

Az apoplazmatikus pH szerepe a tápanyagfelvételben

Bákonyi Nóra

Debreceni Egyetem, Agrár és Gazdálkodástudományok Centruma
Mezőgazdasági Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar
Növénytudományi Intézet, Debrecen
nbakonyi@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A növény számára szükséges tápelemek oldódását és felvételét a talaj, illetve a gyökér közvetlen környezete, a rhizoszféra pH-ja határozza meg, amelyet a növény szerves savak kiválasztásával képes befolyásolni, valamint a mikroorganizmusok is szerepet játszanak annak módosításában. A növények számára fontos tápelemek oldékonysága az enyhén savas pH tartományban a legjobb. Az a tápanyag hasznosul, amely bejut a sejtbe, és nem választódik ki annak vakuólumába. Feltételeztük, hogy a tápelemek bejutását a mezofillum sejtjeibe a pH hasonlóan befolyásolja, mint a gyökerek ion felvételét. A tápelemek oldódását és bejutását a sejtekbe meghatározza a mezofillum sejt közötti járataiban lévő nedv, az apoplaszt oldat pH-ja.

Célkitűzésem az volt, hogy laboratóriumi körülmények között bizonyítsam a tápoldat és az apoplazmatikus bikarbonát, valamint egy biotrágya (Phylazonit MC®) hatását az apoplaszt oldat pH-jára, a tápanyagok felvételére tápoldaton nevelt növényeknél.

Eredményeim szerint a bikarbonát emelte a tápoldat pH-ját, így befolyásolja a tápanyagok oldódását és felvételét. A tápoldathoz és az infiltrálva adott bikarbonát egyaránt befolyásolta a kísérleti növények apoplaszt oldatának pH-ját. A tápoldatos kísérletben a bikarbonát és biotrágya apoplaszt oldat pH-ját módosító hatása ellentétes volt a mezofillum sejt közötti járat oldatának-, és a tápoldat pH-jára.

Kulcsszavak: apoplazmatikus pH, apoplaszt oldat, bikarbonát, biotrágya, tápanyagfelvétel

SUMMARY

The pH of soil and rhizosphere –around the roots– determine the mobility and solubility of nutrients. The exudates organic acids of plant able to modify the pH, as well as the microorganisms also take part in mobilization of nutrients. The nutrient solve mostly in mildly acidic and neutral pH. The either assumption of utilization of nutrients is the uptake by roots and of course uptake to the cells to take part in metabolism. The pH of apoplast fluid determines the solubility and uptake of nutrients to the cells.

The aim of this study was to examine the effect of nutrient solution and apoplastic pH together with a bacteria based biofertiliser (Phylazonit MC®) on nutrient uptake and pH of apoplast fluid in case of nutrient solution grown plants in laboratory experiment.

According to my results, the bicarbonate increased the pH of nutrient solution in due to influence the solubility and uptake of nutrients. The given bicarbonate to the nutrient solution and infiltrated into the apoplazma also modified the pH of the apoplast fluid of the test plants. The effect of bicarbonate and biofertilizer were different on the pH of the apoplast fluid and nutrient solution in nutrient solution experiment.

Keywords: apoplastic pH, apoplast fluid, bicarbonate, biofertiliser, nutrient uptake

BEVEZETÉS, IRODALMI ÁTTEKINTÉS

A talaj különböző kémiai elemek, vegyületek, illetve élőlények bonyolult és összetett rendszere. A környezeti tényezők komplexen befolyásolják a növények számára szükséges tápelemek mennyiségét és mobilitását, ezen keresztül a növénytermesztés eredményességét. A növénytermesztésben, a különféle növények eltérő igényei miatt változatosak a talajjal szemben támasztott követelmények. Fontos kritérium a talajok kémhatásának optimális tartományban való fenntartása. A talajok, a puffer kapacitásuk révén képesek tompítani a szélsőséges pH-t módosító környezeti tényezőket.

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. 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, 1986; Hartung et al., 1992 in Dannel 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 Opmann, 1991; Aked és Hall 1993; Pinedo et al., 1993 in Dannel et al. 1995). Az első módszerrel kapott nyers apoplaszt oldat mennyisége gyakran túl kicsi ahhoz, hogy az analizálható legyen, ugyanakkor a második módszer sokkal nagyobb mennyiséget ad. Ennél a módszernél a levél infiltrálható különböző pufferoldatokkal, sóoldatokkal, desztillált vízzel, ezzel megváltoztatjuk az apoplaszt oldat pH-ját vagy ionkoncentrációját. A infiltrált és aztán centrifugálással nyert apoplaszt nedv „hígítottnak számít” (Dannel et al., 1995), amely szintén nehezíti annak vizsgálatát.

A talaj és az apoplazma pH hatással van a tápelemek mobilizálásra és ezen keresztül hasznosulására. Nikolic és Römheld (2001) szerint a levelek apoplazmatikus pH-jának emelése megakadályozza a Fe³⁺ redukcióját. Azt

tapasztalták napraforgónál, hogy magas levél-apoplazmatikus pH esetén is jelentkezik vas-klorózis, amikor azt a levél vastartalma nem indokolja.

A talajbaktériumok szerepe igen sokrétű, amely a gazdanövényrel való kapcsolatot jelenti. Növelik a tápelemek oldékonyságát és felvételét. Stimulálják a növény növekedését, azáltal, hogy kontrollálják a patogén kórokozók káros hatásait (Vessey, 2003). A növény növekedését elősegítő mikroorganizmusok, mint biotrágyák használata egyre inkább előtérbe kerül, hiszen az állattartás csökkenésével, mérsékeltebb a kijutatott szervesanyag mennyisége, amelyet a talajok hasznos baktériumokban való elszegényedése követ. A kereskedelmi biotrágyákban lévő különféle baktériumok több lehetséges pozitív hatást fejthetnek ki. Szakirodalmi adatok szerint elősegítik 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, a gyökerek differenciálódásán vagy a mykorrhizáltságán keresztül. Javítják a növény egészségi állapotát, rezisztencia kialakításával a biotikus és abiotikus stressz faktorokkal szemben, valamint patogén antagonizmussal (Bloemberg és Lugtenberg, 2001; Vessey, 2003).

ANYAG ÉS MÓDSZER

Kísérleteinkben egy- és kétszikű teszt növényként kukoricát (*Zea mays* L. cv. Reseda SC.) és uborkát (*Cucumis sativum* L. cv. Delicates) használtam, így tekintetbe vettem az egy- és kétszikű növények eltérő tápanyag-felvételi mechanizmusát.

A kukoricaszemek felületét 25 percig tartó 18%-os H₂O₂-os kezeléssel sterilizáltam. A H₂O₂ nyomait többszörös steril desztillált vizes öblítéssel távolítottam el. Az utolsó öblítő folyadék a kukorica esetében az 5×10⁻³M CaSO₄ volt. Ebben négy óráig áztak a szemek. A magokat geotróposan stimuláltam, így függőlegesen állított nedves –steril H₂O - szűrőpapír tekercsben 22 °C-on, klímasekrényben csíráztattam. A 2,5–3,0 cm koleoptillal rendelkező csíranövényeket levegőztetett tápoldatra helyeztem. A nevelés során a fiatal csíranövényeket 2,5 l-es edényben neveltem, amelyekbe kukoricából 10, uborkából 4 növény került. Az ismétlések száma 4 volt. Két lombleveles kortól az uborka növényeket 1 l-es edényekbe helyeztem, egy edénybe egy növény került, így a gyökerek növekedését pontosan nyomon követhettük.

A tápoldatokat háromnaponta cseréltem és ezzel egy időben mértem a tápoldatok pH-ját. Az apoplazmatikus pH méréséhez a szakirodalomban leírtaktól eltérően, új módszer dolgoztunk ki, melynek alapja hogy a magas relatív páratartalmú térbe helyezett növények, a gyökérnyomás működése révén az apoplazmában lévő nedvet a hidatódákon keresztül kiválasztják, tehát guttálnak. Az így nyert és – a 2. és 3. levélről – összegyűjtött guttációs cseppek, azaz apoplaszt oldat pH-ját mértem a különböző napszakban, különböző korban infiltrált teszt növényeknél a tápoldattal és infiltrálva adott kezelések hatására.

A növények neveléséhez az alábbi összetételű tápoldatot használtam: 2,0 mM Ca(NO₃)₂, 0,7 mM K₂SO₄, 0,5 mM MgSO₄, 0,1 mM KH₂PO₄, 0,1 mM KCl, 1 μM (kukorica) és 10 μM (uborka) H₃BO₃, 1 μM MnSO₄, 1 μM ZnSO₄, 0,25 μM CuSO₄, 0,01 μM (NH₄)₆Mo₇O₂₄. Az uborka neveléséhez használt tápoldat megegyezett 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 formában kapták. Ez a vas-forma a leginkább hasznosítható a növények számára, mert így a növények a vasat komplex formájában veszik fel. A növények számára a bikarbonátot NaHCO₃ 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-, 40 mM-, és 80 mM-os volt. 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 mérési hiány-betegségek- alakulnak ki.

A kísérlet során alkalmazott PHYLAZONIT MC[®] biotrágya viszkózus folyadék, két baktériumtörzset tartalmaz: a *Bacillus megatherium* var. *phosphoricum*-ot (1–2×10⁸ db/cm³), és az *Azotobacter chroococcum*-ot (1–2×10⁹ db/cm³). A Phylazonit MC[®] koncentrációja a tápoldatban 1 ml/L volt.

A kísérletek során a környezeti feltételek szabályozottak voltak: a fényintenzitás 300 μmol/m²/s¹, a hőmérséklet periodicitása 25/20 °C (nappal/éjjel), a relatív páratartalom 65–75%, a megvilágítás/sötét periódus 16 h/8 h volt.

A tápoldat pH-jának méréséhez OPTIMA 200A (USA) készüléket, míg az apoplazmatikus pH méréséhez az előző készülékhez csatlakoztatott Orion Micro Combination 12 cm-es pH elektródot használtam.

EREDMÉNYEK

A tápközeg pH-ja az egyik legfontosabb környezeti tényező, amely meghatározza a tápelemek oldékonyságát és felvehetőségét, ezért vizsgáltam a tápoldathoz adott bikarbonát hatását a közeg pH-jára (1. táblázat).

Kísérleteimben a tápanyagok optimális mértékben álltak rendelkezésre, így felvételük csak a környezeti feltételektől függött. A tápoldathoz adott bikarbonát a tápközeg pH-ját lúgosította, amely hatás koncentrációfüggő, ugyanakkor a Phylazonit MC[®]-vel kiegészített kezeléseknél megfigyelhető, hogy a biotrágya mérsékelte a bikarbonát tápoldat lúgosító hatását a friss és lecserélt tápoldatoknál egyaránt.

A tápoldathoz adott bikarbonát és a levelek mezofillumába infiltrációval bejutott bikarbonát hatására mérséklődött a tápanyag-felvétel, melynek hatására mérsékeltebb növekedést tapasztaltunk (1–2. kép), ugyanakkor a Phylazonittal kiegészített kezeléseknél – ahogyan az a 3. képen látható – a baktérium alapú biotrágya mérsékelte a növekedésgátlást.

1. táblázat

A kezelések hatása a tápoldat pH-jára tápoldaton nevelt kukorica és uborka csíranövények esetén (n=3±s.e.)

Kezelések(1)	Kukorica(7)				Uborka(8)	
	2 nap(4)		8 nap(5)		7 nap(6)	
	Friss pH(2)	Régi pH(3)	Friss pH(2)	Régi pH(3)	Friss pH(2)	Régi pH(3)
	0 h	72 h	0 h	72 h	0 h	72 h
Kontroll	7,06±0,23	6,44±0,16	4,86±0,06	7,04±0,24	5,91±0,62	5,89±0,25 ^c
Kontroll+biotrágya	6,94±0,45	5,75±0,12	4,85±0,03	7,01±0,45	4,95±0,04	6,28±0,19 ^c
10 mM NaHCO ₃	6,50±0,43	8,08±0,50*** ^c	6,86±0,14***	7,53±0,15	8,09±0,59***	8,90±0,84***
10 mM NaHCO ₃ + biotrágya	6,43±0,42	7,71±0,46**	6,84±0,10***	7,53±0,03	7,87±0,49***	8,75±0,12***
20 mM NaHCO ₃	7,89±0,09*	8,08±0,03***	7,74±0,03***	8,23±0,63*	8,45±0,24***	8,85±0,31***
20 mM NaHCO ₃ + biotrágya	7,81±0,08	8,06±0,34***	7,70±0,06***	8,18±0,32	8,37±0,18***	9,06±0,15***
40 mM NaHCO ₃	8,21±0,07***	8,65±0,38***	8,09±0,01***	8,31±0,04**	8,72±0,26***	9,20±0,21***
40 mM NaHCO ₃ + biotrágya	8,20±0,07***	8,03±0,34***	8,06±0,04***	8,25±0,17*	8,56±0,10***	9,12±0,16***
80 mM NaHCO ₃	8,22±0,02***	8,70±0,10***	8,36±0,03***	8,96±0,31***	9,32±0,10***	9,08±0,20***
80 mM NaHCO ₃ + biotrágya	8,18±0,21***	8,43±0,31***	8,33±0,07***	8,80±0,52***	9,22±0,01***	9,03±0,12***

Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Szignifikáns eltérés a friss tápoldat pH-jához képest: ^ap <0.05, ^bp<0.01, ^cp<0.001. Biotrágya: Phylazonit MC[®]

Table 1: The effect of treatments on pH of nutrient solution in case of maize and cucumber seedlings (n=3±s.e.)

Significant difference to the control: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Biofertiliser: Phylazonit MC[®]. Treatments(1), pH of fresh changed nutrient solution(2), pH of used nutrient solution(3), Measured in case of 2-day old(4), 8-day old(5), 7-day old(6) Maize(7), Cucumber(8)

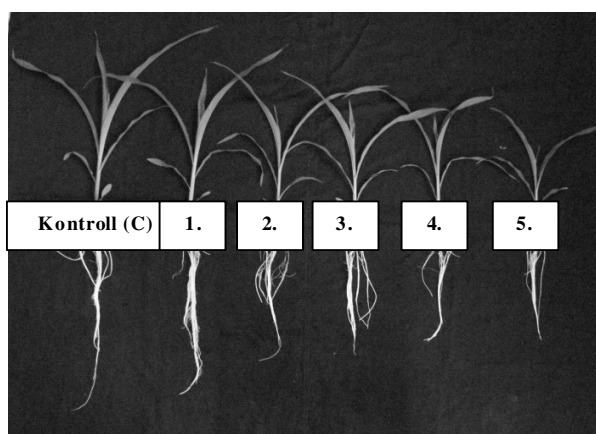
1. kép: A különböző koncentrációban adott bikarbonát hatása a kukorica hajtás és gyökérnövekedésére


1: Kontroll, 2: 10 mM NaHCO₃, 3: 20 mM NaHCO₃, 4: 40 mM NaHCO₃, 5: 80 mM NaHCO₃

Picture 1: The effect of bicarbonate in case of maize grown nutrient solution

1: Control, 2: 10 mM NaHCO₃, 3: 20 mM NaHCO₃, 4: 40 mM NaHCO₃, 5: 80 mM NaHCO₃

2. kép: A különböző koncentrációjú bikarbonát infiltráló folyadékok hatása a kukorica hajtás és gyökernövekedésére

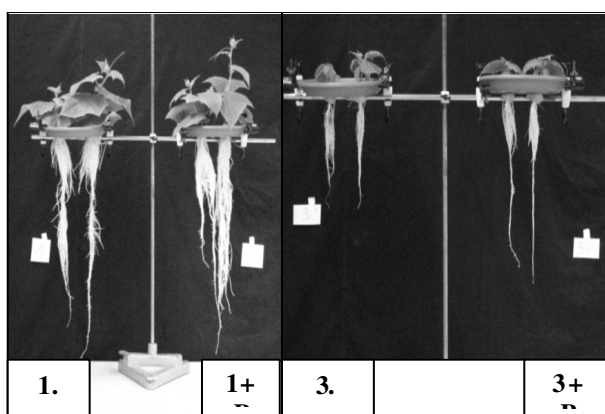


1: Kontroll, 2: 10 mM NaHCO₃, 3: 20 mM NaHCO₃, 4: 40 mM NaHCO₃, 5: 80 mM NaHCO₃

Picture 2: The effect of bicarbonate infiltrate solution

C: Control, 1: Infiltrated with H₂O, 2: 10 mM NaHCO₃, 3: 20 mM NaHCO₃, 4: 40 mM NaHCO₃, 5: 80 mM NaHCO₃

3. kép: A bikarbonát és a biotrágya együttes hatása 24 napos uborka csíranövényénél



1: Kontroll, 1+P: Kontroll+Phylazonit MC[®], 3: 20 mM NaHCO₃, 3+P: 20 mM NaHCO₃+Phylazonit MC[®]

Picture 3: The effect of bicarbonate and biofertiliser Phylazonit MC[®] on growth of shoots and roots of 24-day old cucumber seedlings

1: Control, 1+P: Control+ Phylazonit MC[®], 3: 20 mM NaHCO₃, 3+P: 20 mM NaHCO₃+ Phylazonit MC[®]

Vizsgáltam a tápoldattal és az infiltrálva adott bikarbonát hatását a tápközeg és a mezofillum sejtközötti járataiban lévő nedv pH-jára. Az apoplazmatikus pH vizsgálatához a növényeket guttációra „kényszerítettem” és az így kapott guttációs cseppek pH-ját mértem (2. táblázat).

2. táblázat

Kontroll tápoldaton nevelt kukorica csíranövények levelének apoplazmatikus pH-ja infiltrálás előtt (n=10±s.e.)

Növény kora(1)	Apolazmatikus pH(2)
1. nap	5,45±0,84
2. nap	5,41±0,34
4. nap	5,65±0,34

Table 2: The pH of apoplast fluid before infiltration in case of maize seedlings grown on control nutrient solution (n=10±s.e.). Age of plants(1), pH of apoplastic fluid(2)

Kontroll tápoldaton nevelt kukorica levelek apoplazmatikus pH-ja enyhén savanyú kémhatású, amely optimális a tápelemek felvételéhez.

Vizsgáltam a különböző korban infiltrált csíranövények apoplazmatikus pH-ját a különböző koncentrációjú bikarbonát kezelések hatására (3. táblázat). A bikarbonát koncentráció emelésével, a néhány órával később visszanyert guttációs cseppek pH-ja az adott infiltráló folyadék pH-jával közel megegyezett. A bikarbonát koncentráció emelésével egyenes arányban nőtt a sejtközötti járatokban lévő nedv pH-ja, a növény eredeti apoplaszt oldata képes volt tompítani azt.

3. táblázat

Kontroll tápoldaton nevelt 4, 6 és 8 naposan infiltrált kukorica csíranövények apoplazmatikus pH-ja (n=6±s.e.)

Kezelések(1)	Infiltráló folyadékok pH-ja(2)	Infiltrálás időpontja(3)		
		4. nap(4)	6. nap(5)	8. nap(6)
Kontroll (nem infiltrált)	-	6,11±0,39	4,69±0,82	5,66±0,16
H ₂ O-val infiltrált	5,80	5,88±0,41	5,55±0,56	6,87±0,34***
10 mM NaHCO ₃ -val infiltrált	8,54	6,75±0,26**	5,65±0,26*	7,93±0,82***
20 mM NaHCO ₃ -val infiltrált	8,77	7,68±0,57***	5,11±0,54	7,66±0,25***
40 mM NaHCO ₃ -val infiltrált	8,81	8,65±0,20***	6,91±0,35***	8,05±0,61***
80 mM NaHCO ₃ -val infiltrált	9,04	8,99±0,09***	7,00±0,02***	9,12±0,22***

Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001

Table 3: The pH of apoplast fluid in case of infiltrated 4-, 6-, 8-day old maize seedlings (n=6±s.e.)

Significant difference to the control: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Treatments(1), pH of infiltrate solution(2), Time of infiltration(3), Measured in case of 2-day old(4), 6-day old(5), 8-day old(6) maize

Vizsgáltam, a napszaki változás hatását a különböző korban infiltrált kukorica csíranövények apoplaszt oldatának pH-jára, ezért mértem a guttációs cseppek pH-ját reggel (8 óra) és este (20 óra) (4. táblázat).

4. táblázat

Kontroll tápoldaton nevelt 4 naposan infiltrált kukorica csíranövények apoplazmatikus pH-ja különböző napszakban (n=8±s.e.)

Kezelések(1)	4. nap(2)		9. nap(3)	
	Reggel (8 óra)(4)	Este (20 óra)(5)	Reggel(8 óra)	Este(20 óra)
Kontroll	6,11±0,39	6,48±0,29	6,03±0,75	5,87±0,29
H ₂ O-val infiltrált	5,88±0,41	5,59±0,43**	6,03±0,57	6,12±0,33
10 mM NaHCO ₃ -val infiltrált	6,75±0,26**	6,11±0,16*	7,03±0,32*	6,82±0,22***
20 mM NaHCO ₃ -val infiltrált	7,68±0,57***	6,63±0,31 ^c	7,58±0,14***	7,19±0,16***
40 mM NaHCO ₃ -val infiltrált	8,65±0,20***	8,06±0,61***	7,98±0,35***	7,48±0,21***
80 mM NaHCO ₃ -val infiltrált	8,99±0,09***	8,91±0,33***	8,23±0,64***	7,78±0,42***

Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Szignifikáns eltérés a reggeli pH-hoz képest: ^ap <0.05, ^bp<0.01, ^cp<0.001

Table 4: The pH of apoplast fluid in case of infiltrated 4-day old maize seedlings (n=8±s.e.)

Significant difference to the control: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Treatments(1), Infiltration on 4th day(2), Infiltration on 9th day(3), measured in the morning (8 a.m.)(4), Measured in the evening (8 p.m.)(5)

Csökkenést tapasztaltunk a napszak változása és az infiltrálás idejének hatására az apoplaszt oldat pH-jában. 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, melynek oka a fotoszintetikus aktivitásból eredő szervesanyag illetve szerves sav kiválasztás, amely a mezofillum sejtközötti járataiban lévő nedv pH-jának csökkenését eredményezheti. Az idősebb korban, 9 naposan infiltrált kukorica csíranövény eredeti apoplaszt oldatának tompító (puffer) hatása feltehetően jelentősebb, mivel ez esetben alacsonyabb pH értékeket mértem.

Az infiltrálva adott bikarbonát közvetlenül befolyásolta az apoplazmatikus pH alakulását. Vizsgáltam, hogy a tápoldathoz adott bikarbonát és élő baktérium tartalmú Phylazonit MC[®]-nek van-e hatása a mezofillum sejtek apoplazmatikus pH-jára. Eredményeimet az 5. táblázatban foglaltam össze.

Azt tapasztaltam, hogy a bikarbonát koncentrációjának emelésével csökkent az uborka és a kukorica apoplazmatikus nedv pH-ja. A biotrágya emelte a levél apoplaszt oldatának pH-ját, miközben a tápoldat lúgosságát csökkentette, azaz a tápoldathoz adott baktériumok ellentétesen hatottak a tápoldat és az apoplazmatikus nedv esetében.

5. táblázat

Tápoldattal adott bikarbonát és biotrágya hatása a 4 napos kukorica és 15 napos uborka csíranövények apoplazmatikus pH-jára (kukorica: n=10±s.e.; uborka: n=6±s.e.)

Kezelések(1)	Kukorica(2)	Uborka(3)
Kontroll	8,00±0,30	7,55±0,49
Kontroll+biotrágya	8,20±1,27	8,60±0,16**
10mMNaHCO ₃	7,35±0,43	8,06±0,34
10mMNaHCO ₃ + biotrágya	8,62±0,03	8,12±0,44
20mMNaHCO ₃	7,71±0,11	8,23±0,35
20mMNaHCO ₃ + biotrágya	7,73±0,43*	-
40mMNaHCO ₃	6,48±0,61***	-
40mMNaHCO ₃ + biotrágya	6,95±0,37***	-
80mMNaHCO ₃	6,13±0,20***	-
80mMNaHCO ₃ + biotrágya	6,78±0,52***	-

Szignifikáns eltérés a kontrollhoz képest: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Biotrágya: Phylazonit MC[®]

Table 5: The effect of treatments on pH of apoplast fluid in case of maize (n=10±s.e.) a cucumber seedlings (n=6±s.e.)

Significant difference to the control: *p <0.05, **p<0.01, ***p<0.001. Biofertiliser: Phylazonit MC[®]. Treatments(1), maize(2), cucumber(3)

KÖVETKEZTETÉSEK

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. A bikarbonát okozta stresszhatás mérsékelhető volt egy baktérium tartalmú biotrágya (Phylazonit MC[®]) kiegészítő használatával. A kedvező hatás mögött a baktériumok és a magasabb rendű növények tápanyag-felvételi hasonlóságai lehetnek. Feltételezzük, hogy a baktériumok jelentős szerves anyag kiválasztásuk révén befolyásolják a magasabb rendű növények tápanyag-felvételi mechanizmusait is, ugyanakkor fontos hangsúlyozni, hogy a szántóföldi körülmények komplexitása miatt a laboratóriumi vizsgálatok során kapott pozitív eredmények nem feltétlenül jelentkeznek a növényi produkcióban.

Az esti időpontban mért apoplaszt oldatok pH-ja alacsonyabb volt a reggel mérthez képest, melynek oka a fotoszintetikus aktivitásból eredő szervesanyag, szerves sav kiválasztás. A tápoldathoz és az infiltrálva adott bikarbonát befolyásolta a kísérleti növények apoplaszt oldatának pH-ját, valamint a tápoldatos kísérletben alkalmazott biotrágya apoplazmatikus pH-t módosító hatása is bizonyított, ugyanakkor a bikarbonát és biotrágya apoplaszt oldat pH-ját módosító hatása ellentétes volt a mezofillum sejtközötti járat oldatának-, és a tápoldat pH-jára. Ezen ellentétes hatás okának feltárása további vizsgálatokat igényel.

IRODALOM

- Aked, J.–Hall, J. L. (1993): Effect of powdery mildew infection on concentrations of apoplastic sugars in pea leaves. *New Phytol.* 123: 283–288.
- Bloemberg–Lugtenberg (2001): Molecular basis of plant growth promotion and biocontrol by rhizobacteria, *Curr. Opin. Plant Biol.* 4: 343–350.
- Dannel, F.–Pfeffer, H.–Marschner, H. (1995): Isolation of apoplasmic fluid from sunflower leaves and its use for studies on influence of nitrogen supply on apoplasmic pH. *J. Plant Physion.* 146: 273–278.
- 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.

- 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.
- 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.
- Pfanz, H.–Oppmann, B. (1991): The possible role of apoplastic peroxidases in detoxifying the air pollutant sulfur dioxide. [In: Lobar-Zewski, J. et al. (eds.) *Biochemical, Molecular and Physiological Aspects of Plant Peroxidases.*] University of Genova. 400–417.
- Pinedo, M. L.– Segarra, C.– Conde, R. D. (1993): Occurrence of two endoproteinases in wheat leaf intercellular washing fluid. *Plant Physiology*. 88: 287–293.
- Rohringer, R.–Ebrahim-Nesbat, F.–Wolf, G. (1983): Proteins in intercellular washing fluid from leaves of barley (*Hordenum vulgare* L.) *J. Exp. Bot.* 34: 1589–1605.
- 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.
- Vessey, J. K. (2003): Plant growth promoting rhizobacteria as biofertilizers. *Plant and Soil*. 255. 2: 571–586.