 40 mM bikarbonát kezelés hatására az uborka gyökerének hosszúsága 23%, 39% és 64%-kal csökkent a kontrollhoz képest, amely 10 cm, 16,7 cm és 27,4 cm-es csökkentést jelent gyökereként átlagosan. A növekvő bikarbonát koncentrációk hatására az uborka levelek száma 32%, 49% és 79%-kal volt kevesebb, mint a kontroll.

A 40 és 80 mM bikarbonát kezeléshez adott biotrágyás kiegészítés növelte a kukorica hajtásának (3%, 9%-kal) és gyökerének (22%, 15%-kal) hosszát a biotrágya mentes kezeléshez képest. A biotrágyás kiegészítés minden esetben növelte az uborka leveleinek számát (1%-11%-kal) és a gyökerek hosszát (2%-40%-kal) a biotrágyával nem kezelthez képest.

5.1.4. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a gyökértérfogat alakulására

Vizsgáltam a kezelések hatását a 8 napos kukorica és a 24 napos uborka gyökerének térfogatára. Eredményeimet a **23. ábra** szemlélteti.

Az emelkedő koncentrációjú (10, 20, 40, 80 mM) bikarbonát hatására szignifikánsan 30%, 54%, 61% és 75%-kal csökkent a kukorica gyökértérfogata a kontrollhoz képest. Az uborkánál a 10-, 20 - és 40 mM NaHCO_3 kezelés hatására 57%, 78% és 99%-kal volt kisebb a gyökerek térfogata a kontrollhoz képest.



23. ábra: A kezelések hatása a 8 napos kukorica ($n=4\pm s.e.$) és a 24 napos uborka ($n=8\pm s.e.$) gyökerének térfogatára (g növény^{-1}). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$. Szignifikáns eltérés a biotrágyával nem kezelthez képest: ^a $p<0.05$, ^b $p<0.01$, ^c $p<0.001$. 1: kontroll, 2: 10 mM NaHCO_3 , 3: 20 mM NaHCO_3 , 4: 40 mM NaHCO_3 , 5: 80 mM NaHCO_3

A biotrágya kiegészítés hatására a legtöbb esetben nagyobb gyökértérfogatot mértem. A kukoricánál a 20 mM bikarbonát kezelés hatására a gyökértérfogat növényenként átlagosan $0,84\pm0,46 \text{ cm}^3$ volt, amely a biotrágyás kezelés hatására 21%-kal volt nagyobb ($1,05\pm0,10$). Ehhez hasonlóan a 40 mM bikarbonáthoz adott biotrágyás kiegészítés 23%-kal ($0,91\pm0,06$ -ra), míg a 80 mM bikarbonáthoz adott biotrágyás kiegészítés 33%-kal ($0,68\pm0,17$ -re) növelte a gyökértérfogatot. Az uborkánál minden esetben kedvezően hatott a biotrágyás kiegészítés. A 40 mM bikarbonáthoz adott biotrágyás kiegészítés hatására 71%-kal, $0,33\pm0,26$ -ról $1,13\pm0,17$ -re nőtt az uborka gyökértérfogata.

5.1.5. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozására

A bikarbonát és a biotrágya kezelés hatását a szárazanyag-produkcióra a **9. táblázatban** foglaltam össze.

9. 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 kezelthez képest: ^a $p<0.05$, ^c $p<0.001$.

Kezelések	<i>kukorica</i>		<i>uborka</i>	
	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 bikarbonát a koncentrációjának emelésével jelentősen csökkent a hajtás és a gyökér száraz tömege a kontrollhoz képest. A bikarbonát kezelések hatására a kukorica hajtásának száraz tömege 39%-86%-kal, az uborka hajtásának száraz tömege 63%-95%-kal csökkent a kontrollhoz képest. A 20 mM bikarbonáthoz adott biotrágyás kiegészítés a kukoricánál a 72%-kal növelte a hajtás száraztömegét a biotrágyával nem kezelthez képest. Az uborkánál a 40 mM bikarbonáthoz adott biotrágyás kiegészítés hatására 52%-kal nagyobb (0,2189±0,02) volt a hajtás száraz tömege, mint a biotrágyával nem kezelt (0,1060±0,09).

A bikarbonát kezelést hatására a gyökér száraz tömege szignifikánsan 27%-43%-kal csökkent a kukoricánál, valamint 60%-98%-kal az uborkánál a kontrollhoz képest. A kukoricánál 52%-kal volt nagyobb a gyökér száraz tömege a 20 mM bikarbonát kezeléshez adott biotrágya kiegészítés hatására a biotrágyával nem kezelthez képest. Az uborkánál a 40 mM bikarbonáthoz adott biotrágyás kiegészítés hatására 47%-os növekedést figyeltem meg a gyökér száraz tömegében a biotrágyával nem kezelthez képest.

5.1.6. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a levelek relatív klorofill-tartalmára

A szárazanyag-felhalmozásban fontos szerepe van a fotoszintézisnek, ezért vizsgáltam a bikarbonát és a biotrágya együttes hatását a levelek relatív klorofill-tartalmára (SPAD index). Eredményeimet a **10. táblázatban** foglaltam össze.

10. táblázat: A bikarbonát és a biotrágya hatása a 8 napos kukorica és 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 kezeltéhez 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 szignifikánsan csökkentette a relatív klorofill-tartalmat a 2. (kukoricánál 20%-64%-kal, uborkánál 6%-47%-kal) és a 3. levélben (kukoricánál 10%-55%-kal, uborkánál 5%-kal) a kontrollhoz képest. A bikarbonát okozta magas pH gátolta a tápoldatban a tápelemek, így a vas oldódását melyeknek szerepe fontos a klorofill-szintézisében, ezért csökken a klorofill-szintézise és ennek eredményeként csökkent a fotoszintézis is. A uborka érzékenyebben reagált a bikarbonát okozta magas pH-ra, melynek következménye, hogy a 20 és 40 mM-os NaHCO₃ hatására a 3. levél nem fejlődött ki, míg a legmagasabb koncentráció hatására a csíranövények elhaltak.

Az élő baktériumokat tartalmazó biotrágya kedvező hatása a relatív klorofill-tartalomban is megmutatkozott. A tápoldathoz adott biotrágya kiegészítés a kukorica 2. levelében 4%-50%-kal növelte a SPAD egységet, míg a 3. levélben 3%-32%-kal. Az uborkánál 4%-30%-os (2. levél) és 1%-8%-os (3. levél) relatív klorofill-tartalom

növekedést eredményezett a bikarbonáthoz adott biotrágyás kezelés a biotrágyával nem kezelthez képest.

5.1.7. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a levelek klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotionidok tartalmára

A magas pH vas-klorózist indukál, ezért vizsgáltam a bikarbonát és a biotrágya kiegészítés hatását a fotoszintetikus pigmentek abszolút mennyiségére, így a kukorica és az uborka levelek abszolút klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotionidok tartalmára, amelynek eredményeit a **8. sz. melléklet** szemléleti.

A bikarbonát szignifikánsan csökkentette a vizsgált pigmentek mennyiségét. A kukoricánál a 80 mM bikarbonát kezelés hatására 62%-kal csökkent a klorofill-*a*, 68%-kal a klorofill-*b* és 63%-kal a karotinoidok mennyisége a 2. levélben. Az uborka érzékenyebben reagált a bikarbonát kezelésre, melynek oka az egy- és kétszikű növények eltérő tápanyag-felvételi mechanizmusában keresendő (MARSCHNER et al., 1986). Az uborkánál a legmagasabb bikarbonát koncentráció a 40 mM-os volt, melynek hatására olyan mértékű csökkenést tapasztaltam a 2. levél fotoszintetikus pigmentjeinek mennyiségében (klorofill-*a*: 67%; klorofill-*b*: 66%, karotinoidok: 42%), mint a kukoricánál a 80 mM bikarbonát kezelés hatására.

Kukoricánál a 3. levélben, a klorofill-*a* mennyiségében 47%-70%-os, a klorofill-*b* mennyiségében 62%-78%-os, a karotinoidok mennyiségében 50%-73%-os csökkenést okozott a tápoldathoz adott bikarbonát. Az uborka 3. levelében a következőképpen csökkent a pigmentek mennyisége a bikarbonát kezelések hatására: klorofill-*a*: 19%-24%-kal, klorofill-*b*: 25%-28%-kal, karotionidok: 20%-30%-kal.

A biotrágya kezelés kedvező hatását figyeltem meg a vizsgált pigmentek mennyiségére a kontrollhoz képest. A kontroll kezelés biotrágyával történő kiegészítésekor a kukorica 2. levelében a klorofill-*a*, a klorofill-*b* és a karotinoidok mennyisége 1,5%, 0,7% és 4,7%-kal volt nagyobb a kontrollhoz képest. Az uborka 2. levelében a 40 mM bikarbonáthoz adott biotrágya kiegészítés 124%, 81% és 44%-kal növelte a klorofill-*a*, klorofill-*b* és a karotinoidok mennyiségét a biotrágyával nem kezelt 4. kezeléshez képest. A 20 mM bikarbonát kezeléshez adott biotrágya kiegészítés a kukorica 3. levelében 44%, 55%, 47%-kal, az uborka 3. levelében 15%, 22%, 19%-kal növelte a

klorofill-*a*, a klorofill-*b* és a karotinoidok mennyiségét a biotrágyával nem kezelthez képest.

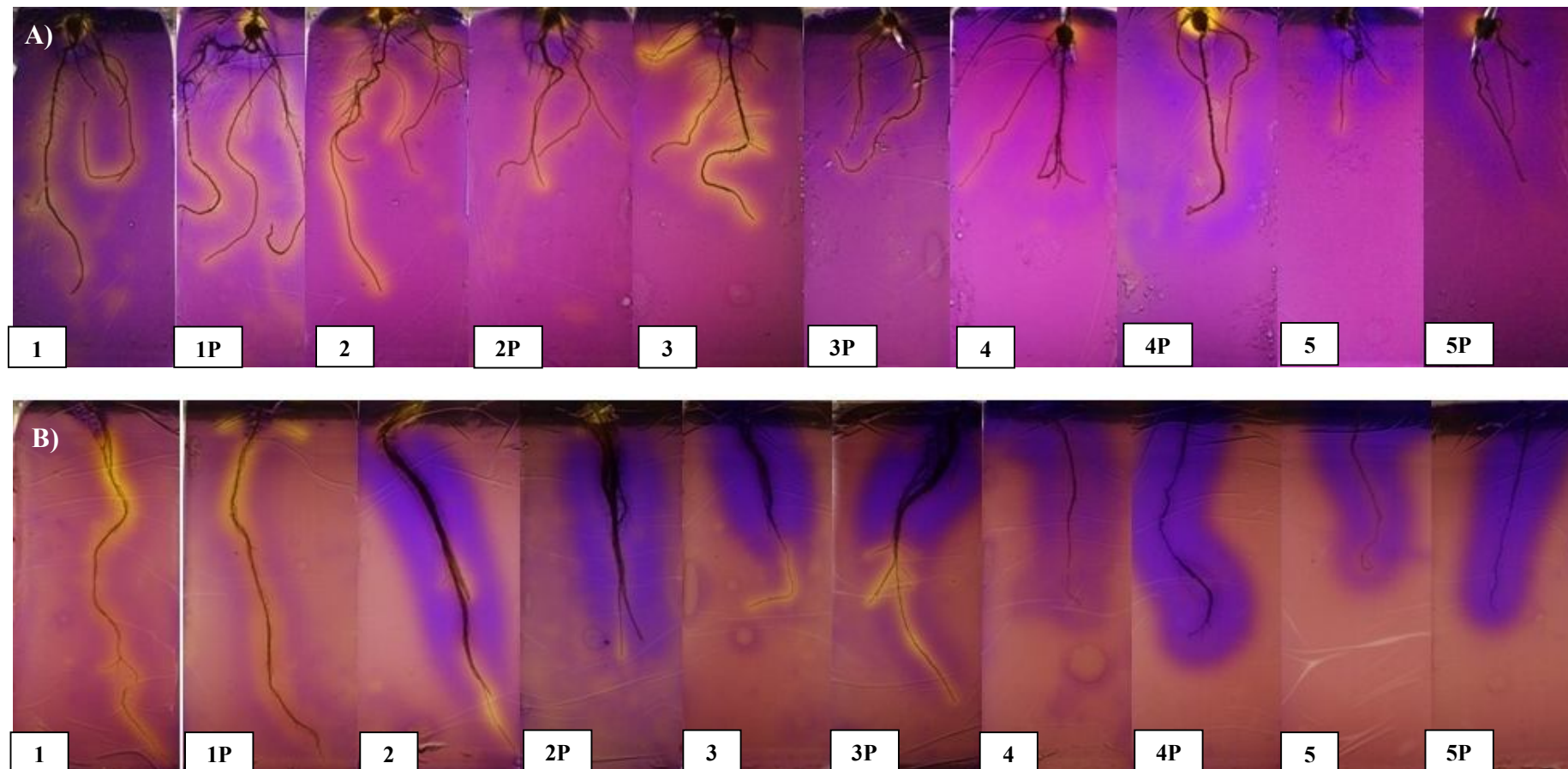
A klorofill-*a* és klorofill-*b*, a klorofill-*a*/karotinoidok, valamint az összes klorofill és a karotinoidok arányszámai jelzik, hogy a bikarbonát okozta lúgos pH, mint stressz faktor befolyásolja a pigmentek mennyiségét.

5.1.8. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a gyökerek szerves sav kiválasztására

A gyökerek által kiválasztott szerves savaknak jelentős szerepük van a tápelemek mobilizációjában. A gyökerek savkiválasztása a környezeti tényezők függvénye, ezért vizsgáltam a kezelések hatását a kukorica és az uborka gyökérsav-kiválasztásra (**24. ábra**).

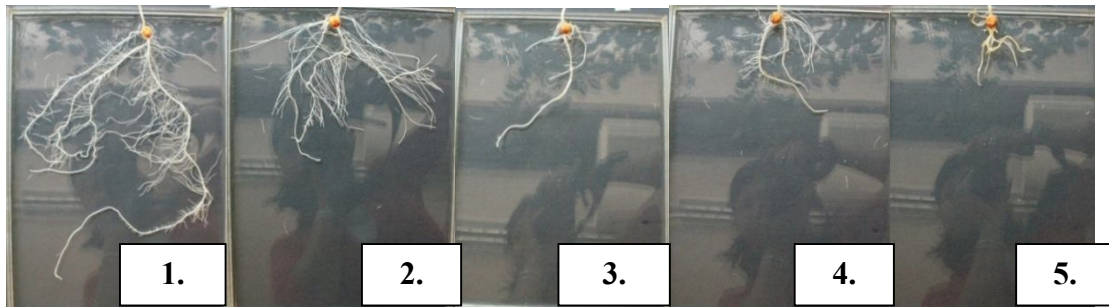
A bikarbonát lúgosító hatását jól mutatja a bróm-krezol bíbor indikátor sötét kékes-lilás színváltozása, amely a bikarbonát koncentráció növelésével erősödik. Továbbá megfigyelhető, hogy a biotrágyás kezeléseknél mérsékeltebb volt a szerves sav kiválasztás. A kukoricánál a 20 mM-os bikarbonát koncentráció hatására tapasztaltuk a legnagyobb mennyiségű savkiválasztást, 40 mM-os bikarbonát koncentráció felett nincs jelentős pH változás, amelynek oka az extrém magas (80 mM) bikarbonát koncentráció. Az uborka érzékenyebben reagált, mint a kukorica. Már a 10 mM-os koncentráció is jelentősen akadályozta a gyökerek szerves sav kiválasztását. Az uborkánál is megfigyelhető a biotrágyás kiegészítés kedvező hatása, mivel csökkentette a kiválasztott szerves savak mennyiségét. A mikroorganizmusok képesek tehermentesíteni a növényt, ezáltal a fotoszintézisben megtermelt szerves anyagokat nem a kedvezőtlen környezeti tényezők mérséklésére, hanem a jobb produkció érdekében használja fel a növény (LÉVAI et al., 2005).

24. ábra: A kezelések hatására az 5 napos kukorica (A) és a 6 napos uborka (B) gyökerek szerves sav-kiválasztására. 1: kontroll, 1P: kontroll+biotrágya, 2: 10 mM NaHCO_3 , 2P: 10 mM NaHCO_3 +biotrágya, 3: 20 mM NaHCO_3 , 3P: 20 mM NaHCO_3 +biotrágya, 4: 40 mM NaHCO_3 , 4P: 40 mM NaHCO_3 +biotrágya, 5: 80 mM NaHCO_3 , 5P: 80 mM NaHCO_3 +biotrágya.

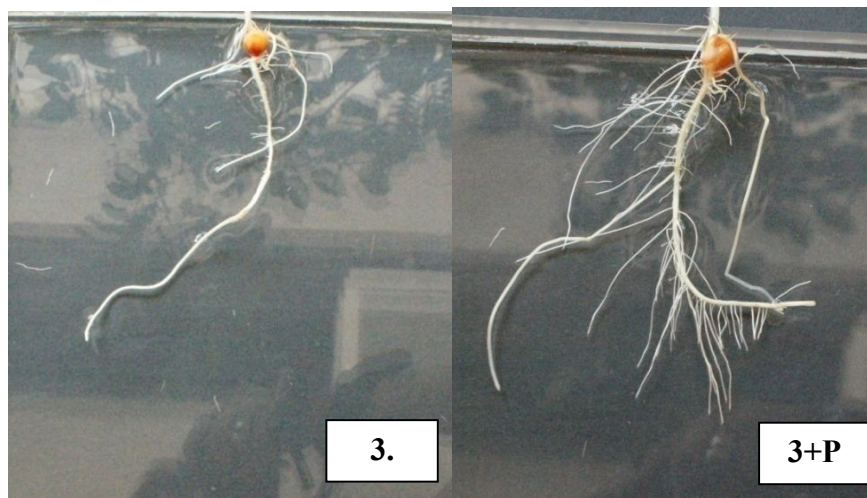


5.1.9. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása a gyökerek morfológiai alakulására

Vizsgáltam a gyökerek morfológiai változását a kezelések hatására. A különböző koncentrációjú bikarbonát kezelések hatását a kukorica és uborka gyökerek morfológiájára a **25.**, **26.** és a **27. ábrával** mutatom be.

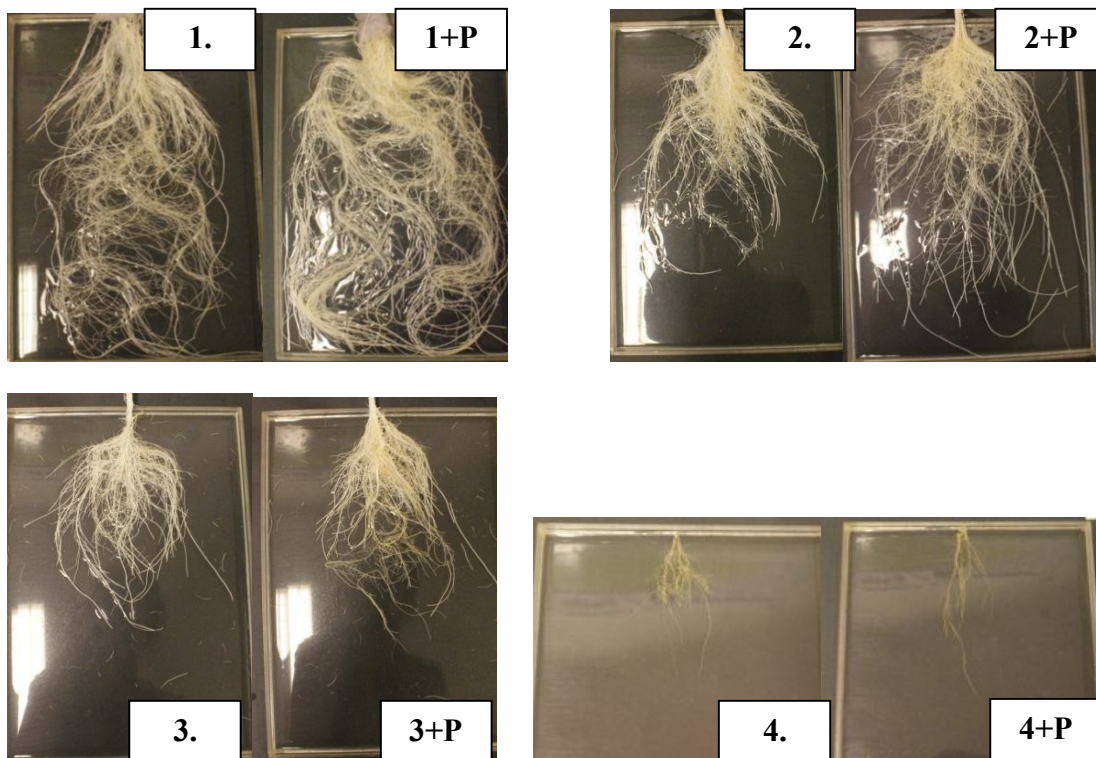


25. ábra: A különböző koncentrációban adott bikarbonát hatása a 6 napos kukorica gyökér morfológiájára. 1: kontroll, 2: 10 mM NaHCO_3 , 3: 20 mM NaHCO_3 , 4: 40 mM NaHCO_3 , 5: 80 mM NaHCO_3



26. ábra: A 20 mM bikarbonát kezelés és a kiegészítő biotrágyás kezelés hatása a 6 napos kukorica gyökér morfológiájára.

A bikarbonát koncentráció emelése gátolta a kukorica gyökerek fejlődését. Megfigyeléseim szerint a 20 mM és ennél nagyobb bikarbonát kezelés hatására - pH 7,8-8,0 felett - kevesebb oldalgyökér és hajszálgyökér fejlődött, amelyek kiemelt szerepet játszanak a víz és a tápanyagok felvételében. A biotrágya kiegészítés elősegítette az oldal- és hajszálgyökér képződést.



27. ábra: A különböző koncentrációban adott bikarbonát és biotrágya kiegészítés hatása a 24 napos uborka gyökér morfológiájára 1: kontroll, 2: 10 mM NaHCO_3 , 3: 20 mM NaHCO_3 , 4: 40 mM NaHCO_3 , +P: biotrágya kiegészítés.

A bikarbonát az uborka gyökérfejlődését is gátolta. Az uborka érzékenyebben reagált a magas pH-ra. A 40 mM bikarbonát kezelés hatására jelentősen csökkent a gyökér morfológiai differenciáltsága, valamint a gyökerek barnás elszíneződése figyelhető meg. A biotrágyás kiegészítés mérsékelte a bikarbonát kedvezőtlen hatását. A biotrágya kezeléseknél az uborka gyökérzete morfológiailag differenciáltabb és mennyiségileg is nagyobb volt.

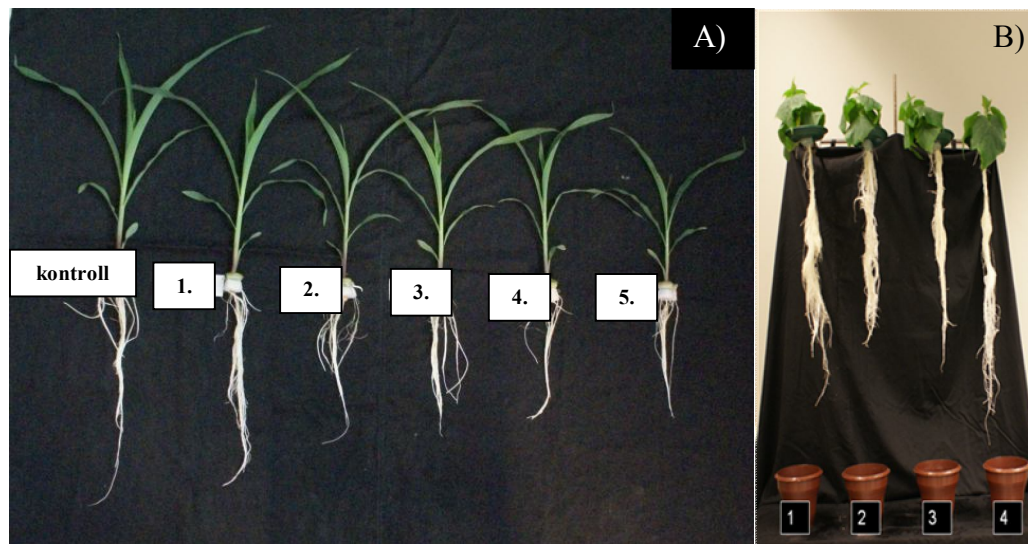
5.2. AZ INFILTRÁLÁSSAL BEJUTATOTT BIKARBONÁT HATÁSÁNAK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

5.2.1. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a növekedésre

Az apoplazmába infiltrálással bejutatott bikarbonát hatását a kísérleti növények növekedésére a **28. ábra** szemlélteti.

Az infiltrálással bejutatott bikarbonát a koncentráció emelésével arányosan gátolta a kukorica hajtás és gyökérnövekedését. Az uborkánál a hajtás növekedése az

infiltrálással bejutatott bikarbonát koncentrációjának függvénye, mivel a koncentráció emelésével csökkent a hajtásnövekedés. A gyökérnövekedését illetően is különbségek mutatkoztak. A 10 és 20 mM-os bikarbonát kezelés csökkentette a gyökérnövekedést a desztillált vízzel infiltrált uborka gyökeréhez képest, ugyanakkor a 40 mM-os bikarbonát kezelésnél a desztillált vízzel infiltrált kezeléshez közel azonos volt a gyökérnövekedés.



28. ábra: Az infiltrálással bejutatott bikarbonát kezelések hatása a 8 napos kukorica (A) és a 24 napos uborka (B) hajtás és gyökérnövekedésére. 1: H₂O, 2: 10 mM NaHCO₃, 3: 20 mM NaHCO₃, 3: 40 mM NaHCO₃, 5: 80 mM NaHCO₃

5.2.2. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a hajtás- és a gyökérhossz alakulására

Mértem az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatását kukoricánál a hajtás és gyökér hosszára, uborkánál a gyökerek hosszára. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatását a hajtás és a gyökér hosszára a **11. táblázat** szemlélteti.

A mérési adatok szerint a sejtközzötti járatokba jutatott bikarbonát 11%-17%-kal csökkentette a kukorica hajtásának hosszúságát, míg a kukorica gyökerek hossza 30%-44%-kal csökkent a kontrollhoz képest. Az uborka gyökerének hossza a 10 mM-os bikarbonát koncentráció hatására 38%-kal, a 40 mM-os bikarbonát koncentráció hatására mintegy felére - 51%-kal - csökkent a kontrollhoz képest (kontroll: 124,5±2,12; 40 mM NaHCO₃-val infiltrált: 61,0±18,38).

11. táblázat: Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a 8 napos kukorica hajtásának és a kukorica és a 24 napos uborka gyökerének hosszára (kukorica $n=5\pm s.e.$, uborka $n=3\pm s.e.$) (cm növény⁻¹). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Kezelések	<i>kukorica</i>		<i>uborka</i>
	<i>hajtás</i>	<i>gyökér</i>	<i>gyökér</i>
kontroll	56,30 $\pm$ 3,60	44,40 $\pm$ 1,71	124,5 $\pm$ 2,12
H ₂ O-val inf.	51,43 $\pm$ 2,74**	34,50 $\pm$ 7,06*	84,7 $\pm$ 13,32*
10 mM NaHCO ₃ -val inf.	50,53 $\pm$ 6,07*	31,19 $\pm$ 8,79**	77,3 $\pm$ 10,48*
20 mM NaHCO ₃ -val inf.	50,20 $\pm$ 4,19**	26,15 $\pm$ 4,39***	70,5 $\pm$ 20,48*
40 mM NaHCO ₃ -val inf.	48,35 $\pm$ 8,76*	25,46 $\pm$ 1,49***	61,0 $\pm$ 18,38*
80 mM NaHCO ₃ -val inf.	46,94 $\pm$ 6,77**	24,88 $\pm$ 2,82***	-

5.2.3. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozására

Az infiltrálással bejutatott bikarbonát okozta növekedésgátlás a szárazanyag-felhalmozásban is megmutatkozott (**12. táblázat**). A apoplazmába bejutatott bikarbonát módosította annak pH-ját, így befolyásolta a tápelemek oldódását és felhasználását a növényi anyagcserében. Az apoplazmába bejutatott bikarbonát a koncentráció emelésével szignifikánsan csökkentette a hajtás és gyökér száraz tömegét a kukoricánál.

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

Az infiltrálással bejutatott bikarbonát 18%-25% és 62%-70%-kal csökkentette a kukorica és az uborka hajtásának száraz tömegét a kontrollhoz képest. A gyökér száraz tömege a kukoricánál 8%-37%-kal, az uborkánál 47%-68%-kal csökkent a kontrollhoz képest a bikarbonátos infiltrálás hatására. Az uborkánál az apoplazmába infiltrált bikarbonát több mint kétszer annyira csökkentette a hajtás és a gyökér száraz tömegét, mint kukoricánál.

5.2.4. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a levelek relatív klorofill-tartalmára

Vizsgáltam, hogy a sejtközüti járatba jutatott bikarbonát befolyásolja-e a levelek relatív klorofill-tartalmát. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatását a kukorica és az uborka 2. és 3. levelének SPAD indexére a **13. táblázatban** foglaltam össze.

13. táblázat: Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása a 8 napos kukorica és a 24 napos uborka csíranövények relatív klorofill-tartalmára (SPAD egység) (kukorica: $n=20 \pm s.e.$, uborka: $n=25 \pm s.e.$). 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 $\pm$ 2,48	43,55 $\pm$ 1,07	49,88 $\pm$ 4,47	51,84 $\pm$ 4,77
H ₂ O-val inf.	43,55 $\pm$ 1,07	39,33 $\pm$ 1,04*	43,73 $\pm$ 3,21	42,04 $\pm$ 6,04
10 mM NaHCO ₃ -val inf.	41,13 $\pm$ 4,72	39,85 $\pm$ 3,77	33,69 $\pm$ 2,48**	40,88 $\pm$ 2,20*
20 mM NaHCO ₃ -val inf.	39,05 $\pm$ 1,36*	33,63 $\pm$ 5,57**	23,60 $\pm$ 3,76***	35,56 $\pm$ 1,20**
40 mM NaHCO ₃ -val inf.	29,38 $\pm$ 8,47*	38,73 $\pm$ 2,50*	24,10 $\pm$ 7,49***	34,24 $\pm$ 2,00**
80 mM NaHCO ₃ -val inf.	28,50 $\pm$ 2,68***	28,25 $\pm$ 9,57**	-	-

Az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatása koncentráció-függő. A levelekbe infiltrált bikarbonát szignifikánsan 4%-35%-kal, valamint 32%-52%-kal csökkentette a kukorica és az uborka 2. levelében a relatív klorofill-tartalmat a kontrollhoz képest. A 3. levélben a kukoricánál 8%-35%-kal, az uborkánál 21%-34%-kal volt kisebb a relatív klorofill-tartalom, mint a kontrollnál.

5.3. 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 sejtközüti járatok nedvének pH-jára. Az apoplazmatikus pH vizsgálatához a növényeket guttációra „kényszerítettük” és az így kapott guttációs cseppek pH-ját mértük.

5.3.1. Az optimális tápanyagellátás hatása az apoplaszt oldat pH-jára

A optimális tápanyagellátás hatását az apoplazmatikus pH alakulására a **14. táblázatban** foglaltam össze.

14. táblázat: Kontroll tápoldaton nevelt 1, 2 és 4 napos kukorica csíranövények apoplazmatikus pH-ja ($n=10\pm s.e.$).

Növény kora	Apoplazmatikus pH
1 naposan	5,45 $\pm$ 0,84
2 naposan	5,41 $\pm$ 0,34
4 naposan	5,65 $\pm$ 0,34

A kontroll tápoldatban nevelt kukorica pH-ja enyhén savanyú kémhatású (pH 5,45-5,65), amely optimális a tápelemek oldódásához és bejutásához a növényi sejtbe, így az része lesz a növényi anyagcserének.

5.3.2. Az infiltrálással bejuttatott bikarbonát hatása az apoplaszt oldat pH-jára

Vizsgáltam a kontroll tápoldaton nevelt, különböző koncentrációjú bikarbonáttal infiltrált kukorica levelek apoplazmatikus pH-ját. Eredményeimet a **15. táblázatban** foglaltam össze.

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

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

Az infiltráló folyadék bikarbonát koncentrációjának növelésével arányosan (10%-38%-kal) emelkedett az apoplaszt oldat pH-ja a kontrollhoz képest. Az infiltrálást követően - a néhány órával később - visszanyert guttációs cseppek pH-ja az adott infiltráló folyadék pH-ját tükrözte vissza, azzal a különbséggel, hogy guttációval visszanyert

apoplaszt oldatok pH-ja a legtöbb esetben kisebb volt, mint az infiltráló folyadéké, amelyből arra következtethetünk, hogy növény eredeti apoplaszt oldata képes volt azt tompítani. A növény ezen tompító képessége a 6 napos korban infiltrált növények esetén a legnagyobb, mivel a 4 és 8 naposan infiltrált levelek apoplazmatikus pH-ja és az infiltráló folyadék pH-ja közötti különbség kisebb volt.

5.3.3. Az apoplaszt oldat pH-jának napszaki változása az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatására

Vizsgáltam, hogy hatással van-e a napszaki változás a különböző korban infiltrált kukorica apoplaszt oldatának pH-jára. Mértém a guttációs cseppek pH-ját reggel (8 óra) és este (20 óra). Az eredményeket a **16. táblázatban** foglaltam össze.

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

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

Csökkenést tapasztaltam a napszak változása és az infiltrálás idejének hatására az apoplaszt oldat pH-jában. A 4 naposan infiltrált növények esti apoplaszt oldatának pH-ja 1%-14%-kal kisebb, mint a reggelt mért értékek. A 8 naposan infiltrált növényeknél az este mért apoplazmatikus pH 3%-6%-kal volt kisebb, mint a reggel mért pH értékek. A - fotoszintézis sötét periódusa végén - a reggeli időpontban mért apoplaszt nedv pH-ja magasabb, mint a nappali periódus után - az esti mérési időpontban - mért pH értékek, amelynek oka a fotoszintetikus aktivitásból eredő szerves anyag, illetve szerves sav kiválasztás, amely a mezofillum sejtközi járataiban lévő nedv pH-jának csökkenését eredményezheti. Az idősebb korban, 8 naposan infiltrált kukorica eredeti apoplaszt oldatának tompító (pufferoló) hatása feltehetően jelentősebb, mivel ez esetben 1%-14%, 8%-15%-kal kisebb volt a reggeli és az esti apoplaszt pH a korábban infiltráltéhoz képest.

5.3.4. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya hatása az apoplaszt oldat pH-jára

Vizsgáltam, hogy a tápoldathoz adott különböző koncentrációjú bikarbonát és egy élő baktériumokat tartalmazó biotrágya hatását az apoplazmatikus pH alakulására. Eredményeimet az **17. táblázatban** foglaltam össze.

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

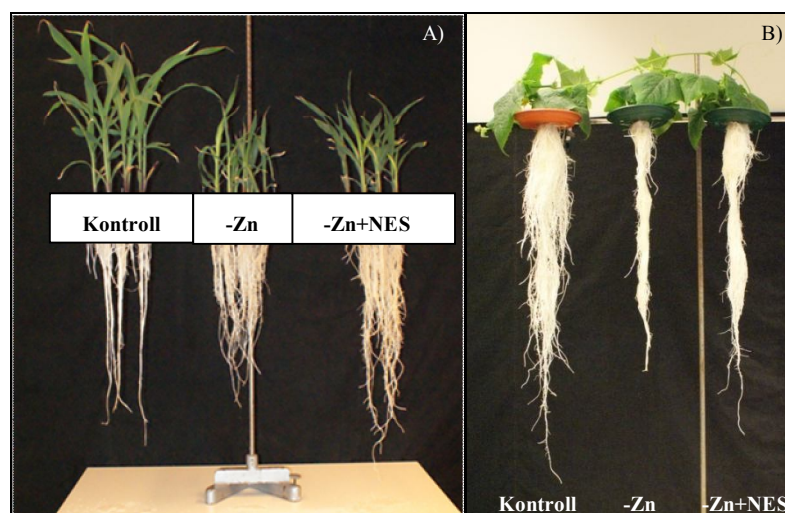
Kezelések	<i>kukorica</i>	<i>uborka</i>
kontroll	8,00 $\pm$ 0,30	7,55 $\pm$ 0,49
kontroll+biotrágya	8,20 $\pm$ 1,27	8,60 $\pm$ 0,16** ^b
10 mMNaHCO ₃	7,35 $\pm$ 0,43*	8,06 $\pm$ 0,34
10 mMNaHCO ₃ + biotrágya	8,62 $\pm$ 0,03**	8,12 $\pm$ 0,44
20 mMNaHCO ₃	7,71 $\pm$ 0,11*	8,23 $\pm$ 0,35
20 mMNaHCO ₃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

A tápoldathoz adott bikarbonát a koncentráció emelésével - kukoricánál 4%-23%-kal, uborkánál 7%-9%-kal - csökkentette az apoplazmatikus nedv pH-ját a kontrollhoz képest. A biotrágya kezelés hatására a levél apoplaszt oldatának pH-ja a kukoricánál 3%-17%-kal, uborkánál 1%-14%-kal volt nagyobb, mint a biotrágyával nem kezelt növényeknél. A bikarbonát gátolta az uborka fejlődését, így azok elpusztultak, vagy nem guttáltak.

5.4. AZ ABSZOLÚT CINKHIÁNY ÉS A NES KEZELÉS NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

5.4.1. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a növekedésre

Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatását a kísérleti növények növekedésére a **29. ábrán** mutatom be.

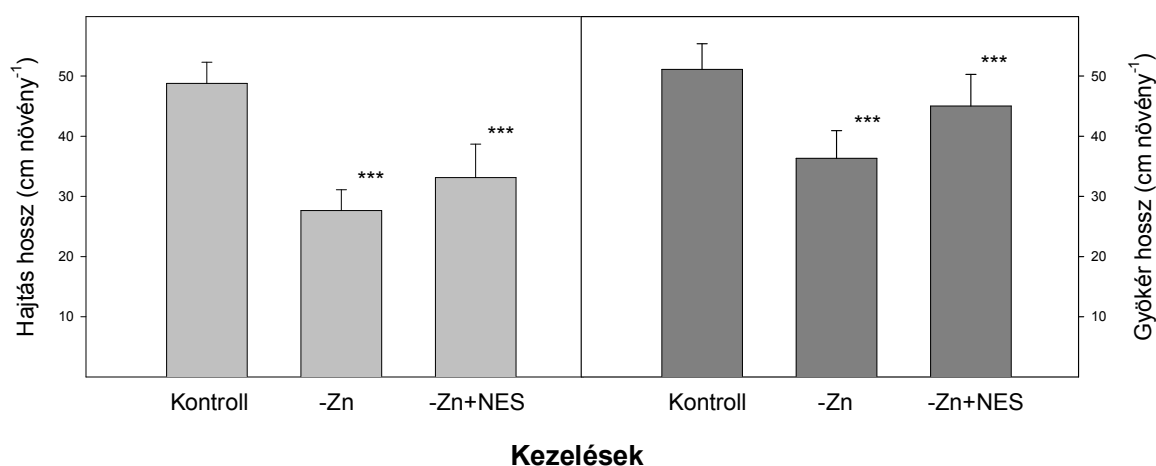


29. ábra: Az abszolút cinkhiány és NES kezelés hatása a 14 napos kukorica (A) és a 23 napos uborka (B) növekedésére.

A cink szerepe a növekedési folyamatokban kiemelt jelentőséggel bír. A cinkhiányos tápoldaton nevelt növények a hajtás és a gyökér növekedése akadályozott volt. A cink hiánya gátolta a megnyúlásos növekedésért felelős auxin szintézisét, így a növények nem fejlődtek és a növekedésükben jelentősen visszamaradtak a cinkkel kezelt kontrollhoz képest. A cinkhiányos növények NES-sel történő kezelésekor mérséklődött a cinkhiány okozta hajtás és gyökérnövekedés. A NES kezelés hatására a kukoricánál a kontrolltól kisebb hajtásnövekedés figyelhető meg, míg a gyökérnövekedés a kontrollt meghaladó mértékű. A -Zn+NES kezelés hatására az uborkánál a cinkhiányos kezelést meghaladó, de a kontrollnál kisebb volt a hajtás- és gyökérnövekedés.

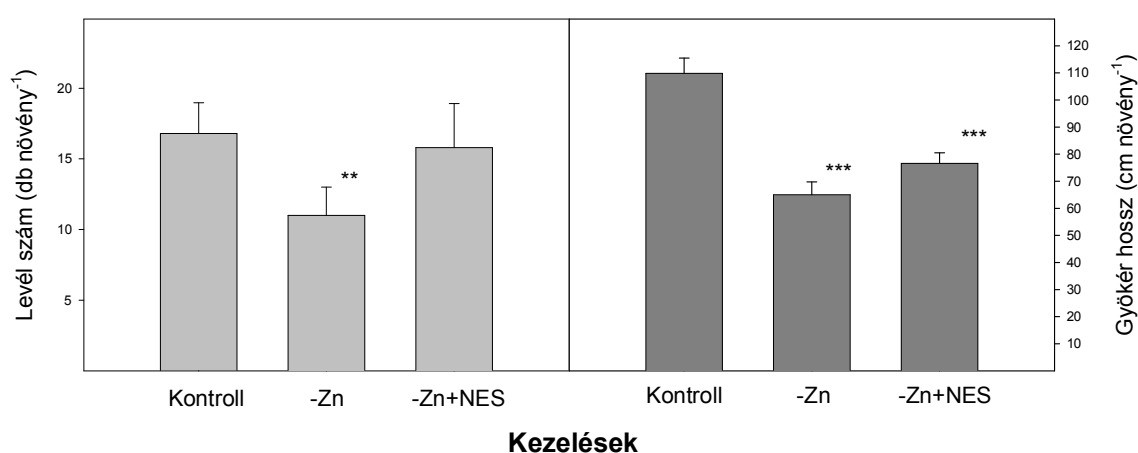
5.4.2. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a hajtás és a gyökér hosszára, valamint a levelek számára

Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatását a kukorica hajtásának és gyökérének hosszára, valamint az uborka levelek számára és gyökérének hosszára a **30.** és a **31. ábrában** foglaltam össze.



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

Mérési eredményeim szerint az abszolút cinkhiányos kezelés szignifikánsan (hajtás: 28,97±4,53; gyökér: 36,36±4,58) 41% és 29%-kal csökkentette a kukorica hajtás és a gyökér növekedését a kontrollhoz (hajtás: 48,78±3,53; gyökér: 51,12±4,24) képest. A NES-sel kiegészített cinkhiányos kezelés mérsékelte a cinkhiány növekedés gátló hatását. A -Zn+NES kezelésnél a hajtások és a gyökerek hossza 14%, 24%-kal volt nagyobb, mint a -Zn kezelés esetén.



31. ábra: A cinkhiány és a NES kezelés hatása a tápoldaton nevelt 30 napos uborka leveleinek számára (db növény⁻¹), (n=5±s.e.) és gyökérének hosszára (cm növény⁻¹), (n=10±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: **p<0.01, ***p<0.001.

Az abszolút cinkhiány ($11,0 \pm 2,00$) jelentősen - 35%-kal - csökkentette a levelek számát a kontrollhoz képest ($16,8 \pm 2,17$). A NES-sel történő kiegészítés ez esetben is - 44%-kal - mérsékelte a Zn hiány gátló hatását. A cink hiánya erőteljesen megmutatkozott az uborka gyökernövekedésében is, mivel a kontrollhoz képest ($109,83 \pm 5,64$) 41%-os csökkenést mértünk. Ezt a csökkenést a NES kezelés 18%-kal tudta kompenzálni.

5.4.3. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása az internódiumok számának és hosszának alakulására

A cinkhiány egyik leglátványosabb jele a szártagok rövidülése, ezért vizsgáltam a kezelések hatását a kísérleti növények internódium-számára és hosszára. Eredményeimet a **18. táblázat** szemlélteti.

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

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

A -Zn és -Zn+NES kezelés hatására jelentős (25%, 26%-os), de statisztikailag nem igazolható csökkenést tapasztaltam az internódiumok számában a kontrollhoz képest. Az internódiumok hossza 68%, 55%-kal csökkent a cink hiányában a kontrollhoz képest. A NES kiegészítés hatására átlagosan 0,76 cm-rel (29%-kal) nőtt az szártagok hossza az abszolút cinkhiányos kezeléshez képest.

5.4.4. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a szárazanyag-felhalmozásra

A kezelések hatását a kísérleti növények hajtás és gyökér száraztömegének alakulására a **19. táblázatban** foglaltam össze.

A -Zn kezelés minden esetben szignifikánsan csökkentette a szárazanyag-produkciót. A hajtás száraz tömeg kukoricánál 36%-kal, uborkánál 31%-kal csökkent a cinkhiány hatására a kontrollhoz képest. A cinkhiányos tápoldaton nevelt növények gyökerének száraz tömege 33%-kal (kukorica), 64%-kal (uborka) volt, kisebb, mint a kontroll.

19. 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>	
	<i>hajtás</i>	<i>gyökér</i>	<i>hajtás</i>	<i>gyökér</i>
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*

A NES-sel kiegészített cinkhiányos kezelés hatására jelentős növekedést mértem a gyökér száraztömegben a cinkhiányos (-Zn) kezeléshez képest. A NES kiegészítés kukoricánál 1%-kal, uborkánál 91%-kal növelte az gyökér szárazanyag-felhalmozását a -Zn kezeléshez képest. A NES kezelés nem növelte jelentősen a hajtás száraz tömegét a cinkhiányos kezeléshez képest.

5.4.5. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a relatív klorofill-tartalom alakulására

A szárazanyag-felhalmozás összefügg a fotoszintézis intenzitásával és a fotoszintetikus pigmentek mennyiségével, ezért mértem a kezelések hatását a 2. és 3. levél relatív klorofill tartalmára. Eredményeimet a **20. táblázatban** foglaltam össze.

20. 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
<i>kukorica</i>	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*
<i>uborka</i>	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
			52,6±0,79	35,9±1,73***	51,0±4,09
	22. nap	3. levél	52,9±2,37	29,0±5,89***	51,6±4,25

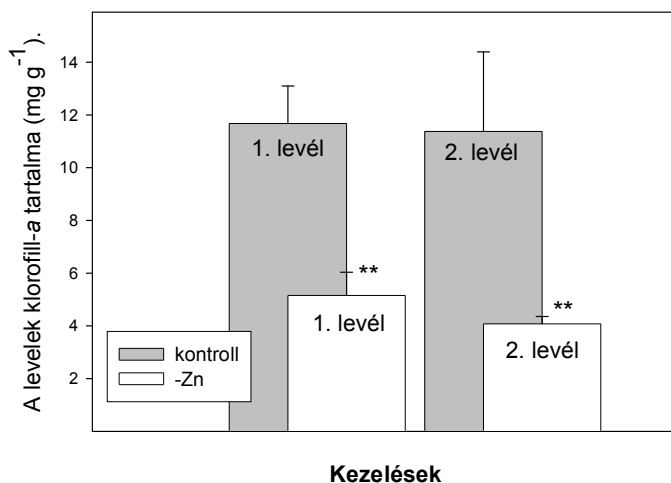
Cinkhiány hatására szignifikánsan, 13%-45%-kal csökkent a kukorica és az uborka levelek (2. és 3. levél) relatív klorofill-tartalma a kontrollhoz képest. A cinkhiányos kezelés hatására a 22. napon 29,0±5,89 volt a SPAD index, amely az uborka 3.

levelében 45%-os csökkenést jelent a kontrollhoz képest. A cinkhiányos uborka 2. levelében 38%, 32%-kal volt kisebb a relatív klorofill-tartalom a 16. és 22. mérési napon a kontrollhoz képest. A -Zn+NES kezelésnél a kontroll értékeket megközelítő - egy esetben azt 7%-kal meghaladó - eredményeket kaptam kukoricánál. A cinkhiányban alkalmazott NES kezelés hatására 22%-26%-kal nagyobb volt a kukorica 2. és 3. levelének relatív klorofill-tartalma a cinkhiányos (-Zn) kezeléshez képest. A cinkhiányos, de NES-sel kezelt uborka 2. levelében 10%, 54%-kal nagyobb relatív klorofill-tartalmat mértem a 16. és 22. napon, mint a cinkhiányos kezelésnél.

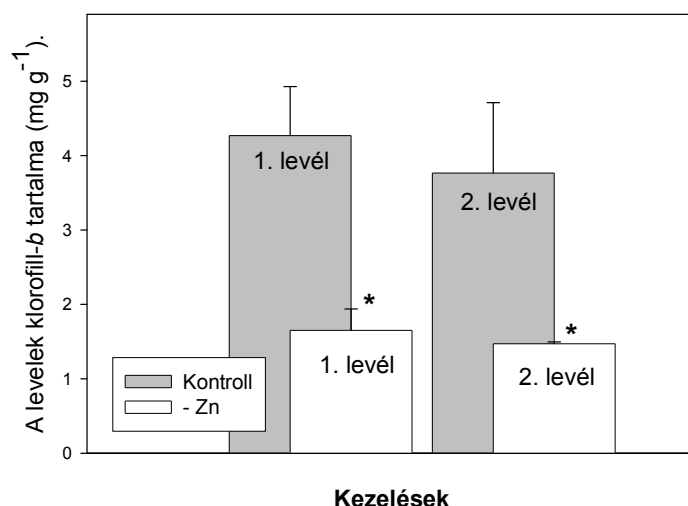
5.4.6. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a levelek klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotionidok tartalmára

A cinkhiány hatását az uborka levelek abszolút klorofill-*a* és a klorofill-*b* tartalmára a **32. és 33. ábra** szemlélteti.

A cinkhiány 56%, 64%-kal csökkentette az uborka 1. és 2. levelének klorofill-*a* tartalmát a kontrollhoz képest. Cink hiányában a klorofill-*b* tartalom 60%-kal csökkent mindkét vizsgált levélben a kontrollhoz képest. Ennek függvényében az 1. levélben az összklorofill-tartalom 57%-kal csökkent a -Zn kezelés hatására, valamint 63%-kal a 2. levélben a kontrollhoz képest.



32. ábra: Az abszolút cinkhiány hatása a 22 napos uborka 1. és 2. levelének abszolút klorofill-*a* tartalmára (mg g⁻¹) (n=4±s.e). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: **p<0.01.



33. ábra: Az abszolút cinkhiány hatása a 22 napos uborka 1. és 2. levelének abszolút klorofill-b tartalmára (mg g^{-1}) ($n=4\pm\text{s.e.}$). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p < 0.05$.

Egy későbbi fejlettségi állapotban - 30 naposan - mértem az abszolút klorofill-a, klorofill-b mellett a levelek karotinoidok tartalmát is, valamint kalkuláltam a vizsgált pigmentek egymáshoz viszonyított arányát (**21. táblázat**).

21. táblázat: A kezelések hatása a 14 napos kukorica és az 30 napos uborka 2. és 3. levelének abszolút klorofill-a (kl-a), klorofill-b (kl-b) és a karotinoidok (kar.) mennyiségére és azok egymáshoz viszonyított arányára (mg g^{-1}) ($n=3\pm\text{s.e.}$). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p < 0.05$, *** $p < 0.001$.

Növény	M. helye	Kezelések	kl-a	kl-b	kar.	kl-a/kl-b	kl-a/kar.	össz. kl/kar.
kukorica	2. levél	Kontroll	16,51±1,72	4,91±0,80	4,77±0,64	3,39	3,48	4,49
		- Zn	12,01±1,96*	2,75±0,40*	2,97±0,80*	4,36	4,10	4,96
		- Zn + NES	14,53±2,20	4,07±0,76	3,49±0,55*	3,59	4,16	5,33
	3. levél	Kontroll	18,26±1,05	6,13±0,93	5,21±0,75	3,01	3,53	4,68
		- Zn	6,97±1,93***	1,76±0,80*	1,58±0,46*	4,21	4,40	5,50
		- Zn + NES	18,84±0,57	6,28±0,71	4,94±0,22	3,02	3,82	5,09
uborka	2. levél	Kontroll	12,30±3,51	4,00±1,14	3,30±1,00	3,08	3,72	4,93
		- Zn	5,60±0,76*	1,80±0,19*	1,70±0,27*	3,08	3,26	4,32
		- Zn + NES	12,20±1,35	3,90±0,55	3,20±0,46	3,09	3,80	5,02
	3. levél	Kontroll	12,00±1,21	4,00±3,40	3,60±0,74	5,90	3,31	3,87
		- Zn	10,70±1,32	2,80±0,10*	2,90±0,16*	3,80	3,63	4,58
		- Zn + NES	12,70±1,27	3,40±0,71	3,40±0,31	3,70	3,70	4,70

Az abszolút cinkhiányos kezelés szignifikánsan csökkentette a kukorica vizsgált fotoszintetikus pigment mennyiségét a kontrollhoz képest. Cinkhiány hatására a klorofill-*a* 27%, 62%-kal, a klorofill-*b* 44%, 71%-kal, a karotinoidok mennyisége 38%, 70%-kal csökkent a kukorica 2. és a 3. levélében a kontrollhoz képest. A -Zn+NES kezelés az esetek többségében csökkentette a klorofill-*a*, -*b* és a karotinoidok mennyiségét a kukorica 2. és 3. levelében a kontrollhoz képest. A -Zn kezelésnél a magvak Zn készletének kimerülésével a fiatal levelek színe világosabb, pigmentekben szegényebb volt, ezt jelzi az is, hogy a 3. levélben nagyobb mértékű volt a cinkhiány okozta csökkenés, mint a 2. levélben.

A cinkhiányos kezelésnél az uborka 2 és 3. leveleiben 55%, 11%-kal csökkent a klorofill-*a*, 55%, 30%-kal a klorofill-*b*, valamint 49%, 19 %-kal a karotinoidok mennyisége a kontrollhoz képest. A cinkhiányban adott NES kezelés kedvező hatása megfigyelhető az uborkánál is, mivel minden esetben kontroll közeli vagy azt meghaladó értékeket mértünk. A NES kiegészítésnél 117%, 116%, 88%-kal nagyobb volt a klorofill-*a*, a klorofill-*b* és a karotinoidok mennyisége a 2. levélben a cinkhiányos kezeléshez képest. A 3. levélben 19% (kl-*a*), 21% (kl-*b*) és 17%-kal (kar.) emelkedett a vizsgált pigmentek mennyisége a -Zn kezeléshez képest. Továbbá a NES kezelés képes volt a Zn hiányában jelentkező pigment-károsodást a kontroll szintjére emelni. Az uborkánál a klorofill-*a* mennyisége a 3. levélben 5,8%-kal volt több, mint a kontroll.

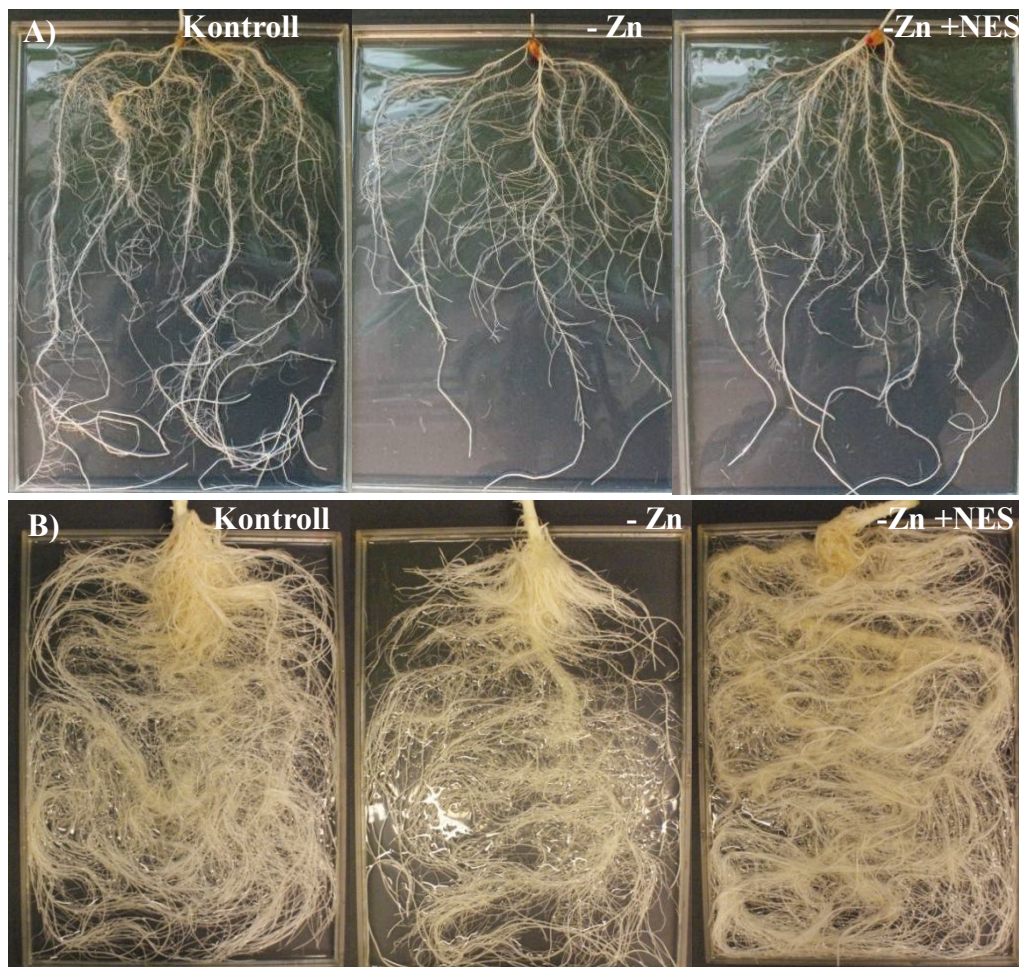
A kukoricánál a fotoszintetikus pigmentek egymáshoz viszonyított aránya a cinkhiányos kezeléseknél a (2,6-3,6-os) normál pigment értéket jelző tartományon kívül esik, amely stresszre utal. Kivételt képez a 2. és 3. levélnél a klorofill-*a* és klorofill-*b* aránya a -Zn+NES kezelésnél. A auxin kezelés ebben a két esetben tudta a cinkhiány kedvezőtlen hatását mérsékelni. Az uborkánál a fotoszintetikus pigmentek egymáshoz viszonyított aránya a kukoricánál mért adatokkal ellentétben nem mutatkozik különbözőnek, mivel arányukban a kezelések hatására csekély eltérés volt tapasztalható.

5.4.7. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatása a gyökerek morfológiai alakulására

A cinkhiány és a NES kezelés hatását a kukorica és az uborka gyökerének morfológiájára a **34. ábra** szemlélteti.

A cinkhiány hatására a gyökerek lényegesen kisebbek és morfológiailag kevésbé differenciáltak voltak, mint a kontroll. A NES kiegészítés hatására a gyökértömeg a

kontrollt megközelítette, az uborka esetén meghaladta. A NES kezelés kedvezett az oldal-, és a hajszálgyökök képződésének, amely a kukoricánál kifejezettebb volt.



34. ábra: A kezelések hatása a 15 napos kukorica (A) és a 30 napos uborka (B) gyökerének morfológiai alakulására.

5.5. AZ OPTIMÁLISTÓL ELTÉRŐ Fe/Zn ARÁNY NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány a növényben Zn hiányt idézhet elő, amelynek egyik leglátványosabb jele a növények rövid szártagúsága, törpenövése, amely a megnyúlásos növekedés gátlásán keresztül valósul meg.

5.5.1. Az optimális vas- és cink-ellátás, valamint a cinkhiány hatása a Fe/Zn arány alakulására

Az optimális (egyszeres) vas- és cink-ellátás, valamint a cinkhiány hatását a Fe/Zn arány alakulására a **22. táblázatban** foglaltam össze.

22. 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	99,4±1,0	41,6±4,6	2,4
- Zn	141±36*	15,6±2,9***	9,2

A cinkhiányos tápoldaton növekedett uborka hajtásának vastartalma szignifikánsan, 42%-kal nagyobb volt, mint a kontroll. Az uborka hajtásának cinktartalma harmadára (15,6±2,9) csökkent a -Zn kezelés hatására a kontrollhoz képest (41,6±4,6), mivel az egyedüli cinkforrást a mag cink-tartaléka jelentette. A kalkulált Fe/Zn arány a kontroll estében 2,4±0,3 volt. A Fe/Zn arány a cinkhiányos hajtásban 9,2±2,6 volt, amely 3,8-szorosa a kontrollénak.

5.5.2. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a növekedésre

A különböző koncentrációjú cink és vas kezelések hatását a kukorica és az uborka hajtásának és gyökerének növekedésére a **9. és 10. sz. mellékletben** mutatom be.

A kukoricánál jelentős különbségeket tapasztaltam a hajtás és gyökérnövekedésben az optimálistól eltérő koncentrációjú cink és vaskezelések hatására a kontrollhoz képest. Az abszolút cinkhiányos kezeléseknél a hajtás és a gyökér növekedése arányosan csökkent a tápoldathoz adott vas koncentrációjának emelésével a kontrollhoz képest, valamint jelentősen csökkent a kukorica gyökérnövekedése azon kezeléseknél (4., 7., 11., 15), ahol a tápoldat 10-szeres koncentrációban tartalmazott vasat. A 5, 8 és 12-es számmal jelölt abszolút vashiányos kezeléseknél a levelek klorotikusak voltak.

Az uborkánál a hajtásnövekedésben csekély, míg a gyökérnövekedésben jelentős különbségeket tapasztaltam a különböző koncentrációjú cink és vas kezelések hatására a kontrollhoz képest. Az abszolút vashiányos (5., 8., 12.) kezeléseknél a leveleken a vas hiánytüneteit figyeltem meg.

5.5.3. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a hajtás és a gyökér hosszára, a levelek számára

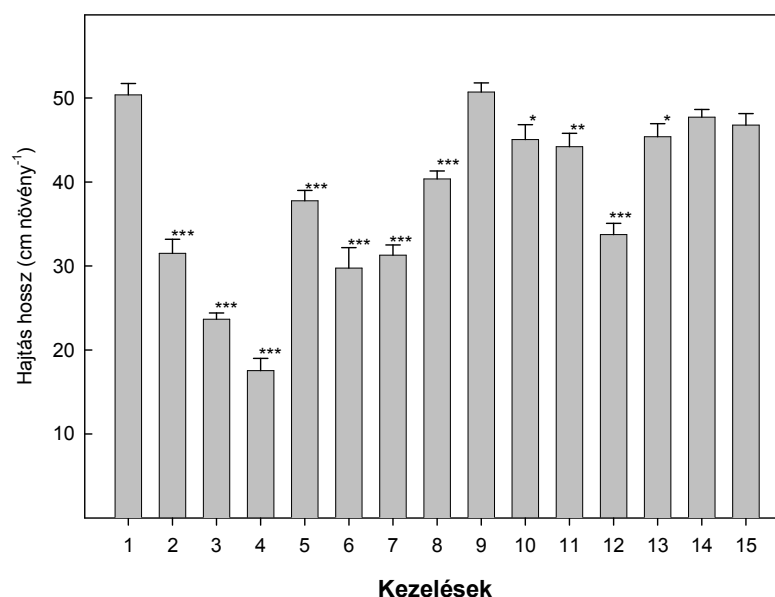
Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatását a gyökérhosszra a **23. táblázat**, a hajtáshosszra a **35. ábra**, valamint a levelek számára a **36. ábra** szemlélteti.

23. táblázat: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 14 napos kukorica és a 23 napos uborka gyökerének hosszára (cm növény⁻¹) (n=8±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Kezelések	kukorica	uborka
kontroll	44,44± 9,61	41,00±9,31
- Zn+1xFe	38,39± 6,34*	39,43±6,23
- Zn+5xFe	35,61± 7,13**	36,83±9,29
- Zn+10xFe	22,30± 3,81***	36,85±2,62
1xZn+ -Fe	25,86± 4,98***	39,08±5,83
1xZn+5xFe	33,66± 6,59***	45,58±2,86
1xZn+10xFe	28,54±11,39***	33,40±3,59
5xZn+ -Fe	27,66± 6,99***	46,53±7,18
5xZn+1xFe	39,30±10,05	48,60±9,94
5xZn+5xFe	43,64± 8,34	37,38±2,20
5xZn+10xFe	25,01± 3,91***	31,18±5,87
10xZn+ -Fe	26,61± 2,90***	43,48±3,82
10xZn+1xFe	33,49± 4,69***	38,95±3,76
10xZn+5xFe	39,31± 6,06	42,98±4,21
10xZn+10xFe	28,83± 8,82***	46,28±5,93

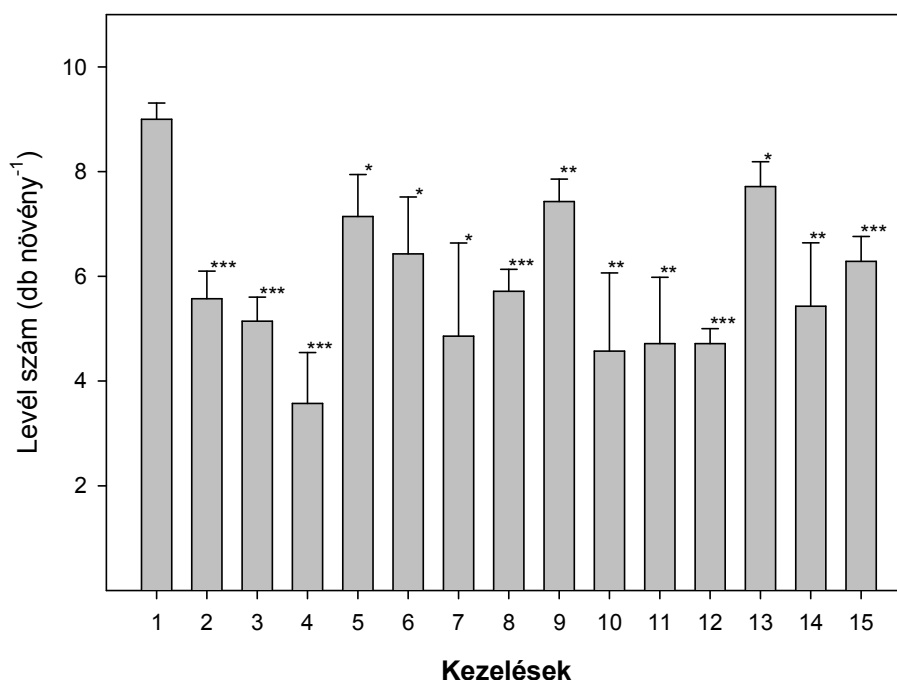
A kukorica gyökerének hossza az optimálistól eltérő koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatására minden esetben csökkent (csökkenés mértéke: 2%-50%) a kontrollhoz képest. A -Zn+10xFe kezeléseknél mértem a legnagyobb csökkenést (50%) a kontrollhoz képest, amely alátámasztja WARNOCK (1970) megfigyelését.

Az uborka gyökérhossza nem mutatott szignifikáns eltérést a kezelések között. A cinkhiányos kezelések hatására 4%-10%-kal csökkent az uborka gyökérhossza a kontrollhoz képest. A többi kezelésnél esetenként (5%-19%-os) növekedést, más esetekben 5%-24%-os csökkenést mértem a kontrollhoz képest.



35. ábra: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések 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.

A kukorica hajtásának hossza a különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatására eltérően alakult. Cink hiányában a vas emelkedő koncentrációja szignifikánsan, 30%, 50%, 57%-kal csökkentette a kukorica hajtásának hosszát a kontrollhoz képest a 2., a 3. és a 4. kezeléseknél. Az 5., 8. és 12. kezeléseknél a vas hiánya okozhatta a hajtások hosszának gátlását, mivel megfelelő mennyiségű cink állt rendelkezésre. A többi kezelés esetén nem állapítható meg egységes tendencia, ugyanakkor minden kezelésnél csökkenés figyelhető meg a kontrollhoz képest, amely 3%-57%-ig terjedt.



36. ábra: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 23 napos uborka leveleinek számára (db növény⁻¹) (n=8±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001. 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.

Az uborka levelek száma a cinkhiány és a növekvő vasadagok (2., 3., 4. kezelések) hatására 38%, 43%, 60%-kal csökkent a kontrollhoz képest. Az egyszeres cink és vashiányos kezelés hatására 21%-kal, az egyszeres cinkkezeléshez adott növekvő vasadagok hatására 29%, 46%-kal csökkent a levelek száma a kontrollhoz képest. Az ötszörös cinkkezelés és a különböző vasellátás hatására 17%-49%-kal csökkent a levelek száma. A tízszeres cinkadagok és a különböző adagú vas kezelés hatására 14%-48%-kal csökkent az uborka levélszáma a kontrollhoz képest.

5.5.4. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása az internódiumok számának és hosszának alakulására

A cinkhiány egyik jele a szártagok rövidülése (KALOCSAI, 2006). Az eltérő Fe/Zn arány okozhat látens cinkhiányt (ZARE et al., 2009), ezért vizsgáltam a kezelések hatását az internódiumok számára és hosszára. Eredményeimet a **24. táblázatban** foglaltam össze.

24. 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***

A cinkhiányos kezeléseknél (2., 3., 4.) jelentős (19%, 29%, 43%-os) csökkenés figyelhető meg az internódiumok számában a kontrollhoz képest. A különböző adagú cink és vas kezelések hatására 14%-43%-os csökkenést tapasztaltam a kontrollhoz képest az internódiumok számában. Az 1xZn+-Fe és 1xZn+10xFe kezeléseknél a kontrollal megegyező, illetve azt meghaladó internódium számot mértem.

Eredményeim szerint a -Zn kezelésekhöz adott vas, a dózisok emelésével arányosan 71%, 85%, 90%-kal csökkentette az internódiumok hosszát a 2., a 3. és a 4. kezeléseknél a kontrollhoz képest, amely látens Zn hiányt jelez. Az 5 és 10-szeres cinkhez adott vasadagok mindegyike jelentősen, 56%-87%-kal csökkentette a szártagok hosszát a kontrollhoz képest.

5.5.5. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a hajtás és a gyökértérfogatára

A kezelések hatását a kísérleti növények hajtásának és gyökerének térfogatára a **25. táblázatban** foglaltam össze.

25. táblázat: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 14 napos kukorica hajtásának és a kukorica és a 23 napos uborka gyökerének térfogatára (cm^3 növény $^{-1}$) (kukorica: $n=8\pm\text{s.e.}$; uborka: $n=8\pm\text{s.e.}$). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$.

Kezelések	kukorica		uborka
	hajtás	gyökér	gyökér
kontroll	9,00 $\pm$ 0,80	4,31 $\pm$ 1,16	16,75 $\pm$ 6,18
- Zn+1xFe	7,56 $\pm$ 0,50	4,75 $\pm$ 1,10	16,50 $\pm$ 3,70
- Zn+5xFe	4,84 $\pm$ 0,92	2,85 $\pm$ 0,34	10,00 $\pm$ 11,46
- Zn+10xFe	2,91 $\pm$ 0,49**	1,38 $\pm$ 0,36***	9,75 $\pm$ 9,39
1xZn+ -Fe	6,75 $\pm$ 1,56	2,68 $\pm$ 0,80	11,00 $\pm$ 4,08
1xZn+5xFe	4,85 $\pm$ 0,95	2,75 $\pm$ 0,71	14,75 $\pm$ 6,85
1xZn+10xFe	6,04 $\pm$ 1,70	2,17 $\pm$ 0,66*	3,75 $\pm$ 5,55*
5xZn+ -Fe	8,20 $\pm$ 1,13	2,91 $\pm$ 0,65	7,25 $\pm$ 1,71*
5xZn+1xFe	10,31 $\pm$ 1,71	5,23 $\pm$ 0,36	20,25 $\pm$ 3,86
5xZn+5xFe	9,04 $\pm$ 1,50	5,44 $\pm$ 1,30	2,13 $\pm$ 1,31**
5xZn+10xFe	8,42 $\pm$ 1,90	1,95 $\pm$ 0,43**	5,93 $\pm$ 7,41
10xZn+-Fe	4,83 $\pm$ 1,24	1,61 $\pm$ 0,45***	4,50 $\pm$ 0,58**
10xZn+1xFe	10,90 $\pm$ 1,80	8,45 $\pm$ 1,20	12,25 $\pm$ 3,50
10xZn+5xFe	10,55 $\pm$ 0,53	5,13 $\pm$ 0,58	8,25 $\pm$ 6,40
10xZn+10xFe	9,00 $\pm$ 1,40	4,06 $\pm$ 1,06	13,00 $\pm$ 6,68

A hajtás térfogata 15%, 46%, 67%-kal csökkent a cinkhiányos kezeléshez adott emelkedő vasadagok hatására. 24%-46%-os csökkenést mértem az egyszeres, 4%-8%-os csökkenést az ötszörös, valamint 3%-46%-os csökkenést a tízszeres cinkkezeléshez adott különböző vasadagok hatására a kontrollhoz képest. A hajtás térfogata az ötszörös cinkkezeléshez adott egy- és tízszeres vasadag hatására, valamint a tízszeres cinkkezeléshez adott egy-, öt- és tízszeres vasadag hatására a kontrollal megegyezett, vagy azt (6%-27%-kal) meghaladta.

A gyökerek térfogata a kukoricánál 6%-68%-kal, az uborkánál 1%-87%-kal csökkent a különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatására. Cink hiányában az öt- és tízszeres vasadagok a kukoricánál jelentősen 34%, 68%, uborkánál 40%, 42%-kal csökkentették a gyökerek térfogatát a kontrollhoz képest. Az egy és többszörös cinkezelés és különböző vasadagok hatására a kukoricánál 6%-63%-kal, az uborkánál 12%-87%-kal csökkent a gyökerek tárfogata a kontrollhoz képest.

5.5.6. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozására

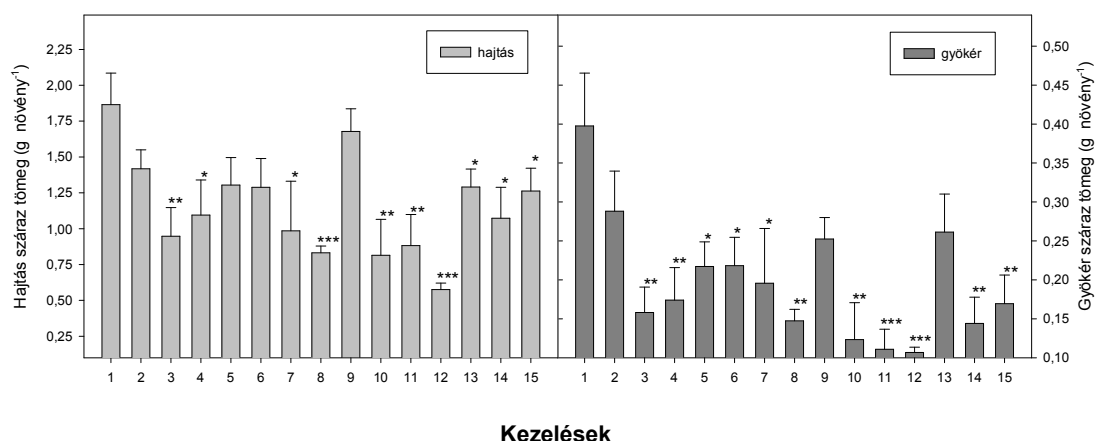
A különböző koncentrációjú cink és vas kezelések hatását a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozására a **26. táblázatban**, valamint a **37. ábrán** mutatom be.

26. táblázat: A különböző cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 14 napos kukorica száraz tömegére (g növény⁻¹) (n=10±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Kezelések	<i>hajtás</i>	<i>gyökér</i>
kontroll	0,68±0,29	0,12±0,04
- Zn+1xFe	0,48±0,10*	0,11±0,04
- Zn+5xFe	0,30±0,09***	0,10±0,04
- Zn+10xFe	0,28±0,08***	0,07±0,02***
1xZn+ -Fe	0,29±0,07***	0,14±0,16
1xZn+5xFe	0,33±0,15**	0,09±0,04
1xZn+10xFe	0,38±0,10**	0,08±0,04*
5xZn+ -Fe	0,35±0,06**	0,08±0,03**
5xZn+1xFe	0,68±0,13	0,10±0,04
5xZn+5xFe	0,64±0,19	0,12±0,04
5xZn+10xFe	0,61±0,17	0,08±0,03*
10xZn+ -Fe	0,26±0,05***	0,06±0,01***
10xZn+1xFe	0,53±0,29***	0,11±0,08
10xZn+5xFe	0,67±0,18	0,11±0,05
10xZn+10xFe	0,56±0,28	0,11±0,07

A kukorica hajtásának száraz tömege jelentősen (1%-61%-kal) csökkent a különböző adagú cink és vas kezelések hatására a kontrollhoz képest. A gyökér száraz tömege 8%-50%-kal csökkent a különböző adagú cink és vas kezelések hatására a kontrollhoz képest. A cinkhiányban adott vasadagok a koncentráció emelésével arányosan csökkentették a kukorica hajtásának és gyökerének száraz tömegét a kontrollhoz képest.

A különböző koncentrációjú cink és vaskezelések hatására az uborka hajtásának és gyökerének szárazanyag-felhalmozása 10%-69%, 28%-73%-kal csökkent a kontrollhoz képest. A cinkhiányos kezelésekhez adott vasadagok hatására a hajtásnál 24%-49%, a gyökérnél 28%-60% csökkenést mértem az uborka szárazanyag-tartalmában a kontrollhoz képest.



37. ábra: A kezelések hatása a 23 napos uborka szárazanyag-termelésére (g növény⁻¹) (n=10±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001. 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.

5.5.7. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a relatív klorofill-tartalom alakulására

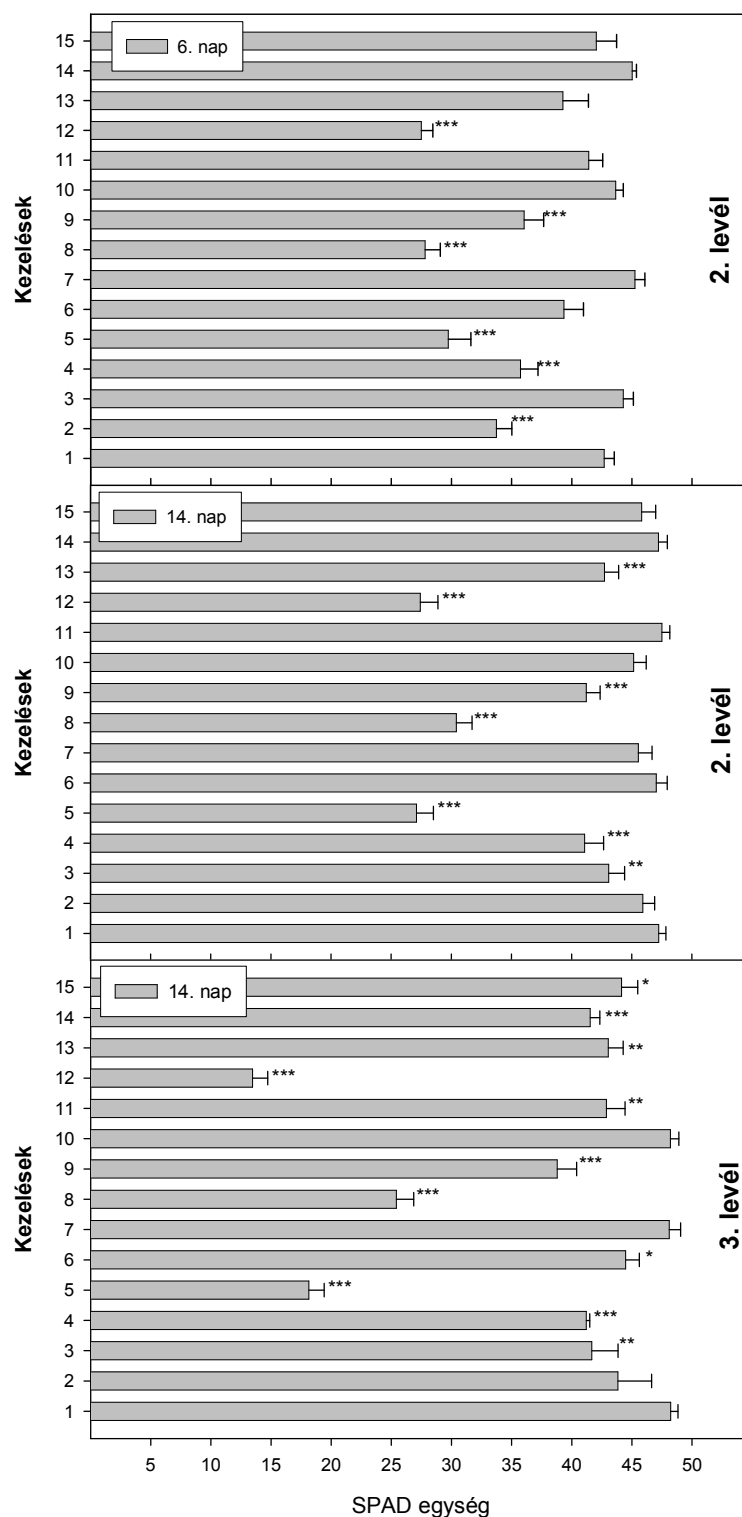
Az optimálistól eltérő adagú vas és cinkkezelés hatását a levelek relatív klorofill-tartalmára a **38. ábrán** és a **27. táblázatban** foglaltam össze.

A vas hiánya okozta a legnagyobb (közel 50%-os) csökkenést a 6 napos kukorica 2. levelének SPAD indexében a kontrollhoz képest (5., 8., 12. kezelés). A cinkhiányos tápoldathoz adott emelkedő vas adagok hatására (16% és 25%-kal a 2. és 4. kezelésnél) csökkent a 2. levelekben a relatív klorofill-tartalom a kontrollhoz képest.

A többi kezelésnél változó SPAD értékeket mértem, melynek oka, hogy az eltérő mennyiségben adagolt cink és vas zavart idézett elő az anyagcserében, így esetenként 2%-6%-os növekedést, más esetekben 2%-36%-os csökkenést tapasztaltam a kukorica 2. levelének relatív klorofill-tartalmában a kontrollhoz képest.

A cinkhiányos tápoldathoz adott növekvő vas adagok hatására, a vas koncentrációjának emelésével arányosan csökkent a 2. levélben 5%-9%-kal, a 3. levélben 1%-10%-kal a 14 napos kukorica relatív klorofill-tartalma 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.

A különböző adagú cink és vas kezelések hatására az uborka 2. levelének relatív klorofill-tartalma számos esetben jelentősen (a 18. napon 11%-70%-kal, az 5xZn+5xFe kezelésnél 100%-kal; a 22. napon 3%-45%-kal) csökkent a kontrollhoz képest. A 3. levél relatív klorofill-tartalma a 18. napon 12%-69%-kal (az 5xZn+5xFe kezelésnél 100%-kal), a 22. napon 2%-50%-kal csökkent a különböző adagú cink és vaskezelések hatására a kontrollhoz képest. Néhány esetben (3%-17%-os) növekedést mértem az uborka 2. és 3. levelének klorofill-tartalmában a kontrollhoz képest.



38. ábra: A relatív klorofill-tartalom alakulása a 6 kukorica 2. és a 14 napos kukorica 3. levelében a különböző adagú cink és vas kezelések hatására. (SPAD egység) ($n=100 \pm s.e.$). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$. 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.

27. 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

5.5.8. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a levelek klorofill-*a*, -*b* és karotinoidok tartalmára

Az optimálistól eltérő vas és cink kezelések hatását a levelek abszolút klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoidok tartalmára, valamint a vizsgált pigmentek egymáshoz viszonyított arányára a **11. sz. melléklet** szemlélteti.

A kezelések hatására csökkenést tapasztaltam a mért levelek abszolút klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoidok tartalmában. Szignifikáns különbséget tapasztaltam a kontrollhoz képest a kukorica 2. és 3. levelének klorofill-*a*, valamint a 2. levél klorofill-*b* és karotinoidok tartalmában a különböző koncentrációjú cinkkezelésekhez adott vashiányos kezeléseknél (1xZn+ -Fe, 5xZn+ -Fe, 10xZn+ -Fe). E vashiányos kezelések a kukorica 2. és 3. levelében 46%-61%, 70%-87%-kal csökkentették a klorofill-*a*, 52%-59%, 78%-83%-kal a klorofill-*b*, valamint 45%-58%, 70%-82%-kal a karotinoidok abszolút mennyiségét a kontrollhoz képest. A vashiányos kezeléseken kívül nem tapasztaltam jelentős csökkenést a vizsgált pigmentek mennyiségében.

Az uborkánál a vashiányos kezelések mellett az egyszeres-, ötszörös és tízszeres cinkkezelésekhez adott vasadagok hatására is tapasztaltam szignifikáns eltérést a

kontrollhoz képest a vizsgált fotoszintetikus pigmentek mennyiségében. A különböző koncentráció cink és vaskezelések hatására az uborka 2. és 3. levelében 3%-57%, 1%-58%-kal volt kevesebb a klorofill-*a*, 3%-61%, 11%-64%-kal a klorofill-*b*, valamint 5%-58%, 4%-54%-kal a karotionoidok abszolút mennyisége, mint a kontroll. Az abszolút vashiányos kezeléseknél átlagosan 32%-58%, 40%-64%, 33%-58%-kal csökkent a klorofill-*a*, a klorofill-*b* és a karotinoidok mennyisége a kontrollhoz képest.

5.5.9. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a gyökerek szerves sav kiválasztására

Az optimálistól eltérő koncentrációjú cink és vas kezelések hatását a kukorica és az uborka gyökerének szerves sav kiválasztására a **39. és a 40. ábrán** mutatom be.

A kukoricánál jelentősen nagyobb volt a vashiányos (8., 12.) kezeléseknél a gyökerek szerves sav kiválasztása, mint a kontrollnál, melynek oka a vas hiányában jelentkező nagy mennyiségű fitosziderofor kiválasztás.

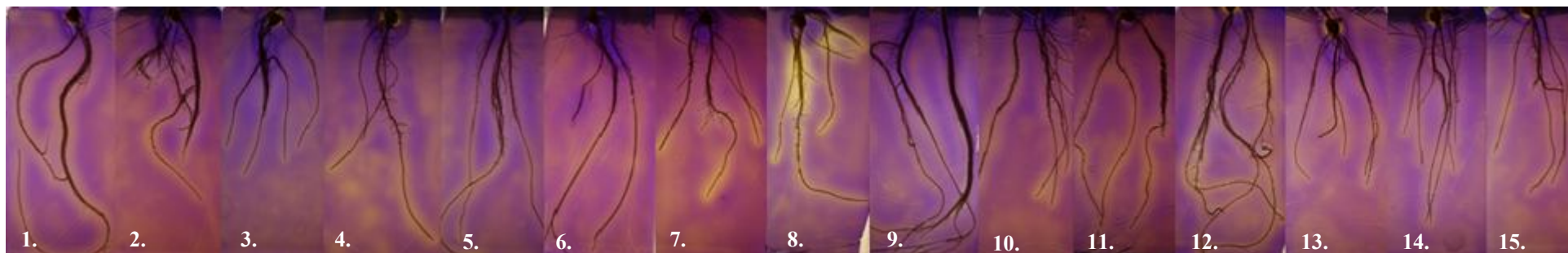
Az uborkánál az 5xZn+5xFe (10.) kezelésnél a kontrollt meghaladó volt a gyökerek szerves sav kiválasztása. Az optimálistól eltérő cink és vas kezelések hatására a többi kezelésnél a kontrollhoz hasonló mennyiségű volt az uborka gyökérsav kiválasztása.

5.5.10. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatása a gyökerek morfológiai alakulására

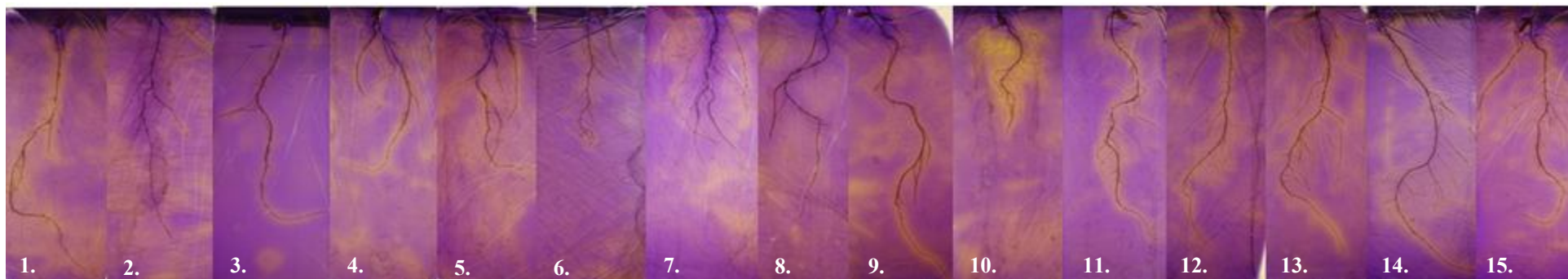
Az optimálistól eltérő koncentrációjú cink és vas kezelések hatását a kukorica és az uborka gyökerének morfológiai alakulására a **12. és a 13 sz. mellékletben** mutatom be.

A kukoricánál az abszolút cinkhiányos tápoldathoz adott növekvő vas adagok (2., 3., 4. kezelések) - a vas koncentrációjának emelésével arányosan - csökkentették a kukorica gyökerének méretét. Jelentős csökkenés figyelhető meg a kukorica gyökérméretében a 4-es, 7-es, 11-es és 15-ös kezeléseknél, ahol a tápoldat 10-szeres koncentrációban tartalmazott vasat.

Az uborka gyökerének morfológiai differenciáltságát leginkább az 5xZn+-Fe (8.) és 10xZn+-Fe (12.) kezelések gátolták, ahol a tápoldat abszolút vashiányos volt és többszörös mennyiségben tartalmazott vasat. Továbbá az abszolút cinkhiányos kezeléshez adott egyszeres és ötszörös vas mennyisége is jelentősen csökkentette az uborka gyökerek fejlődését a kontrollhoz képest.



39. ábra: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása az 5 napos kukorica gyökerének szerves sav kiválasztására. 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.



40. ábra: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása az 5 napos uborka gyökerének szerves sav kiválasztására. 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.

5.6. A GYENGE CINK-ELLÁTOTTSÁG ÉS A BIOTRÁGYA HATÁSÁNAK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

5.6.1. A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a növekedésre

Vizsgáltuk a biotrágya kezeléseket a gyenge cink-ellátottságú talajokon - rhizoboxban - nevelési kísérleti növények hajtásának és gyökerének növekedésére (**14. sz. melléklet**).

A különböző tulajdonságú, gyenge cink-ellátottságú - KCl-EDTA kivonási módszer esetén $1,5 \text{ mg kg}^{-1}$ Zn (MÉM NAK, 1979) tartalom alatti - talajokon nevelt kukorica hajtásának és gyökerének növekedése eltéréseket mutatott a különböző talajtípusok hatására.

A talajokhoz adott 1 ml dm^{-3} koncentrációjú biotrágya kezelés növelte a kukorica hajtásnövekedését a biotrágyával nem kezelt kontrollhoz képest, kivételt képeznek a 10 (agyagos vályog), 11 (homokos vályog), 15 (nehéz agyag) és 17-es (homokos vályog) talajok, ahol a kontrollnál kisebb vagy azzal megegyező volt a hajtásnövekedés.

A biotrágya kiegészítés hatására a kukorica gyökernövekedése a homokos vályog 9 és 11-es talajok, valamint az agyag fizikai talajféleségű 18-as talaj kivételével minden esetben nagyobb volt, mint a kontroll.

5.6.2. A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a gyökernövekedésre

Az ültetést követő 1., 2. és 3. napon vizsgáltam a kísérleti növények nappali, éjszakai és összes napi gyökernövekedését a kezelések hatására. Eredményeimet a **28. és a 29. táblázatban** foglaltam össze.

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

Kéz.	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

29. táblázat: A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a rhizoboxban nevelt 1, 2 és 3 napos kukorica napi összes gyökérnövekedésére ($n=9\pm s.e.$) (cm gyökér⁻¹). +P: biotrágya kiegészítés. Szignifikáns különbség a kezeletlen talajhoz képest: $p^*<0.05$, $p^{**}<0.01$, $p^{***}<0.001$.

Kezelések	NAPI ÖSSZNÖVEKEDÉS		
	1. nap	2. nap	3. nap
1	2,85±0,54	4,78±1,77	4,41±1,74
1P	3,49±0,74*	5,53±1,78	5,42±1,96*
2	2,77±1,14	4,92±1,46	5,09±2,25
2P	3,06±1,09	5,40±2,11	5,25±1,38
3	3,14±1,02	5,20±1,88	4,66±1,28
3P	4,01±0,45*	5,85±0,84	4,90±2,54
4	3,47±1,00	5,41±2,01	4,08±2,26
4P	3,97±0,40**	6,07±1,09*	5,06±1,41*
5	3,31±0,52	5,08±1,12	5,17±1,18
5P	4,51±0,49***	5,70±2,52	4,93±2,66
6	4,27±0,89	4,90±2,21	4,70±1,80
6P	4,47±1,59	5,06±1,97	4,78±1,98
7	3,49±0,57	4,63±1,36	3,88±2,50
7P	4,13±1,09	5,58±2,02	5,44±2,87
8	3,15±0,53	4,83±0,95	4,51±1,08
8P	3,42±1,21	5,17±1,40	5,23±0,57
9	3,32±1,48	4,92±2,53	5,54±2,59
9P	3,88±1,85	5,71±1,85	5,83±3,23
10	3,80±0,84	4,46±1,54	4,17±1,99
10P	3,96±2,00	5,08±2,02	4,30±2,03
11	2,11±0,79	3,56±1,53	4,42±1,53
11P	2,27±0,90	3,89±1,15	4,57±1,70
12	2,70±0,62	3,77±1,58	4,15±1,75
12P	2,94±0,74	4,25±1,67	4,71±1,57
13	2,88±0,76	4,47±2,33	4,74±2,07
13P	2,93±0,89	4,61±1,59	4,67±2,00
14	2,75±1,22	4,05±1,84	4,08±2,28
14P	3,49±0,99*	4,31±1,96	4,38±2,21
15	3,09±0,64	4,67±0,93	4,47±1,57
15P	3,36±1,48	4,76±1,77	4,60±2,07
16	2,11±0,76	3,17±0,76	3,42±1,51
16P	2,66±1,09	3,74±1,47	5,02±2,27
17	1,18±0,50	1,75±0,93	2,79±1,38
17P	3,22±1,66	5,03±2,59**	3,73±1,92
18	2,26±1,21	3,50±1,89	3,26±1,62
18P	2,55±1,24	3,87±2,05	4,11±1,47
19	3,09±0,49	4,22±0,57	4,80±2,50
19P	3,46±0,78	4,79±0,64	5,52±1,04
20	2,13±0,71	3,58±1,20	3,29±1,08
20P	2,75±0,35**	4,31±0,53	4,26±0,60*

A nappali gyökérnövekedést jelentősen elősegítette a talajokhoz adott biotrágya kezelés, amely az 1. napon 3%-32%-kal, a 2. napon 4%-71%-kal, a 3. napon 2%-38%-kal növelte a gyökerek növekedését a kezeletlen kontrollhoz képest. A nappali gyökérnövekedést illetően a legnagyobb növekedést az 1. napon a 16-os agyag, a 2. és 3. napon a 17-es homokos vályog talajnál tapasztaltam.

Az éjszakai gyökérnövekedés az 1. napon 2%-78%-kal, a 2. napon 1%-58%-kal, a 3. napon 1%-44%-kal volt nagyobb a biotrágya kezelésekre hatására, mint a kontroll. Az éjszakai gyökérnövekedés a 17-es homokos vályog (1. és 2. nap), valamint a 18-as agyag talajnál volt a legnagyobb a biotrágya kezelés hatására.

A napi összes gyökérnövekedés a biotrágya kiegészítés hatására a legtöbb esetben növekedett: az 1. napon 1%-63%-kal, a 2. napon 3%-65%-kal, a 3. napon 2%-32%-kal a kontrollhoz képest. A biotrágya kezelés leginkább a 17-es homokos vályog és a 18-as agyag talajnál növelte a kukorica gyökérnövekedését a kontrollhoz képest.

5.6.3. A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a szárazanyag-felhalmozásra

A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatását a kukorica hajtás és gyökér szárazanyag-tartalmára a **30. táblázatban** foglaltam össze.

Különbségek figyelhetők meg a hajtás és a gyökér száraz tömegében a kezelések között. Jelentős különbségeket tapasztaltam (-1%-36%, +2%-26%) a biotrágya kiegészítés hatására a kukorica hajtásának száraz tömegében. A biotrágya kezelés 2%-26%-kal nagyobb hajtás tömeget eredményezett a kontrollhoz képest az 1 és 7-es homok, a 8, 16, és 18-as agyag, a 11 és 12-es homokos vályog, a 14-es vályog, valamint a 20-as agyagos vályog talaj-kezeléseknél, de nem szignifikánsan.

A gyökerek száraz tömegében sem volt szignifikáns különbség a biotrágya kezelésekre hatására. A biotrágya kezeléseknél esetenként 12%-35%-kal nagyobb volt a gyökér száraztömege, míg más esetben a kontrollal megegyező vagy annál (2%-70%-kal) kisebb volt.

30. táblázat: A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelés hatása a rhizoboxban nevelt a 4 napos kukorica hajtásának és gyökerének szárazanyag-tartalmára (n=9±s.e.) (g növény⁻¹). +P: biotrágya kiegészítés.

Kezelések	hajtás	gyökér
1	0,0265±0,01	0,1262±0,07
1P	0,0322±0,01	0,1486±0,08
2	0,0269±0,01	0,0818±0,07
2P	0,0256±0,00	0,0773±0,09
3	0,0327±0,01	0,1485±0,14
3P	0,0320±0,01	0,1228±0,14
4	0,0324±0,01	0,0947±0,09
4P	0,0298±0,00	0,1155±0,07
5	0,0305±0,00	0,1253±0,08
5P	0,0290±0,01	0,0905±0,03
6	0,0268±0,00	0,0759±0,01
6P	0,0266±0,00	0,0686±0,04
7	0,0217±0,01	0,1024±0,05
7P	0,0224±0,01	0,1028±0,10
8	0,0226±0,01	0,0373±0,02
8P	0,0248±0,00	0,0298±0,02
9	0,0342±0,01	0,0493±0,02
9P	0,0252±0,00	0,0353±0,02
10	0,0290±0,00	0,0394±0,03
10P	0,0242±0,00	0,0386±0,01
11	0,0227±0,01	0,0443±0,03
11P	0,0274±0,00	0,0427±0,02
12	0,0199±0,01	0,0388±0,02
12P	0,0224±0,01	0,0448±0,02
13	0,0270±0,01	0,1104±0,04
13P	0,0270±0,01	0,0977±0,02
14	0,0235±0,01	0,0362±0,02
14P	0,0317±0,01	0,0412±0,02
15	0,0310±0,00	0,0402±0,01
15P	0,0233±0,01	0,0364±0,01
16	0,0202±0,01	0,0214±0,02
16P	0,0208±0,01	0,0331±0,02
17	0,0281±0,01	0,0340±0,04
17P	0,0238±0,00	0,0255±0,00
18	0,0249±0,00	0,0409±0,51
18P	0,0270±0,01	0,0240±0,02
19	0,0294±0,01	0,0300±0,01
19P	0,0272±0,00	0,0282±0,01
20	0,0173±0,01	0,0248±0,02
20P	0,0177±0,01	0,0236±0,02

5.7. A MÉSZKEZELÉS HATÁSÁNAK NÖVÉNYFIZIOLÓGIAI VIZSGÁLATA

5.7.1. A mészkezelések hatása a növekedésre

A mészkezelések hatását a kukorica és bab hajtásának és gyökerének növekedésére a **15. és a 16. sz. mellékletek** szemléltetik. A különböző koncentrációjú 1, 2, 7 g kg⁻¹ mészadagok hatására csökkent a kukorica és a bab hajtásának növekedése a kontrollhoz képest. A hajtáscsökkenés eltérően alakul a különböző talajokon, de minden esetben a mész koncentrációjának emelésével tovább csökken. A mészkezelések okozta hajtáscsökkenés a kukoricánál a 16 és 18-as agyag, a 17-es homokos vályog, a bab esetén a 10 (agyagos vályog) és 16-os (agyag) talajoknál a legkifejezettebb. A mészkezelések hatására nem volt jelentős különbség a gyökernövekedésben.

5.7.2. A mészkezelések hatása a hajtás hosszára

A különböző koncentrációjú mészkezelések hatását a kukorica hajtásának hosszára a **31. táblázat** szemlélteti.

31. táblázat : A kezelések hatása a 9 napos kukorica hajtásának hosszára (n=9±s.e.) (cm növény⁻¹). Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: p*<0.05, p**<0.01, p***<0.001.

Talajok számozása	kontroll	1 g mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész kg ⁻¹ talaj
8	14,27±1,13	13,86±1,84	13,84±2,21	14,75±0,87
10	16,63±0,75	15,49±1,91	15,35±1,07	14,12±2,35*
15	16,29±1,00	16,14±2,49	15,87±1,33	15,51±1,63
16	21,23±1,86	17,93±2,21*	17,39±3,18*	17,26±1,58*
18	19,91±2,08	18,99±1,32	17,06±1,01*	17,08±0,45*
19	19,53±2,18	16,52±2,99*	16,32±2,00*	16,03±1,34*
20	21,89±3,36	21,46±1,08	18,34±1,57*	17,57±0,66**

A kontrollhoz képest jelentős csökkenés figyelhető meg a hajtások hosszában. A mészadagok növelésével arányosan csökkent a kukorica hajtásának hossza. Az 1 g mész kg⁻¹ talaj kezelés hatására több, mint 15%-kal, a 2 g és a 7 g mész kg⁻¹ talaj kezelés hatására több, mint 18%-kal csökkent a hajtáshossz a kontrollhoz képest, melynek oka, hogy a növekvő pH hatására gátolt volt a tápelemek oldódása és felvétele, amely csökkentette a hajtásnövekedést is.

5.7.3. A mészkezelések hatása az epikotil és a hipokotil hosszára

Vizsgáltam a növekvő mészadagok hatását az internódiumok hosszára a bab esetén, mivel a cinkhiány hatására a szártagok rövidülnek. Eredményeimet a **32. táblázatban** foglaltam össze.

A mészadagok csökkentették a bab internódiumainak hosszát a kontrollhoz képest. A legkisebb mészadag hatására is szignifikánsan több mint 1 cm-rel csökkent a szik alatti szárrész hossza a kontrollhoz képest a 16-os agyag és a 20-as, agyagos vályog talajnál. A 2 és 7 g mész kg⁻¹ talaj kezelésekre hatására, ugyanezen talajok esetén mértem szignifikáns különbséget a kontrollhoz képest. A 20-as (agyagos vályog) talajnál a 2 g mész kg⁻¹ talaj kezelés hatására 1,58 cm-rel, a legnagyobb adagú (7 g mész kg⁻¹) mészkezelés hatására 2,80 cm-rel csökkent a vizsgált szártag hossza a kontrollhoz képest.

32. táblázat: A kezelések hatása a 13 napos bab hipokotiljainak 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

A szik feletti első szárrész vizsgálatakor szintén csökkenést figyeltem meg a mészkezelések hatására. Ugyanakkor csak a 16. számú agyag talajnál volt statisztikailag

kimutatható különbség a mészkezelés hatására a kontrollhoz képest. A legkisebb mészdózis átlagosan 0,55 cm-rel, a 2 g mész kg⁻¹ talajkezelés átlagosan 0,73 cm-rel, míg a legnagyobb mészkezelés átlagosan 1,10 cm-rel csökkentette a szik feletti 1. internódium hosszát a kontrollhoz képest.

A fentiekben említett csökkenés jelzi, hogy a talajhoz adott mész növelte annak pH-ját, amelynek következtében akadályozott volt a Zn felvétele, amely okozhatta a szártagok rövidülést.

5.7.4. A mészkezelések hatása a relatív klorofill-tartalom alakulására

A különböző koncentrációjú mészadagok hatását a kukorica és a bab levelek relatív klorofill-tartalmára a **33. táblázat** szemlélteti.

33. táblázat: A különböző adagú mészkezelések 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 mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész 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*

A kukorica levelek relatív klorofill-tartalma 3-20%-kal csökkent a növekvő (1, 2, 7 g mész kg⁻¹ talaj) mészkezelések hatására a kontrollhoz képest. Szignifikáns különbséget a mészkezelések hatására az agyag 16, 18 és 19-es, valamint az agyagos vályog 20-as talajnál tapasztaltam a kontrollhoz viszonyítva.

A babnál a mészadagok növelésével arányosan csökkent a relatív klorofill-tartalom a kontrollhoz képest. Az 1 g mész kg^{-1} talaj kezelés hatására a 8 és 19. számú agyag talajokon nevelt bab első levelének relatív klorofill tartalma szignifikánsan 7%, 14%-kal volt kisebb, mint a kontroll. A 2 g mész kg^{-1} talajkezelésnél az agyag 8 és 19-es, valamint az agyagos vályog 20-as kezelésnél a SPAD index szignifikánsan 27%, 15%, 35%-kal kisebb volt, mint a kontroll. A 7 g mész kg^{-1} talaj kezelés hatására minden vizsgált talajnál szignifikáns - 16%-75%-os - csökkenést figyeltem meg a kontrollhoz képest a levelek relatív klorofill-tartalmában.

5.7.5. A mészkezelések hatása a szárazanyag-felhalmozásra

Vizsgáltam a növekvő mészadagok hatását a szárazanyag-tartalom alakulására. Eredményeimet a **17. sz. mellékletben** foglaltam össze.

A kukorica hajtás száraz tömege jelentősen - több mint 45%-kal - csökkent a 2 és a 7 g mész kg^{-1} talaj kezelés hatására a kontrollhoz képest (kivételt képez a 8. (agyag) és a 20. (agyagos vályog) talaj). A kukorica gyökerének száraz tömege nem mutatott szignifikáns eltérést a kezelések között, ugyanakkor a 7 g mész kg^{-1} talajkezelés jelentősen - a 16. számú agyag talaj esetén 60%-kal - csökkentette a gyökér szárazanyag felhalmozását a kontrollhoz képest.

A bab hajtásának száraz tömege jelentősen csökkent a mészadagok koncentrációjának emelésével a kontrollhoz képest. A hajtás száraz tömege az 1 g mész kg^{-1} talaj kezelés hatására átlagosan 12%-kal, a 2 g mész kg^{-1} talajkezelésnél átlagosan 16%-kal, a 7 g mész kg^{-1} talajkezelésnél átlagosan 29%-kal csökkent a kontrollhoz képest.

A növekvő adagú - 1, 2, 7 g mész kg^{-1} talaj - mészkezelések hatására átlagosan 17%, 19%, 23%-kal csökkent a bab gyökerének száraz tömege a kontrollhoz képest.

5.7.6. A mészkezelések hatása a gyökérnövekedésre

Mértem a különböző adagú mészkezelések hatását a kukorica és a bab gyökérnövekedésére. Eredményeimet a **18. és a 19. sz. mellékletekben** foglaltam össze. Az 1. napon, a növekvő (1, 2, 7 g mész kg^{-1} talaj) mészadagok hatására 6%-34%, 7%-36, 15%-43%-kal csökkent a kukorica éjszakai gyökérnövekedésének a kontrollhoz képest. A 1, 2, 7 g mész kg^{-1} kezelések hatására a nappali gyökérnövekedés 2%-30%, 3%-40%, 4%-47%-kal volt kisebb, mint a kontroll.

A 2. napon az 1 g mész kg^{-1} kezelés hatására 9%-24%, 4%-37%-kal, a 2 g mész kg^{-1} kezelés hatására 11%-42%, 8%-36%-kal, a 7 g mész kg^{-1} kezelés hatására 15%-59%, 12%-37%-kal csökkent az éjszakai és nappali gyökérnövekedés a kontrollhoz képest.

A talajra helyezést követő 3. napon az 1 g mész kg^{-1} kezelés esetén 8%-49%-kal, 7%-33%-kal, a 2 g mész kg^{-1} kezelésnél 10%-50%, 5%-34%-kal, a 7 g mész kg^{-1} kezelésnél 12%-50%, 5%-35%-kal csökkent az éjszakai és nappali gyökérnövekedés a kontrollhoz képest. Ez a csökkenés a 15. (nehéz agyag), valamint a 16, 18 és 19-es számú agyag talajoknál volt a legkifejezettebb.

Ennek alapján az összes napi gyökérnövekedés az 1. napon átlagosan 2%-42%-kal, a 2. napon 7%-45%-kal, a 3. napon 7%-35%-kal csökkent a különböző mészadagok hatására a kontrollhoz képest.

A babnál a mészadagok koncentrációjának emelésével egyaránt csökkent a gyökerek nappali és éjszakai növekedése.

Az első napon a 8-as agyag talajnál jelentős - több mint 1,77 cm; 1,13 cm-es - csökkenés figyelhető meg a nappali és éjszakai gyökérnövekedésben a kontrollhoz képest. A 10-es agyagos vályog talajnál a legnagyobb mészadag hatására 29%, 53%-os csökkenést mértem a nappali és éjszakai gyökérnövekedésben a kontrollhoz képest. Szignifikáns különbség figyelhető meg a 18-as agyag és a 20-as agyagos vályog talajoknál is ahol a 7 g mész kg^{-1} talajkezelés 39%-os csökkenést okozott a nappali gyökérnövekedésben, illetve több mint 42%-os csökkenést az éjszakai gyökérnövekedésben a kontrollhoz képest.

A mészkezelések hatására a 2. napon a 8-as agyag talajnál több mint 1,41 cm-rel csökkent a gyökerek nappali, 0,55 cm-rel az éjszakai növekedése a kontrollhoz képest. Statisztikailag igazolható különbség van a 20-as agyagos vályog talaj esetén, ahol több mint 1,25 cm-rel volt kisebb a nappali gyökérnövekedés és több mint 0,39 cm-rel az éjszakai gyökérnövekedés a kontrollhoz képest.

A napi összes gyökérnövekedés adatok szemléltetik a növekvő mészadagok hatásaként jelentkező csökkenést a gyökérnövekedésben, amely kisebb-nagyobb mértékben, de minden vizsgált talaj esetén megfigyelhető.

6. EREDMÉNYEK MEGVITATÁSA, KÖVETKEZTETÉSEK

6.1. A tápoldathoz adott bikarbonát és a biotrágya növényfiziológiai vizsgálatának következtetései

A különböző koncentrációban adott bikarbonát (NaHCO_3) és egy biotrágya hatását vizsgáltam a tápközeg pH-jára, a kukorica és az uborka növekedésére, a hajtás és a gyökér hosszára, a levelek számára, a gyökértérfogat alakulására, a szárazanyag-felhalmozásra, a relatív klorofill-tartalomra, a levelek klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoidok tartalmára, a gyökerek szerves sav kiválasztására valamint a gyökerek morfológiai alakulására.

A kísérleteinkben alkalmazott NaHCO_3 minden esetben lúgosította a tápoldat pH-ját. A biotrágya kiegészítés mérsékelte a bikarbonát lúgosító hatását, amely megerősíti BOWEN és ROVIRA (1991) megállapítását. A bikarbonát a tápközeg pH-jának lúgosításával nehezítette a tápanyagok oldódását és felvételét. TERBE (2009) megállapításával összhangban a csökkent mértékű tápanyagfelvétel eredményeként mérsékelt hajtás- és gyökernövekedést tapasztaltam, amely a bikarbonát koncentrációjának emelésével tovább csökkent. Kísérleti eredményeim összhangban vannak NYE (1986) megállapításaival, miszerint a talaj pH-ja alapvetően befolyásolja a tápanyagok hozzáférhetőségét és felvételét. A biotrágya kiegészítés hatására mérséklődött a növekedésgátlás.

A bikarbonát 16%-64%-kal csökkentette a gyökerek hosszát, 27%-64%-kal a kukorica hajtásának 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. A biotrágya kiegészítés maximálisan 11% és 40%-kal mérsékelte a bikarbonát gátló hatását az uborka levelek számára, illetve a gyökerek hosszára. 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. A bikarbonát gátló hatása a szárazanyag-felhalmozásban a következőképpen mutatkozott meg. 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.

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. 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 kezelthez képest. A levelek klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoidok tartalmának vizsgálatakor 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 kezelések hatására, 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.

A bikarbonát kezelések hatására jelentősen növekedett a gyökerek által kiválasztott szerves savak mennyisége, amely a biotrágyás kezeléseknél mérsékeltebb volt. Eredményeim alátámasztják LÉVAI et al. (2005) megállapítását, 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 (MARSCHNER et al., 1986).

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.

6.2. Az infiltrálással bejutatott bikarbonát növényfiziológiai vizsgálatának következtetései

Az apoplazmába infiltrálással bejutatott, különböző koncentrációjú bikarbonát hatását vizsgáltam a kukorica és az uborka hajtásának és gyökerének növekedésére, hosszára, szárazanyag-felhamozására és a 2. és a 3. levél relatív klorofill-tartalmára.

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 gyökérnövekedését. 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. 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. 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. 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. Ezen megfigyelésünk alátámasztja MARSCHNER et al. (1994) eredményeit.

6.3. A tápoldathoz adott és infiltrálással bejutatott bikarbonát és biotrágya kezelés az apoplaszt oldat pH-jára irányuló vizsgálatának következtetései

Vizsgáltam az apoplaszt oldat pH-ját az optimális tápanyagellátás, a mezofillumba infiltrált bikarbonát, a napszaki változás, valamint a tápoldathoz adott bikarbonát és egy biotrágya kezelés hatására.

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 pufferolni tudott. 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. Megfigyeltük, hogy az idősebb korú növények eredeti apoplaszt oldatának tompító hatása - 8%-15%-kal - kisebb, mint a fiatalabb növényeké.

Eredményeink szerint a tápoldat pH-ja, illetve a tápközegben jelenlévő mikroorganizmusok képesek befolyásolni az apoplaszt oldat pH-ját. 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 kezelthez képest.

6.4. A bikarbonát, a biotrágya kezelés és a tápoldat, valamint az apoplazmatikus pH összefüggéseinek következtetései

Kísérleteimben a tápoldathoz adott bikarbonát 7%-72%-kal emelte a tápközeg pH-ját a kontrollhoz képest. A biotrágyás kiegészítés a tápoldat lúgosságát 1%-11%-kal csökkentette a biotrágyával nem kezelthez képest. Ez a megállapítás fordítottn igaz az apoplazmatikus nedv pH-ját illetően.

Az infiltrálva adott bikarbonát közvetlenül befolyásolta az apoplazmatikus pH alakulását. A bikarbonát koncentráció emelésével egyenes arányban - 10%-38%-kal - nőtt a sejtközötti járatokban lévő nedv pH-ja, a növény eredeti apoplaszt oldata képes volt tompítani azt. A tápoldathoz adott bikarbonát átlagosan 4%-23%-kal csökkentette az apoplazmatikus nedv pH-ját a kontrollhoz képest, míg a biotrágya kiegészítés hatására átlagosan 3%-17%-kal volt nagyobb a levél apoplaszt oldatának pH-ja a biotrágyával nem kezelt növényekhez képest.

A fentiek alapján megállapítható, hogy a tápoldathoz és infiltrálva adott bikarbonát befolyásolta a kísérleti növények apoplaszt oldatának pH-ját. A tápoldatos kísérletben alkalmazott biotrágya apoplazmatikus pH-t befolyásoló hatása is bizonyított. Ugyanakkor a bikarbonát és biotrágya apoplaszt oldat pH-t módosító hatása ellenkező módon befolyásolta a mezofillum sejtközötti járat oldatának és a tápoldat pH-ját.

A kísérleti eredmények alapján megállapítható, hogy a környezet (tápoldat, apoplaszt oldat) magas bikarbonát koncentrációja stresszorként hat, a közeg pH-jának emelésével csökkentette a tápanyagok oldódását és felvételét. Feltételezzük, hogy a mezofillum sejtközötti járatainak - bikarbonát okozta - magas pH-ja is okozhat tápanyag-hiányt (látens tápanyaghiány) megfelelő tápanyagellátás esetén is, mivel az infiltrálással bejuttatott bikarbonát - a tápoldatos kezelésekhez hasonlóan - gátolta a vizsgált fiziológiai paramétereket.

Kísérleteinkben igazoltuk a talajélet szerepét a növények tápanyagellátásában. **A bikarbonát okozta stresszhatás mérsékelhető volt az alkalmazott baktérium tartalmú biotrágya kiegészítő használatával.** A kedvező hatás okát a baktériumok és a magasabb rendű növények tápanyag-felvételi hasonlóságaival magyarázzuk. Feltételezzük, hogy a baktériumok jelentős szerves anyag kiválasztásuk révén oldhatóbbá teszik a tápanyagokat, növelve ezzel a felvehetőségüket így befolyásolják a magasabb rendű növények tápanyag-felvételi mechanizmusait. Ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a szántóföldi körülmények komplexitása miatt a laboratóriumi vizsgálatok során kapott pozitív eredmények nem feltétlenül jelentkeznek a növényi produkcióban.

6.5. Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés növényfiziológiai vizsgálatának következtetései

Az abszolút cinkhiány és a NES kezelés hatását vizsgáltam a hajtás és a gyökér növekedésére, száraz tömegére, a levelek relatív klorofill-tartalmára és a klorofill-*a*, -*b* és a karotionidok abszolút mennyiségére, továbbá az internódiumok számára és hosszára, valamint a gyökerek morfológiai változására.

Eredményeim szerint a cinkhiány kedvezőtlenül hatott a vizsgált fiziológiai paraméterekre. A cinkhiány jelentősen csökkentette a hajtás és a gyökér növekedését, száraz tömegét (a hajtás esetén 31%-36%-kal, a gyökér esetén 33%-64%-kal) a kontrollhoz képest. A NES kezelés kukoricánál 1%, uborkánál 91%-kal növelte a gyökér száraz tömegét a -Zn kezeléshez képest. Eredményeim megerősítik HÖFNER (1957) megállapítását, miszerint a cink szerepe - az auxin szintézise révén - kiemelt a növekedési folyamatokban.

Irodalmi adatok leírják, hogy a cink hiánya befolyásolja a fotoszintézist (RANDALL és BOUMA (1973). Kísérleti eredményeim szerint a 2. és a 3. levél relatív klorofill-tartalma 13%-45%-kal csökkent a cink hiányos kezelés hatására. A NES kezelés kukoricánál 22%-26%, uborkánál 10%-54%-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 karotinoidok mennyisége átlagosan 11%-62%, 30%-71%, 19%-70%-kal csökkent a kukorica és az uborka 2. és 3. levelében a kontrollhoz képest. **Eredményeim kiegészítik CHEN et al. (2008) megállapítását, ami szerint a cink hiányában a levelek klorofill-tartalma, valamint a klorofill-*a* és -*b* aránya jelentősen csökken. 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. A cink hiánya csökkentette a levelekben a fotoszintetikus pigmentek mennyiségét a szintetikus folyamatok gátlásán keresztül. A cink fontos szerepet játszik számos anyagcsere folyamatban, így a fehérje szintézisben is (CAKMAK, 2000). A fotoszintetikus pigmentek tartalmaznak egy kromofor csoportot és egy fehérje részt, ezért cinkhiány esetén a pigmentek károsodást szenvednek. A NES kiegészítés mintegy normalizálta, a kontroll szintjére emelte a**

fotoszintetikus pigmentek mennyiségét, ezzel a cinkhiány kedvezőtlen hatását mérsékelte.

A cinkhiány szignifikánsan 41%-kal csökkentette a kukorica hajtásának hosszát a kontrollhoz képest. Eredményeim összhangban vannak CAKMAK et al. (1998) megállapításával, miszerint a növények első jellemző válasza a cinkhiányra a hajtások hosszának a csökkenése, melynek eredménye, hogy a növényállomány nem az adott fonológiai fázisra jellemző magasságot mutatja. 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. Az internódiumok száma 25%-26%-kal csökkent a -Zn és -Zn+NES kezelés hatására a kontrollhoz képest. A cink hiányában az internódiumok hossza 68% és 55%-kal csökkent a kontrollhoz képest. MÁNDY (1961), CAKMAK et al. (1998) és KALOCSAI (2006) is hasonló megállapítást tesz, amely szerint a cinkhiány következtében a növény növekedése gátolt, a szártagok rövidülnek, törpeszártagúság alakul ki, melynek oka az auxin hiány. 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 hajszálgyökér képződött.

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.

6.6. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány növényfiziológiai vizsgálatának következtetései

Az optimális cink- és vas-ellátás, valamint a cinkhiány hatását vizsgáltam a levelek Fe/Zn arányának alakulására, továbbá az optimálistól eltérő szöveti Fe/Zn arány hatását a kísérleti növények hajtásának és gyökerének növekedésére, térfogatára, hosszára, a levelek számára, az internódiumok számára és hosszára, a szárazanyag-produkcióra, a levelek relatív klorofill-tartalmára, a levelek klorofill-*a*, -*b* és karotinoidok tartalmára és azok egymáshoz viszonyított arányára, a gyökerek szerves sav kiválasztására, illetve morfológiai alakulására.

Irodalmi adatok szerint a szövetek magas Fe-tartalma gátolhatja a cink felvételét (LINGLE et al., 1963; LEE et al., 1967; MARSCHNER, 1995) és növényben történő szállítását (JACKSON et al., 1967, CAKMAK, 2000). ZARE et al. (2009) meghatározták a hajtások cink koncentrációjának kritikus hiány szintjét a szövetek Fe/Zn arányának segítségével, ami a kukorica hajtásában 3,9 volt. Megállapításaik szerint látens Zn hiány jelentkezik, amennyiben ez az arány 3,9-nél nagyobb.

Kísérleteimben a cinkhiányos tápoldaton nevelt uborka hajtásának vastartalma jelentősen, 42%-kal megemelkedett a kontrollhoz képest, amely megerősíti és kiegészíti WARNOCK (1970) megállapításai miszerint a cinkhiányos növényekben jelentősen megemelkedik a vas koncentrációja. Kísérleteimben a cinkhiányos levelekben lévő vas és cink aránya 9,22, míg a kontroll esetén 2,41 volt, amely jelentősen meghaladta a ZARE et al. (2009) szerint - kukoricára - megállapított 3,9-es kritikus cinkhiányt jelző Fe/Zn arányszámot.

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 kezelések 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 hajtás- és gyökérhosszát a kontrollhoz képest. Az uborka gyökerének hossza a kezelések 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.

Vizsgáltam a kezelések hatását az internódiumok számára és hosszára, mivel cink hiányában a szártagok rövidülnek (MÁNDY, 1961; KALOCSAI, 2006) és mert megfelelő cink-ellátás mellett jelentkezhet cinkhiány, ha a szövetek Fe/Zn aránya nem optimális (ZARE et al., 2009). Kísérleteimben a cinkhiányos, növekvő vas adagokkal kezelt uborka internódiumainak száma és hossza 19%-43%, 71%-90%-kal csökkent a

kontrollhoz képest. A különböző koncentrációjú vassal és cinkkel ellátott uborka internódium-száma 14%-43%-kal csökkent a kontrollhoz képest.

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.

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. 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.

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 karotinoidok mennyisége az abszolút vashiányos kezeléseknél átlagosan 32%-58%, 40%-64%, 33%-58%-kal csökkent a kontrollhoz képest.

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. Megfigyeléseim alátámasztják számos szerző megállapítását (RÖMHELD, 1991; MARSCHNER és RÖMHELD, 1994; THAKAGI et al., 1984. ZHANG et al., 1991). 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 idézhet elő, amelyet leginkább a cinkhiányhoz társuló magas vas arány demonstrál.

6.7. A gyenge cink-ellátottság és a biotrágya kezelések növényfiziológiai vizsgálatának összefüggései

A gyenge cink-ellátás és egy biotrágya hatását vizsgáltam a kukorica hajtásának és gyökerének növekedésére, a gyökerek növekedésére és a hajtás és a gyökér szárazanyag-tartalmának alakulására a TIM mintavételi pontokról gyűjtött különböző tulajdonságú, gyenge cink-ellátottságú talajokon.

A biotrágya kiegészítés 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. A nappali gyökérnövekedés átlagosan 2%-71%-kal volt nagyobb a 1., 2., 3. napon a biotrágya kezelések 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 kezelések 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 kezelések és a talajtípusok között. 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.

SHAUKAT et al (2006) és KURDISH et al (2008) szerint a PGPB-hoz tartozó törzsek képesek stimulálni a csíranövények növekedését. **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.**

6.8. A műszkezelések növényfiziológiai vizsgálatának következtetései

Vizsgáltam a különböző koncentrációjú műszadagok hatását a kísérleti növények hajtásának és gyökerének növekedésére, a hajtás hosszára, az internódiumok hosszára, a relatív klorofill-tartalom alakulására, a hajtás és a gyökér szárazanyag-produkciójára, valamint a gyökérnövekedésre.

A különböző koncentrációjú 1, 2, 7 g kg⁻¹ műszadagok hatására hajtáscsökkenést tapasztaltam, amely a műsz koncentrációjának emelésével tovább csökkent. A gyökérnövekedésben nem volt jelentős különbség a műszkezelések hatására.

A műszadagok növelésével arányosan több, mint 15%-kal csökkent a hajtáshossz a kontrollhoz képest. Az internódiumok hossza is csökkent a különböző adagú műszkezelések hatására. A legnagyobb adagú (7 g műsz kg⁻¹ talaj) műszkezelés 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. KÁDÁR (1995, 2005) szerint a cink mobilitása és felvehetősége a pH, az agyag- és műsztartalom, valamint a foszfor ellátottság emelkedésével csökken. Kísérleteimben a műszkezelés hatására megemelkedett talaj pH gátolta a tápanyagok (Zn) felvételét, amely a szártagok rövidülést okozta.

CHEN et al. (2008) szerint cink hiányában jelentős csökkenés figyelhető meg a levelek klorofill-tartalmában. Kísérleteimben a kukorica levelek relatív klorofill-tartalma 3%-20%-kal, a bab levelek SPAD indexe 7%-75%-kal csökkent a műszkezelések hatására a kontrollhoz képest. 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 mészadagok koncentrációjának függvényében 12%-29%, 17%-23%-kal csökkent a kontrollhoz képest. **A mészkezelések okozta jelentős csökkenés a szárazanyag-termelésben a magas pH és a gátolt tápanyagfelvétel összefüggésével magyarázható.**

Eredményeim szerint az összes napi gyökérnövekedés 2%-45%-kal csökkent az 1., 2. és 3. napon átlagosan a különböző mészadagok 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 mészkezelések hatására a kontrollhoz képest. A babnál a mészadagok koncentrációjának emelésével csökkent a gyökerek nappali és éjszakai növekedése, amely csökkenés a legnagyobb mészadag hatására 29%, 53%-ot is elérte. **A gyökérnövekedés adatok szemléltetik a növekvő mészadagok hatásaként jelentkező csökkenést a gyökérnövekedésben, amely a legtöbb vizsgált talaj esetén megfigyelhető. A gyökérnövekedés csökkenése kedvezőtlenül hat a növény tápanyag-felvevő képességére,** mivel a kisebb gyökérzet kevesebb mennyiségű vizet és tápanyagot képes a talajból felvenni.

7. ÖSSZEFOGLALÁS

Napjainkban a szélsőséges környezeti tényezők gazdasági és környezetvédelmi szempontból is nehezítik a mezőgazdasági termelést. A talajok általános mikroelemhiánya befolyásolja az élelmiszerellátás minőségét, amely számos országban humánegészségügyi problémákat is okoz. A cink hiánya a Föld mezőgazdasági termelésbe vont talajainak jelentős részét érinti. Bizonyos tényezők, mint például a talaj pH, az apoplazmatikus pH, az optimálistól eltérő szöveti Fe/Zn arány, magas anyagtartalom stb. hatására kialakulhat látens cinkhiány, - amelyre a növényfajok érzékenyséjük függvényében reagálnak - amelynek nincsenek vizuális hiánytünetei, vagy megfelelő cink-ellátás esetén a növény az adott elem hiánytüneteit mutatja, amely jelenség jelentős csökkenést okozhat a termésmennyiségben. Ennek elkerülésére talaj, illetve növénydiagnosztikai vizsgálatok szükségesek, amelyekkel megelőzhető a mennyiségi és minőségi termés csökkenés.

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 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. Kísérleti növényként kukoricát, uborkát és egy kísérletsorozatban babot használtam, így tekintetbe vettem az egy- és kétszikű (fűféle és nem fűféle) növények eltérő tápanyagfelvételi mechanizmusát.

A környezet magas bikarbonát koncentrációja stresszként hatott, mivel a tápközeg pH-jának módosításán keresztül jelentősen befolyásolta a vizsgált növényfiziológiai paramétereket. A bikarbonát a tápközeg pH-jának lúgosításával akadályozta a tápanyagok hozzáférhetőségét és felvételét, így mérsékelt növekedést eredményezett, amely a bikarbonát koncentrációjának emelésével tovább csökkent. A bikarbonát kezelés csökkentette a kísérleti növények hajtásának és gyökerének hosszát, a levelek számát, a gyökértérfogatot, így a hajtás és gyökér szárazanyag-felhalmozását. A bikarbonát kezelés mellett alkalmazott biotrágya kiegészítés hatására mérséklődött a növekedésgátlás.

A bikarbonát okozta lúgos pH jelentősen csökkentette a kísérleti növények relatív klorofill-tartalmát, valamint a fotoszintetikus pigmentek (klorofill-*a*, -*b*, karotinoidok) abszolút mennyiségét. Az élő baktériumokat tartalmazó biotrágya kezelés hatására mérséklődött a gátlás a fotoszintetikus pigmentek mennyiségét illetően, ezáltal a

biotrágya kezelés növelte a fotoszintézis hatékonyságát kedvezőtlen környezeti feltételek (magas pH) esetén.

Kísérleteimben a bikarbonát kezelés hatására jelentősen megnőtt a gyökerek által kiválasztott szerves savak mennyisége, amely jelzi, hogy a növény a gyökérzet segítségével igyekszik a számára optimális feltételeket megteremteni. A biotrágya kezeléseknél mérsékeltebb volt a szerves sav kiválasztás, amely a baktériumok anyagcseréje során kiválasztott szerves savak tehermentesítő hatásával magyarázható.

A bikarbonát kezelés befolyásolta a gyökérzet morfológiai differenciálódását. A tápoldat pH-jának emelkedése gátolta az oldal- és hajszálgyökerek fejlődését. A biotrágya kiegészítés hatására a gyökerek differenciáltabbak voltak, mint a kontroll, amely egy hatékonyabb tápanyagfelvételt tesz lehetővé. A kísérleti növények közül az uborka reagált érzékenyebben a bikarbonát okozta lúgos pH-ra, amelynek oka a nem fűfélék pH-tól függő tápanyag (Fe) felvétele.

Az apoplazmába infiltrált bikarbonát - az infiltráló folyadék bikarbonát koncentrációjának függvényében - módosította az apoplazma pH-ját, amelynek hatására - a tápoldathoz adott bikarbonát kezeléshez hasonlóan - gátlást figyeltem meg a növekedésben, így a kísérleti növények hajtásának és gyökerének hosszában, szárazanyag-felhalmozásában. Az apoplazmába infiltrált bikarbonát gátolta a klorofill szintézist, mivel csökkent a relatív klorofill-tartalom, amely a fotoszintézis hatékonyságának, így a szerves anyag termelés volumenének csökkenését, mérsékelt növekedést eredményezett. Az uborka érzékenyebben reagált az infiltrálással bejutatott bikarbonát hatására, hasonlóan a tápoldatos kísérletekben tapasztaltakhoz. Megállapítható, hogy hasonló módon hatott a tápoldathoz adott és infiltrálással bejutatott bikarbonát a vizsgált növényfiziológiai paraméterekre, melynek oka, hogy a gyökér és a mezofillum sejtek tápanyagfelvétele azonos mechanizmus szerint történik.

Eredményeim szerint az apoplazmatikus pH semleges, enyhén savanyú volt optimális tápanyagellátás (kontroll tápoldaton nevelt növények) esetén. A mezofillumba infiltrált bikarbonát hatására - a bikarbonát koncentráció függvényében - emelkedett az apoplaszt oldat pH-ja, amit a növény eredeti apoplaszt oldata képes volt tompítani. Megfigyeléseim szerint az idősebb növények apoplaszt oldatának tompító hatása kisebb, mint a fiatalabbaké. Az este mért apoplazmatikus pH kisebb volt, mint a reggel mért, mivel a fotoszintézis fényszakaszát követő szerves sav kiválasztás feltehetően csökkentette az apoplaszt oldat pH-ját. Kimutattam, hogy a tápközeg pH-ja, illetve a közegben lévő mikroorganizmusok hatására eltérően alakul az apoplazmatikus pH. A tápközegben lévő

bikarbonát hatására csökkent az apoplaszt oldat pH-ja, míg a biotrágyával kiegészített kezelések hatására emelkedett. Megfigyeléseim szerint a tápoldathoz adott bikarbonát és biotrágya kezelés ellentétes hatással van a tápközeg és a mezofillum sejtközötti járatainak pH-jára.

Kísérleteimben az abszolút cinkhiány jelentősen csökkentette a kísérleti növények hajtásának és gyökerének növekedését, így azok hosszát, a levelek számát, az internódiumok számát és hosszát, ezáltal a szárazanyag-felhalmozást, továbbá a levelek relatív klorofill-tartalmát, a fotoszintetikus pigmentek (klorofill-*a*, -*b*, karotinoidok) abszolút mennyiségét. A cinkhiány gátolta a gyökérdifferenciálódást. A cinkhiányban alkalmazott NES kezelés hatására mérséklődött a növekedésgátlás, így a szártagok rövidülése, mivel a cink szerepe a növekedési folyamatokban az auxin szintézis révén jelentős. A NES kezelés esetén a kontrollhoz hasonló volt a fotoszintetikus pigmentek mennyisége. A cinkhiányban adott NES elősegítette az oldal- és hajszálgökér képződést. Megfigyeléseim szerint az uborka érzékenyebben reagált a cinkhiányra, mint a kukorica.

Vizsgálataim során azt tapasztaltam, hogy cinkhiányban jelentősen megnő a hajtás vastartalma, valamint a Fe/Zn aránya. Az optimálistól eltérő Fe/Zn arány hatására csökkenést tapasztaltam a hajtás és a gyökértérfogatában és hosszában, a levelek számában, az internódiumok számában és hosszában, a relatív klorofill-tartalomban, illetve a fotoszintetikus pigmentek (klorofill-*a*, -*b*, karotinoidok) abszolút mennyiségében, ezáltal a szárazanyag-felhalmozásban is. A gyökerek szerves sav kiválasztásában is jelentős különbségeket figyeltem meg, miszerint a vashiányos kukorica gyökerek szerves sav kiválasztása volt a legnagyobb, amely a fűfélék vashiányban emelkedő fitosziderofor kiválasztására vezethető vissza. A gyökerek differenciáltsága jelentősen csökkent a cinkhiányban adott emelkedő vasadagok, illetve az extrém nagy (tízszeres) vasadagok hatására. Eredményeim szerint az optimálistól eltérő szöveti Fe/Zn arány zavart okozott az anyagcserében, amely a legtöbb esetben csökkentette a vizsgált növényfiziológiai paramétereket. Megállapítható, hogy a cink koncentrációjától nagyobb szöveti vas mennyiség látens cinkhiány kialakulásához vezethet.

A különböző tulajdonságú gyenge cink-ellátottságú talajokon nevelt növények növekedését nagyban meghatározta a talaj fizikai tulajdonsága, felvehető tápanyagtartalma (Zn). Kísérleteimben a gyenge cink-ellátottságú talajokon alkalmazott biotrágya kezelés hatására nőtt a hajtás- és a gyökérnövekedés, a nappali és éjszakai

gyökérnövekedés, a hajtás és a gyökér száraz tömege, amely jelzi, hogy az élő baktériumok képesek elősegíteni a talaj tápanyagtartalmának feltárását - feltehetően még az agyagásványok kristályaiban között elemekét is -. A mikroorganizmusok képesek stimulálni a gyökérnövekedést, amely nagyobb gyökértömeget eredményez, így növeli a tápanyagfelvétel hatékonyságát.

Kísérleteimben az emelkedő adagú mészkezelések hatására - a mész koncentrációjának növelésével - csökkent a hajtáshossz, az internódiumok hossza, amely mutatja, hogy a - mészkezelések hatására kialakult - magas pH gátolja a tápelemek (Zn) hozzáférhetőségét. A mészkezelés gátolta a kísérleti növények növekedését azáltal, hogy csökkentette a gyökérnövekedését, a levelek relatív klorofill-tartalmát, a hajtás és a gyökér szárazanyag-felhalmozását. A mészkezelések okozta növekedésgátlás a nem optimális (lúgos) pH okozta gátolt tápanyagfelvétel összefüggésével magyarázható, amely optimális tápanyagellátás esetén is okozhat látens tápanyaghiányt.

8. SUMMARY

Nowadays, the extremist environmental factors make the agricultural crop production difficult in the aspect of economic, environmental protection as well. The general micronutrient deficiency of the soils influences the quality of food production which causes human health problems in several countries as well. The zinc deficiency affects the significant part of the agricultural soils of Earth. As an effect of certain factors such as soil pH, apoplast pH, the non optimal Fe/Zn ratio, high clay-content etc. can cause latent zinc deficiency - which the plants response in the function of their sensitivity - what has no visual symptoms or the plant shows deficiency symptoms in case of appropriate zinc supply. This phenomenon can cause significant decrease in the crop yield. Avoiding this necessary to make soil and plant analysis to prevent the decrease of the quantity and quality of crop yield.

In our experiments the effect of bicarbonate given by nutrient solution and infiltrated into the apoplast, the absolute zinc deficiency and NAA treatment, the non optimal Fe/Zn ratio, the lime treatments applied to soils with high clay and organic matter content, the biofertilizer treatment were examined on the pH, nutrient uptake and physiological parameters of the experimental plants, the extraction of organic acids by roots and on the relationship of these in the evolution of latent zinc deficiency. Maize, cucumber and in case of one series of experiments bean were used as experimental plant considering the different nutrient uptake mechanism of the mono-and dicotyledonous (grasses and non-grasses) plants.

The high bicarbonate concentration of the environment caused stress; through modifying the pH significantly affected the examined plant physiological parameters. The bicarbonate retarded the availability and uptake of the nutrients through alkalizing the pH of the nutrient solution. The bicarbonate treatment resulted moderate plants growth, which increased with the increasing bicarbonate concentrations. The bicarbonate treatment decreased the length of the experimental plants, the number of leaves, the volume of roots and therefore the dry matter production of shoots and roots. The retardation of growth moderated when the biofertilizer was applied beside the bicarbonate treatment.

The alkaline pH caused by bicarbonate significantly decreased the relative chlorophyll contents of the experimental plants, as well as the absolute contents of photosynthetic pigments (chlorophyll-*a*, -*b*, carotinoids). The living bacteria containing biofertilizer moderated the decrease of the photosynthetic pigments thus the biofertilizer treatment

improved the efficiency of photosynthesis under unfavourable environmental conditions (high pH).

In the experiments the bicarbonate significantly increased the excretion of organic acids by roots, which shows that the plant tries to create optimal conditions for itself by the help of roots. In the case of the biofertilizer treatments the excretion of organic acids was lower which can be explained by the organic acids excreted by the metabolism of microorganism. The bicarbonate treatment influenced the differentiation of the root system. The increasing pH of the nutrient solution retarded the development of lateral roots and root hairs. The biofertilizer addition made the roots more differentiated, than the control which enables more effective nutrient uptake. The response of cucumber was more sensitive to the bicarbonate caused alkaline pH by the reason of pH-dependent nutrient (Fe) uptake mechanism of the non-grasses.

The bicarbonate infiltrated into the apoplast - in the function of the bicarbonate concentration - modified the pH of apoplast and retarded the growth, the length and the dry matter production of shoots and roots of experimental plants - like in case of bicarbonate given to the nutrient solution-. The bicarbonate infiltrated into the apoplast reduced the chlorophyll synthesis which resulted decrease in the effectiveness of photosynthesis, the biomass production causing moderated growth. The cucumber was more sensitive than the maize to the bicarbonate infiltrated into the apoplast like in the nutrient solution experiments.

It can be concluded that the bicarbonate given to the nutrient solution and infiltrated into the apoplast affected the examined physiological parameters in a similar way. The reason of this can be that the nutrient uptakes of the root and mesophyll cells take place according to the same mechanism.

In accordance with the results the apoplastic pH is neutral or slightly acidic in the case of optimal nutrient supply (control nutrient solution). The bicarbonate infiltrated into the mesophyll increased the pH of the apoplast - in the function of the bicarbonate concentration -, what the original apoplastic fluid of the plant could buffer. According to the observation the oldest plants have less buffer effect, than the younger have. The apoplastic pH measured in the evening was less, the one measured in the morning, because excretion of organic acid after the photosynthesis light phase presumably decreased the pH of apoplastic fluid.

It was demonstrated that the pH of the nutrient solution and the microorganisms affected the apoplastic pH differently. The bicarbonate given to the nutrient solution decreased

the pH of the apoplast fluid, while the biofertilizer addition increased it. According to the observation the bicarbonate and biofertilizer treatments given to the nutrient solution affected the pH of nutrient solution and the pH of apoplast fluid in an opposite way.

In the experiments the absolute zinc deficiency decreased the growth and the length of shoots and roots, the number of the leaves, the number and length of the internodes, thereby the dry matter production, the relative chlorophyll contents, as well as the absolute contents of photosynthetic pigments (chlorophyll-*a*, -*b*, carotenoids). The total zinc deficiency reduced the root differentiation. The NAA treatment applied under zinc deficiency moderated the reduction of growth and the decrease of internodes as the role of the zinc in the growth processes important by the synthesis of auxin. The contents of photosynthetic pigments were as much in case of the NAA treatments as in case of the control. The NAA treatment given under zinc deficiency enhanced the differentiation of the lateral roots and root hairs. According to the observation the cucumber was more sensitive than the maize.

It was observed that the iron contents and the Fe/Zn ratio of the shoot significantly increased in zinc deficiency. The non optimal Fe/Zn ratio caused decrease in the volume and length of the shoot, the number of the leaves, the number and length of the internodes, the relative chlorophyll contents, the absolute contents of photosynthetic pigments (chlorophyll-*a*, -*b*, carotenoids) thereby in the dry matter production. It was observed significant differences in the case of the excreted organic acids. The iron deficient maize roots excreted the most organic acids, which can be explained by the phytosiderophore excretion of grasses appearing in iron deficiency. The differentiation of the roots significantly decreased by the increasing iron doses given in zinc deficiency and in case of the extreme high (tenfold) iron doses. According to the results the non optimal Fe/Zn ratio caused difficulties in the metabolism, which decreased the examined plant physiological parameters in the most cases. It can be concluded if there are higher iron contents in the tissues than zinc it can result latent zinc deficiency.

The growth of the plants grown in soils with different properties and low zinc supply were determined significantly by the physical properties and the available nutrient (Zn) content of soils. In the experiment the applied biofertilizer treatment increased the growth of shoots and roots, the root growth of day and night, the dry weight of the shoots and roots, which show that the living bacteria able to raise the available nutrient contents of soil - presumably in case of the nutrients bound in clay mineral crystals as well-. The

microorganism can stimulate the root growth resulting higher root biomass thus improve the effectiveness of nutrient uptake.

In the experiment the increasing lime doses - in line with the increase of the lime concentration - decreased the shoot length, the length of internodes showing that the - lime treatments caused - high pH decrease the availability of the nutrients (Zn). The lime treatment reduced the growth of the experimental plant, thereby decreased the root growth, the relative chlorophyll contents, the dry matter production of the shoots and roots. The lime treatments caused growth-decrease can be explained by correlation of the non optimal (alkaline) pH and the retarded nutrient uptake, which can cause latent nutrient deficiency in case of optimal nutrient supply as well.

9. 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 sejtközüti 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 hajszálgökyér képződést.**

10. 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*, karotinoidok 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.**

11. IRODALOMJEGYZÉK

1. ADAMS, F. 1981: Nutritional imbalances and constraints to plant growth in acid soils. *J. Plant Nutr.* 4. 81.
2. AKED, J. - HALL, J. L. 1993: Effect of powdery mildew infection on concentrations of apoplastic sugars in pea leaves. *New Phytol.* 123. 283-288.
3. AKTER, Z. - WEINMANN, M. - NEUMANN, G. - RÖMHELD, V. 2007: Development of a Rapid Bio-Test to Study the Activity Potential of Biofertilizers. *Zwischen Tradition und Globalisierung, Wissenschaftstagung Ökologischer Landbau*, Universität Hohenheim, Deutschland.
4. ALAM, S. M. - NAQVI, S. S. M. - ANSARI, R. 1999: Impact of soil pH on nutrient uptake by crop plants. In: *Handbook of Plant and Crop Stress* 2nd Ed. 51-60. p. Edited: Mohammad Pessarakli, Marcel Dekker AG, Basel.
5. ARMSTRONG, R. D. - HELYAR, K. R. 1992: Changes in soil phosphate fractions in the rhizosphere of semi-arid pasture grasses. *Aust. J. Soil Res.* 30. 131-143.
6. AVDONYIN, N. SZ. 1972: Savanyú talajok termékenységének fokozása. *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.* 91-117, 239.
7. AWAD, F. - RÖMHELD, V. 1997: Mobilization and absorption of heavy metals from contaminated calcareous soil by plant-borne chelators. *Stuttgart. International symposium on iron nutrition and interactions in plants. Symposium Abstracts* 90.
8. BASHAN., Y. - HOLGUIN, G. 1998: Proposal for the division of Plant Growth-Promoting Rhizobacteria into two classifications: Biocontrol-PGPB (Plant Growth-Promoting Bacteria) and PGPB. *Soil. Biol. Biochem.* 30. 819. 1225-1228.
9. BASHAN., Y. - HOLGUIN, G. - DE-BASHAN, L. E. 2004: *Azospirillum* - plant relationships: physiological, molecular, agricultural, and environmental advances. *Canadian Journal of Microbiology.* 50. 521-577.
10. BEKELE, T. - CINO, B. J. - EHLERT, P. A. I. - VAN DER MASS, A. A. - VAN DIEST, A. 1983: An evaluation of plant borne factors promoting the solubilization of alkaline rock phosphates. *Plant Soil.* 75. 361-378.
11. BENSON, N. R. - BATJER, L. P. - CHMELIR, J. C. 1957: Response of some deciduous fruit trees to zinc chelates. *Soil. Sci.* 84. 63.
12. BENSON, A. A. 1966: On the orientation of lipids in chloroplast and cell membranes. *The Journal of the American Oil Chemists' Society.* 43. 265. 293.
13. BERG, J. M. - SHI, Y. 1996: The galvanization of biology: a growing appreciation for the roles of zinc. *Science.* 271. 1081-1085.

14. BERGMANN, W. 1979: Termesztett növények táplálkozási zavarainak előfordulása és felismerése. (Disturbances and diagnosis in nutrition of cultivated plants). Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
15. BERGMANN, W. - NEUBERT, P. 1976: Pflanzendiagnose und Pflanzenanalyse. Gustav Fisher Verlag. Jena.
16. BERTONI, G. - PISSALOUX, A. - MORARD, P. 1990: Bicarbonate pH relationship with iron chlorosis in white lupin. Journal of Plant Nutrition. 15. 1509-1518.
17. BHUPINDER, S. - KUMAR, S. - NATESAN A. - SINGH B. K. - USHA, K. 2005: Improving zinc efficiency of cereals under zinc deficiency. Current Science. 88. 1. 36-44.
18. BLOEMBERG, D. V. - LUGTENBERG, B. J. J. 2001: Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria, Current Opinion in Plant Biology. 4. 4. 343-350.
19. BORKERT, C. M. - COX F. R. - TUCKER, M. R. 1998: Zinc and copper toxicity in peanut, soybean, rice and corn in soil mixtures. Communications in Soil Science and Plant Analysis. Philadelphia. 29. 2991-3005.
20. BOWEN, G. D. - ROVIRA, A. D. 1991: The rhizosphere, the hidden half of the hidden half. In Waisel, Y. - Eshel A. - Kafkafi, U. eds. Plant Roots: the Hidden half. New York. 641-669.
21. BRANCADORO, L. - RABOTTI, G. - SCIENZA, A. - ZOCCI, G. 1995: Mechanisms of Fe-efficiency in roots of *Vitis spp.* in response iron deficiency stress. Plant and Soil. 171. 229-234.
22. BROMFIELD, S. M. - CUMMING, R. W. - DAVID, D. J. - WILLIAMS, C. H. 1983/a: Change in soil pH, manganese and aluminium under subterranean clover pasture. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 23. 181-191.
23. BROMFIELD, S. M. - CUMMING, R. W. - DAVID, D. J. - WILLIAMS, C. H. 1983/b: The assessment of available manganese and aluminium status in acid soils from subterranean clover pastures of various age. Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb. 23. 192-200.
24. BROWN, J. C. - TIFFIN, L. O. 1962: Zn deficiency and iron chlorosis dependent on the plant species and nutrient-element balance in Tulare clay. Agron. J. 54. 356-358.
25. CAKMAK, I. - MARSCHNER, H. 1986: Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency-enhanced uptake rate of phosphorus. Physiologia Plantarum. 68. 3. 483-490.

26. ÇAKMAK, I. - MARSCHNER, H. 1990: Decrease in nitrate uptake and increase in proton release in zinc deficient cotton, sunflower and buckwheat plants. *Plant Soil*. 129. 261-268.
27. ÇAKMAK, I. 2000: Possible roles of zinc in protecting plant cells from damage by reactive oxygen species. *New Phytology*. 146. 185-205.
28. ÇAKMAK, I. 2006: Using Wild Wheat to Improve Grain Zinc Density and Zinc Deficiency Tolerance of Cultivated Wheats. In: *Plant Nutrition and Plant Breeding, First Joint Conference of the German Society for Plant Nutrition and The Research Centre Biotechnology and Plant Breeding Uni-Hohenheim*. Stuttgart/Uni-Hohenheim. Germany. 26-28.
29. ÇAKMAK, I. - YILMAZ, A. - EKİZ, H. - TORUN, B. - ERENOĞLU, B. - BRAUN, H. J. 1996: Zinc deficiency as a critical nutritional problem in wheat production in central Anatolia. *Plant Soil* 180. 165-172.
30. ÇAKMAK, I. - TORUN, B. - ERENOĞLU, B. - ÖZTÜRK, L. - MARSCHNER, H. - KALAYCI, M. - EKİZ, H. - YILMAZ, A. 1998: Morphological and physiological differences in cereals in response to zinc deficiency. *Euphytica* 100. 349-357.
31. CHANEY, R. L. 1982: Fate of toxic substances in sludge applied to cropland. In: *Proc. Int. Symp. on Land Application of Sewage Sludge*. Tokyo, Japan. 259-324.
32. CHEN, Y. - BARAK, P. 1982: Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35. 217-240.
33. CHEN, W. - YANG, X. - HE, Z. - FENG, Y. - HU, F. 2008: Differential changes in photosynthetic capacity, 77 K chlorophyll fluorescence and chloroplast ultrastructure between Zn-efficient and Zn-inefficient rice genotypes (*Oryza sativa*) under low zinc stress. *Physiologia Plantarum*. 132. 1. 89-101.
34. COX, F. R. 1990: A Note on the Effect of Soil Reaction and Zinc Concentration on Peanut Tissue Zinc. *Peanut Science*, 17. 1. 15-17.
35. CURL, E. A. - TRUELOVE, B. 1986: *The Rhizosphere*. Berlin, Germany, Springer Verlag.
36. CSATHÓ, P. - KÁDÁR, I. - SARKADI, J. 1989: A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés*. 38. 69-75.
37. DANIEL, F. - PFEFFER, H. - MARSCHNER, H. 1995: Isolation of apoplastic fluid from sunflower leaves and its use for studies on influence of nitrogen supply on apoplastic pH. *J. Plant Physiol.* 146. 273-278.
38. DE LA FUENTE, M. J. - RAMIREZ-RODRIGUEZ, V. - CABERA-PONCE, J. L. - HERRERA-ESTRELLA, L. 1997: Aluminium tolerance in transgenic plants by alteration of citrate synthesis. *Science*. 276. 1566-1568.

39. DINKELAKER, B. - RÖMHELD, V. - MARSCHNER, H. 1989: Citric acid excretion and precipitation of calcium citrate in the rhizosphere of white lupin (*Lupinus albus* L.). *Plant Cell Environment*. 12. 285-292.
40. ELEK, É. - KÁDÁR, I. 2003: A foszforműtrágyázás hatása a makro és mikrotápanyagok felvételére. in: A mezőgazdaság kemizálása VI. Ankét Keszthely. 89-93.
41. FAO, Fertilizer Requirements in 2015 and 2030. Rome. 2000. 25.
42. FILEP, GY. 1999/a: Talajtani alapismeretek (Általános Talajtan). Debreceni Center-Print Nyomda. Debrecen. 1999. 204, 205.
43. FILEP, GY. 1999/b: Talajtani alapismeretek II. (Talajrendszertan és alkalmazott talajtan) Debreceni Center-Print Nyomda. Debrecen 1999.
44. GAHOONIA, T. S. - CLAASSEN, N. - JUNGK, A. 1992: Mobilization of phosphate in different soils by ryegrass supplied with ammonium or nitrate. *Plant Soil* 140. 241-248.
45. GANGWAR, A. M. S. - MANN, J. S. 1972: Zinc nutrition of rice in relation to iron and manganese uptake under different water regimes. *Indian Journal of Agricultural Science*. 42. 1032-1035.
46. GÄRTEL, W. 1962: Die Bedeutung der Spurennährstoffe in Weinbau. *Landw. Forsch.* 16. 121.
47. GÄRTEL, W. 1969: Die Phosphatüberdüngung in Weinbau. Előadás. LUFA-Tagung, Würzburg. 1969.
48. GARDNER W. K. - PARBERY, D.G. - BARBER, D. A. 1981: Proteoid root morphology and function in *Lupinus albus*. *Plant and Soil*. 60. 143-147.
49. GHOLAMI, A. - SHAHSAVANI, S. - NEZARAT, S. 2009: The Effect of Plant Growth Promoting Rhizobacteria (PGPR) on Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. *International Journal of Biological and Life Sciences*. 5. 1.
50. GIROTTI, A. W. 1985: Mechanisms of lipidperoxidation. *Free Radical Biology and Medicine*. 1. 87-95.
51. GYÖRI, D. - MÁTZ, G. 1979: Changes in the zinc and tryptophane contents of maize grains as a response to increasing rates of phosphorus fertilisation. *Acta Agron. Acad. Sci. Hung.* 28. 1-2, 158-167.
52. GRAHAM, R. D. - ASCHER, J. S. - HYNES, S. C. 1992: Selecting zinc efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. *Plant Soil*. 146. 241-250.
53. GRAHAM, R. D. - WELCH, R. M. 1996: Breeding for staple-food crops with high micronutrient density. *Agricultural strategies for micronutrients. Working Paper No.3. International Food Policy Research Inst., Washington DC. USA.*

54. GRAHAM, R. D. - WELCH, R. M. - BOUIS, H. E. 2001: Addressing micronutrient malnutrition through enhancing the nutritional quality of staple foods: Principles, perspectives and knowledge gaps. *Adv. Agron.* 70. 77-142.
55. GRINSTED, M. J. - HEDLEY, M. J. - WHITE, R. E. - NYE, P. H. 1982: Plant-induced changes in the rhizosphere of rape (*Brassica napus* var. *Emerald*) seedlings. I. pH change and the increase in P concentration in the soil solution. *New Physiol.* 91. 19-29.
56. GRIMME, H. 1968: Die adsorption von Mn, Co, Cu und Zn durch Goethit aus verdünnten Lösungen. *Z. Pflanzenernährung Bodenkunde.* 121. 58. 293.
57. HABER, A. J. - TOLBERT, M. E. 1959: Metabolism of C¹⁴ bicarbonate, P³² phosphate or S³⁵ sulphate by lettuce seed during germination. *Plant Physiol.* 34. 376-377.
58. HALIM, A. H. - WASSOM, C. E. - ELLIS, R. 1968: Zinc Deficiency Symptoms and Zinc and Phosphorus Interactions in Several Strains of Corn (*Zea mays* L.). *Agronomy Journal.* 60 3. 267-271.
59. HARTUNG, W. - WEILER, E. W. - RADIN, J. W. 1992: Auxin and Cytokinins in the apoplastic solution of dehydrated cotton leaves. *Journal Plant Physiology.* 140. 324-327.
60. HENDRY, G. A. F. 1993: Oxygen, free radical process and seeds longevity. *Seed Science Research.* 3. 141-153.
61. HEWITT, W. M. - GARDENER, M. E. 1956: Some studies of the adsorption of zinc sulfate in Thompson seedless grape canes. *Plant Physiol.* 31. 393.
62. HÖFNER, W. 1957: Untersuchungen über die Auswaschung und Sorption des Zinks in Boden und über die Zinkaufnahme der Pflanze. Diss. d. Landw. Fakultät der Justus-Liebig-Universität, Gießen. 294.
63. HOFFLAND, E. 1992: Quantitative evaluation of the role of organic acid exudation in the mobilization of rock phosphate by rape. *Plant and Soil.* 140. 2. 279-289.
64. HOFFMAN, E. 1969: Fertilizing fruit trees. *Előadás. Israel-Kolloquium des Intern. Kali-Instituts, März 1969.* 294.
65. HOLMES, R. S. - BROWN, J. C. 1955: Chelates as correctives for chlorosis. *Soil Sci.* 80. 167. 284.
66. HOUBA, V. J. G. - NOVOZAMSKY, L. - LEXMOND, T. M. - VAN DER LEE, J. J. 1990: Applicability of 0,01 M CaCl₂ as a single extraction solution for the assessment of the nutrient status of soils and other diagnostic purposes, *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 21. 2281-2290.

67. HUSZ, B. 1940: A cink jelentősége a növények táplálkozásában. Term. Tud. Közl. 72/3. 100-102.
68. IYENGAR, S. S. - MARTENS, D. C. - MILLER, W. P. 1981: Distribution and plant availability of soil zinc. Journal of Soil Science Society of America. 45. 735-739.
69. ISLAM, A. K. M. S. - EDWARDS, D. G. - ASHER, C. J. 1980: A pH optima for crop growth. Results of flowing solution culture experiment with six species. Plant Soil. 54. 339.
70. IZA, INTERNATIONAL ZINC ASSOCIATION, 2011: Zinc is an Essential Trace Element for Humans, Animals and Plants. http://www.zinc.org/info/zinc_crops
71. IZSÁKI, Z. 2006: A N- és P-ellátottság hatása a kukoricaszem (*Zea mays* L.) fehérjetartalmára és aminosav összetételére. Növénytermelés. 55. 3-4. 213-230.
72. IZSÁKI, Z. 2008: Hatások és kölcsönhatások vizsgálata NPK műtrágyázási tartamkísérletben kukorica (*Zea mays* L.) jelzőnövényenél. Növénytermelés. 57. 3. 275-289.
73. IZSÁKI, Z. 2011: A kukorica P-tápláltsága és a foszfor-cink kölcsönhatása műtrágyázási tartamkísérletben csernozjom réti talajon. Agrokémia és Talajtan. 60. 1. 147-160.
74. JACHETTA, J. J. - APPLEBY, A. P. - BOERSMA, L. 1986: Use of the pressure vessel to measure concentrations of solutes in apoplastic and membrane-filtered symplastic sap in sunflower leaves. Plant Physiology. 82. 995-999.
75. JACKSON, T. L. - HAY, J. - MOORE, D. P. 1967: The effects of zinc on yield and chemical composition of sweet corn in Willamette Valley. American Society of Horticultural Sciences. 91. 462-471.
76. JONES, D. L. - DARRAH, P. R. - KOCHIAN, L. V. 1996: Critical evaluation of organic acid mediated iron dissolution in the rhizosphere and its potential role in root iron uptake. Plant Soil. 180. 57-66.
77. KÁDÁR, I. 1987: A kukorica ásványi tápanyagellátása. Növénytermelés. 36. 57-65.
78. KÁDÁR, I. 1995: A talaj-növény-állat-ember tápláléklánc szennyeződése kémiai elemekkel Magyarországon. KTM-MTA TAKI Budapest.
79. KÁDÁR, I. 2002: Levéltrágyázás jelentősége és szerepe a növénytáplálásban. Agrofórum. 13. 12. 7-10.
80. KÁDÁR, I. 2005: Magyarország Zn és Cu ellátottságának jellemzése talaj és növényvizsgálatok alapján. Acta Agr. Ovár. 47. 1. 11-25.
81. KÁDÁR, I. 2008: A mikroelemkutatások eredményeiről, különös tekintettel a Cu és Zn elemekre. Acta Agronomica. 50. 1. 9-13.

82. KÁDÁR, I. - PUSZTAI, A. 1982: Az NPK túltrágyázás hatása a 6 leveles kukorica makro- és mikroelem tartalmára II. Növénytermelés. 31. 523-532.
83. KÁDÁR, I. - TURÁN, T. 2002: P-Zn kölcsönhatás mészlepedékes csernozjom talajon kukorica monokultúrában. Agrokémia és Talajtan. 51. 3-4. 381-394.
84. KÁDÁR, I. - MORVAI, B. 2008: Ipari-Kommunális szennyvíziszap-terhelés hatásainak vizsgálata tenyészedény kísérletben. II. Agrokémia és Talajtan. 57. 97-112.
85. KALOCSAI, R. 2006: A cink (Zn). MezőHír X. évf. 2006. szeptember. 38.
86. KALOCSAI, R. - SCHMIDT, R. - SZAKÁL, P. 2006: A Ca és Zn növénytáplálási jelentősége hazai talajaink tápanyag-ellátottságának függvényében. Agro Napló. X. évf. 2006/5. 34-36.
87. KARIMIAN, N. - MOAFPOURYAN, G. R. 1999: Zinc adsorption characteristics of selected calcareous soils of Iran and their relationship with soil properties. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 30. 1721-1731.
88. KENNEDY, R. A. - RUMPHO, M. E. - FOX, T. C. 1992: Anaerobic metabolism in plants. Plant Physiol. 100. 1-6.
89. KERÉNYI, A. 1995: Általános környezetvédelem. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged.
90. KHOSHGOFTARMANESH, A. H. - SHARIATMADARI, H. - KARIMIAN, N. - VANDER ZEE, S. E. A. T. M. 2006: Cadmium and zinc in saline soil solutions and their concentrations in wheat. Soil Science Society of America Journal. 70. 582-588.
91. KIRKBY, E. A. 2005: Essential elements. In: Encyclopedia of soils in the Environment 1.
92. KLOPPER, J. W. - LEONG J. - TEINTZ, M. - SCHROTH, M. N. 1980: Enhanced plant growth by siderophores produced by plant growth promoting rhizobacteria. Nature. London. 286. 885-886.
93. KLOEPPER, J. W. - BEAUCHAMP, C. J. 1992: A review of issues related to measuring of plant roots by bacteria. Canadian Journal of Microbiology. 38. 1219-1232.
94. KOCHIAN, L. V. 1995: Cellular mechanisms of aluminium toxicity and resistance in plants. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 46. 237-270.
95. KOCHIAN, L. V. - JONES, D. L. 1997: Aluminium toxicity and resistance in plants. In Research Issues in Aluminium Toxicity. Eds. Yokel, R. - Golub, M. S. Taylor and Francis. Washington DC. 69-90.
96. KOSEGARTEN, H. - HOFFMANN, B. - MENGEL, K. 1999: In: Plant Physiol. 121. 1069-1079.

97. KOVÁCS B. - GYŐRI, Z. - PROKISCH, J. - LOCH, J. - DÁNIEL, P. 1996: A study of plant sample preparation and inductively coupled plasma emission spectrometry parameters. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 27: 1177-1198.
98. KOVÁCS, B. - PROKISCH, J. - GYŐRI, Z. - BALLA KOVÁCS, A. - PALENCSÁR, A. J. 2000: Studies on soil sample preparation for inductively coupled plasma atomic emission spectrometry analysis. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 31: 1949-1963.
99. KURDISH, I. K. - BEGA, Z. T. - GORDIENKO, A. S. - DYRENKO, D. I. 2008: The Effect of *Azotobacter vinelandii* on Plant Seed Germination and Adhesion of These Bacteria to Cucumber Roots. *Applied Biochemistry and Microbiology*. 45. 4. 400. 404.
100. KÜHN, H. 1962: Die Magnesiumwirkung dolomitischer Kalke. *Bodenkultur* 13. 226. 293.
101. KREMPER, R. - BERÉNYI, S. - KOVÁCS, K. - KINCSES, I. - LOCH, J. 2008: Comparison of extraction methods to determine soluble copper and zinc content of soils. VII. Alps-Adria Scientific Whorkshop. Stara Lesna, Slovakia, 2008. Crop Production. Suppl. 1.
102. KREMPER, R. - BALLÁNÉ KOVÁCS, A. - KINCSES, S. - NAGY, P. T. 2009: Talajkivonószerek összehasonlítása cinkre a növény válasza alapján In: Belina, K., Klebniczki, J., Lipócziné Csabai, S., Borsné Pető, J. (szerk.): AGTEDU A Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából rendezett tudományos konferencia kiadványa. Kecskemét. 68-73.
103. KREMPER, R. - ZSIGRAI, GY. - LOCH, J. 2012: Cink permetezőtrágyázás hatása a kukorica (*Zea mays L.*) termésére és tápelem-összetételére. *Növénytermelés. Megjelenés alatt*.
104. KWIZDA Agro Hungary Kft, 2011: http://www.kwizda.hu/talajok_cink_ellatottsaga_2011
105. LÁNG, G. 1976: Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
106. LEE, C. R. - CRADDOCK, G. R. - HAMMAR, H. E. 1969: Factors Affecting Plant Growth in High-Zinc Medium: I. Influence of Iron on Growth of Flax at Various Zinc Levels. *Agronomy Journal*. 61. 4. 562-565.
107. LÉVAI, L. 1998: A vas növényélettani szerepe és a fűfélék vasszorbérvétele. Ph. D. Értekezés, DATE, Növénytermesztés-Agroökológiai program.
108. LÉVAI, L. - VERES, SZ. - MAKLEIT, P. - MARIANNA, M. - SZABÓ, B. 2005: Bacteria containing fertilizers, tools to reduce the environmental pollution. *Herbal*

drugs and environmental pollution a Satellite Session of Third International Conference on Plants and Environmental Pollution. New Delhi. India.

109. LI, X. F. - MA, J. F. - MATSUMOTO, H. 2000: Pattern of aluminium-induced secretion of organic acids differs between rye and wheat. *Plant Physiol.* 123. 1537-1544.
110. LINGLE, J. C. - TIFFIN, L. O. - BROWN, J. C. 1963: Iron Uptake-Transport of Soybeans as Influenced by Other Cations. *Plant Physiol.* 88. 71-76.
111. LONERAGAN, J. F. - GRUNES, D. L. - WELCH, R. M. - ADUAYI, E. A. - TENGAH, A. - LAZAR, V. A. - CARY, E. E. 1982: Phosphorus Accumulation and Toxicity in Leaves in Relation to Zinc Supply. *Soil Science Society of America Journal.* 46. 2. 345-352.
112. LOPEZ-BUCIO, J. - MARTINEZ DE LA VEGA, O. - GUEVARA-GARCIA, A. - HERRERA-ESTRELLA, L. 2000: Enhanced phosphorus uptake in transgenic tobacco plants that overproduce citrate. *Nat. Biotechnol.* 18. 450-453.
113. LYNCH, J. M. - WHIPPS, J. M. 1990: Substrate flow in the rhizosphere. *Plant and Soil.* 129. 1-10.
114. MACHOLD, O. - MEISEL, W. - SCHNORR, H. 1968: Bestimmung der Bindungsform des Eisens in Blättern durch Mössbauer-Spektrometrie. *Naturwissenschaften* 55. 499.
115. MÁNDY, GY. 1961: A növények tápanyaghiányának felismerése és megelőzése. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 56.
116. MÁNDY, GY. 1974: A bő termés biológiai alapjai. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 190.
117. MARTH, P. - NÉMETH, S. - PÁLMAI, O. 1996: A meszezés jelentősége. Magyarország talajainak agronómiai mészigénye. Tanulmány.
118. MARTIN, W. E. - M. C. CLEAN, J. G. - QUICK, J. 1965: Effect of temperature on the occurrence of phosphorus-induced zinc deficiency. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* 29. 411-413.
119. MARSCHNER, H. 1993: Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press New York, and Second Edition London UK, Academic Press. 547-549.
120. MARSCHNER, H. 1995: Mineral Nutrition of Higher Plants, 2nd ed. New York. Academic Press. 549-559, 324, 361-362.
121. MARSCHNER, H. - RÖMHELD, V. 1994: Strategies of plants for acquisition of iron. *Plant Soil.* 165: 261-274.
122. MARSCHNER, H. - RÖMHELD, V. - KISSEL, M. 1986: Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *J. Plant Nutr.* 9. 695-713.

123. MARSCHNER, H. - RÖMHELD, V. 1983: In vivo measurement of root-induced pH changes at the soil-root interface: Effect of plant species and nitrogen source. *Z. Pflanzenphysiol.* 111. 241-251.
124. MARSCHNER, H. - CAKMAK, I. 1986: Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. II. Evidence for impaired shoot control of phosphorus uptake and translocation under zinc deficiency. *Physiologia Plantarum.* 68. 491-496.
125. MARSCHNER, H. - RÖMHELD, V. - CAKMAK, I. 1987: *Journal of Plant Nutrition.* 10. 9-16. 1175-1184.
126. MARTENS, D. C. - LINDSAY, W. L. 1990: Testing soils for copper, iron, manganese, and zinc. *Soil testing and plant analysis.* 229-264.
127. MASAOKA, Y. - KOJIMA, M. - SUGIHARA, S. - YOSHIKARA, T. - KOSHINO, M. - ICHIKARA, A. 1993: Dissolution of ferric phosphate by alfalfa (*Medicago sativa L.*) root exudates. *Plant and Soil.* 155/156. 75-78.
128. MÉM NAK, 1979: Műtrágyázási irányelvek és a műtrágyázás üzemi számítási módszere. Szerk.: Buzás, I. és Fekete, A. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 57-58.
129. MENGEL, K. 1976: A növények táplálkozása és anyagcseréje. *Ernährung und Stoffwechsel der Pflanze.* Mezőgazdasági kiadó. Budapest. 283-285, 293-295.
130. MENGEL, K. - KIRKBY, E. A. 1987: Principles of plant nutrition. Publisher: International Potash Institute. ISBN 3906535037. 73, 588, 594.
131. MENGEL, K. - KOSEGARTEN, H. 2001: Importance of Fe^{3+} reduction in the apoplast for meristematic growth and chlorosis. In: *Plant Nutrition-Food security and sustainability of agro-ecosystem.* Kluwer Academic Publishers. Netherland. 106-107.
132. MOLNÁROS, I. - GRÁCZOL, CS. 2000: A talajok réz-, cink- és mangántartalmának összehasonlítása KCl-EDTA, Lakanen-Erviö és töménysavas feltárással a Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer vizsgálatai alapján. *Agrokémia és Talajtan.* 49. 1-2. 127-142.
133. MORAN, R. - PORATH, D. 1980: Chlorophyll determination in intact tissues using N,N-dimethylformamide. *Plant Physiol.* 65. 478-479.
134. NABIAR, K. K. - MOTIRAMANI, D. P. 1981: Tissue Fe/Zn ratio as diagnostic tool for prediction of Zn deficiency in crop plants (in maize). *Plant and Soil.* 60. 357-367.
135. NAUMOV, V. D. - TARASOV, V. M. - NAUMOVA, L. M. 1984: Injury to apple orchards by rosette disease as function of the level of ordinary zinc and phosphorus in chernozems. *Soviet Agricultural Sciences.* 10. 39-41.
136. NELSON, L. E. 1956: Response of soybeans grown in the greenhouse to zinc applied a black belt soil. *Soil. Sci.* 82. 271.

137. NEZARAT, S. - GHOLAMI, A. 2009: Screening Plant Growth Promoting Rhizobacteria for Improving Seed Germination, Seedling Growth and Yield of Maize. Pakistan Journal of Biological Sciences. 12. 1. 26-32.
138. NIKOLIC, M. - RÖMHELD, V. 2001: The role of leaf apoplast in iron nutrition of plants. In: Plant nutrition- Food security and sustainability of agro-ecosystems. Kluwer Academic Publishers 2001. Printed in the Nederland. 274-275.
139. NYATSANAGA, T. - PIERRE, W. H. 1973: Effect of nitrogen fixation by legumes on soil acidity. Agron J. 65. 936-940.
140. NYE, P. H. 1986: Acid base changes in the rhizosphere. In: Advances in Plant Nutrition Vol. 2. Ed. Tinker, B. - Läuchli, A. Peager Scientific. New York. 129-153.
141. OLSON, R. A. - STUKENHOLTZ, D. D. - HOOKER, C. A. 1965: Phosphorus-zinc relations in corn and sorghum production. Better Crops with Plant Food. 49. 19-24.
142. OLSEN, R. A. - BROWN, J. C. 1980: Factors related to iron uptake by dicotyledonous and monocotyledonous plants. J. Plant Nutr. 2. 629-660.
143. OFEK, M. - HADAR, Y. - MINZ, D. 2011: Colonization of cucumber seeds by bacteria during germination. Environmental Microbiology. 13. 10. 2794-2807.
144. PAPP, J. 1974: A gyümölcsösök tápanyagellátása. In: Gyuró, F. A. (Szerk.) gyümölcstermesztés alapjai. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest. 435-441.
145. PARKER, M. B. - GAINES, T. P. - WALKER, M. E. - PLANK, C. O. - DAVIS-CARTER, J. G. 1990: Soil zinc and pH effects on leaf zinc and the interaction of leaf calcium and zinc on zinc toxicity of peanuts. Communications in Soil Science and Plant Analysis. 21. 19-20. 2319-2332.
146. PEARSON, M. - MANSFIELD T. A. 1994: Effects of exposure to ozone and water stress on the following season's growth of beech (*Fagus sylvatica* L.). New Phytologist. 126. 3. 511-515.
147. PERRY L. J. - LARSON, K. L. 1974: Influence of Drought on Tillering and Internode Number and Length in Alfalfa. Crop Science. 14. 5. 693-696.
148. PETHŐ, M. 1992: Possible role of cyclic hydroxamic acids in the iron uptake by grasses. Acta. Agr. Hung. 42. 203-214.
149. PINEDO, M. L. - SEGARRA, C. - CONDE, R. D. 1993: Occurrence of two endoproteinases in wheat leaf intercellular washing fluid. Plant Physiology. 88. 287-293.
150. PINSTRUP-ANDERSEN, P. - PANDYA-LORCH, R. - ROSEGRANT, M. W. 1999: World food prospects:critical issues for the early twenty first century. 2020

Vision Food Policy Report, International Food Research Institute Washington DC. USA.

151. PFANZ, H. - OPPMANN, B. 1991: The possible role of apoplastic peroxidases in detoxifying the air pollutant sulfur dioxide. In: Lobar-Zewski, J. - Dreppin, H. - Penel, C. - Gaspar, T. (Eds.): Biochemical, Molecular and Physiological Aspects of Plant Peroxidases. University of Genova. 400-417.
152. PRICE, A. H. - HENDRY, A. F. 1991: Iron catalyzed oxygen radical formation and its possible contribution to drought damage in nine native grasses and tree cereals. *Plant Cell and Environment*. 14. 477-484.
153. RAIJ, B. - VAN DIEST, A. 1979: Utilization of phosphate from different sources by six plant species. *Plant Soil* 51. 577-589.
154. RAGAB, S. M. 1980: Phosphorus effects on zinc translocation in maize. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 11, 11. 1105-1127.
155. RAHIMI, A. - BUSSLER, W. 1979: Die Entwicklung und der Zn-, Fe- und P-Gehalt höher Pflanzen in Abhängigkeit vom Zinkangebot. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde*. 142. 15-27.
156. RAJAGOPAL, V. - MEHTA, B. 1971: Effect of zinc and phosphorus application on the response and chemical composition of hybrid maize grown on „torana” soil. *Indian J. Agric. Sciences*. 41. 156-166.
157. RANDALL, P. J. - BOUMA, D. 1973: Zinc Deficiency, Carbonic Anhydrase, and Photosynthesis in Leaves of Spinach. *Plant Physiology*. 52. 229-232.
158. RENGEL, Z. - RÖMHELD, V. - MARSCHNER, H. 1988: Uptake of zinc, iron by wheat genotypes differing in tolerance to zinc deficiency. *Journal of Plant Physiology*. 152. 433-438.
159. REYNOLDS, S. B. - SCAIFE, A. - TURNER, M. K. 1987: Effect of nitrogen form on boron uptake by cauliflower. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 18. 1143-1154.
160. ROBERTS, J. K. M. - CALLIS, J. - WEMMER, D. - WALBOT, V. - JARDETZKY, O. 1984/a: Mechanism of cytoplasmic pH regulation in hypoxic maize root tips and its role in survival under hypoxia. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA* 81. 3379-3383.
161. ROBERTS, J. K. M. - CALLIS, J. - JARDETZKY, O. - WALBOT, V. - FREELING, M. 1984/b: Cytoplasmic acidosis as a determinant of flooding intolerance in plants. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 81. 6029-6033.
162. ROBERTS, J. K. M. - ANDRADE, F. H. - ANDERSON, I. C. 1985: Further evidence that cytoplasmic acidosis is a determinant of flooding intolerance in plants. *Plant Physiol.* 77. 492-494.

163. ROHRINGER, R. - EBRAHIM, F. - NESBAT, G.- WOLF, B. 1983: Proteins in intercellular washing fluid from leaves of barley (*Hordeum vulgare* L.) J. Exp. Bot. 34. 1589-1605.
164. ROMERA, F. J. - ALCANTARA, E. - DE LA GUARDIA, M. D. 1992: Effects of bicarbonate, phosphate and high pH on the reducing capacity of Fe-deficient sunflower and cucumber plants. J. Plant Nutr. 15. 1519-1530.
165. RÖMHELD, V. 1987/a: Different strategies for iron aquisition in higher plants. Plant Physiology. 70. 231-234.
166. RÖMHELD, V. 1987/b: Extensive of two different strategies for the aquisition of iron in higher platns. In: Winkelmannm G.-Van der Helm, D. Neilands, J. B. eds. Iron transport in Microbes, Plant and Animals. VCH Verlag. Weinheim. 353-374.
167. RÖMHELD, V. 1991: The role of phytosiderophores in acquisition of iron and other micronutrients in graminaceous species: An ecological approach. Plant and Soil. 130. 127-134.
168. ROLLWAGEN, B. A. - ZASOSKI, R. J. 1988: Nitrogen source effects on rhizosphere pH and nutrient accumulation by Pacific Northwest conifers. Plant Soil. 105. 79-86.
169. RYAN. P. R. - DELHAIZE, E. - JONES, D. L. 2001: Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol. 52. 527-560.
170. SAGLIO, P. 1969: Nutrition en fer de la vigne. Ann. Physiol. 11. 27. 284.
171. SÁRVÁRI, M. 2005: Impact of nutrient supply, sowing time and plant density on maize yields. Acta Agronomica Hungarica. 53. 1. 59-70.
172. SÁRVÁRI, M. - GYÖRI, Z. 1982: A monokultúrában és vetésváltásban termesztett kukorica termésátlagának és minőségének változása különböző tápanyagellátás esetén. Növénytermelés. 31. 2. 177-184.
173. SCHALLER, G. - FISCHER, W. R. 1985: Kurzfristige pH-Pufferung von Böden. Z. Pflazenernährung Bodenk. 148. 471-480.
174. SCHMIDT, R. - SZAKÁL, P. 1998: Talajsavanyodási helyzetkép és megoldások. Pannon Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar. Mosonmagyaróvár. Tanulmány. 9-71.
175. SHAUKAT, K. - AFFRASAYAB, S. - HASNAIN, S. 2006: Growth responses of *Helianthus annuus* to plant growth promoting rhizobacteria used as a biofertilizer. Journal of Agricultural Research. 1. 6. 573-581.
176. SHULKA, U. C. - MORRIS, H. D. 1967: Relative efficiency of several zinc sources for corn (*Zea mays* L.). Agronomy Journal. 59. 200-202.

177. SILLANPÄÄ, M. 1990: Micronutrients assessment at the country level: An international study. FAO Soils Bulletin 63. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome.
178. SILVA, I. R. - SMYTH, T. J. - RAPER, C. D. - CARTER, T. E. – RUFTY, T. W. 2001: Differential aluminum tolerance in soybean: An evaluation of the role of organic acids. *Physiologia Plantarum*. 112. 2. 200-210.
179. SIQUEIRA, M. F. B. - SUDRÉ, C. P. - ALMEIDA, L. H. - PEGORER, A. P. R. - AKIBA, F. 1993: Influence of Effective Microorganisms on seed germination and plantlet vigor of selected crops. In: Parr, J. F. - Hornick, S. B. - Simpson, M. E. (eds.) *Proc. Third International Conference on Nature Farming*. 222-245.
180. SOMMER, A. L. - LIPMANN, C. B. 1926: Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. *Plant Physiol.* 1. 231-249.
181. STUKENHOLZ, D. D. 1965: Zinc-phosphorus relationships in corn: The influence of temperature incubation and applied nitrogen, phosphorus and zinc. *Diss. Abstr.* 25.
182. STUCKENHOLZ, D. D. - OLSEN, R. J. - GOGAN, G. - OLSON, R. A. 1966: On the mechanism of phosphorus-zinc interaction in corn nutrition. *Proc. Soil Sci. Soc. Amer.* 30. 759. 293.
183. SURÁNYI, J. - MÁNDY, Gy. 1955: A kukorica. Magyarország kultúrflórája. Akadémiai Kiadó. Budapest. 112.
184. TAKAGI, S. - NOMOTO, K. - TAKEMOTO, T. 1984: Physiological aspect of mugineic acid, a possible phytosiderophore of graminaceous plants. *Journal of Plant Nutrition*. 7. 469-477.
185. TAKKAR, P. N. - CHIBBA, I. M. - METHA, S. K. 1989: Twenty years of coordinated research on micronutrients in soil and plants (1967-1987). *IISS Bulletin* i. Bhopal, India: Indian Institute of Soil Science.
186. TANDON, H. L. S. 1995: Major nutritional constraints to crop production and the soil fertility management strategies in different agroclimatic regions of Asia. In *Proceedings of the International Potash Institute Colloquium on Potassium in Asia: Balanced Fertilization to Increase and Sustain Agricultural Production*. Chiang Mai, Thailand. International Potash Institute, Basel. 43-47.
187. TANDON, H. L. S. 1998: Use of external inputs and the state of efficiency of plant nutrient supplies in irrigated cropping systems in Uttar Pradesh, India. In: *Proceedings of the IFPRI/FAO Workshop on Soil Fertility, Plant Nutrient Management, and Sustainable Agriculture: The Future Through 2020*. Gruhn, P. - Goletti, F. - Roy, R.

- N. (Eds.) International Food policy Research Inst., Washington DC., and Food and Agric. Org. Rome.
188. TERBE, I. 2009: Tápanyaghiány vagy a tápanyagok rossz hasznosulása? Agroinform. 2009/2.
 189. TERRY, M. E. - BONNER, B. A. 1980: An examination of centrifugation as a method of extrating an extracellular solution from peas, and its use for the study of indoleacetic acid-induced growth. *Plant Physiology*. 66. 321-325.
 190. THOMPSON, W. W. - WEIER, T. E. 1962: An elektron miscroscope study of chloropasts from leavs deficient in nitrogen, phosphorus, magnesium, possasium and zinc. *Plant Physiol*. 37. XI.
 191. THORNE, W. 1957: Zn deficiency and its control. *Advences in Agronomy*. 9. 31-65.
 192. TIM MÓDSZERTAN. 1. kötet. FM NAF. Budapest. 1995.
 193. TURÁN, T. L. 2003: Foszfor-cink kölcsönhatás-vizsgálatok trágyázási kutatásokban. *Agrokémia és Talajtan*. 52. 1-2. 185-194.
 194. TREEBY, M. - MARSCHNER, H. - RÖMHELD, V. 1989: Mobilization of iron and other micronutrient cations from a calcereous soil by plant borne, microbial and synthetic chelators. *Plant and Soil*. 114. 217-226.
 195. VESSEY, J. K. 2003: Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255. 2. 571-586.
 196. VIDICIAN, T. I. - CACHITA-COSMA, D. 2010: Determination of assimilator pigments content in cladodes of opuntia fragalis var, fragalis exposed to light of different colors emitted by leds. *Studia Universitatis "Vasile Goldiş", Seria Ştiinţele Vieţii*. Vasile Goldis University Press. 20. 2 . 49-54.
 197. VIETS, F. G. - BOAWN, L. C. - CRAWNFORD, C. L. 1954: Zinc contents and deficency symptoms of 26 crops grown on a zinc deficient soil. *Soil Sci*. 78. 305.
 198. VOSE, P. B. - AFFILIATION, A. 1982: Iron nutrition in plants: A world overview. *Journal of Plant Nutrition*. 5. 4. 233-249.
 199. WALLACE, A. 1990: Mineral composition for nineteen elements in young corn (*Zea mays L.*) plants grown in acid soil with various treatment to overcome infertility of acid soils. *Soil Sci*. 174. 451-453.
 200. WALLACE, A. - ABOU ZAMZAM, A. M. 1984: Nitrogen and bicarbonate relationship with iron nutrition in plants. *J. Plant Nutr*. 7. 585-594.
 201. WALLACE, A. - BERRY, W. L. - ALEXANDER, G. V. 1981: Iron, nitrogén and phosphorus interactions in two cultivars of soybeans grown in a calcareous soil. *J. Plant Nutr*. 3. 625-635.

202. WALTER, A. - RÖMHELD, V. - MARSCHNER, H. 1994: Is a release of phytosiderophores in zinc-deficient wheat plants response to impaired iron utilization? *Physiologia Plantarum*. 92. 493-500.
203. WARD, R. C. - LANGIN, E. J. - OLSON, R. A. - STUKENHOLTZ, D. D. 1963: Factors Responsible for Poor Response of Corn and Grain Sorghum to Phosphorus Fertilization: III. Effects of Soil Compaction, Moisture Level and Other Properties on P-Zn Relations. *Soil Science Society of America Journal*. 27. 3. 326-330.
204. WARNOCK, R. E. 1970: Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays L.*) in relations. to phosphorus-induced zinc deficiency. *Soil Science Society of America Journal*. 34. 5. 765-769.
205. WELCH, R. M. - GRAHAM, R. D. 2000: A new paradigm for world agriculture: productive, sustainable, nutritious, healthful food systems. *Food Nutr. Bull.* 21. 361-366.
206. WOLF, B. 1999: The Fertile Triangle: The relationship of Air, Water, and Nutrients in Maximizing Soil Productivity. Food Products Press, an imprint of The Haworth Press Inc., 10 Alice Street, Binghamton, NY. 159. 150-157.
207. WORLD HEALTH ORGANIZATION, 2002: The world health report 2002. Reducing risks, promoting healthy life.
208. WU, S. C. - CAO, Z.H. - LI, Z. G. - CHEUNG, K. C. - WONG, M. H. 2005: Effects of biofertilizer containing N-fixer, P and K solubilizers and AM fungi on maize growth: a greenhouse trial. *Geoderma*. 125. 155-166.
209. ZARE, M. - KHOSHGOFTARMANESH, A. H. - NOROUZI, M. - SCHULIN, R. 2009: Critical Soil Zinc Deficiency Concentration and Tissue Iron: Zinc Ratio as a Diagnostic Tool for Prediction of Zinc Deficiency in Corn. *Journal of Plant Nutrition*. 32. 1983-1993.
210. ZECH, W. 1970: Nadelanalytische Untersuchungen über die Kalkchlorose der Waldkiefer (*Pinus silvestris L.*) *Z. Pflanzenernährung, Düngung, Bodenkunde*. 125. 1.
211. ZHANG, F. S. - RÖMHELD, V. - MARSCHNER, H. 1991: Diurnal rhythm of release of phytosiderophores and uptake rate of zinc in iron-deficient wheat. *Soil Science Plant Nutrition*. 37. 671-678.
212. ZHANG, F. S. - MA, J. - CAO, Y. P. 1997: Phosphorus deficiency enhances root exudation of lower molecular weight organic acids and utilization of sparingly soluble inorganic phosphates by radish (*Rhaganus sativus L.*) and rape (*Brassica napus L.*) plants. *Plant and Soil*. 196. 261-264.

MELLÉKLETEK

1. sz. melléklet: A főbb mezőgazdasági növények optimális talaj pH értékei (WOLF, 1999).

Tudományos név*	Triviális elnevezés	Ideális tartomány talaj-pH
<i>Amigdalus persica</i>	Sárgabarack	6,0-7,0
<i>Apium graveolens</i> , var. <i>dulce</i>	Zeller	6,0-7,0
<i>Asparagus officinalis</i>	Spárga	6,0-7,5
<i>Brassica juncea</i>	Mustár	5,5-6,8
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Broccoli</i>	Brokkoli	6,0-6,8
<i>Brassica oleracea</i> var. <i>Capitata</i>	Fejes káposzta	6,0-7,0
<i>Beta vulgaris</i> <i>Crasna</i> group	Répa	6,0-7,5
<i>Capsicum annuum</i>	Paprika	5,5-7,0
<i>Citrullus vulgaris</i>	Görögdinnye	5,0-5,5
<i>Cucumis melo</i>	Sárgadinnye	6,0-7,0
<i>Cucumis sativus</i>	Uborka	6,0-7,0
<i>Cucurbita maxima</i>	Sütőtök	5,5-7,0
<i>Cucurbita pepo</i>	Tök	5,5-7,5
<i>Daucus carota</i>	Sárgarépa	6,0-7,0
<i>Glycine maxima</i>	Szója	6,0-7,0
<i>Helianthus annuus</i>	Napraforgó	6,0-7,5
<i>Hordeum sativum</i>	Árpa	6,5-7,5
<i>Lactuca sativa</i>	Saláta	6,0-7,0
<i>Lupinus albus</i>	Fehér csillagfürt	5,5-7,0
<i>Lupinus luteus</i>	Sárga csillagfürt	5,0-6,0
<i>Lycopersicon esculentum</i>	Paradicsom	5,5-7,5
<i>Malus pumila</i>	Alma	5,5-6,5
<i>Medicago sativa</i>	Lucerna	6,5-7,5
<i>Nicotiana tabacum</i>	Dohány	5,5-7,5
<i>Oriza sativa</i>	Rizs	5,0-6,5
<i>Phaseolus vulgaris</i>	Bab	6,0-7,0
<i>Pisum sativum</i>	Borsó	6,0-7,0
<i>Poa</i> , <i>Bromus</i> , <i>Festuca</i> sp.	Füvek	5,5-6,5
<i>Prunus americana</i>	Szilva	6,0-7,0
<i>Prunus avium</i>	Cseresznye	6,0-7,5
<i>Prunus cerasus</i>	Meggy	6,0-7,0
<i>Prunus sibirica</i>	Szibériai barack	6,0-7,0
<i>Pyrus communis</i>	Körte	5,5-6,5
<i>Raphanus raphanistrum</i>	Retek	5,5-6,5
<i>Ribes nigra</i>	Fekete ribizke	6,0-7,5
<i>Ribes sativum</i>	Piros ribizke	6,0-7,0
<i>Rubus allegheniensis</i>	Szedes	5,0-6,0
<i>Rubus idaeus</i> var. <i>strigosus</i>	Málna, piros	5,5-7,0
<i>Rubus occidentalis</i>	Málna, fekete	5,0-6,5
<i>Secale cereale</i>	Rozs	5,0-7,0
<i>Solanum melongena</i>	Tojásgyümölcs	5,5-6,5
<i>Solanum tuberosum</i>	Burgonya	4,8-5,5
<i>Sorghum vulgare</i>	Cirok	5,5-7,5
<i>Spinacia oleracea</i>	Spenót	6,0-7,5
<i>Trifolium hybridum</i>	Korcshe	5,5-7,0
<i>Trifolium pratense</i>	Vörös here	6,0-7,5
<i>Trifolium repens</i>	Fehérhere	6,5-7,5
<i>Triticum aestivum</i>	Búza	5,5-7,5

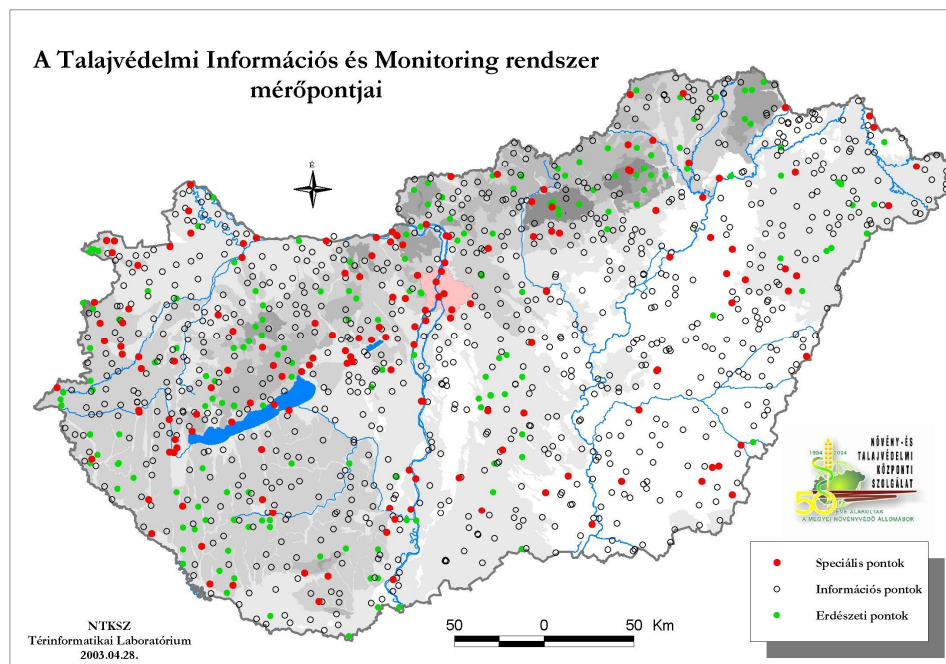
Tudományos név*	Triviális elnevezés	Ideális tartomány talaj-pH
<i>Zea mays</i>	Kukorica	5,5-7,0
<i>Zea mays</i> var. <i>verta</i>	Pattogatni való kuk.	6,0-7,0
<i>Zea mays</i> var. <i>Rugosa</i>	Csemege kukorica	5,5-7,0
<i>Vitis vinifera</i>	Szőlő	5,5-6,5

* A tudományos nevek a forrásként használt irodalomból pontosan citáltak, ami nem minden esetben felel meg a magyar tudományos irodalomban megkövetelt formának.

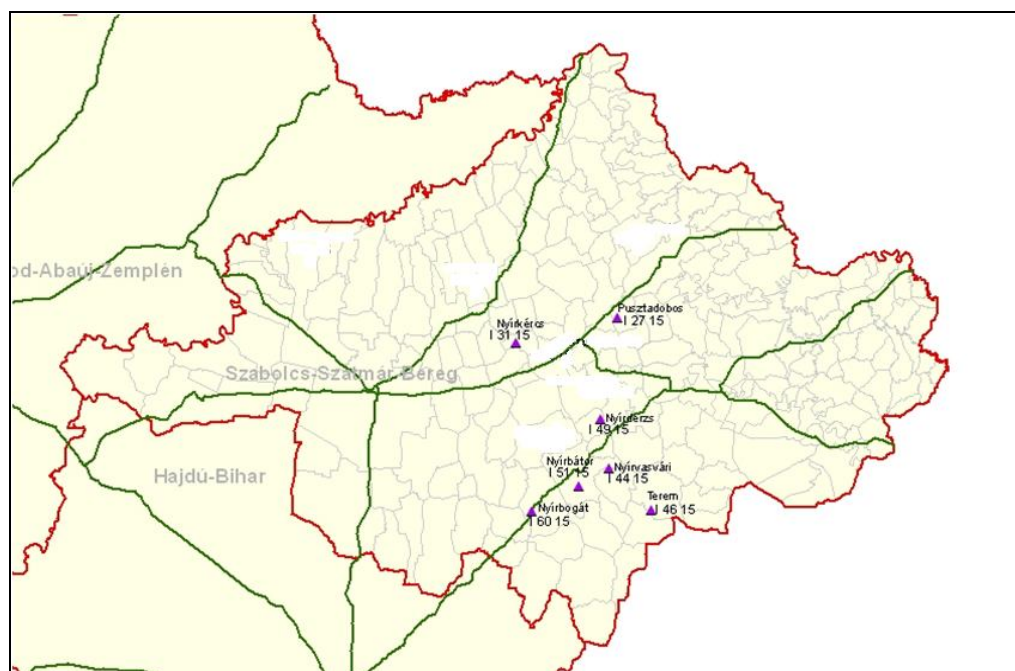
2. sz. melléklet: A növényi növekedést elősegítő talajbaktériumok (PGPR) és gazdanövényeik.

Factor produced	PGPR	Host	Reference
IAA	<i>Aeromonas veronii</i>	Rice	Mehnaz et al., 2001
	<i>Agrobacterium</i> sp.	Lettuce	Barazani and Friedman, 1999
	<i>Alcaligenes piechaudii</i>	Lettuce	Barazani and Friedman, 1999
	<i>Azospirillum brasilense</i>	Wheat	Kaushik et al., 2000
	<i>Bradyrhizobium</i> sp.	Radish	Antoun et al., 1998
	<i>Comamonas acidovorans</i>	Lettuce	Barazani and Friedman, 1999
	<i>Enterobacter cloacae</i>	Rice	Mehnaz et al., 2001
	<i>Enterobacter</i> sp.	Sugarcane	Mirza et al., 2001
Cytokinin	<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Radish	Antoun et al., 1998
	<i>Paenibacillus polymyxa</i>	Wheat	Timmusk et al., 1999
	<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Soybean	de Salamone et al., 2001
	<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Pine	Bent et al., 2001
Gibberellin	<i>Rhizobium leguminosarum</i>	Rape & lettuce	Noel et al., 1996
	<i>Bacillus</i> sp.	Alder	Gutierrez-Manero et al., 2001
ACC deaminase	<i>Bacillus</i> sp.		
	<i>Alcaligenes</i> sp.	Rape	Belimov et al., 2001
	<i>Bacillus pumilus</i>	Rape	Belimov et al., 2001
	<i>Enterobacter cloacae</i>	Rape	Saleh and Glick, 2001
	<i>Pseudomonas cepacia</i>	Soybean	Cattelan et al., 1999
	<i>Pseudomonas putida</i>	Mung bean	Mayak et al., 1999
	<i>Pseudomonas</i> sp.	Rape	Belimov et al., 2001
	<i>Variovorax paradoxus</i>	Rape	Belimov et al., 2001

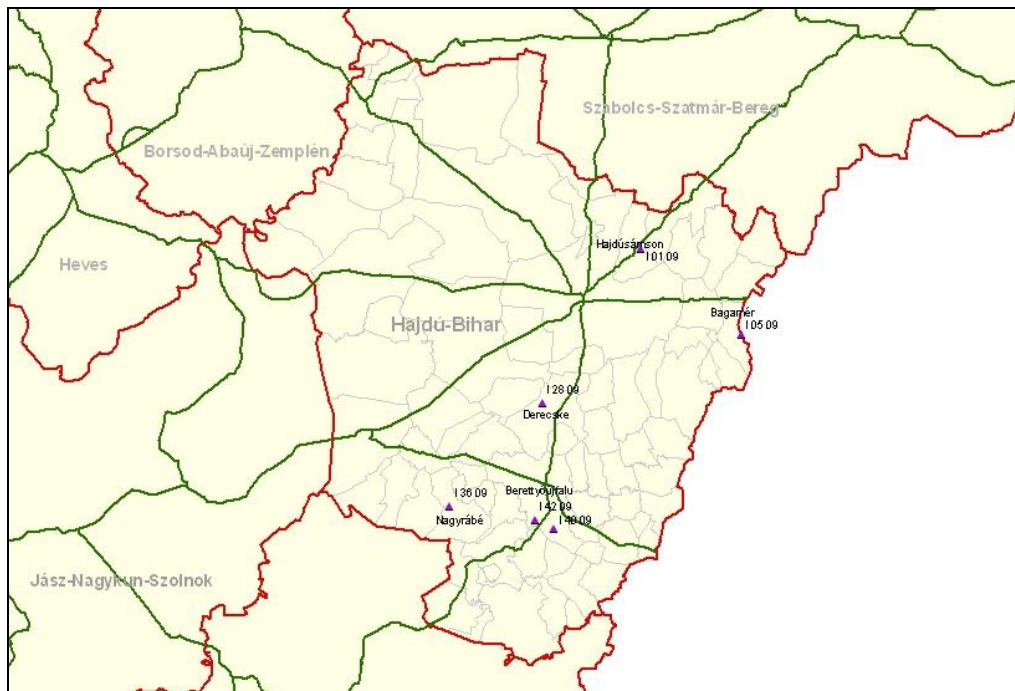
3. sz. melléklet: A TIM rendszer mérőpontjai.



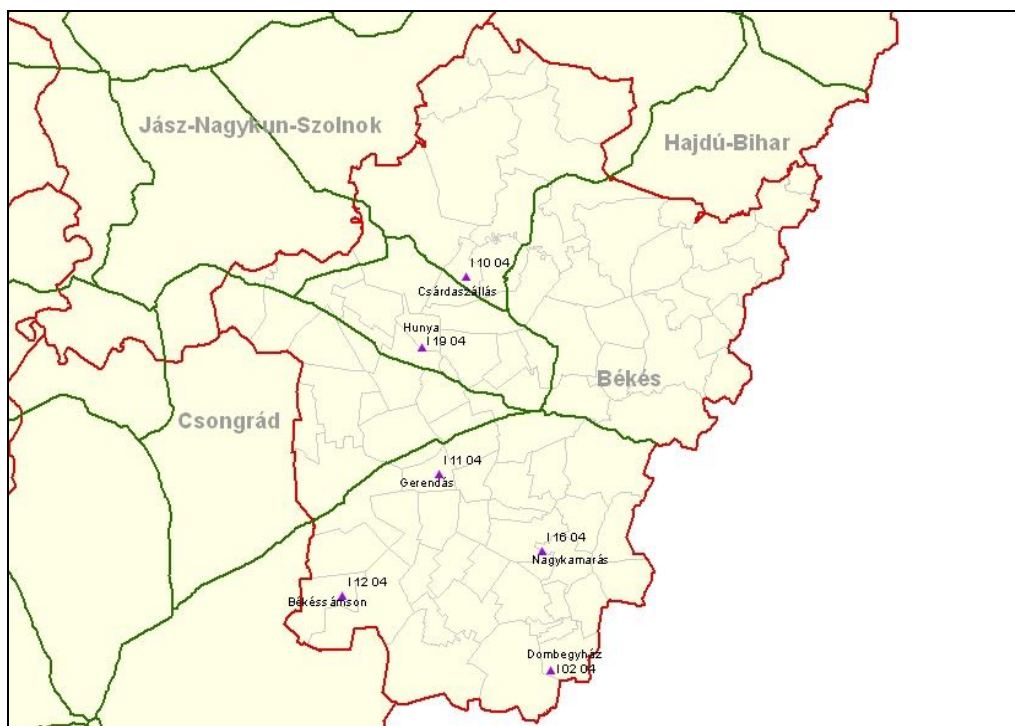
4. sz. melléklet: A kiválasztott, legkisebb cink-ellátottságú TIM mintavételi pontok Szabolcs-Szatmár-Bereg megyében.



5. sz. melléklet: A kiválasztott, legkisebb cink-ellátottságú TIM mintavételi pontok Hajdú-Bihar megyében.



6. sz. melléklet: A kiválasztott, legkisebb cink-ellátottságú TIM mintavételi pontok Békés megyében.



7. sz. melléklet: A rhizoboxos kísérletekben használt talajok vizsgált tulajdonságai.

Minták számozása	Megye	Település	TIM	Fizikai talajjelölés	K _A	agyag % K _A alapján	Só %	pH CaCl ₂	pH H ₂ O	Humusz %	CaCl ₂ - nitrát-N mg kg ⁻¹	CaCl ₂ - ammónia-N mg kg ⁻¹	CaCl ₂ - N-tartalék mg kg ⁻¹	CaCl ₂ - N-szerves mg kg ⁻¹	AL-P ₂ O ₅ mg kg ⁻¹	AL-K ₂ O mg kg ⁻¹	AL-Ca mg kg ⁻¹	AL-Mg mg kg ⁻¹	Totál Zn mg kg ⁻¹	LE-Zn mg kg ⁻¹	LE-Fe mg kg ⁻¹	LE-Mn mg kg ⁻¹
1	SZ-SZ-B megye	Nyírdersz	I 4915	homok	30	15%	0,00%	4,56	4,71	1,32	3,22	9,64	18,13	5,28	109,25	113,02	930	48	30,1	3,23	17690	2010
2		Pusztadobos	I 2715	homok	28	13%	0,00%	4,37	4,49	1,13	3,33	7,66	16,14	5,15	67,65	112,12	140	21	31,2	1,43	15500	5060
3		Nyírbogát	I 6015	homok	30	15%	0,00%	5,24	5,57	0,91	5,63	6,78	16,30	3,90	58,78	148,80	285	32	29,6	3,47	72100	6440
4		Nyírvasvári	I 4415	homokos vályog	32	17%	0,00%	4,95	5,04	1,04	9,98	7,32	25,07	7,78	10,03	112,13	335	53	25,6	0,82*	5960	21140
5		Nyírkércs	I 3115	homok	28	13%	0,00%	4,75	4,80	1,08	2,67	4,58	10,40	3,16	57,91	66,06	220	19	25,1	1,40*	14680	4280
6		Terem	I 4615	homok	28	13%	0,00%	4,75	4,93	1,13	7,73	7,67	21,17	5,77	55,52	167,13	230	50	23,3	1,25*	9940	22500
7		Nyírbátor	I 5115	homok	28	13%	0,00%	4,56	4,57	0,93	2,66	7,10	13,53	3,78	41,75	82,71	500	7	18,9	0,74*	106450	3220
8	H-B megye	Nagyrabé	I 3609	agyag	54	42%	0,02%	7,42	7,69	4,67	14,53	11,73	43,17	16,92	91,14	336,33	7640	448	75,8	2,07*	16600	19740
9		Berettyóújfalu	I 4209	homokos vályog	34	18%	0,00%	5,95	6,05	2,02	6,50	12,98	36,84	17,37	88,42	421,98	1355	215	43,1	2,09*	19200	20600
10		Derecske	I 2809	agyagos vályog	44	33%	0,01%	7,72	8,29	3,89	5,38	5,79	31,82	20,65	148,07	232,12	31950	564	76,5	2,33*	18240	2757600
11		Mezősas (B.újf.)	I 4009	homokos vályog	34	18%	0,01%	6,07	6,36	3,12	9,74	13,42	38,47	15,31	170,44	865,29	1780	251	69,4	2,81*	3000000	1686400
12		Bagamér	I 0509	homokos vályog	36	19%	0,01%	7,42	7,49	2,70	6,21	9,31	32,38	16,87	47,96	222,12	3825	314	54,7	2,04*	27740	55390
13		Hajdúsámson	I 0109	homok	28	13%	0,00%	6,05	6,21	1,06	3,13	5,38	16,87	8,36	29,39	61,96	655	68	19,4	1,52	48550	4630
14	Békés megye	Gerendás	I 1104	vályog	42	30%	0,01%	7,65	8,17	3,42	26,07	11,22	54,49	17,20	67,76	216,66	12325	585	60,9	1,65*	19550	40410
15		Csárdaszállás	I 1004	nehéz anyag	64	49%	0,02%	7,54	7,83	4,09	20,25	13,20	46,51	13,06	89,49	516,59	10900	891	72,8	2,07*	1000000	16040
16		Hunya	I 1904	agyag	56	43%	0,02%	7,67	7,92	4,22	39,91	5,25	56,19	11,04	221,28	284,63	31150	772	90,7	2,69*	26210	1504000
17		Nagykamarás	I 1604	homokos vályog	30	15%	0,01%	7,47	7,80	3,11	11,89	2,66	18,57	4,02	49,04	199,58	3910	173	50,4	3,27*	16680	44990
18		Békéssámson	I 1204	agyag	52	41%	0,01%	7,67	8,00	4,68	15,14	8,86	38,60	14,60	155,36	494,80	33775	1923	70,7	2,47*	10480	50080
19		Dombegyház	I 0204	agyag	56	43%	0,02%	7,67	7,96	5,03	24,02	10,02	44,07	10,03	125,53	538,51	95300	1548	83,2	2,12*	13140	39800
20		Látókép		agyagos vályog	46	35%	0,02%	5,70	5,99	4,75	18,52	12,47	40,63	9,64	84,68	520,94	3870	337	82,5	3,16*	39410	1736000

8. sz. melléklet: Az alkalmazott bikarbonát és biotrágya kezelések hatása a 8 napos kukorica és a 24 napos uborka levelek abszolút klorofill-*a* (kl-a), klorofill-*b* (kl-b) és karotionidok (kar.) tartalmára és azok egymáshoz viszonyított arányára ($\text{mg}\cdot\text{g}^{-1}$) ($n=3\pm\text{s.e.}$) Kezelések: 1: kontroll, 2: 10 mM NaHCO_3 , 3: 20 mM NaHCO_3 , 4: 40 mM NaHCO_3 , 5: 80 mM NaHCO_3 ; +P: biotrágya kezelés. Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: * $p<0.05$, ** $p<0.01$, *** $p<0.001$. Szignifikáns eltérés a biotrágyával nem kezeltéhez képest: ^a $p<0.05$, ^b $p<0.01$, ^c $p<0.001$.

Kezelések		<i>kukorica</i>						<i>uborka</i>					
		kl-a	kl-b	kar.	kl-a/kl-b	kl-a/kar.	össz. kl/kar.	kl-a	kl-b	kar.	kl-a/kl-b	kl-a/kar.	össz. kl/kar.
2. levél	1	16,31±0,91	5,78±0,63	3,85±0,37	2,84	4,26	5,74	13,72±2,42	5,25±1,16	3,96±0,76	2,64	3,47	4,79
	1P	16,55±0,58	5,82±0,53	4,03±0,34	2,86	4,13	5,55	12,34±0,35*	4,34±0,23*	3,40±0,11*	2,84	3,63	4,91
	2	10,91±1,08	3,07±1,07*	2,59±0,85	3,68	4,31	5,40	11,29±1,84	3,55±0,38***	3,08±0,23**	3,22	3,65	4,82
	2P	15,48±0,82 ^b	4,77±0,56 ^b	3,81±0,17 ^a	3,27	4,07	5,31	12,15±0,63	4,72±0,25* ^a	3,45±0,17*	2,58	3,52	4,89
	3	13,56±1,81	3,94±0,90*	3,25±0,54	3,52	4,19	5,38	10,02±0,40*	3,61±0,37***	2,83±0,23***	2,79	3,54	4,82
	3P	13,98±1,16	4,07±0,46*	3,35±0,41	3,44	4,20	5,39	12,79±1,50 ^a	4,96±0,70 ^b	3,63±0,54 ^b	2,59	3,54	4,89
	4	9,02±5,74*	2,55±1,57*	2,21±1,29*	3,25	3,65	5,24	4,59±1,36***	1,78±0,47***	2,31±0,24***	2,48	1,94	2,76
	4P	9,56±0,75*	2,80±0,97** ^a	1,81±0,86**	3,32	5,48	6,83	10,29±0,77** ^c	3,22±1,31*** ^a	3,32±0,98* ^a	3,23	3,07	4,07
	5	6,36±0,62***	1,85±1,01***	1,43±0,66**	3,30	3,98	5,74	-	-	-	-	-	-
	5P	4,16±1,18*** ^b	1,54±0,54***	1,00±0,36***	2,47	3,81	5,70	-	-	-	-	-	-
3. levél	1	16,56±0,31	5,70±0,32	4,02±0,05	2,91	4,12	5,54	12,89±1,22	4,74±0,52	4,05±0,46	2,73	3,19	4,37
	1P	16,50±1,53	5,95±1,12	3,94±0,73	2,83	4,27	5,79	12,25±0,98	4,49±0,26	3,75±0,55	2,73	3,29	4,50
	2	5,83±1,29***	1,27±0,52***	1,28±0,29***	5,14	4,56	5,50	10,49±0,37*	3,57±0,26*	3,27±0,37*	2,94	3,23	4,32
	2P	11,88±3,00 ^a	3,17±0,91*	2,89±0,83 ^a	3,81	4,16	5,26	10,87±0,22*	3,77±0,16*	3,54±0,08	2,89	3,07	4,13
	3	8,80±0,87***	2,17±0,35**	2,02±0,18***	4,13	4,36	5,44	9,81±0,46**	3,38±0,30**	2,83±0,14**	2,92	3,47	4,67
	3P	15,59±0,69 ^c	4,85±0,50 ^b	3,83±0,28 ^c	3,23	4,08	5,34	11,43±0,53 ^b	4,27±0,22 ^b	3,49±0,31 ^a	2,68	3,28	4,51
	4	7,15±4,52*	2,05±1,24**	1,61±0,90**	3,24	3,85	5,01	-	-	-	-	-	-
	4P	7,47±2,17**	2,07±0,48***	1,53±0,49***	3,62	4,97	6,43	-	-	-	-	-	-
	5	5,07±1,57***	1,62±0,47***	1,07±0,31***	3,10	4,70	6,21	-	-	-	-	-	-
	5P	3,37±0,90***	1,11±0,34***	0,78±0,15***	3,11	4,25	5,65	-	-	-	-	-	-

9. sz. melléklet: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 14 napos kukorica hajtásának és gyökerének növekedésére. 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.



10. sz. melléklet: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 23 napos uborka hajtásának és gyökerének növekedésére. 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.



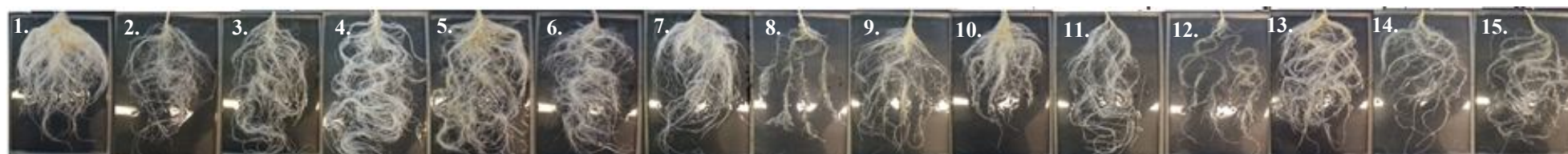
11. sz. melléklet: A különböző adagú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a kukorica és az uborka 2. és 3. levelének klorofill-*a*, klorofill-*b* és karotinoidok tartalmára és ezek egymáshoz viszonyított arányára (mg g⁻¹) (n=3±s.e.). Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001.

Kezelések		kukorica						uborka					
		kl-a	kl-b	kar.	kl-a/kl-b	kl-a/kar.	össz. kl/kar.	kl-a	kl-b	kar.	kl-a/kl-b	kl-a/kar.	össz. kl/kar.
2. level	kontroll	16,76±1,50	5,42±0,75	4,32±0,52	3,09	3,88	5,13	13,91±0,59	5,35±0,31	3,86±0,22	2,60	3,60	4,99
	- Zn+1xFe	15,74±1,33	4,62±0,38	3,85±0,38	3,41	4,09	5,29	13,47±0,32	5,08±0,40	3,68±0,04	2,65	3,66	5,04
	- Zn+5xFe	15,97±0,08	5,16±0,82	3,94±0,21	3,09	4,06	5,37	12,71±0,80	4,67±0,31*	3,40±0,25	2,72	3,74	5,11
	- Zn+10xFe	15,88±1,17	5,10±0,69	3,93±0,24	3,11	4,04	5,34	14,42±1,28	4,78±0,55	4,08±0,37	3,02	3,54	4,71
	1xZn+ -Fe	6,59±1,93***	2,23±0,50***	1,80±0,50***	2,96	3,65	4,89	9,04±1,56**	3,22±0,31***	2,31±0,47**	2,81	3,91	5,30
	1xZn+5xFe	14,51±2,83	4,54±0,91	3,57±0,86	3,19	4,06	5,34	12,15±0,38**	4,16±0,32***	3,35±0,17*	2,92	3,63	4,87
	1xZn+10xFe	15,40±3,08	4,68±1,30	3,82±0,94	3,29	4,03	5,25	11,57±0,49**	4,33±0,09***	3,16±0,20**	2,67	3,66	5,03
	5xZn+ -Fe	9,01±0,73***	2,39±0,39***	2,37±0,26**	3,78	3,80	4,80	6,53±0,53***	2,29±0,47***	1,85±0,12***	2,85	3,53	4,77
	5xZn+1xFe	14,26±2,82	4,33±1,62	3,49±1,01	3,30	4,09	5,33	13,17±1,24	4,83±0,50	3,52±0,35	2,73	3,74	5,11
	5xZn+5xFe	15,69±3,34	5,34±1,37	3,92±1,06	2,94	4,00	5,37	12,70±0,40*	5,18±0,36	3,56±0,21	2,45	3,57	5,03
	5xZn+10xFe	14,48±5,46	5,25±3,16	3,68±1,93	2,76	3,93	5,36	10,82±1,66*	4,15±0,72*	2,89±0,35***	2,61	3,74	5,18
	10xZn+ -Fe	7,66±0,84***	2,63±0,64**	2,04±0,32***	2,91	3,75	5,04	5,91±2,00**	2,08±0,79**	1,62±0,45***	2,85	3,64	4,92
	10xZn+1xFe	15,35±3,46	5,13±1,54	4,03±1,19	2,99	3,81	5,08	10,31±0,56***	3,84±0,15***	2,75±0,09***	2,68	3,75	5,15
	10xZn+5xFe	15,20±2,71	4,70±1,12	3,90±0,87	3,23	3,90	5,10	12,18±0,91*	4,53±0,14**	3,31±0,22*	2,69	3,68	5,05
	10xZn+10xFe	14,59±1,00	4,39±0,62	3,57±0,32	3,32	4,09	5,32	10,43±3,26	5,50±2,23	2,54±1,46*	1,89	4,11	6,27
3. level	kontroll	16,67±4,02	6,12±3,29	4,37±1,44	2,72	3,81	5,21	14,97±1,34	6,08±0,85	4,26±0,53	2,46	3,51	4,94
	- Zn+1xFe	9,58±2,87	2,20±0,76	2,24±0,69	3,40	4,27	5,53	15,29±2,14	5,29±0,35	5,13±2,03	2,89	2,98	4,01
	- Zn+5xFe	14,34±0,20	4,53±0,54	3,38±0,02	3,17	4,24	5,57	14,87±0,57	5,28±0,09	4,35±0,14	2,81	3,42	4,64
	- Zn+10xFe	15,57±1,41	5,01±1,24	3,78±0,58	3,10	4,12	5,45	14,10±0,76	4,45±0,12*	4,01±0,19	3,16	3,51	4,62
	1xZn+ -Fe	3,88±0,40*	1,20±0,27	1,12±0,09	3,23	3,45	4,52	10,18±1,27**	3,64±0,50**	2,86±0,19*	2,80	3,56	4,84
	1xZn+5xFe	16,62±0,39	5,70±0,05	4,35±0,14	2,91	3,82	5,13	11,56±2,01	4,19±0,79*	3,27±0,73	2,76	3,54	4,82
	1xZn+10xFe	16,78±0,36	5,74±0,16	4,32±0,07	2,93	3,88	5,21	12,70±0,33*	4,72±0,33	3,57±0,19	2,69	3,55	4,88
	5xZn+ -Fe	5,02±0,41*	1,34±0,12	1,29±0,07	3,75	3,89	4,93	6,33±0,97***	2,18±0,32***	1,97±0,40**	2,90	3,22	4,33
	5xZn+1xFe	8,21±1,06	2,03±0,02	1,89±0,17	4,04	4,34	5,41	14,08±0,96	5,43±0,69	4,07±0,40	2,59	3,46	4,79
	5xZn+5xFe	15,68±1,91	5,13±1,27	4,04±0,70	3,06	3,89	5,16	12,48±0,75*	4,92±0,61	3,50±0,28	2,53	3,56	4,97
	5xZn+10xFe	13,28±0,18	4,11±0,32	3,17±0,16	3,23	4,19	5,48	12,56±0,61*	4,71±0,30	3,43±0,21	2,67	3,66	5,04
	10xZn+ -Fe	2,15±0,33*	1,07±0,22	0,78±0,17	2,01	2,77	4,14	7,29±0,82***	2,62±0,21**	2,20±0,29**	2,78	3,32	4,51
	10xZn+1xFe	10,17±3,28	2,84±3,43	2,48±0,23	3,58	4,11	5,26	11,87±1,31*	4,57±1,22	3,34±0,31	2,60	3,56	4,93
	10xZn+5xFe	13,87±0,92	3,94±0,27	3,47±0,28	3,52	4,00	5,14	13,19±1,61	5,12±1,26	3,74±0,70	2,58	3,53	4,90
	10xZn+10xFe	14,90±0,18	4,57±0,11	3,68±0,10	3,26	4,05	5,29	10,95±0,81**	3,94±0,37**	3,23±0,31*	2,78	3,39	4,61

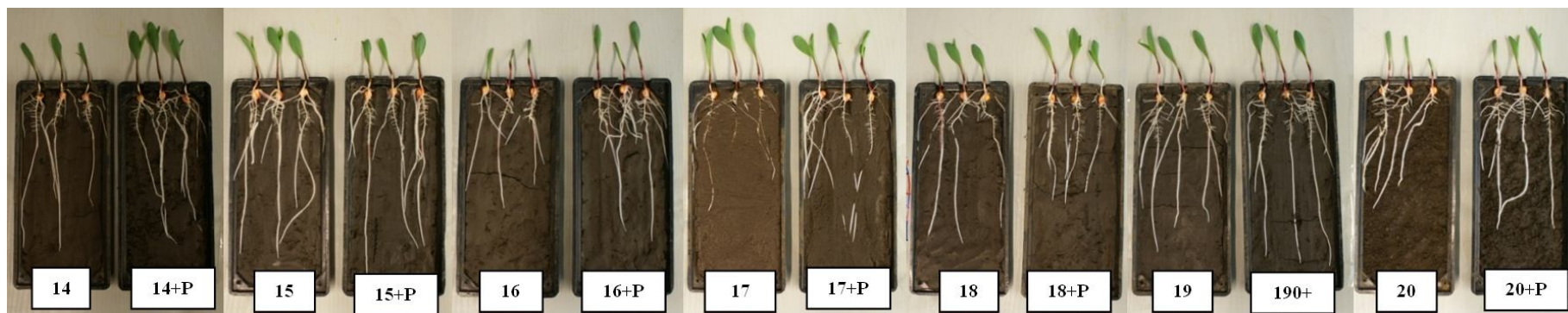
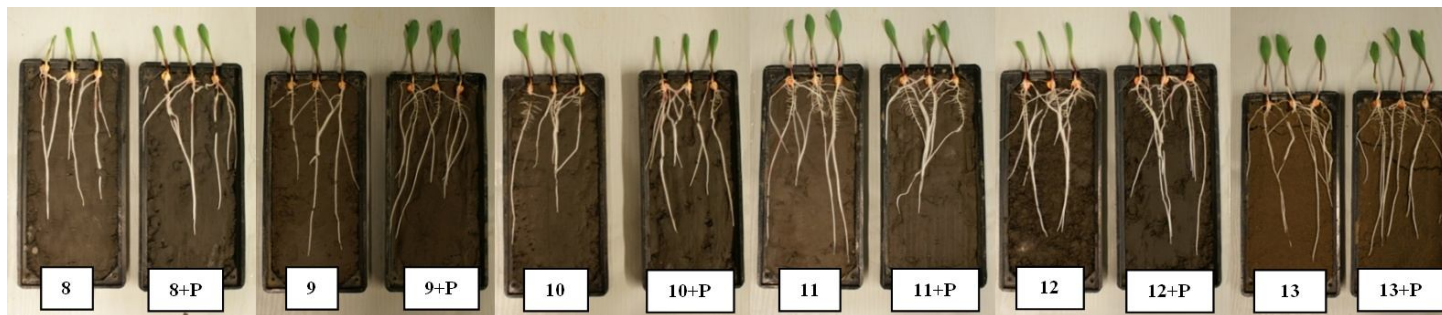
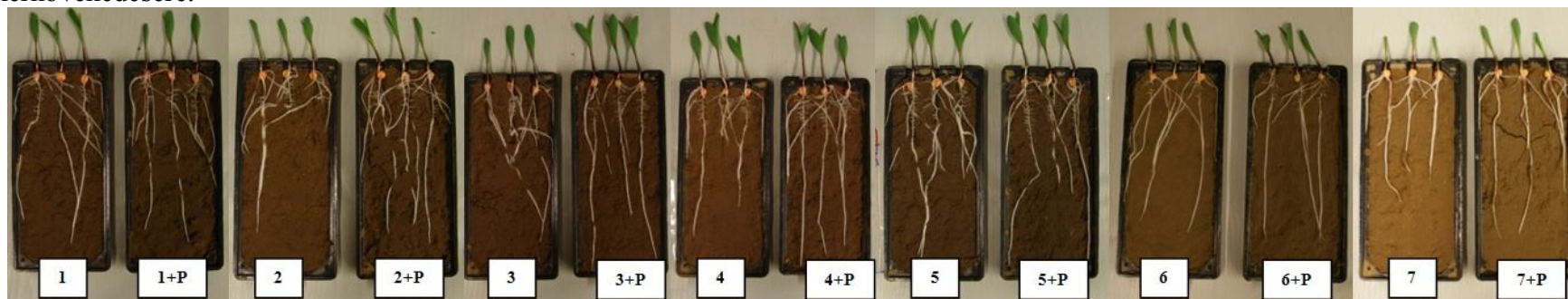
12. sz. melléklet: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 11 napos kukorica gyökerének morfológiájára. 1: kontroll, 2: -Zn+1xFe, 3: -Zn+5xFe, 4: -Zn+10xFe, 5: 1xZn+ -Fe, 6: 1xZn+5xFe, 7: 1xZn+10xFe, 8: 5xZn+ -Fe, 9: 5xZn+1xFe, 10: 5xZn+5xFe, 11: 5xZn+10xFe, 12: 10xZn+-Fe, 13: 10xZn+1xFe, 14: 10xZn+5xFe, 15: 10xZn+10xFe.



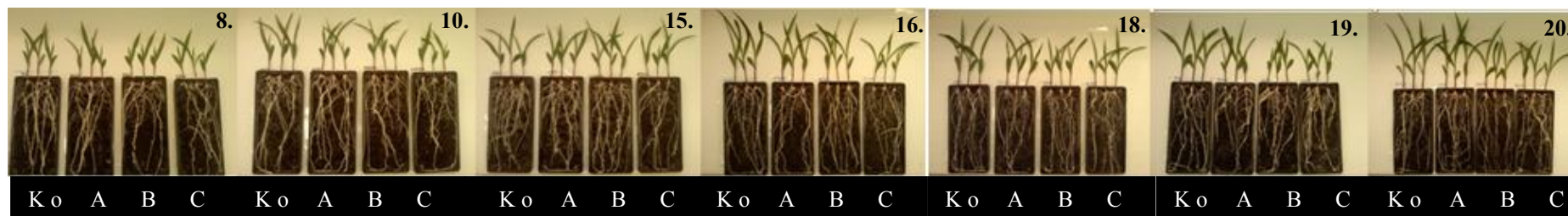
13. sz. melléklet: A különböző koncentrációjú cink (Zn) és vas (Fe) kezelések hatása a 23 napos uborka gyökerének morfológiájára. 1: kontroll, 2: -Zn+1xFe, 3: -Zn+5xFe, 4: -Zn+10xFe, 5: 1xZn+ -Fe, 6: 1xZn+5xFe, 7: 1xZn+10xFe, 8: 5xZn+ -Fe, 9: 5xZn+1xFe, 10: 5xZn+5xFe, 11: 5xZn+10xFe, 12: 10xZn+-Fe, 13: 10xZn+1xFe, 14: 10xZn+5xFe, 15: 10xZn+10xFe.



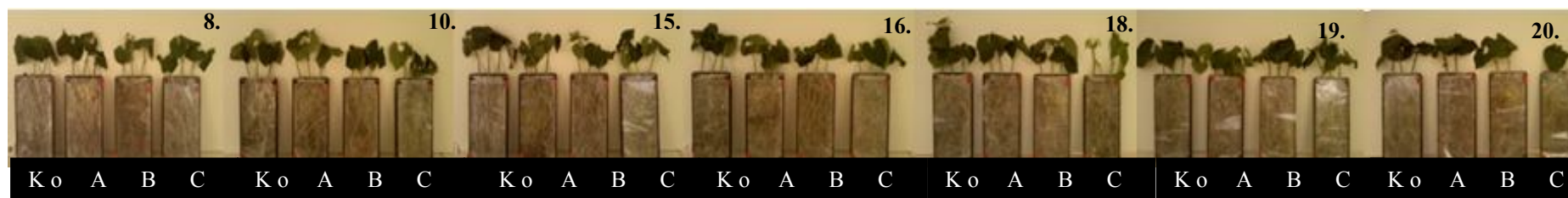
14. sz. melléklet: A biotrágya (+P) kezelések hatása a gyenge cink-ellátottságú talajokon, rhizoboxban nevelt 4 napos kukorica hajtás és gyökérnövekedésére.



15. sz. melléklet: A kezelések hatása a 10 napos kukorica hajtás és gyökérnövekedésére. Ko: kontroll, A: 1 g kg⁻¹ mész, B: 2 g kg⁻¹ mész, C: 7 g kg⁻¹ mész.



16. sz. melléklet: A kezelések hatása a 13 napos bab hajtásnövekedésére. Ko: kontroll, A: 1 g kg⁻¹ mész, B: 2 g kg⁻¹ mész, C: 7 g kg⁻¹ mész.



17. sz. melléklet: A különböző adagú mészkezelések hatása a 10 napos kukorica és a 14 napos bab hajtásának és gyökérének szárazanyag-felhalmozására (n=9±s.e.) (g növény⁻¹). Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: p*<0.05.

Növény	Talajok számozása	hajtás				gyökér			
		kontroll	1 g mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész kg ⁻¹ talaj	kontroll	1 g mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész kg ⁻¹ talaj
<i>kukorica</i>	8	0,0508±0,03	0,0493±0,03	0,0503±0,02	0,0520±0,02	0,0993±0,04	0,0889±0,07	0,0898±0,05	0,1009±0,04
	10	0,0610±0,02	0,0576±0,01	0,0566±0,02	0,0515±0,04	0,1044±0,05	0,0976±0,03	0,1057±0,04	0,0824±0,01
	15	0,0625±0,02	0,0616±0,03	0,0614±0,02	0,0549±0,02	0,1002±0,07	0,0980±0,09	0,0961±0,00	0,0759±0,04
	16	0,0906±0,04	0,0604±0,02	0,0621±0,05	0,0619±0,01	0,1740±0,03	0,1053±0,10*	0,1066±0,14*	0,1071±0,14*
	18	0,0928±0,03	0,0823±0,01	0,0664±0,02*	0,0759±0,02	0,1724±0,01	0,1615±0,09	0,1262±0,06*	0,1606±0,00
	19	0,0929±0,02	0,0720±0,03	0,0650±0,01*	0,0659±0,02*	0,1421±0,01	0,0932±0,04	0,1101±0,06	0,1018±0,01
	20	0,0784±0,02	0,0794±0,02	0,0757±0,07	0,0757±0,02	0,1230±0,10	0,1217±0,10	0,1037±0,19	0,0991±0,06
<i>bab</i>	8	0,0807±0,19	0,0845±0,02	0,0699±0,27	0,0672±0,04	0,0521±0,02	0,0557±0,01	0,0515±0,02*	0,0443±0,02*
	10	0,0843±0,01	0,0831±0,11	0,0752±0,18	0,0592±0,10	0,0483±0,04	0,0474±0,07	0,0444±0,09	0,0420±0,06
	15	0,1059±0,17	0,0938±0,19	0,0768±0,04	0,0692±0,11	0,0454±0,07	0,0366±0,08	0,0351±0,04	0,0389±0,03
	16	0,0975±0,20	0,0880±0,02	0,0794±0,13	0,0794±0,05	0,0506±0,08	0,0492±0,09	0,0485±0,02	0,0433±0,05
	18	0,1171±0,20	0,0909±0,12	0,0895±0,04	0,0745±0,10	0,0671±0,17	0,0479±0,04	0,0459±0,04	0,0478±0,02
	19	0,0790±0,05	0,0751±0,00	0,0673±0,18	0,0380±0,26	0,0729±0,23	0,0410±0,05	0,0324±0,03	0,0250±0,16*
	20	0,1245±0,01	0,0796±0,02	0,1175±0,05	0,1058±0,07	0,0617±0,13	0,0418±0,06	0,0562±0,03	0,0561±0,01

18. sz. melléklet: A mészkezelések hatása a 10 napos kukorica gyökérnövekedésére (n=9±s.e.) (cm gyökér⁻¹). Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: p* < 0.05.

Napok	Talajok számozása	Éjszakai gyökérnövekedés				Nappali gyökérnövekedés				Napi gyökérnövekedés összesen			
		kontroll	1 g mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész kg ⁻¹ talaj	kontroll	1 g mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész kg ⁻¹ talaj	kontroll	1 g mész kg ⁻¹ talaj	2 g mész kg ⁻¹ talaj	7 g mész kg ⁻¹ talaj
1. nap	8	2,18±0,35	2,19±0,38	2,28±0,30	2,17±0,59	2,49±0,25	2,39±0,30	2,33±0,37	1,78±0,47*	4,67±0,30	4,58±0,34	4,61±0,33	3,95±0,53*
	10	2,95±0,26	2,52±0,60	2,35±0,82	2,21±0,25*	2,91±0,30	2,86±0,53	2,33±0,40*	2,32±0,29*	5,86±0,28	5,38±0,56	4,68±0,61*	4,53±0,27*
	15	2,56±0,47	2,40±0,42	2,39±0,25	2,17±0,62	2,39±0,13	2,33±0,50	2,33±0,36	2,30±0,36	4,95±0,30	4,73±0,46	4,72±0,31	4,47±0,49
	16	1,99±0,23	1,51±0,67	1,41±0,52	1,22±0,25*	3,33±0,29	2,33±0,73*	2,01±0,72*	2,08±0,75*	5,32±0,26	3,84±0,70*	3,42±0,62*	3,30±0,50*
	18	2,43±0,85	2,05±1,12	1,61±0,51	1,59±0,33	3,57±0,86	2,80±0,42	2,73±0,40	1,90±0,80*	6,00±0,85	4,85±0,77	4,34±0,46	3,49±0,57*
	19	2,22±0,31	1,46±0,56*	1,46±0,28*	1,27±0,42*	3,10±0,45	2,29±0,45*	2,18±0,28*	2,13±0,48*	5,32±0,38	3,75±0,50*	3,64±0,28*	3,40±0,45*
	20	1,88±0,36	1,74±0,59	1,20±0,48*	1,20±0,27*	2,71±0,54	2,59±0,31	2,18±0,69	2,15±0,33	4,59±0,45	4,33±0,45	3,38±0,58*	3,35±0,30*
2. nap	8	1,60±0,39	1,43±0,20	1,41±0,37	1,13±0,35	2,70±0,42	2,46±0,56	2,48±0,41	1,93±0,74	4,30±0,40	3,89±0,38	3,89±0,39	3,06±0,55
	10	1,87±0,41	1,49±0,35	1,44±0,24	1,36±0,17	2,79±0,51	2,68±1,01	2,39±0,99	2,46±0,18	4,66±0,46	4,17±0,68	3,83±0,61	3,82±0,17
	15	1,65±0,29	1,50±0,40	1,47±0,21	1,41±0,38	2,89±0,55	2,71±0,92	2,59±0,75	2,43±0,58	4,54±0,42	4,21±0,66	4,06±0,48	3,84±0,48
	16	1,69±0,13	1,29±0,53	1,02±0,40*	0,80±0,29*	3,29±0,45	2,10±1,04	2,11±0,73*	2,10±1,22	4,98±0,29	3,39±0,78*	3,13±0,56*	2,90±0,75*
	18	2,08±0,52	1,90±0,54	1,21±0,34*	0,85±0,42*	3,31±0,52	2,09±0,74*	2,14±0,87	2,09±0,91*	5,39±0,52	3,99±0,64*	3,35±0,61*	2,94±0,67*
	19	1,56±0,34	1,36±0,41	1,31±0,40	1,25±0,31	2,60±0,65	2,34±1,05	2,35±0,43	2,27±0,50	4,16±0,49	3,70±0,73	3,66±0,41	3,52±0,40
	20	1,46±0,41	1,16±0,58	1,07±0,45	1,20±0,14	2,58±0,54	2,18±1,12	2,00±0,89	2,22±0,31	4,04±0,48	3,34±0,85	3,07±0,67	3,42±0,23
3. nap	8	2,00±1,92	1,03±0,34	1,00±0,32	1,01±0,38	2,18±0,61	1,94±0,63	2,07±0,08	1,78±0,38	4,18±1,26	2,97±0,49	3,07±0,20	2,79±0,38
	10	1,42±0,40	1,31±0,52	1,24±0,38	1,23±0,39	2,59±0,82	2,33±0,43	2,16±0,81	2,08±0,23	4,01±0,61	3,64±0,47	3,40±0,60	3,31±0,31
	15	1,44±0,32	1,11±0,57	0,90±0,38*	1,01±0,24	2,06±0,78	1,72±0,75	1,74±0,50	1,56±0,68	3,50±0,55	2,83±0,66	2,64±0,44*	2,57±0,46*
	16	1,76±0,14	1,34±0,61	1,21±0,36	1,04±0,61	1,73±0,84	1,53±0,46	1,56±1,03	1,22±0,43	3,49±0,49	2,87±0,54	2,77±0,69	2,26±0,52*
	18	1,92±0,23	1,36±0,34	1,23±0,40*	1,15±0,62*	2,60±0,78	2,43±0,95	2,16±0,67	2,15±0,07	4,52±0,50	3,79±0,65	3,39±0,53*	3,30±0,34*
	19	1,70±0,39	1,53±,72	1,53±0,32	1,14±0,33	2,68±0,33	1,80±0,72*	1,78±0,25*	1,75±0,46*	4,38±0,36	3,33±0,72*	3,31±0,29*	2,89±0,39*
	20	1,50±0,82	1,33±0,32	1,35±0,24	1,32±0,56	2,16±0,46	2,00±0,64	2,05±0,21	2,06±0,44	3,66±0,64	3,33±0,48	3,40±0,22	3,38±0,50

19. sz. melléklet: A mészkezelések hatása a 14 napos bab gyökérnövekedésére ($n=9 \pm s.e.$) (cm gyökér^{-1}). Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: $p < 0.05$.

Napok	T. szám.	Éjszakai gyökérnövekedés				Nappali gyökérnövekedés				Napi gyökérnövekedés összesen			
		kontroll	1 g mész kg^{-1} talaj	2 g mész kg^{-1} talaj	7 g mész kg^{-1} talaj	kontroll	1 g mész kg^{-1} talaj	2 g mész kg^{-1} talaj	7 g mész kg^{-1} talaj	kontroll	1 g mész kg^{-1} talaj	2 g mész kg^{-1} talaj	7 g mész kg^{-1} talaj
1. nap	8	2,83 $\pm$ 1,16	1,06 $\pm$ 0,75*	0,92 $\pm$ 0,83*	0,94 $\pm$ 0,59*	2,20 $\pm$ 0,64	1,07 $\pm$ 0,08*	1,02 $\pm$ 0,80*	0,93 $\pm$ 0,41*	5,03 $\pm$ 0,90	2,13 $\pm$ 0,41*	1,94 $\pm$ 0,81	1,87 $\pm$ 0,50*
	10	2,33 $\pm$ 0,50	2,24 $\pm$ 0,94	2,16 $\pm$ 1,11	1,66 $\pm$ 0,87*	2,27 $\pm$ 0,87	1,64 $\pm$ 0,61	1,56 $\pm$ 0,79	1,06 $\pm$ 0,57	4,60 $\pm$ 0,69	3,88 $\pm$ 0,77	3,71 $\pm$ 0,95	2,71 $\pm$ 0,72*
	15	2,17 $\pm$ 0,90	1,83 $\pm$ 0,58	1,56 $\pm$ 0,82	1,19 $\pm$ 0,93	1,11 $\pm$ 0,53	1,05 $\pm$ 0,57	1,08 $\pm$ 0,22	0,87 $\pm$ 0,70	3,28 $\pm$ 0,72	2,88 $\pm$ 0,57	2,64 $\pm$ 0,52	2,05 $\pm$ 0,81
	16	2,49 $\pm$ 0,88	2,39 $\pm$ 0,98	2,31 $\pm$ 0,85	1,88 $\pm$ 0,80	1,50 $\pm$ 0,47	1,27 $\pm$ 0,54	1,19 $\pm$ 0,51	1,08 $\pm$ 0,69	3,99 $\pm$ 0,68	3,65 $\pm$ 0,76	3,50 $\pm$ 0,68	2,95 $\pm$ 0,75
	18	1,38 $\pm$ 0,57	1,26 $\pm$ 0,8	1,08 $\pm$ 0,25	0,85 $\pm$ 0,56*	1,16 $\pm$ 0,44	0,84 $\pm$ 0,31	0,83 $\pm$ 0,24	0,67 $\pm$ 0,54	2,54 $\pm$ 0,50	2,11 $\pm$ 0,58	1,91 $\pm$ 0,24	1,52 $\pm$ 0,55*
	19	1,40 $\pm$ 0,66	1,26 $\pm$ 0,67	1,09 $\pm$ 0,43	0,86 $\pm$ 0,34	0,80 $\pm$ 0,46	0,77 $\pm$ 0,46	0,70 $\pm$ 0,28	0,70 $\pm$ 0,33	2,20 $\pm$ 0,56	2,03 $\pm$ 0,57	1,79 $\pm$ 0,36	1,56 $\pm$ 0,33
	20	1,52 $\pm$ 0,72	1,36 $\pm$ 0,67	1,13 $\pm$ 0,50	0,92 $\pm$ 0,39*	1,18 $\pm$ 0,40	1,00 $\pm$ 0,16	1,01 $\pm$ 0,29	0,63 $\pm$ 0,23	2,70 $\pm$ 0,56	2,36 $\pm$ 0,42	2,15 $\pm$ 0,40	1,55 $\pm$ 0,31*
2. nap	8	3,16 $\pm$ 1,08	1,74 $\pm$ 0,46*	1,65 $\pm$ 0,87*	1,58 $\pm$ 0,46*	1,40 $\pm$ 0,33	0,85 $\pm$ 0,23*	0,85 $\pm$ 0,33*	0,85 $\pm$ 0,17*	4,56 $\pm$ 0,70	2,59 $\pm$ 0,35*	2,50 $\pm$ 0,60*	2,43 $\pm$ 0,31*
	10	2,13 $\pm$ 0,77	2,03 $\pm$ 1,12	2,07 $\pm$ 0,66	1,80 $\pm$ 0,46	1,21 $\pm$ 0,41	0,99 $\pm$ 0,34	0,97 $\pm$ 0,42	0,72 $\pm$ 0,36	3,34 $\pm$ 0,59	3,01 $\pm$ 0,73	3,04 $\pm$ 0,54	2,52 $\pm$ 0,41
	15	2,14 $\pm$ 0,68	1,89 $\pm$ 0,79	1,90 $\pm$ 0,34	1,71 $\pm$ 0,99	1,20 $\pm$ 0,38	0,95 $\pm$ 0,19	0,91 $\pm$ 0,34	0,91 $\pm$ 0,64	3,34 $\pm$ 0,53	2,84 $\pm$ 0,49	2,81 $\pm$ 0,34	2,62 $\pm$ 0,82
	16	3,11 $\pm$ 0,31	2,84 $\pm$ 0,61	2,80 $\pm$ 0,66	2,47 $\pm$ 0,89	1,30 $\pm$ 0,12	1,23 $\pm$ 0,13	1,19 $\pm$ 0,12	1,08 $\pm$ 0,38	4,41 $\pm$ 0,22	4,07 $\pm$ 0,37	3,99 $\pm$ 0,39	3,55 $\pm$ 0,63
	18	1,75 $\pm$ 0,99	1,70 $\pm$ 0,77	1,72 $\pm$ 0,96	1,43 $\pm$ 0,67	1,00 $\pm$ 0,62	0,82 $\pm$ 0,15	0,82 $\pm$ 0,33	0,70 $\pm$ 0,23	2,75 $\pm$ 0,81	2,52 $\pm$ 0,46	2,54 $\pm$ 0,64	2,13 $\pm$ 0,45
	19	2,37 $\pm$ 0,42	2,04 $\pm$ 0,86	1,49 $\pm$ 0,91	1,37 $\pm$ 0,70	0,95 $\pm$ 0,06	0,80 $\pm$ 0,40	0,70 $\pm$ 0,32	0,76 $\pm$ 0,21	3,32 $\pm$ 0,24	2,84 $\pm$ 0,63	2,19 $\pm$ 0,62	2,13 $\pm$ 0,45*
	20	2,59 $\pm$ 0,94	1,34 $\pm$ 1,03	1,25 $\pm$ 0,57	1,20 $\pm$ 0,77*	1,13 $\pm$ 0,19	0,74 $\pm$ 0,24*	0,68 $\pm$ 0,32*	0,58 $\pm$ 0,20*	3,72 $\pm$ 0,56	2,08 $\pm$ 0,64*	1,93 $\pm$ 0,45*	1,78 $\pm$ 0,48*

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Köszönöm férjemnek és szüleimnek az évek alatt nyújtott segítségüket, megértésüket, türelmüket és támogatásukat.

Köszönetemet fejezem ki Dr. Lévai László egyetemi docens témavezetőmnek szakmai segítségét, tanácsait, iránymutató javaslataiért.

Köszönöm opponenseimnek Dr. Sárvári Mihály és Dr. Izsáki Zoltán egyetemi tanár uraknak a disszertáció elkészítésében nyújtott segítségüket és áldozatos munkájukat.

Köszönöm Dr. Veres Szilvia és Dr. Makleit Péter egyetemi adjunktus kollégáimnak a munkámhoz nyújtott tanácsaikat és segítőkészségüket. Továbbá a Növénytudományi Intézet, Növénytani és Növényélettani Tanszék minden munkatársának, hogy munkámat támogatták, külön köszönet Csákyiné Faragó Erzsébetnek, Oláhné Tóth Ibolyának és Gajdos Évának, hogy a munkám végzésében segítségemre voltak.

Köszönettel tartozom az Agrokémia és Talajtani Intézet munkatársainak, külön köszönet Szabó Anitának, Bertáné Szabó Emesének, Dr. Kremper Ritának, valamint az intézet laboránsainak, különösen Katona Évának és Gáspár Istvánné Nórának.

Köszönöm Dr. Kovács Béla egyetemi tanárnak és Dr. Széles Évának a kísérleti minták méréséhez nyújtott segítségükért.

Köszönöm a Hohenheim-i Egyetem, Növény táplálásélettani Intézet munkatársainak Dr. Markus Weinmann és Dr. Sebastian Bott-nak, hogy munkámat javaslataikkal, tanácsaikkal támogatták.

Köszönöm a Mezőgazdasági Szakigazgatási Hivatal Növény-, Talaj- és Agrár-környezetvédelmi Igazgatósága osztályvezetőjének Marth Péternek, valamint a Hajdú-bihar megyei Növényegészségügyi és Talajvédelmi szolgálat munkatársainak Podmaliczki Gábornak és Ruszkbányai Ágnesnek a segítségüket.

A disszertáció elkészítését a TÁMOP-4.2.2/B-10/1-2010-0024 számú projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

NYILATKOZATOK

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar Hankóczy Jenő Növénytermesztési, Kertészeti és Élelmiszertudományok Doktori Iskola keretében készítettem a Debreceni Egyetem AGTC MÉK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2013.....

.....

a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanusítom, hogy **BÁKONYI NÓRA** doktorjelölt 2009-2012 között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte kutatói munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2013.....

.....

a témavezető aláírása

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 ételkészítés előállításának része Mezőfalván. Agro Napló, Országos Mezőgazdasági Szakfolyóirat. XV. évfolyam. 6. szám. 31-32. ISSN 2061–5523.