

A közeg pH-jának szerepe a látens tápanyaghiány kialakulásában fiatal kukorica és uborka növényeknél

BÁKONYI NÓRA-GAJDOS ÉVA-TÓTH BRIGITTA-
MAROZSÁN MARIANNA-KOVÁCS SZILVIA-VERES
SZILVIA-LÉVAI LÁSZLÓ

Debreceni Egyetem, Agrár és Műszaki Tudományok Centruma,
Növénytudományi Intézet, Mezőgazdasági Növényteni és
Növényélettani Tanszékcsoport

Összefoglalás

A növények tápanyagfelvétele a termés mennyiségét és a minőségét meghatározó egyik fő fiziológiai folyamat. A kedvezőtlen környezeti feltételek csökkentik a tápanyagfelvételt, a növény szervesanyag-felhalmozását, ezzel az elérhető termés mennyiségét is. A növénytermesztés eredményességét meghatározó, egyik legfontosabb abiotikus tényező a talaj pH-ja. Bár a talaj pH-jának hatása sokrétű, mégis az egyik leginkább kutatott terület a pH és a talajok felvehető tápanyagtartalmának összefüggése.

Kísérleteinkben a tápoldat és az apoplazmatikus bikarbonát, valamint egy biotrágya (Phylazonit MC[®]) hatását vizsgáltuk laboratóriumi körülmények között, tápoldaton nevelt fiatal kukorica és uborka csíranövényekre. Meghatároztuk a növények relatív klorofill tartalmát, a hajtás és gyökér növekedését, szárazanyag-felhalmozását, elemtartalmát, különösen az egyik legfontosabb terméslimitáló elem, a vas felvételében.

Megállapítottuk, hogy a környezet magas bikarbonát koncentrációja stresszként hat, a tápközeg pH-jának módosításán keresztül jelentősen befolyásolja a vizsgált folyamatokat. Megfigyelésünk alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a gyökér és a mezofillum sejtek tápanyagfelvétele azonos mechanizmus szerint történik. A tápoldatba és az apoplazmába juttatott bikarbonát hatása hasonló, ami mögött a tápanyagfelvétel hasonló membránfolyamatait valószínűsítjük. A pH mellett a mezofillum sejtek közötti járatának bikarbonát koncentrációja is okozhat tápanyag hiányt (látens tápanyaghiány) megfelelő tápanyagellátás esetén is.

Eredményeink szerint a bikarbonát okozta stresszhatás mérsékelhető volt egy baktérium tartalmú biotrágya (Phylazonit MC[®]) kiegészítő használatával. Feltételezzük, hogy a kedvező hatás mögött a baktériumok és a magasabb rendű növények tápanyagfelvételi hasonlóságai vannak.

Kulcsszavak: tápanyagfelvétel, talaj pH, látens tápanyaghiány, baktérium alapú biotrágya

THE ROLE OF pH IN EVOLVED OF LATENT NUTRIENT DEFICIENCY ON CORN AND CUCUMBER SEEDLINGS

NÓRA BÁKONYI-ÉVA GAJDOS-BRIGITTA TÓTH-
MARIANNA MAROZSÁN-SZILVIA KOVÁCS-SZILVIA
VERES-LÁSZLÓ LÉVAI

University of Debrecen, Institute of Plant Science, Division of
Agricultural Botany and Crop Physiology

Summary

The uptake of nutrients by the plants is the main physiological process that determines the quality and the quantity of crops. The unfavourable environmental conditions decreases the uptake of nutrients, the dry matter accumulation of plants and with that the available quantity of crops. The most important abiotic factor is the soil pH, which determines the efficiency of plant-crop-production. However the effect of soil pH is multiple, but one of the mostly investigate area is the relationship between the pH and the mobile/soluble nutrient contents of soil.

The uptake of nutrients by the plants determines the final product, its quantity and quality. The unfavourable environmental conditions affect these processes, the uptake of nutrients is decreasing, and parallel with this the productivity of crop cultures will also decrease. One of the main environmental factors determining the effectiveness of crop production is the soil pH.

In this study, we examined the effect of bicarbonate in nutrient solution and in apoplast, as well as a biofertilizer (Phylazonit MC[®]) in controlled environmental conditions on corn and cucumber seedlings grown on nutrient solution. We measured the relative chlorophyll contents, the growth of shoot and roots, the dry matter production, the element contents of experimental plants, particularly in case of iron uptake that is the one of the most important element in limited the crops.

It is observed in our experiments that besides the pH of nutrients solution, the bicarbonate concentration in the leaf-apoplast may also cause nutrient deficiency (latent nutrient deficiency) in mesophyll cells. On the basis of this observation we suggest that the uptake of nutrients by the roots and by the mesophyll cells is follows similar processes.

According to our results the bacteria contents biofertilizer could compensate the pH increasing effect of bicarbonate, trough the secreting organic acid of microorganism. We supposed that the similar uptake of the bacterium and high plants are behind the advantageous effect.

Keywords: uptake fo nutrient, soil pH, latent deficiency, bacteria based/containing bio-fertiliser

Bevezetés és irodalmi áttekintés

A Föld lakossága rohamosan gyarapszik. Míg a Föld fejlett országaiban alig mérhető tényleges gyarapodás, addig ez a jelentős növekedés azokban az elmaradott/fejlődő földrészekben, országokban kifejezett, ahol már eddig is komoly élelmezési problémák voltak. Ezekben az országokban, vagy földrészekben a nem kellő élelmezésselátás többnyire természeti okokra (víz, talajadottságok) vezethető vissza. A talajok általános mikroelem hiánya, mint amilyen a vas, a cink és jód alig visszafordítható hatással van 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). Kis mikroelem tartalmú talajok ugyanakkor az iparilag fejlett országokban is előfordulnak. Több mint 3 milliárd ember szenved világ-szerte a vas és a cink hiányától (Graham et al., 2001). Napjaink mezőgazdasági piacán a minőség egyre meghatározóbb tényezővé válik. A minőségi tényező mellett, figyelemmel kell lennünk a globális klímaváltozás káros hatásaira, mint a talajok csökkenő nedvességtartalma és az így előtérbe kerülő klímaközpontú talajművelés (Birkás, 2009), növekvő kockázat a termésmennyiséget illetően, az éghajlat nagyfokú változékonysága miatt előtérbe kerülnek a klimatikus adottságokhoz jól illeszkedő fajták (Nagy, 2006).

A növények tápanyagfelvétele a mennyiséget és a minőséget meghatározó fiziológiai folyamat. A mikroelem hiányos talajokon termesztett növények maguk is kevés mikroelem tartalommal rendelkeznek, ami kihat a humán egészségre. A növények tápanyagigényének és a talajok termőképességének fenntartása műtrágyák alkalmazásával a fejlődő és a fejlett országokban is a termelés megduplázódása alapvető eszköze volt (Loneragen, 1997). Tillman (1999) szerint az elmúlt 40 év élelmezéstermelésének megkettőződése a N – műtrágyák 6,9 szerez, a P – műtrágyák 3,5-szeres és a termőföld, mindössze 1,1-szeres növekedése mellett történt. Napjainkban a zöldség- és növénytermesztésben gyakran az egyoldalú műtrágyázás okoz tápanyaghiányt, vagy táplálkozási zavarokat. Az egyoldalú műtrágyázás sokszor a mikroelemek visszapótlásának hiányát jelenti, melynek következtében a talajok mikroelemekben elszegényednek. A tápanyagok mennyisége mellett a tápanyagok egymáshoz viszonyított arányára is megfelelő figyelmet kell fordítani, figyelembe véve egyes tápelemek antagonist hatását (Terbe, 2009).

A fokozott makroelem műtrágyázás eredményeképpen számos országban a vas és a cink fokozódó hiánytüneteit figyelték meg. Becslések szerint a Világ termőtalajainak mintegy 30%-a vashiányos (Chen és Barak, 1982). A vashiány kezelése bármilyen módszerrel végzik is, költségigényes. Többek között ez a felismerés vezetett a növények adaptációs mechanizmusainak kiterjedt vizsgálatához (Kawai et al., 1988; Marschner et al., 1986; Marschner és Römheld, 1994; Rengel, 2001). A növények adaptációs mechanizmusainak része, hogy tápanyaghiány esetén sajátos anyagokat választanak ki a gyökérsejtek plazmalemmáján keresztül. A proton és a fitosziderofor kiválasztáson kívül kimutatták a ciklikus hidroxámsavak kiválasztását

és szerepét a növények tápanyagfelvételében (Pethő, 1992; Lévai, 1998). Jelentős a gyökerek citromsav és almasav kiválasztása is (Li et al., 2000; Ryan et al., 2001). A fotoszintézis nettó produkciójának akár 25- 30%-a is lehet a rizoszférába kiválasztódó szerves anyag (Lynch és Whipps 1990). A gyökerek által kiválasztott anyagok mennyiségét a környezeti tényezők befolyásolják. A növények vasellátását a talaj nedvességtartalmán túl meghatározó legfontosabb tényezők: a foszfor-, a hidrogénkarbonát-, a nitrát-, a talaj mésztartalma és az alacsony vastartalom (Wallace et al., 1981; Wallace és Abou-Zamzam, 1984). A talaj megfelelő vastartalma esetén a nitrát és a foszfor jelentősen fokozza a termés mennyiségét. A nitrát, a bikarbonát és a foszfor csak alacsony talaj-vastartalom esetén tűnik antagonistának (Wallace, 1990; Wallace et al., 1981). A vas egyike a legfontosabb növényi tápelemeknek, hiányában a növények levelein klorotikus tünetek figyelhetők meg, melynek hatására a terméseredmény jelentősen visszaesik. A vas legnagyobb része oxidok formájában fordul elő a talajokban. A savanyú, rosszul levegőző talajokban ferro vegyületek képződnek, amelyek mérgezőek a növény számára. A meszezéssel a ferro vegyületek feldúsulását megakadályozhatjuk.

A növénytermesztés eredményességét meghatározó, egyik legfontosabb tényező a talaj pH-ja. Bár a talaj pH-jának hatása sokrétű, mégis az egyik leginkább kutatott terület a pH és a talajok felvehető tápanyagtartalmának összefüggése. A legfontosabb okok, amelyek szerint a talaj pH és a növénytermesztés eredményessége között szoros összefüggés mutatható ki. Egyrészt számos tápanyag oldhatóságát és hozzáférhetőségét a talaj pH-ja határozza meg, ezen keresztül befolyásolja a tápanyagok felvételét. Másrészt a talaj pH hat a talaj toxikus elemeinek hozzáférhetőségére is (Al, Mn, nehézfémek), valamint meghatározza a talaj szerkezetét a nátrium és a kalcium ionok relatív mennyiségén keresztül, ezen kívül a talajlakó mikroorganizmusok aktivitására is hat (Wolf, 1999). A legtöbb termesztett növény számára a semleges vagy az enyhén savanyú talajkémhatás az optimális. A semleges pH tartományból való pozitív (lúgos) vagy negatív (savanyú) elmozdulás hatására megváltoznak a talajban az oldási viszonyok, melynek hatására olyan anyagok kerülnek nagy tömegben az oldatba, amelyek mérgezést okoznak, például erősen savanyú közeg az alumínium és a nehézfémek oldódásának kedvez, amely toxikus a növények számára, valamint humán-egészségügyi szempontból is veszélyes. Magas, 8 pH-érték felett a létfontosságú tápelemek felvétele akadályozott a növények számára, a molibdén kivételével a mikroelemek felvétele nehezebb. 6,5-7 pH-érték esetén, általában talajkémhatásból adódó tápanyagzavarral nem kell számolni (Terbe, 2009). Avdonyin (1972) vizsgálatai bizonyítják, hogy a talajok elsavanyodásával a baktériumok mennyisége csökken, a gombák mennyisége viszont jelentősen növekszik. A baktériumok többsége nem fejlődik 4,5-5-nél alacsonyabb pH-n. Különösen kedvezőtlen hatást gyakorol a talaj túlságos elsavanyodása az olyan mikroorganizmusok fejlődésére, mint az *Azotobacter* és a gyökérgümőbaktériumok (Rhizóbiumok) amelyek a levegő nitrogénjével gazdagítják a talajt. Megállapította, hogy a meszezés különösen kedvező hatású volt olyan fontos mikroorganizmusokra, mint a nitrifikálók, a clostridiumfajok és a cellulózbontók, amelyek fontos szerepet játszanak a talajok termékenységének növelésében. Kerényi (1995), Wolfhoz (1999) hasonlóan arra hívja fel a figyelmet, hogy a növények növekedése szempontjából nem is annyira a savanyúság a probléma, hiszen a növények 4 pH alatt is fejlődnek, inkább a talajoldat mérgező Al, Fe, Mn és egyéb fémtartalma okozza a növekedés gátlását, valamint a felvett nehézfémek

akkumulációját. Emellett megerősíti Avdonyin (1972) megállapításait, miszerint lelassul, vagy leáll a nitrifikáció, a légköri nitrogénkötés, továbbá savanyú, nehezen bomló humuszanyagok képződnek. Leírja, hogy immobilizálódhat a foszfor, nehezen hozzáférhetővé válnak a N, Ca, Mg, K, P makroelemek, valamint az esszenciális mikroelemek közül a Mo és a Se. Ezzel szemben nő az Al, Fe, Mn, Cu, Cd, Zn, Ni, Pb elemek mobilitása, csökken a talaj megkötő és szűrő képessége, a szerves szennyezőket elimináló (lebontó) detoxikáló potenciálja. Meszezéssel az elsavanyodott tápközeg hatására bekövetkező problémák orvosolhatók. A nitrogén ammóniumformáinak és a kálium kloridnak rendszeres alkalmazásakor, a talajok elsavanyodnak, ugyanakkor meszezéssel a műtrágyázás hatékonysága növelhető azáltal, hogy a mész pufferolja a műtrágyák savanyító hatását és a talaj pH-ját megfelelő tartományban tartja, ami elengedhetetlen a tápanyagok oldódása tekintetében. A meszezés lényeges a talajok fizikai tulajdonságainak befolyásolásában is. A mésszel bevitt kalcium koagulálja a kolloidokat, általában javítja a talaj mikrostruktúráját és növeli annak termékenységét és megkönnyíti a talajművelést. Schmidt és Szakál (1998) vizsgálta a savanyú talajokon a meszezés hatását a búza termésátlagára. Vizsgálták a minőségi paramétereket a termés kémiai összetevőinek a függvényében. A meszezés hatására talaj pH emelkedés volt megfigyelhető. A mésszdózisok nagyságával egyenes arányban a hidrolitos aciditás értéke csökkent. Igazolták, hogy a talajok elsavanyodása csökkenti a terméshozamokat. Marth (1996) előremutató munkájával felhívja a figyelmet a korszerű talajvédő gazdálkodásra, a fenntartható növénytermesztés irányelveinek figyelembe vételére, valamint arra, hogy talaj mészállapotának fenntartása elengedhetetlen, amellyel megóvható a talajszerkezet és harmonikus növénytáplálás valósítható meg. Megállapítása alapján javításra szoruló terület Magyarországon mintegy 2,8 millió hektár az összes 4,2 millió hektár mezőgazdaságilag művelt területből, amelyből 2,2 millió hektár savanyú talaj.

Munkánk során az volt a célkitűzésünk, hogy laboratóriumi körülmények között, tápoldaton nevelt fiatal kukorica és uborka csíranövényeknél bizonyítsuk, a tápoldat és az apoplazmatikus bikarbonát, valamint egy biotrágya (Phylazonit MC®) szerepét a növények tápanyagfelvételére, relatív klorofill tartalmára, szárazanyag-felhalmozására, a hajtás és gyökér növekedésére és elemtartalmára különösen az egyik legfontosabb terméslimitáló elem, a vas felvételében.

Anyag és módszer

Kísérleteinkben egy- és kétszikű tesztnövényként, kukoricát (*Zea mays* L. cv. *Norma se.*), és uborkát (*Cucumis sativus* L. cv. *Rajnai fiirtös*) használtunk. Azért esett a választásunk erre a két növényre, mert hazánkban termesztett gabonafélék közül a kukorica az egyik legjelentősebb, amit takarmányként, ipari növényként és közvetlen emberi fogyasztásra is termesztnek. Az uborka pedig világszerte az egyik legfontosabb konzervipari zöldség. Emellett kíváncsiak voltunk arra, hogy hogyan hatnak az egyes kezelések az egy- és kétszikű növényekre, hiszen az egy- és kétszikű növények tápanyagfelvételében számos különbség van. Az egyik legszembetűnőbb különbség a vas felvételénél jelentkezik. Az egyszikűek, specifikus komplexképző szervesanyagot választanak ki, így a vas felvétele komplexhez kötött formában

történik (Lévai, 1998). A kétszikűek savkiválasztással képesek a környezetük pH-ját befolyásolni.

A magvakat sterilizálás után függőlegesen állított nedves szűrőpapír tekercsben 22 °C-on, termosztátban csíráztattuk. A 2,5-3,0 cm koleoptillal rendelkező csíranövényeket levegőztetett tápoldatra helyeztük. A nevelés első szakaszában egy 2,5 l-es edénybe 10 növény került. Az ismétlések száma 3 volt. Két lombleveles kortól az uborka növényeket 1 l-es edényekbe helyeztük, egy edénybe egy növény került, így a gyökerek növekedését pontosan nyomon követhettük. Az ismétlések száma 4 volt. A tápoldatokat kétnaponta cseréltük és ezzel egy időben mértük a tápoldatok pH-ját. A növények neveléséhez az alábbi összetételű tápoldatot használtunk: 2,0 mM $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, 0,7 mM K_2SO_4 , 0,5 mM MgSO_4 , 0,1 mM KH_2PO_4 , 0,1 mM KCl, 1 μM (kukorica) és 10 μM (uborka) H_3BO_3 , 1 μM MnSO_4 , 1 μM ZnSO_4 , 0,25 μM CuSO_4 , 0,01 μM $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$. 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 növények számára a bikarbonátot NaHCO_3 formában, a tápoldatba (gyökéren keresztüli felvétel), illetve infiltrálva (a levélen keresztüli felvétel) adtuk. A tápoldat illetve az infiltráló folyadék bikarbonát koncentrációja 10 mM-, 20 mM- és 40 mM-os volt. A NaHCO_3 -ra, oldékonysága és alkalmazhatósága miatt esett a választásunk. A nátrium sóknak két karbonátja ismeretes, az egyik ilyen a nátriumkarbonát, a másik pedig a kísérleteinkben is alkalmazott NaHCO_3 , azaz szén-savas nátrium (szóda, nátriumbikarbonát). A sók felhalmozódása a talajok szikesedését okozza, illetve lúgossá tesz a talajt (pH 8–12). A nátrium sók káros fiziológiai hatásai ismertek, amivel leggyakrabban a só tűrés kapcsán találkozhatunk. A tápközeg magas sótartalma elsősorban a kalcium felvételét akadályozza. Ezzel magyarázható az, hogy a szikesedésre hajlamos talajokon, rossz minőségű öntözővíz hatására vagy túltrágyázás esetén tápanyaghiány- jellegzetes mészhiány-betegségek- alakulnak ki.

A tápoldatos kísérletben a kísérleti növények a vasat 10^{-4}M FeEDTA formában kapták. Ez a vas-forma a leginkább hasznosítható a növények számára, mert így a növények a vasat komplex formájában veszik fel. A különböző vastartalmú tápoldatok hatásának vizsgálatánál, FeEDTA -át és FeCl_3 -at adtunk a tápoldathoz, a kontroll növények nem kaptak vasat (-Fe). Másik vas-formaként azért FeCl_3 -ot használtunk, mert ez a legnehezebben oldható vasforma, melynek felvétele egyrészt a Fe^{III} - Fe^{II} redukciójával, másrészt fitosziderofor-okkal komplexet képezve lehetséges, így vizsgálni tudtuk egy könnyen (FeEDTA) és egy nehezen oldódó (FeCl_3) vas-forma felvételét és mobilitását a növényben.

Az alkalmazott biotrágya a PHYLAZONIT MC[®] volt. Azért választottuk ezt a biotrágyát, mert Magyarországon több mint 100 e ha-on eredményesen alkalmazzák, valamint élő mikroorganizmusokat tartalmaz, amelyek képesek elősegíteni a tápelemek felvételét az élő baktériumok működésének köszönhetően, hiszen a mikroorganizmusok anyagcseréjük során képesek szerves savakat kiválasztani, amelyek, mintegy a közeg pH-ját csökkentve járulnak hozzá számos tápanyag oldódásához és így felvételéhez is, hiszen a legtöbb tápelem enyhén savanyú vagy semleges pH-tartományban mobilis (Terbe, 2009). Wolf szerint (1999) a tápanyagok hozzáférhetősége szerves talajokon 5-6 pH, míg vázталajokon 5,5-7 pH tartomány között a legintenzívebb. A PHYLAZONIT MC[®] viszkózus folyadék, két

baktériumtörzset tartalmaz: a *Bacillus megatherium* var. *phosphoricum*-ot ($1-2 \times 10^8$ db/cm³), és az *Azotobacter chroococcum*-ot ($1-2 \times 10^9$ db/cm³).

A kísérletek során a környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás $220 \mu\text{Em}\cdot\text{s}^{-1}$, a hőmérséklet periodicitása $25/20^\circ\text{C}$ (nappal/éjjel), a relatív páratartalom 65-75%, a megvilágítás/sötét periódus 16h/8h volt. A tápoldat pH-ját OPTIMA 200A-val mértük. A szárazanyag meghatározása termogravimetriás módszerrel történt, OHAUS (Svájc) analitikai mérleg és 85°C -os MEMMERT UIM 400 szárítószekrény segítségével. Az elemtartalom mérése OPTIMA 3300 DV ICP-OA spektrofotométerrel történt. A levelek infiltrálását az erre a célra kialakított készülékkel végeztük.

Eredmények ismertetése és értékelése

A tápoldat kémhatása az oldhatósági viszonyok alapvető befolyásolásával meghatározza a tápanyagok felvételét, ezen keresztül pedig a gyökér és a teljes növény növekedését és fejlődését.

A különböző kezelések hatását a tápoldat pH-jára az 1. és 2. táblázatban foglaltuk össze. A tápoldathoz adott legkisebb koncentrációjú NaHCO_3 (10 mM) is szignifikánsan növelte a tápoldat pH-ját.

1. táblázat: A különböző koncentrációjú bikarbonát kezelések hatása kukorica tápoldatainak pH-jára. Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ ($n = 10 \pm \text{s.e.}$).

Kezelések	pH	
	0. h	72. h
Kontroll	$5,91 \pm 0,08$	$6,52 \pm 0,33$
10 mM NaHCO_3	$8,14 \pm 0,18^{***}$	$7,51 \pm 0,46^{***}$
20 mM NaHCO_3	$8,43 \pm 0,08^{***}$	$8,36 \pm 0,28^{***}$
40 mM NaHCO_3	$8,64 \pm 0,04^{***}$	$9,14 \pm 0,16^{***}$

Table 1. The effect of different concentrations of bicarbonate on the pH of nutrient solution of corn plants. Significant difference comparison to the control * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Mind a NaHCO_3 kezelések növelték a tápoldat pH-ját. A koncentráció emelésével a lúgosító hatás kifejezett. A bikarbonát és a Phylazonit hatását a kukorica tápoldatainak pH-jára a 2. táblázatban foglaltuk össze.

2. táblázat: A különböző koncentrációjú bikarbonát és biotrágya kezelések hatása a kukorica tápoldatainak pH-jára. Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ ($n = 3 \pm s.e.$).

Kezelések	pH	
	0. nap	2. nap
Kontroll	7,10±1,77	6,77±0,76
Phylazonit	7,05±2,36	6,65±2,33
10mM NaHCO ₃	8,11±2,36***	7,83±2,38**
10mM NaHCO ₃ +Phylazonit	8,10±2,35***	8,28±2,45***
20mM NaHCO ₃	8,22±2,36***	8,38±2,49***
20mM NaHCO ₃ +Phylazonit	8,23±2,36***	8,56±2,53***

Table 2. The effect of different concentrations of bicarbonate and bio-fertilizer on the pH of corn seedlings. Significant difference comparison to the control * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$

Abban az esetben amikor a bikarbonátos kezelést biotrágyával egészítettük ki, azt tapasztaltuk, hogy a míg a bikarbonát növelte a tápoldat pH-át, addig a Phylazonit kezelés kedvező hatásának bizonyult, mintegy stabilizálta a pH-át.

A kísérleteinkben alkalmazott NaHCO₃ minden esetben módosította a tápoldat pH-ját, nehezítve ezzel a tápanyagok felvételét. A csökkent mértékű tápanyagfelvétel eredményeként mérsékelt növekedést tapasztaltunk. A bikarbonát koncentráció emelésével a tápoldat pH-ja szignifikánsan lúgosodott, ezzel csökkentve a tápanyagfelvételt, melynek következtében a hajtás és a gyökér növekedése egyaránt gátolt. A kontroll hajtás szárazanyag-felhalmozásához képest (0,2294±0,08 g/növény) a növekvő bikarbonát koncentráció 59%-os (10 mM NaHCO₃ kezelés esetén), és 64%-os (20 mM NaHCO₃ kezelés esetén) csökkenést okozott. A kontrollhoz viszonyítva a 10 mM-os bikarbonátos kezelés jelentősen 61%-al csökkentette a gyökérnövekedést.

A Phylazonit kezelés, kedvező hatásának bizonyult (3. táblázat), a kontroll tápoldathoz és a bikarbonátos tápoldathoz adva is fokozta a hajtás szárazanyag tömegét: 34%-al a kontroll kezelést kiegészítve és 19%-al a 20 mM-os bikarbonátos kezelést kiegészítve.

A kukorica kontroll hajtásának száraztömege 0,252±0,02 volt, míg a Phylazonittal kiegészített kontroll kezelés esetén 0,337±0,10 -t, jelentősen magasabb szárazanyagot mértünk. A 10mM bikarbonáttal kezelt uborka növények hatásának száraztömege 0,376±0,09 volt, míg a biotrágyás kiegészítés esetén ez az érték 0,488±0,06 volt. A bikarbonát okozta növekedésgátlást a Phylazonit kompenzálta. Az uborka esetén 20mM NaHCO₃ és 20mM NaHCO₃+ Phylazonit kezeléseket

nem állítottunk be, hiszen már a 10 mM NaHCO₃ kezelés is jelentős különbségeket mutatott a kontroll kezeléshez képest.

3. táblázat: A bikarbonát és biotrágya kezelések hatása a 9 napos kukorica és a 23 napos uborka szárazanyag felhalmozására (g/ növény) (n=10±s.e.).

Kezelések	Száranyag felhalmozás			
	Kukorica		Uborka	
	hajtás	gyökér	hajtás	gyökér
Kontroll	0,252±0,02	0,071±0,08	0,858±0,02	0,173±0,07
Phylazonit	0,337±0,10	0,073±0,11	0,796±0,10	0,196±0,04
10mM NaHCO ₃	0,381±0,09	0,081±0,12	0,376±0,09	0,099±0,02
10mM NaHCO ₃ + Phylazonit	0,371±0,07	0,112±0,04	0,488±0,06	0,128±0,01
20mM NaHCO ₃	0,293±0,05	0,106±0,06	-	-
20mM NaHCO ₃ + Phylazonit	0,349±0,12	0,147±0,06	-	-

Table 3. The effect of bicarbonate and biofertilizer on the dry matter accumulation of 9-day old corn and 23-day old cucumber seedlings. (g/plant) Significant difference comparison to the control *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001

A növényi produkciót meghatározó anyagcsere-folyamatok közül az egyik legfontosabb a fotoszintézis. A fotoszintézis intenzitását alapvetően meghatározza a fotoszintetikus pigmentek mennyisége. Kísérleteink során megvizsgáltuk a kezelések hatását a levelek relatív klorofill tartalmára is. A mérési eredményeinket a 1. ábra szemlélteti. Az 5. napon, még nem tapasztalható különbség az alkalmazott kezelések között, viszont a biotrágya kezelés hatására 8,5%-al magasabb relatív klorofill tartalmat mértünk, mint a kontroll esetében. Az önmagában adott karbonátos kezelés a 9. napon csökkentette, mintegy 18%-kal a relatív klorofill tartalmat, ha ezt a kezelést biotrágyával egészítettük ki, akkor a bikarbonátos kezeléshez képest 12%-kal növekedett a növények relatív klorofill tartalma. A biotrágya kezelés mérsékelte a karbonátos kezelés relatív klorofill-tartalom csökkentő hatását.

1. ábra: A bikarbonát és biotrágya kezelések hatása a kukorica leveleinek relatív klorofill tartalmára (SPAD egység). Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01 (n=50±s.e.).

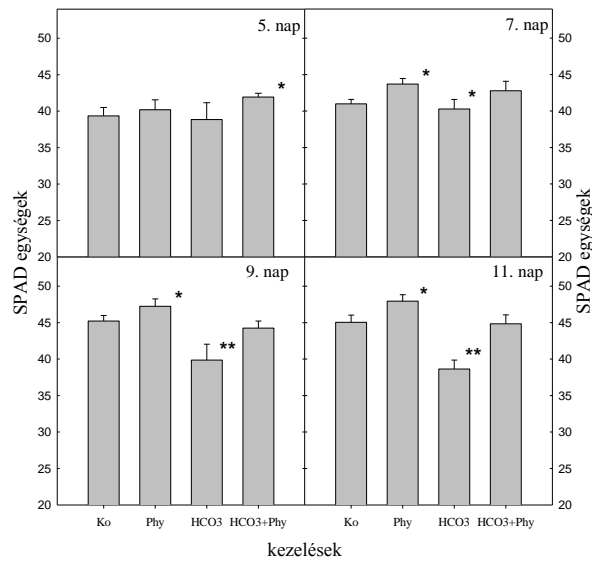


Figure 1. Effect of bicarbonate and biofertilizer on relative chlorophyll contents of corn leaves. (SPAD unit). Significant different comparison to the control * $p < 0.05$, ** $p < 0.01$, *** $p < 0.001$ ($n = 50 \pm s.e.$).

Az 1. ábra adatai szerint a tápoldat pH-jának jelentős befolyásoló hatása van a relatív klorofill tartalomra. A NaHCO_3 -os kezelés növelte a tápoldat pH-ját, így a vas oldódását gátolva csökkentette a levelek relatív klorofill tartalmát. A Phylazonit kezelés itt is serkentőként hatott, hatására növekedést tapasztalunk a kontrollhoz képest.

Az uborka esetében ugyancsak azt tapasztaltuk, hogy a tápoldat pH-ját növelő bikarbonátos kezelés eredményeként, csökkent a levelek klorofill tartalma, míg a Phylazonit kezeléssel ezt a csökkentő hatást kompenzálni lehetett. A klorofill szintézis a vasellátottságtól is függ (Nikolic és Römheld, 2001). Az uborka vasfelvétele a kukoricáétól eltérő mechanizmus szerint valósul meg, savkiválasztásra alapozott.

Az uborka esetében a tápoldat magas bikarbonát tartalma mintegy pufferolta a gyökerek által kiválasztott savak hatását, ami kedvezőtlen a vasfelvétel számára. A mikroorganizmusok saját savkiválasztása ebben az esetben is tehermentesítette az uborka gyökereit, ezért a Phylazonit kiegészítésnél a relatív klorofill tartalom ($40,5 \pm 1,27$) kontroll közeli értéket mutatott az 5. napon. A 10 mM bikarbonáttal kezelt növények relatív klorofill tartalma a 10. napon $41,88 \pm 4,32$ volt, míg a 10 mM-os, Phylazonittal kiegészített kezelések esetén $47,23 \pm 1,36$ -ot mértünk. A 27. napon mért eredményeink azt mutatják, hogy a biotrágyával kiegészített bikarbonát kezelések relatív klorofill tartalma 12%-al volt magasabb a 10 mM bikarbonáttal kezelt növények relatív klorofill tartalmánál.

Tehát a Phylazonit biotrágya kedvezően hatott a növekedésre, a szárazanyag gyarapodásra és a klorofill szintézisre is, azáltal, hogy mérsékelte a különböző koncentrációban alkalmazott bikarbonát kedvezőtlen hatásait.

Tápanyagos kísérletben is sikerült igazolni a talajélet szerepét a növények tápanyagellátásában. A baktériumokat tartalmazó Phylazonit kedvező hatásának bizonyult. Ez a hatás több okra vezethető vissza. A baktériumok szervesanyag kiválasztása jelentős. A kiválasztott szerves savak számos módon segítik elő a tápanyagfelvételt. A baktérium trágyával végzett kísérleteink eredményei összhangban vannak számos megfigyeléssel (Nyatsanaga és Pierre, 1973; Bromfield et al., 1983 a; b).

A mezofillum sejtek tápanyagfelvételét is alapvetően meghatározza a sejtközi járatokban lévő szövetnedv pH-ja. Ennek tisztázására az uborka hajtásait bikarbonáttal infiltráltuk. Azt tapasztaltuk, hogy a hajtás és a gyökérnövekedés egyaránt mérséklődött a bikarbonáttal történt infiltráció hatására. Ez a hatás koncentrációfüggő, ugyanis a magasabb bikarbonát koncentráció gátló hatása nagyobb volt. A 4. táblázat adataiból kitűnik, hogy hajtás és a gyökér szárazanyag tartalma az infiltrált bikarbonát koncentrációjától függően 7 (10mM NaCO₃) és 15%-al (20mM NaCO₃) csökkent a hajtás esetén.

4. táblázat: A NaHCO₃-al történő infiltrálás hatása a 23 napos uborka csíranövények szárazanyag felhalmozására. (g/növény). Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001 (n=10±s.e.).

Kezelések	Szárazanyag felhalmozás	
	Hajtás	Gyökér
Kontroll	1,419±0,02	0,366±0,08
10mM NaHCO ₃ -al infiltrált	1,322±0,04	0,342±0,05
20mM NaHCO ₃ -al infiltrált	1,202±0,07*	0,208±0,07**

Table 4. The effect of infiltration with NaHCO₃ on the dry matter accumulation of 23-day old cucumber seedlings. (g/plant). Significant different comparison to the control *p < 0.05, **p < 0.01, ***p < 0.001 (n=10±s.e.).

Mértük az eltérő korú és eltérő kezelést kapott uborka levelek vastartalmát. A 10 mM-os bikarbonátos infiltráció jelentősen, mintegy 24%-kal csökkentette a levelek vastartalmát. A 20 mM-os kezelés esetében a vastartalom jelentős, közel négyszeres növekedését mértük, annak hatására, hogy miközben a gyökereken keresztüli vasfelvétel zavartalan volt, addig a bejuttatott bikarbonát az apoplazma pH-ját lúgosította és így az ott felhalmozódott vas nem tudott oldódni, így a növény nem tudta felhasználni az anyagcseréje és a fotoszintézis során a vasat, így a levelek klorotikusak maradtak. A bikarbonát az apoplazmatikus tér pH-jának növelésével megakadályozza a vas felvételét, és bár elegendő vas áll rendelkezésre a levelek

mégis a vashiány tüneteit mutatják (Nikolic és Römheld, 2001.) Az erre vonatkozó eredményeinket a 5. táblázatban mutatjuk be.

5. táblázat: 10 és 20 mM-os NaHCO₃-tal infiltrált és tápoldaton nevelt uborka levelek vastartalma (mg kg⁻¹ sz.a (n=3 ±s.e.) 1: legidősebb levél, 2: az infiltrálás alatt teljesen kifejlett levél, 3: az infiltrálás alatt 50%-osan fejlett levelek. Szignifikáns különbség a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Kezelések	Vas tartalom					
	infiltrált			tápoldaton nevelt		
	1	2	3	1	2	3
Kontroll	137,0±5, 12	163,0±17, 25	189,0±11,2 3	137,0±6,25	163,0±10, 23	189,0±11,2 1
10 mM-os NaHCO ₃	103,0±6, 89*	103,0±10, 23*	101,0±5,21 **	137,0±5,69	69,5±2,12 ***	67,2±3,65* **
20 mM-os NaHCO ₃	431,0±10 ,23***	270,0±6,3 2**	82,6±3,65* **	82,4±6,89* *	56,8±5,61 ***	9,6±0,94***

Table 5. Iron content of cucumber leaves, infiltrated with NaHCO₃ (10 and 20 mM) and grown on nutrient solution. (mg kg⁻¹ d.m), (n=3 ±s.e.) 1: old leaves, 2: fully developed leaves, 3: 50% developed leaves. Significant different comparison to the control *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001

A tápoldat bikarbonát tartalma és az ennek eredményeként bekövetkező pH emelkedés akadályozta a vas felvételét. A magas bikarbonát koncentráció tehát az apoplazmában is meghatározza a sejtek vasfelvételét, ugyanis magas vastartalom mellett is klorózist tapasztaltunk. A tápoldatba adott bikarbonát csökkentette az uborka leveleinek vastartalmát. Hasonló megfigyelésre jutott Nye (1986) és Pissaloux (1995) is, azt tapasztalták, hogy csillagfürt növénynél, bikarbonát hatására vas-klorózis alakult ki. A leveleket bikarbonáttal infiltrálva a vaskoncentráció emelkedését mértük az infiltrálás idején kifejlett levelekben, miközben a levelek klorotikusak voltak. Ez azt a korábbi feltételezésünket támasztja alá, hogy a levelek magas bikarbonát tartalma megakadályozza a mezofillum sejtek vasfelvételét. Hasonló eredményekre jutott Nikolic és Römheld (2001) is. Azt tapasztalták, hogy a levelek apoplazmatikus pH-jának emelkedése – pl. magas bikarbonát tartalmú tápoldaton nevelt uborka növényeknél-, megakadályozza a Fe^{III} redukcióját. Kísérleti eredményeinket más kutatók korábbi eredményei is alátámasztják (Pissaloux et al., 1995; Morard et al., 1988). A jelenséget látens vashiánynak nevezték el (Nikolic és Römheld, 2001) és az apoplazmatikus pH emelkedésével hozták összefüggésbe. Kísérleti eredményeink megerősítik és kiegészítik Nikolic és Römheld látens vashiányra vonatkozó feltételezéseit.

Kimutattuk, hogy a mezofillum sejtjeinek és a gyökerek vasfelvételére hasonló módon hat a bikarbonát. Nem elégséges a megfelelő vas a mezofillumban, annak felvehetőnek is kell lenni. A bikarbonát a mezofillum pH-jának emelésével akadályozta a vas bejutását a sejtekbe.

További kísérleteink során vizsgáltuk a tápoldat pH-ja és a vas felvehetősége közötti összefüggést fiatal kukorica növények esetén. A kísérletben FeEDTA-át és FeCl₃-at adtunk a tápoldathoz, a kontroll növények nem kaptak vasat (-Fe). A tápoldat pH-ját minden vasforma esetében 4-re, 7-re illetve 9-re állítottuk be. A tápoldat pH-ját folyamatosan ellenőriztük és szükség esetén korrigáltuk. A mérési eredményeket a 6. táblázat mutatja be.

6. táblázat: *Különböző vas tartalmú (-Fe, FeEDTA, FeCl₃) tápoldaton nevelt kukorica növények gyökereinek és hajtásainak vas tartalma eltérő tápoldat-pH (pH4, pH7, pH12) mellett. Fe tartalom: mg kg⁻¹ sz.a.*

Kezelések		Vas tartalom eltérő pH mellett		
		pH 4	pH 7	pH 12
Kontrol (-Fe)	hajtás	107	225	20
	gyökér	36,9	377	308
FeEDTA	hajtás	123	107	112
	gyökér	1072	867	2052
FeCl ₃	hajtás	224	208	156
	gyökér	16163	36072	23171

Table 6. Iron contents of shoots and roots of corn were measured on different iron (-Fe, FeEDTA, FeCl₃) contents of nutrient solution, besides different pH of nutrient solution (pH4, pH7, pH12). Fe content: mg kg⁻¹ d.m.

A tápoldat pH-ja jelentősen befolyásolta a vizsgált növényi részek vas tartalmát. A kontroll növényénél a talajoldat pH viszonyai a kukoricamag vas tartalékainak megoszlását befolyásolták. A legegyszerűsebb megoszlást pH 7-nél mértünk, míg a gyökerek vas tartalma pH 9-nél volt a legnagyobb. A magas pH valamennyi Fe kezelésnél jelentősen növelte a gyökerek vas tartalmát. A vastartalom FeCl₃ esetén volt a legnagyobb. Ezek az eredmények megegyeznek Marschner és Römheld (1986) eredményeivel, viszont további vizsgálatokat igényel a gyökér magas vas tartalma - a vas immobilitása a hajtásba - pH 9-nél.

Irodalom

Andonyin, N. SZ.: 1972. Savanyú talajok termékenységének fokozása. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. pp.: 91-117., 239.

Birkás M.: 2009. A klasszikus talajművelési elvárások és a klímakár csökkentés kényszere. Növénytermelés. 58. 2: 123-135.

- Bromfield, S. M., Cumming, R. W., David, D. J., and Williams, C. H.:* 1983a. Change in soil pH, manganese and aluminium under subterranean clover pasture. *Aust. J. Exp. Agric. Anim. Husb.* 23. 181-191. p.
- Bromfield, S. M., Cumming, R. W., David, D. J., and Williams, C. H.:* 1983b. 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. p.
- Chen, Y., and Barak, P.:* 1982. Iron nutrition of plants in calcareous soils. *Adv. Agron.* 35. 217-240. p.
- Gardner W. K., Parbery, D.G. and Barber, D.A.:* 1981. Proteoid root morphology and function in *Lupinus albus*. *Plant and Soil* 60. 143-147. p.
- Graham, R. D., Welch, R. M., and 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. p.
- Kawai, S., Takagi, S., and Sato, Y.:* 1988. Mugienic acid family phytosiderophores in root secretions of barley, corn and sorghum varieties. *J. Plant Nutr.* 11. 633-642. p.
- Kerényi A.:* 1995. Általános környezetvédelem. Mozaik Oktatási Stúdió, Szeged.
- Láposi R. - Mészáros I.:* 2005. Az UV-B sugárzás potenciális hatásai a növényekre és jelentősége a növénytermesztésben. 355-374. p.
- Lévai, L.:* 1998. A vas növényélettani szerepe és a fűfélék vasfelvétele. Ph.D. Értekezés, DATE, Növénytermesztés-Agroökológiai program.
- Li, X. F., Ma, J. F., and Matsumoto, H.:* 2000. Pattern of aluminium-induced secretion of organic acids differs between rye and wheat. *Plant Physiol.* 123. 1537-1544. p.
- Loneragen, J. P.:* 1997. Plant nutrition in 20th and perspectives for the 21 century. *Plant soil* 196. 163-174. p.
- Lynch, J. M., and Whipps, J. M.:* 1990. Substrate flow in the rhizosphere. *Plant and Soil* 129. 1-10. p.
- Marth, P. – Németh, S. – Pálmai, O.:* 1996. A meszezés jelentősége, Magyarország talajainak agronómiai mészigénye. Tanulmány.
- Marschner, H., and Römbeld, V., and Kissel, M.:* 1986. Different strategies in higher plants in mobilization and uptake of iron. *J. Plant Nutr.* 9. 695-713. p.

- Marschner H and Römbold V* 1994: Strategies of plants for acquisition of iron. *Plant soil* 165, 261-274.
- Morard, P., Bertoni, G., and Kalkounos, I.*: 1988. Evaluation de la mobilité du fer chez le concombre cultivé en solution nutritive. In *Proceeding of the 3rd International Symposium on the Role of Micronutrients in Agriculture*. Ed. L. Kiekens. 213-217.p. ISAMA, Brussels, Belgium.
- Nagy J.*: 2006. Az évjárat hatásának értékelése a kukorica termésére. *Növénytermelés*. 55. 5-6: 299-308.
- Nikolic, M., and Römbold, V.*: 2001. The role of leaf apoplast in iron nutrition of plants. In: *Plant nutrition- Food security and sustainability of agro-ecosystems*. 274-275. p. Kluwer Academic Publishers 2001. Printed in the Netherland
- Nyatsanaga, T., and Pierre, W. H.*: 1973. Effect of nitrogen fixation by legumes on soil acidity. *Agron J.* 65. 936-940. p.
- Nye, P. H.*: 1986. Acid base changes in the rhizosphere. In: *Advances in Plant Nutrition Vol.2.* (Ed. Tinker B and Läuchli A) 129-153.p. Peager Scientific, New York.
- Pethő, M.*: 1992. Possible role of cyclic hydroxamic acids in the iron uptake by grasses. *Acta. Agr. Hung.* 42. 203-214. p.
- Pissaloux, A., Morard, P., and Bertoni, G.*: 1995. Alkalinity-bicarbonate-calcium effects on iron chlorosis in white lupine in soilless culture. *Iron Nutrition in Soils and Plants*, 127-133.p. Ed. J. Abadía, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht.
- Rengel, Z.*: 2001. Genotypic differences in micronutrient use efficiency in crops. *Commun. Soil. Sci. Plant Anal.* 32. 1163-1186. p.
- Ryan, P. R., Delbaize, E., and Jones, D. L.*: 2001. Function and mechanism of organic anion exudation from plant roots. *Annu. Rev. Plant Physiol. Plant Mol. Biol.* 52. 527-560. p.
- Schmidt, R. – Szakál, P.*: 1998. Talajsavanyodási helyzetkép és megoldások. Pannon Agrártudományi Egyetem Mezőgazdaságtudományi Kar, Mosonmagyaróvár. Tanulmány.
- Terbe, I.*: 2009. Tápanyaghiány vagy a tápanyagok rossz hasznosulása? *Agroinform szaklap* 2009/2 szám.

- Tillman, D.:* 1999. Global Environmental Impacts of Agricultural Expansion: the need for sustainable and efficient practices. Proc. Natl. Acad. Sci. USA 96. 5995-6000. p.
- Wallace, A.:* 1990. Mineral composition for nineteen elements in young corn (*Zea mays*) plants grown in acid soil with various treatment to overcome infertility of acid soils. Soil Sci. 174. 451-453. p.
- Wallace, A., and Abou Zamzam, A.M.: 1984.* Nitrogen and bicarbonate relationship with iron nutrition in plants. J. Plant Nutr. 7. 585-594. p.
- Wallace, A., Berry, W.L. and Alexander, G. V.:* 1981. Iron, nitrogen and phosphorus interactions in two cultivars of soybeans grown in a calcareous soil. J. Plant Nutr. 3. 625-635. p
- Welch, R. M., and Graham, R. D.:* 2000. A new paradigm for world agriculture: productive, sustainable, nutritious, healthful food systems. Food Nutr. Bull. 21. 361-366. p.
- 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 p.

BÁKONYI NÓRA-GAJDOS ÉVA-TÓTH BRIGITTA-
MAROZSÁN MARIANNA-KOVÁCS SZILVIA-VERES
SZILVIA-LÉVAI LÁSZLÓ

DEBRECENI EGYETEM
MEZŐGAZDASÁGTUDOMÁNYI KAR
Növénytudományi Intézet
Mg-i Növénytani és Növényélettani Tanszékcsoport

4032 Debrecen, Böszörményi út 138.

e-mail: nbakonyi@agr.unideb.hu, egajdos@agr.unideb.hu,
btoth@agr.unideb.hu, kocka156@freemail.hu,
szkovacs@agr.unideb.hu, szveres@agr.unideb.hu,
levai@agr.unideb.hu