

A növényi gyökerek hidrogén ion kiválasztása a tápanyagfelvétel során

A. V. PETERBURGSZKIJ és G. A. TARABRIN

Tyimirjazev Mezőgazdasági Akadémia, Agrokémiai Tanszéke és Összszövetségi Gedroicról elnevezett Trágyázási és Talajtani Kutató Intézet, Moszkva

Már Gedroic [13] rámutatott arra, hogy a talajban adszorbeálva tízszer-százszor több tápanyag található, mint a talajoldatban. Trágyázás esetén szintén hasonló arány figyelhető meg a szilárd és a folyékony fázis kationtartalma között.

Sajnos a mai napig is kisebb mértékben vizsgálták a tápanyagfelvételt a szilárd fázisból, mint az oldatokból.

Már száz éve ismeretes, hogy megfelelő összetételű sóoldatokon egészséges növényeket nevelhetünk fel. Ezért általában csak tartaléknak tekintették a talaj szilárd fázisán adszorbeált tápanyagokat, amelyekből újból telítődik a talajoldat, ha a növények tápanyagfelvétele vagy a kimosódás miatt csökken a talajoldat telítettsége. Ellenkező vélemények szerint a talaj adszorbeált ionjait a növények közvetlenül is felvehetik, anélkül, hogy a talajoldat koncentrációja megváltoznék.

Más szavakkal: az első feltevés szerint a növények lényegében passzívan veszik fel az oldott sókat, a második hipotézis azonban már bizonyos aktív szerepet tulajdonít a növényeknek a táplálkozás során.

A növényi gyökerek tápanyagfelvételének tanulmányozása a kutatás fejlődése során 3 szakaszon ment keresztül:

1. A korábbi elméletek alapján úgy vélték, hogy a talajoldatban levő oldott sókat a víz transpirációs áramlata juttatja be a gyökerekbe. Az ilyen mechanisztikus elképzelés ellen az elsők között lépett fel már Tyimirjazev [47] is 1892-ben. Véglegesen ezt az elméletet századunk 20-as éveiben vetették el, amikor nagyszámú kísérlettel bebizonyították, hogy az oldott sók felvétele és a transpiráció nem arányos egymással. Azt is kimutatták, hogy bizonyos határokon belül a növények sejtnevének és a külső oldatnak koncentrációja független egymástól. Trubeczkova [48] vizsgálatai szerint a kukorica könnyezési nedvében meghatározott kálium, kalcium és foszfát ionok mennyisége független volt a külső oldat tápanyagkoncentrációjától még akkor is, amikor ez utóbbiak töménységét 10–17-szeresen változtatták meg.

Azonban helytelen lenne azt állítani, hogy a transpiráció során végbemenő tápanyag felvételt tárgyaló elmélet természetlen volt. Ez az elmélet szükséges szakasz volt az agrokémia és növényélettan e bonyolult problémája megoldása során.

Russel és Shorrocks [41] nemrégiben jelzett atomokkal végzett kísérletei azt mutatták, hogy az oldat nagy sókoncentrációja esetében az árpa rubidium és foszforfelvétele összefüggést mutatott a transpirációval. Ha a sókoncentráció lecsökkent egészen a talajoldatban levő értékekig, akkor a sófelvételnél már ilyen összefüggés nem állt elő. A szerzők azt a megállapítást szűrték le, hogy a nem szikes talajok esetében az ionfelvétel független a transpirációtól.

2. Az oldatból való sófelvétel tanulmányozása során a második szakasz akkor kezdődött meg, amikor megjelent e folyamat diffúziós-ozmotikus természetéről szóló hipotézis. Ily esetben a növényi gyökereket élettelen, félig áteresztő hártvának, a gyökér-

sejtek tonoplasztját pedig az oldatból végbemenő diffúziós sóáramlat hatásának tekintették.

A sejtnak a tonoplaszt által elválasztott belső részét egy ozmotikus szivattyúnak tartották, amely a sókat a vakuolába pumpálja.

Annak az elméletnek, mely az ozmózist a sófelvétel alapvető mechanizmusának tartotta, ellene szolgált az a közismert tény, hogy a növények ionfelvétele szelektív jellegű, annál is inkább, mert ozmotikus mozgásra csak teljes molekulák képesek. Ezenkívül a sók ozmotikus és diffúziós mozgása a nagyobbtól a kisebb koncentráció irányába megy végbe. A növényekben pedig a sókoncentráció általában nagyobb, mint a talajoldatban.

A diffúzió kizárólagos szerepe ellen szól az a tény is, hogy ennek a folyamatnak a sebessége igen csekély. K o l o s z o v [26] kimutatta, hogy a metilénkék kation behatolása a gyökerekbe eléri a 0,3 mm-t 3–4,5 perc alatt, ami százszorosan múlja felül a diffúziós mozgás sebességét.

H e l l e r [19] a foszfor diffúzió útján való felvételének tanulmányozása során szintén kimutatta, hogy a diffúzió sebessége lényegesen elmarad a P^{32} felvétel ütemétől.

Heller sárgarépa gyökérkorongokat steril körülmények között tartott sóoldatban magas kémcsövekben. 13 nap múlva a gyökérkorong körüli oldatban a radioaktív foszfor koncentrációja az eredetinek 5%-a volt, a kémcső középső részében 44%, a kémcső alján pedig 77%.

3. A tápanyagok adszorpciós felvételéről szóló elmélet jól megmagyarázza a különböző ionok felvételének nagy sebességét és szelektív jellegét. Ennek az elméletnek megjelenése a növények gyökéren keresztüli táplálkozásának tanulmányozása során a harmadik szakaszt jelentette.

S z a b i n y i n [45] és K o l o s z o v [25, 27] munkássága bebizonyította, hogy az adszorpciós folyamatok vezető szerepet játszanak a növények ionfelvételének kezdeti szakaszában.

Már C o m b e r [5] feltételezte, hogy a növényi gyökerek és a talaj egységes, zárt rendszert alkotnak, melyen belül a tápanyagok mozgása elég nagy mértékben független lehet a talajnedvességtől.

B r e a z e a l e [1] megfigyelte, hogy a növények foszfort és nitrogént is vesznek fel a száraz talajból, amikor csak a gyökerek egy része kapott elegendő mennyiségű vizet. A száraz talaj nedvességtartalma a többi gyökér körül a hervadási pontig növekedett.

E két szerző elméleti feltételezéseiből kiindulva és a saját érdekes kísérleti anyagára támaszkodva J e n n y és munkatársai 1939-ben több cikket jelentettek meg, amelyekben a közeg adszorbeált ionjainak felvételét kontakt ionkicsérelési folyamatként magyarázták [23, 24]. Ezek az ionok a talajkolloidokon és a növények gyökerein adszorbeált állapotban is mozgást végeznek.

Jenny szerint a növények nem passzívan vesznek fel az oldott sókat, hanem aktívan hatnak a közegre. Tápanyagszükségletüket közvetlen ionsere folytán elégítik ki, amikor is a növény által kiválasztott ionok kicsérlődnek a talaj adszorbeált ionjaival.

Véleménye szerint a kontakt kicsérlődés esetén a gyökérszőrők és a talajkolloidok olyan szoros érintkezésbe kerülnek, hogy a gyökéren és a talajkolloidokon levő ionok oszcillációs terei átfedik egymást.

Jenny hipotézisében nem eléggé megalapozott az a feltevés, hogy az ionmozgás rádiusza olyan nagy mérvű lenne.

Az ionpárok csak akkor létezhetnek, ha a gyökér és a kolloidok között vízhártya van. Ennek vastagsága felül kell hogy múlja az adszorpciós vízhártya vastagságát, mivel az utóbbinak dielektromos-állandója B ü r r e r és R o s e [4] kísérletei szerint 2,2 és ilyen dielektromos-állandójú oldatban a vízben oldott sók nem disszociálódnak ionokra.

A felület közötti vízhártya jelenléte azonban megakadályozza azt, hogy a két kicsérlődő ion oszcillációs tere átfedje egymást.

Combernak azt a feltevését, hogy a gyökér és a talaj egységes rendszert képvisel, és Jennynek a kontakt ionfelvételtől szóló hipotézisét vizsgálat alá vetették a száraz talajból történő növényi tápanyagfelvétel során.

Ebben az irányban C s i z s o v [7] és K o r i c k a j a [29] végeztek kísérleteket. A kísérleti eredmények ellentmondóak voltak. Csizsov kimutatta, hogy a tavaszi búza száraz talajból akkor vesz csak fel nitrogént és foszfort, ha a gyökerek egy részét vízzel ellátjuk. Ez esetben az edényben levő száraz talaj nedvessége eléri a hervadási együttható értékét.

Korickaja kísérletében a kukorica nem tudott jelentős mennyiségű nitrogént és foszfort felvenni a száraz talajrétegből. Az ő kísérleteiben a száraz talaj nedvessége csak igen kis mértékben emelkedett és a kísérlet végén sem érte el a hervadási pontot. Korickaja

még olyan következtetést is levont, hogy talajkultúrákban nem megy végbe a vízártrendezés a gyökér egyik részéből a másikba.

Hunter és Kelley [22] kukoricát termesztettek parafinozott és nedves talajjal töltött edényben, amelyet száraz talajjal vettek körül. Radioaktív foszfor segítségével kimutatták, hogy a kukorica csak akkor vesz fel tápanyagokat a száraz talajból, amikor a nedves talajból a szárazba áthatoló gyökerek a talaj nedvességtartalmát egészen a hervadási pontig növelik.

Szmirnov [46] későbbi munkái szintén azt bizonyítják, hogy a kukorica felveszi a száraz talajba vitt foszfátokat bár csak egészen kis mennyiségben. De foszforfelvételt csak akkor figyelték meg, ha a gyökérrendszer egy része olyan talajban volt, melynek nedvessége legalább a vízkapacitás 45–50%-át elérte.

Jelenleg a növénytáplálkozással foglalkozó kutatóknak (Ratner [40], Peterburgszkij [37, 38, 39]) az a véleményük, hogy a növényi gyökerek tápanyag-adszorpciója a folyékony fázisának közvetítésével megy végbe, de nem a talajoldat egész tömegének bevonásával, hanem csak a gyökerek és a talajkolloidok közötti oldathártya segítségével. Ily esetben lehetőség nyílik arra, hogy az ionfelvétel közvetlenül a kolloid részecskék micelláris oldatából is végbemehessen.

Ily módon bizonyos mértékig feltételezik azt, hogy a gyökértől a talajszemeség és fordítva is, diffúziós úton haladnak az ionok. A gyökér és a talajrészecske kontaktusának jelentősége abban áll, hogy lecsökken a diffúziós ionmozgás útja, ez pedig növeli az adszorpció szerepét a táplálkozás során.

A gyökerek légzése és adszorpciós képessége

A tápanyagfelvétel adszorpciós jellegéről szóló hipotézisnek mind több és több követője van. Ezzel kapcsolatban a kutatók figyelmé az utóbbi időben a növényi adszorpciós komplexusra terelődött. Ezt a terminust elsőnek Koszticsev [30] javasolta.

Több tudós kísérleti eredménye azt mutatja, hogy a pázsitfűfélék gyökerének kation adszorpciós képessége 10–25 mgeé/100 g szárazanyag között mozog, míg a pillangósoké 35–50 mgeé.

Smith és Wallace [42] kiszámították a gyökérzet 1 cm²-re jutó kation adszorpciós képességét. Az derült ki, hogy a vékonyabb és a vastagabb gyökerek kálium- és kalciumadszorpciós kapacitása azonos. Ugyanők mutatták ki, hogy az oldat nitrogéntartalmának növelésekor növekszik a növény nitrogéntartalma, ezen belül a gyökér nitrogéntartalma is, ezért növekszik a gyökérrendszer kationadszorpciós kapacitása.

McLean, Adams és Franklin [32] szintén azt találták, hogy a gyökérrendszer kationadszorpciós kapacitása függ a gyökerek nitrogéntartalmától. Kevesebb nitrogén és viszonylag kisebb adszorpciós kapacitás (11–25 mgeé) jellemző a pázsitfűfélékre: nagyobb nitrogéntartalom és nagyobb adszorpciós kapacitás érték pedig a pillangósoknál található. A kiegészítő nitrogén adagolás a pázsitfűféléknél 30–40%-kal, a pillangósoknál pedig csak 10%-kal növeli a kationadszorpciós kapacitást.

McLean [31] éppen ezért feltételezi, hogy káliumtrágyázás különösen akkor szükséges, amikor nitrogéntrágyákat is használnak. Kimutatták továbbá azt is, hogy a kationadszorpciós kapacitás növekedésekor intenzívebb lesz a foszforfelvétel is, ami teljes mértékben megegyezik Csirikov [6] régebbi közleményével, mely szerint összefüggés áll fenn a foszforitokból végbemenő kalcium és foszforfelvétel között.

Sajnos a növények anionadszorpciós tulajdonságait még nem tanulmányozták, habár kétségkívül ez is előfordul.

Gracani [15] feltételezi, hogy a tápanyagfelvétel folyamatát egész sor külső és belső tényező szabályozza és ez a folyamat fiziko-kémiai törvényszerűségek szerint megy végbe.

Az ilyen feltételezés véleményünk szerint azonban nem teljesen helyes. A fiziko-kémiai folyamatok irányát végső soron a növény irányítja, elsősorban a lélegzőkori oxigénfelvétellel és különböző oxidációs termékek kiválasztásával, továbbá a szervesanyagok szintézisével és elbontásával. Ezen kívül a növények képesek arra, hogy tápanyaghiány vagy túltengés esetén megváltoztassák a folyamatok irányát, azaz nemcsak kívülről vegyenek fel anyagokat, hanem ugyanazokat kifelé is ki tudják választani. Végső soron ezt a változott és változó protoplazma biológiai tulajdonságai teszik lehetővé.

Áttérünk e sajátosságok áttekintésére.

Handley és Overstreet [18] kísérleteik során bebizonyították, hogy kálium jelenlétében a levágott árpagyökerek lélegzése fokozódik és több káliumot vesznek

fel a növények az oldatból. Ugyanilyen hatás állott elő akkor is, amikor a gyökerek K-bentonit szuszpenzióval érintkeztek. Így módon ezek a szerzők bebizonyították, hogy nem csak az anionok növelik a légzést, mint ezt Lundegardh véli, hanem a kationok is. Ezek a kutatók arra a következtetésre jutottak, hogy a légzésnövekedés és a felvételi folyamatok nem okvetlenül egy időben mennek végbe, azonban az ionfelvétel függ a légzés intenzitásától. Az előzetesen felvett ionok stimulálhatják a légzést.

Fudziwara és Iida [12] megállapították, hogy káliumbhiány esetében a rizs, paradicsom és árpa csíranövények légzés-intenzitása jelentősen növekszik. A közeg káliumkoncentrációjának növelésekor csökken a légzés intenzitása. A glükózadagolással mesterségesen kiváltott légzésnövekedéskor a káliumfelvétel intenzívebb lesz, azonban később a légzésnívó csökkenésekor már kálium választódott ki a gyökerekből.

Wilkinson [50] laboratóriumi kísérleteiben bebizonyította, hogy KCN légzésgátló csökkenti a lóbab foszforfelvételét.

Dalc és Sutcliffe [8, 44] közlése szerint a cékla lé gátolja a phloem és parenchyma szövetekből kivágott korongok káliumfelvételét. Kísérleteik során a lében levő szaharóz növelte a légzés intenzitását. A kálium felvétel gátlását citrom és almasav jelenlétével magyarázzák. Norris [35] kísérletei azt mutatják, hogy a hagymagyökér végének morisztéma szövege mutatta a legintenzívebb légzést.

Macui [33] bebizonyította, hogy az árasztott rizstáblákon a talajból képződő kénhidrogén gátolja a kálium, foszfor és más ionok felvételét.

Helmi és Elgaboly [20] szintén kimutatták levágott árpagyökerekkel, hogy az élő gyökerek NaCN, Na_3N , Na_3AsO_3 légzésgátlókkal való kezeléskor csökkent a kationfelvétel.

Komai és Noda [28] szintén levágott árpagyökerekkel tanulmányozták a különböző ionok adszorpcióját és az élő és elölt gyökerek kationadszorpciós kapacitását összehasonlították a karboxilos ionkicsérelő műgyanta (ionit) adszorpciós tulajdonságai-val. Az derült ki, hogy a karboxilos ionitnál megállapított liotrop sor megfelel a gyökereknél tapasztalt kationfelvételi sornak. A szerzők nem találtak különbséget az élő és elölt gyökerek adszorpciós kapacitása között, ezért feltételezték, hogy a gyökerek adszorpciós képessége nincs összeköttetésben az anyagcserevel, hanem fiziko-kémiai állandók határozzák meg. Ezzel a feltételezéssel azonban nem érthetünk egyet.

Pavlovski [36] a csírázó búzagyökérből kimosódó szervesen tápanyagok vizsgálata során kimutatta, hogy a magban levő kálium a klorofilképződésig könnyen kimosódik, azonban a zöld színtestecske képződése után a gyökerek az előzőleg kimosódott káliumot gyorsan újból felveszik. Ez csak egy tény, amely arról tanúskodik, hogy szoros kapcsolat van a fotoszintézis és a gyökerek tápanyagfelvétele között. Ezzel kapcsolatban érdekes megemlíteni, hogy Trubekova és mások [49] kísérletei szerint a maximális káliumfelvétel a napraforgónál a délelőtti órákban figyelhető meg. Éjjel 1,5–3-szor kevesebb káliumot vesz fel az a növény.

Véleményünk szerint nem helyes, ha a kationadszorpciós kapacitást levágott gyökerekben állapítják meg, mivel ez az analízis nem veszi figyelembe az adszorpciós kapacitást létrehozó folyamatok időbeni lefolyását. Az adszorpciós kapacitás ui. állandóan változik, egyrészt azért, mert a növény felveszi a gyökéren adszorbeált ionokat és továbbítja a földfeletti részbe, másrészt azért, mert a földfeletti részekből fotoszintetikus termékek jutnak el a gyökérzetbe. Szerintünk a gyökérrendszer adszorpciós kapacitását nemcsak statisztikusan kell jellemeznünk a kapacitás nagyságának megjelölésével, hanem dinamikusan is, mégpedig a megújulás sebességének megállapításával.

Minden bizonnyal elfogadhatjuk, hogy a légzés intenzitása — mint az anyagcsere alapvető mutatója — nagymértékben meghatározza a gyökerek adszorpciós kapacitásának megújulási sebességét.

Hoagland már régen kimutatta, hogy ha a vízkultúrákban 10%-nál kevesebb oxigént tartalmazó levegőt buborékoltatunk át, a cukrok felhasználódása, továbbá a növény ionfelvétele jelentősen csökken.

Bushnell [3] burgonyagyökereket különböző oxigéntartalmú közegbe helyezett és azt találta, hogy ha az oxigénkoncentráció a gyökér melletti zónában 4%-ig lecsökken, akkor a légzés megszűnik.

Érdeklődésre tarthatunk számot Guminski [17] kísérletei is, melyek során kimutatta, hogy nem okvetlenül szükséges, hogy közvetlenül az ionfelvétel gyökérfelületén legyen jelen az oxigén. Nem levegőztetett vízkultúrákban akkor is normális módon vesz fel tápanyagot a növény, ha a gyökérnyak az oldat felszíne felett van. Ebben az esetben sok gyökérszőr keletkezik rajta, ami Guminszkij véleménye szerint ellátja a növényt oxigénnel.

Geller és Tabenckij [14] megfigyelték, hogy a foszforfelvétel gyorsabb lesz, ha a gyökereket oxidáló szerekkel, pl. hidrogénperoxiddal kezelik. A szerzőknek az a véleményük, hogy ilyen esetben oxidálódnak azok az elhalt anyagok, amelyek a gyökereket bevonják, ennek következtében megnövekszik a gyökér aktív felvevő felülete.

Ily módon az áttekintett szakcikkek közül az alábbi következtetéseket vonhatjuk le:
1. A növényi gyökerek tápanyagfelvétele szoros összeköttetésben áll az anyagcserével, elsősorban a légzéssel és a gyökerek proteintartalmával.

2. Megfelelő légzésgátlók alkalmazása esetén csökken a gyökerek ionfelvétele és fordítva, ha a gyökérrendszer légzése erősödik, akkor az ionfelvétel intenzitása is növekszik.

3. Oxigénhiány esetében megszűnik a gyökerek légzése és megáll az ionfelvétel is.

4. Legintenzívebben a gyökér fiatal részei lélegzenek.

Azonban vannak olyan kísérletek is, amelyek azt bizonyítják, hogy az oxigénfelvétel (vagy pedig az ionakceptorok keletkezésének helye) nem feltétlenül esik egybe az intenzív légzés helyével.

A gyökerek ionfelvételének mechanizmusa

Az utóbbi években több kutató szerint a gyökerek ionfelvétele során a diffúziós és kicserélődési folyamatok összekapcsolódnak.

Epstein [10] árpacsirák levágott gyökereivel végzett munkái során kimutatta, hogy a gyökéren 2 felvételi övezet van.

Az első, a külső övezet — mérései szerint a gyökér térfogatának 23%-a —, melyben főleg vízzel könnyen kimosódó, szabadon diffundáló ionok vannak jelen.

A második, belső övezetben megy végbe az ionok aktív felvétele a légzés folyamán felszabaduló ionokkal való kicserélődés útján. Ebből az övezetből ionkiválasztódás csak a kicserélő oldat ionjaival való csere útján lehet végbe, a víz már nem mossa ki ezeket az ionokat.

Hope és Robertson [21] nézete az ionfelvétel mechanizmusát illetően lényegileg megegyezik Epsteinével. Azonban továbbfejlesztve ezt a nézetet azt vélik, hogy a növény légzése vezető szerepet tölt be a vakuolán belüli ionfelhalmozódás során.

Vitán felül áll, hogy a kationfelvétel egyik legfontosabb útja az, hogy ezek kicserélődnek a gyökér légzése során kiválasztódó hidrogén ionnal akkor, amikor a szénsav elektrolitosan disszociálódik.

Szabinyin még 1935-ben leközölt egy cikket, amelyben kimutatta, hogy a hidrogénionok növelik a növényi gyökerek anionfelvételét, a nagyobb hidroxilion koncentráció pedig a kationfelvételt segíti elő [45].

Nielsen és Overstreet [34] szintén kimutatta, hogy alacsony pH esetben kisebb a káliumfelvétel az oldatból, mint semleges értéknél. Például 0,001 n KBr oldatból pH = 4 esetén csak 20% káliumot vettek fel a növények, ha a pH = 6-nál végbemenő felvételt 100%-nak vesszük. A hidrogén ionok koncentrációja és a káliumfelvétel közötti ilyen összefüggést az magyarázhatja, hogy csökken a légzés során a gyökérből kiválasztott termékekben a hidrogén ionok disszociációja.

Grütz [16] az oxálsavnak a növények belüli keletkezésével és felhalmozódásával foglalkozó szakirodalom áttekintése során arra a következtetésre jutott, hogy ez a sav akkor keletkezik a szövetekben, ha nem kielégítő a növény szerves tápanyag ellátottsága.

Dehay és Carre [9] 15 különböző növénycsírával végzett kísérlete során kimutatta, hogy növekszik a savas természetű gyökérváladék mennyisége tápanyaghiány esetén. Minden növényi gyökérváladékban főképpen szénsavat, citromsavat és aszparaginsavat találtak.

Burström [2] levágott búzagyökerekkel végzett kísérletei során megállapította, hogy a gyökérnedvben levő szerves savak között a maleinsav van túlsúlyban, és a citromsav mennyisége nem több, mint az összesavtartalom 10%-a. Kimutatta, hogy bőséges ionfelvétel esetén csökken a növényekben a maleinsav mennyisége. Kationfelvétel során viszont növekedett a gyökerek maleinsav tartalma.

Mint majd a következőkben látható lesz, a saját kísérleteinkben mi szintén nagy mennyiségű hidrogén ion kiválasztódást tapasztaltunk. Kiderült azonban, hogy a hidrogén ion felhalmozódás nem a gyökérzet funkciója, hanem a közegben levő olyan anyagok következménye, amelyek képesek a hidrogén iont az oldatból adszorbeálni.

A kísérlet beállításának módszere

Adszorbenseként szovjet gyártmányú szintetikus ionkieserőloket — anionitot és kationitot — használtunk fel. Az ionitokat speciális csövekben a megfelelő tápoldatokkal, állandó áramban telítettük.

A kationitot káliummal, kalciummal és vassal telítettük, 2—3%-os $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$, KCl , MgSO_4 és FeCl_3 oldatok segítségével. Az anionitot ugyancsak 2—3%-os kalciumnitrát és monokalciumfoszfát oldatokból nitráttal és foszfáttal telítettük.

A telítés befejezése után az ionitokból desztillált vízzel mostuk ki a sófölösleget, a kimosás tökéletes voltát minőségi reakciókkal ellenőriztük. Mindegyik ionit átlag mintájából meghatároztuk az adszorbeált ionokat.

A kísérleteket izolált homokkultúrákban végeztük el és szétválasztottuk a gyökérzetét a két edényrész között. A kísérlethez sósavval, majd csapvízzel és végül desztillált vízzel mosott kvarchomokot használtunk.

Mindegyik kísérletben a Hellriegel I. keveréket használtuk kiindulási anyagként. Ott, ahol a kísérleti vázlat szerint ki kellett cserélni valamelyik sót, akkor azt a műveletet az általában használatos módszerek szerint hajtottuk végre.

1. Kísérlet zabbal

A kísérletet izolált homokkultúrákban S u l o v [43] módszere szerint abból a célból állítottuk be, hogy tanulmányozzuk több adszorbeált ion együttes alkalmazásának hatását az egyes ionok felvehetőségére. A kísérletben a kezelése az adszorbeált ionokat növekvő mennyiségben tartalmazták és minden elemből csak adszorbeált forma volt jelen.

A vázlat szerint hiányzó ionokat a szomszédos edénybe adagoltuk sóalakba oly módon, hogy a nagy sóadagokat a nagyobb edénybe helyeztük. A sóadagokat és az adszorbeált ionokat a Hellriegel I. keverék alapján számítottuk ki. Kísérleti növényként „Dippe” fajtájú, 1957-es termésű, a Timirjazev Mezőgazdasági Akadémia Növénynevelési állomásáról származó zabfajtát használtunk fel.

A belső edénybe 220, a külsőben pedig 750 g homok fért be. A zabot augusztus 12-én vetettük el, 5 nap múlva dróthálón 3 literes vízvezetéki vízzel telített henger fölé helyeztük. Mindegyik dugóba 3 növényt raktunk. Mindegyik belső edénybe 2 dugót helyeztünk. A növények átültetését augusztus 26-án végeztük el.

Az ionitokat a nem sugárzó, stabil izotópokkal való telítés után radioaktív Ca^{45} izotóppal telítettük.

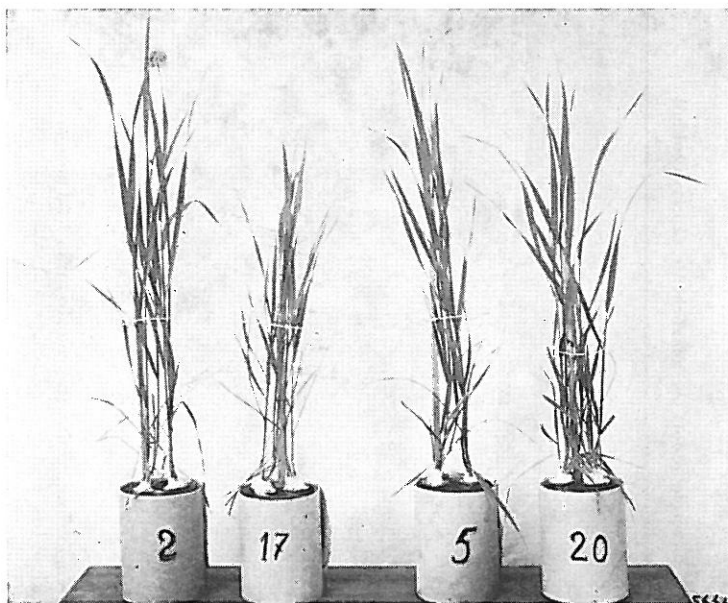
A radioaktív izotópok felesleges mennyiségét nem mostuk ki, mivel ennek abszolút mennyisége igen jelentéktelen.

A radioaktív izotópokat a következő mennyiségben használtuk: a sóalakú kalciumot tartalmazó kezelésekben 16,44-t, az adszorbeált kalciumot tartalmazó kezelésekben pedig 18,06.

A kísérletnek mindazon kezeléseiben, ahol adszorbeált kalciumot alkalmaztunk, a radioaktív izotóp hordozó mennyisége a Hellriegel norma 0,03%-a volt. Amikor az egyik edénybe olyan tápanyag keveréket adtunk, amely a teljes mennyiségű kalciumot só vagy adszorbeált alakban tartalmazta, akkor a szomszédos edénybe is adtunk Ca -t, mégpedig a teljes adag 1/50-ed részét.

klorid alakban. Erre azért volt szükség, mert Peterburgszkij régebbi munkáiban kimutatta, hogy a gyökerek normális növekedéséhez legalább egy kevés kalcium nélkülözhetetlen, különösképpen akkor, ha az izolált tenyészedények módszerét használjuk. A kísérlet vázlata és eredménye az 1. táblázatban látható.

A kísérleti adatok azt mutatják (a kísérletet november 10-én, a bughányás idején takarítottuk be), hogy a zab ugyanolyan jól növekedett az adszorbeált foszforral, illetve foszforral és kalciummal való ellátás esetén, mint amikor oldható sók alakjában adagoltuk ezeket az elemeket (1. ábra).



1. ábra

Izolált homokkultúra zabbal. A belső edényekben az alábbi ionok, illetve sók vannak izolálva: 2. sz. H_2PO_4 -ionit. 17. sz. NaH_2PO_4 -só. 5. sz. $\text{Ca} + \text{H}_2\text{PO}_4$ -ionit. 20. sz. $\text{CaCl}_2 + \text{NaH}_2\text{PO}_4$ -sók

Amikor az adszorbeált Ca és H_2PO_4 ionokhoz a nitrát iont szintén adszorbeált állapotban adagoltuk, akkor ez nagymértékben csökkentette a földfeletti rész terméshozamát.

Az 1. táblázat adatai igazolják, hogy a zab a növekedéséhez fel tudja használni az ionkieserélő műgyantákon adszorbeált tápanyagokat. Azonban ezek kihasználási foka különböző. Ennek egyrészt az az oka, hogy az adszorbensek az egyes ionokat eltérő módon kötik meg, másrészt pedig az, hogy a növények alkalmazkodtak ahhoz, hogy adszorbeált alakból csak meghatározott onokat vegyenek fel.

A zab különböző ionfelvételének jellemzésére meghatároztuk a termés inotrogén, foszfor és kalciumtartalmát.

A nitrogént a mikro-Kjeldahl, a foszfort a Denige módszerrel, a kalciumot pedig radiometrikus számlálással határoztuk meg a mintákban. A min-

1. táblázat
A zab tápanyagfelvétele oldott és adszorbeált tápanyagokból

Sor- szám	(1) Kísérleti kezelések		(2) Légszáraz növények súlya	(3) A természetben levő tápanyag mg/edény			(4) Az edényenként adott tápanyag mg/edény			(5) A zab tápanyag hasznosítása %		
	Alapedény	Szomszédos edény	g/edény	N	P ₂ O ₅	Ca imp/perc/ edény	N	P ₂ O ₅	Ca imp/perc/ edény	N	P ₂ O ₅	Ca
1.	H ₂ PO ₄ ionit + 1/50 CaCl ₂	Az összes többi elem Hellriegel tápoldatban + 1/50 CaCl ₂	2,39* ± 0,12	53,7	17,7	—	120,2	77	—	44	23	—
2.	H ₂ PO ₄ -ionit + Ca ⁺ -ionit		2,34 ± 0,2	58,0	21,4	90 400	90,6	77	666 000	64	27,5	13,6
3.	H ₂ PO ₄ -ionit + Ca ⁺ -ionit + NO ₃ -ionit		0,62 ± 0,08	10,2	4,94	85 800	84,5	77	666 000	12,1	6,4	12,6
6.	NaH ₂ PO ₄ -sókakban + + 1/50 CaCl ₂	—	1,95* ± 0,03	55,7	11,8	—	120,2	57,3	—	45,6	20,6	—
7.	NaH ₂ PO ₄ + CaCl ₂ -só- alakban	+ 1/50 CaCl ₂	2,34 ± 0,06	53,8	25,6	90 930	90,6	57,3	606 000	59,5	44,6	15,0
8.	NaH ₂ PO ₄ + Ca(NO ₃) ₂ - sókakban	+ 1/50 CaCl ₂	1,52* ± 0,2	36,9	28,2	107 200	120,2	57,3	606 000	30,2	49,2	17,7

A Ca⁴⁵-el feltöltött ionittal 3 mg oldható Ca-t is adagoltunk, ami a Hellriegel-norma 1/33-ad része.

A természetben levő tápanyagok kiszámításánál kivontuk a mag tápanyagtartalmát.

* Kétszeres ismételtes.

ták számlálását, speciális standardizált üvegszészékben végeztük el. A száraz mintát perklórsav és kénsav keverékével roncsoltuk el, majd a nedves hamvasztás után a bemért mennyiségű oldatból 2 ml-t vettünk ki az üvegszészébe. Ezt a 2 ml oldatot elektromos melegítőn bepároltuk és kiizzítottuk. Az edény alján visszamaradt sóhártya tartalmazta a radioaktív kalciumot, amelynek mennyiségét a B-2 típusú számlálón mértük meg. A számítások szerint az analízisre így módon 2—3,5 mg növényi anyagot vettünk, amelynek hamutartalma 2,5 cm² csészefelületen oszlott el. Mivel ennek a rétegnek vastagsága igen csekély, ezért az önadszorpciót nem vettük számításba. A végső kiszámításnál figyelembe vettük az izotóp természetes felhomlását is. A beütés számot egy tenyész-edényre számítottuk át.

Az analízis eredménye azt mutatja, hogy a zab az adszorbeált és oldott állapotú foszfort egyformán vette fel. Az adszorbeált kalcium felvétele is lényegileg azonos volt a sóoldatból történő felvétel mértékével; adszorbeált alakból 90 400 beütés/edény értékét kaptunk, míg sóoldatból 90 930 beütés/edényt. Ez annyit jelent, hogy az adszorbeált alakban adagolt kalciumnak 13,6%-át vették fel a növények, míg az oldott alakból 15%-ot hasznosítottak. Az adszorbeált nitrát nitrogénből edényenként 10,2 mg-t vettek fel a növények, míg a másik kezelésnél a NO₃ oldatból 37 mg-t.

Ebből a kísérlethől a következő lényeges megállapításokat szűrhattuk le:

a) Az adszorbeált alakban levő tápanyagokat a zabnövény felveszi.

b) Az adszorbeált foszfor és a kalcium felvétel mértéke megközelítőleg akkora, mint az oldatból való felvétel.

c) Az adszorbeált nitrát ion felvétele igen csekély mértékben megy végbe. Részben ezt az magyarázza, hogy a növények alkalmazkodtak ahhoz, hogy ezt az iont csak az oldatokból vegyék fel, másrészt pedig az olyan erősen oxidáló ion, mint a NO₃, a telítés esetén elbonthatja az adszorbenst, melynek bomlástermékei kedvezőtlenek lehetnek a növényre.

2. Rizsszel és búzával végzett kísérlet. (Izolált homokkultúrák.)

Jenny és Cowan [24] elsőként bizonyították be, hogy a szója csíra gyökerei, amikor adszorbeált kalciumot vettek fel, mintegy egyenértékűnyi hidrogén iont választottak ki. Azt a célt tűztük magunk elé, hogy ezt a folyamatot abban az esetben vizsgáljuk, amikor a növény minden iont adszorbeált állapotból vett fel különböző nedvességi viszonyok esetén. Ezért kísérletet állítottunk be izolált homokkultúrákban, ahol a növények gyökereit két részre osztottuk a Fjodorovszkij típusú edényekben.

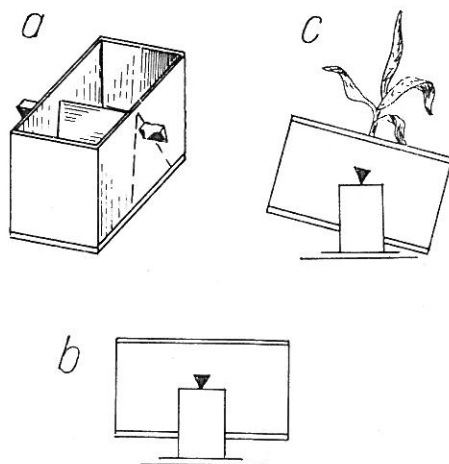
A Fjodorovszkij [11] típusú edények alkalmasak arra, hogy izolált növénytáplálkozási kísérleteket hajtsunk végre. Ennek az edénynek a lényeges előnye abban áll, hogy lehetőséget ad a nedvességszabályozásra és az edény mindkét feléből megállapítható a vízfelhasználás.

Az edény egy téglalap alakú láda, amelyet egy ék alakú válaszfal oszt ketté, amely a felső perem alatt 2 cm-el végződik. Erre a válaszfalra ültetjük el a növényeket és itt választjuk szét a gyökérzetet 2 részre. A válaszfalon belül és az edény falán keresztül nyúlik el a háromszögletű vasrúdból készült tengely, amely a mérésre szolgál. Ha felfüggesztjük az edényt erre a tengelyre, akkor az himbálózhat. Kitéráláskor és az edény megtöltésekor nagyon ügyelni kell az egyensúlyi viszonyok betartására. Mivel az egyensúly megbomlását az

egyik részben beállított nedvességváltozás okozhatja, ezért a felhasznált vízmennyiség pontosan megállapítható.

Mindegyik tápelemet akár sóalakban, akár ionkicserélőkön adszorbeálva az edény egyik részébe helyeztük, a második részt tiszta átmosott homokkal töltöttük meg, amely ily módon a növény számára könnyen felvehető víz tárolását biztosította. A „tápanyagos” edényrészben a nedvességet a kísérleti vázlat szerint állítottuk be, míg a „tiszta” edényrészben a nedvességet állandóan a homok vízkapacitásának 60%-os értékén tartottuk, amely súlyszázalékban 15%-ot jelent.

A kísérlet vázlata a 2. táblázatba látható.



2. ábra

Fjodorovszkij típusú lebegő tenyészedény: a) az edény külső képe, b) az edény kiegyensúlyozása a tartó tengelyen a kísérlet előtt, c) ha az edényrészekből a vízfelhasználás nem egyenletes, akkor az egyensúly felbomlik

A tápanyag mennyiséget Hellriegel I. keverék alapján számítottuk ki, de a $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ -t $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ -re és CaCl_2 -ra cseréltük ki. A monokáliumfoszfát helyett mono- és dikáliumfoszfát keverékeket alkalmaztunk.

A tápanyagokat az N, P_2O_5 és K_2O kivételével 2 kg homokra számítva adagoltuk, míg a foszfort, káliumot és nitrogént 4 kg homokra. Az egész edénybe 4 kg homokot helyeztünk, mindegyik felébe 2—2 kg-ot.

A növényeket — 10 napos perzsi búza (*Triticum persicum*), illetve 15 napos rizscsíránövényeket (*Oryza sativa* L. subsp. communis Gust.) — július 20—22-én ültettük át.

Minden egyes edényt 3 napig egyformán a vízkapacitás 60%-áig öntöttük. Majd 7 nap leforgása alatt a nedvességet a vázlatnak megfelelően állítottuk be.

Mindegyik edénybe 10 rizshajtást és 15 búzahajtást hagytunk meg. Mindkét növény az összes kezelésnél adszorbeált tápanyagellátottság esetén jobban növekedett, mint oldat alakban való táplálkozás során.

A 3. ábrán ez a két kezelés esetében is látható. A növényeket augusztus 8—9-én (a búza kalászoslási időszakában) vágtuk le.

2. táblázat

Kísérleti vázlat az izolált homokkultúrákban

Sor- szám	(1) Kezelés	(2)	(3)
		Ez edény táp- anyagot tartal- mazó részében	A „tisztá” edény- részben
		nedvesség a teljes vízkapacitás %-ában	
1.	Összes tápanyag ioniton adszorbeálva	80	60
2.	” ” ” ”	60	60
3.	” ” ” ”	40	60
4.	” ” ” ”	20	60
5.	Összes tápanyag oldható sók alakjában	80	60
6.	” ” ” ” ”	60	60
7.	” ” ” ” ”	40	60
8.	” ” ” ” ”	20	60

A növények levágása után a homokot 1 n BaCl₂ oldattal mostuk át és a szüredéket 0,03 n NaOH-val titráltuk meg fenolftalein jelenlétében. A savanyúság értékét mg egyenérték/edényre számítottuk át (3. táblázat).

Figyelemre méltó az a tény, hogy az ionitos kezelés esetén majdnem kizárólag csak a „tápanyagos” edényben választódott ki hidrogén. A hidrogén mennyisége nem tükrözte a nedvesség változását és nem volt az ionitos, tápanyaggal ellátott edényrészben a gyökérszét súlyának függvénye.

Az ionitos kezeléseket esetén a „tisztá” edényrészek elsavanyodása a „tápanyagos” edényrész nedvességi fokának emelkedésével lassú ütemben növeke-

3. táblázat

A rizs és a búza súly, ill. a gyökereik által kiválasztott hidrogén ion mennyisége

(1)	(2)		(3)		(4)		(5)	
Nedvesség a tápanyagos edényrészben a vízkapacitás %-ában	Földfeletti rész szárazanyag súlya		Gyökérszét szárazanyag súlya (rizs + búza)		Az edénybe kiválasztott H mg e.é. (rizs + búza)		Felhasznált víz mennyisége g/edény (rizs + búza)	
	g/edény							
	a) rizs	b) búza	c) tiszta	d) tápanyagos	c) tiszta	d) tápanyagos	c) tiszta	d) tápanyagos
edényrészben								

I. A tápanyagok adszorbeált alakban

20	1,81	2,04	1,79	0,35	0,76	6,68	3820	0
40	2,25	1,98	1,58	0,48	0,70	4,74	3290	1410
60	2,29	2,10	1,19	0,32	1,21	5,33	2150	2390
80	2,63	2,23	1,29	0,28	1,81	6,02	1470	3400

II. A tápanyagok sók alakjában

20	1,19	1,73	1,04	0,27	0,61	8,00	2390	40
40	1,50	2,06	1,50	0,42	1,08	7,15	2550	590
60	1,25	0,90	0,71	0,38	4,39	5,00	1120	2430
80	1,33	1,31	0,72	0,31	5,88	4,88	525	3630

dett 0,7—1,8 mgeé H/edény értékig, ugyanakkor a tápanyagos edényrészben 6—7 mgeé H/edényt találtunk.

A sók alakjában adagolt tápanyagos kezelésnél kis nedvesség tartalomnál (a homok vízkapacitásának 20—40%-án) a „tisztá” edényrészek megsavanyodása 1—1,3 mgeé H/edény értéket ér el, a „tápanyagos” edényrészben pedig 7—8 mgeé-t. Amikor a „tápanyagos” edényrész több nedvességet tartalmaz (60—80%) a savanyúság erősen megnő és a „tisztá” edényrészekben



3. ábra

Izolált homokkultúrák rizsszel és búzával. 11—12: 20%-os nedvesség a tápanyagos edényrészben — só oldatból való tápanyagfelvétel. 65—66: 20%-os nedvesség a tápanyagos edényrészből — adszorbeált állapotból való tápanyagfelvétel. 21—22: 40%-os nedvesség a tápanyagos edényrészben — só oldatból való tápanyagfelvétel. 75—76: 40%-os nedvesség a tápanyagos edényrészben — adszorbeált állapotból való tápanyag felvétel

is eléri a 4—6 mgeé értéket. Egyidejűleg némileg csökken a „tápanyagos” edényrészek savanyúsága (5 mgeé).

Az a véleményünk, hogy az ionkicserélőn adszorbeált tápanyagok esetében azért nem savanyodtak el a „tisztá” edényrészek erősebben, mert a „tápanyagos” edényrészben hidrogén akceptor volt jelen, amely elősegítette a hidrogén kiválasztódását, míg a „tisztá” edényrészben ilyen nem volt.

A sók alakjában adagolt tápanyagos kezelésnél mindkét edényrész savanyodása körülbelül azonos volt, amikor a „tápanyagos” edényrészt a vízkapacitás 60—80%-áig nedvesítettük.

E jelenséget azzal magyarázzuk, hogy az edény mindkét felében hiányzik a hidrogén akceptor, azért a növények körülbelül egyenletesen savanyítják meg mindkét edényrészt.

A kis nedvességtartalmú tápsós edényrészekben — bár szintén nem tartalmaznak hidrogén akceptort — jóval több H-t találtunk, mint a „tisztá”

(és nedvesebb!) részekben. Ez azzal magyarázható, hogy a gyökerek vizet csoportosítanak át innen a „tápanyagos” edényrészbe. A vízárammal együtt a kiválasztódott hidrogén is átvándorol.

Ezt a feltételezést a „tápanyagos” és „tisztá” edényrészek vízfelhasználási adatai is alátámasztják. A 3. táblázat adataiból látható, hogy ha az ionitos és sóoldatos kezelések „tápanyagos” edényrészben a nedvesség kisebb, mint a vízkapacitás 50%-a, akkor a párolgásra felhasznált vizet a növény azzal fedezi, hogy a „tisztá” edényrészből vizet csoportosít át.

E kísérlet eredményeképpen a következő előzetes következtetéseket vonhatjuk le:

1. Azokban a kezeléseknél, ahol a tápanyagokat ionkicsérélő műgyantákon adszorbeálva adagoltuk és a „tápanyagos” edényrészek nedvessége változó volt, a „tisztá” edényrészeké pedig azonos, ott a földfeletti rész szárazanyag súlya 3,8 g-ról (20% nedvesség) 4,8 g-ra emelkedett (80% nedvesség).
2. A „tápanyagos” edényrészek vízfelhasználását kis nedvesség tartalom esetében a növény azzal fedezi, hogy gyökérzetével vizet szállít át az edény „tisztá” és nedvesebb részéből a tápanyagos edényrészbe.
3. Ha a „tápanyagos” edényrészekben hidrogén akceptor (szorbens) van jelen, akkor jelentős potenciális savanyodás megy végbe, azonban a vizes kivonat pH-ja nem változik e kísérlet során.
4. A „tisztá” edényrészekbe kiválasztott hidrogén mennyisége azonban jelentéktelen mértékben változik meg akkor is, ha a „tápanyagos” rész nedvessége növekszik. Amikor azonos nedvességi viszonyokat hoztunk létre, az ionitos kezelésnél az edény mindkét oldalán, akkor sem változott meg lényegesen a „tisztá” edényrész savanyodása.
5. Az ionitos edényrészbe kiválasztott hidrogén mennyisége fordított arányban állott az edényben levő gyökértömeggel. Meg kell azonban jegyezni, hogy a kiválasztott hidrogén mennyisége nem a gyökérzet súlyának és térfogatának, hanem inkább azon szubsztrátum adszorpciós kapacitásának függvénye, amelyben növekszik a gyökérrendszer.
6. Amikor a búza és rizs a tápanyagokat oldott sókból vette fel, nem találtunk egyértelmű összefüggést a szárazanyag felhalmozódás és a „tápanyagos” edényrészek nedvessége között.
7. A tápanyag sókkal ellátott („tápanyagos”) edényrészekben a kiválasztódott hidrogén mennyisége 5—8 mgé/edény volt.
8. Amikor a „tápanyagos” edényrész kevés nedvességet tartalmazott, a „tisztá” edényrész pedig a vízkapacitás 60%-át, akkor hidrogén kiválasztódást csak a „tápanyagos” edényrészeknél találtunk.
9. A „tápanyagos” edényrészek nedvességének növekedésekor egyúttal növekedett a „tisztá” edényrészek savanyodása is.
10. A „tisztá” edényrészek akkor savanyodtak el a leginkább, amikor a vízvándorlás iránya megváltozott (a „tápanyagosokból” a „tisztákba”).
11. A bemutatott adatok alapján leszűrhetjük, hogy a növények hidrogénion kiválasztása nemcsak a szubsztrátum kicserélhető adszorpciós kapacitásával van szoros összeköttetésben, hanem a gyökerek vízkiválasztási irányával is.
12. Kísérleteink során a növényi gyökerek vízkiválasztását mesterséges úton váltottuk ki, de logikus feltételezni, hogy ez előfordul természetes viszonyok között is (erre mutat Breazeale, Csizsov és mások munkája is).

Ily módon a hidrogén ionok kiválasztását és az egy növény gyökerei közötti vízszállítást, valamint e folyamatok összefüggését a növényi gyökérrendszernek a közegre gyakorolt hatásai közül az egyik legfontosabb mechanizmusnak tartjuk.

A termés kémiai analízisének adatait külön közleményben ismertetjük.

Összefoglalás

A szilárd fázistól és az oldatból történő tápanyagfelvétel tanulmányozására ún. izolált homokkultúrákkal végeztünk kísérleteket. A növények gyökereit ketté osztva részben adszorbeált tápanyagokat tartalmazó ionkicsérelő gyantákon, részben pedig desztillált vizet, ill. különböző összetételű tápoldatokat tartalmazó kvarchomokban neveltük fel a kísérleti növényeket.

A kísérletekből az alábbi következtetések vonhatók le:

1. Az ionkicsérelőkön adszorbeált és az oldott állapotban levő foszfor és kalcium felvétel mértéke megközelítően azonos, az adszorbeált NO_3 -t azonban csak kis mértékben vették fel a növények.

2. Ha a gyökerek egyik részét tápanyagos, a másik részét pedig csak desztillált vizes („tisztá”) homokkultúrákban tartjuk, s a tápanyagos edények nedvességtartalma kicsi, a növények képesek gyökérzetükkel vizet átcsoportosítani a „tisztá” edényből a tápanyagosba.

3. Ha a „tápanyagos” edények hidrogén acceptort tartalmaznak, úgy az jelentősen elsavanyodik, míg a vizes kivonat pH-ja nem változik lényegesen a kísérlet során. A gyökerek által kiválasztott hidrogén mennyisége nem a gyökérzet súlyával, hanem a közeg adszorpciós kapacitásával áll összefüggésben.

4. Fenti összefüggést a vízvándorlás iránya is befolyásolja. Ily módon a hidrogénionok kiválasztását és az egy növény gyökerei közötti vízátcsoportosítást, valamint e folyamatok összefüggését a növényeknek a közegre gyakorolt hatásai közül az egyik legfontosabb mechanizmusnak tartjuk.

Érkezett: 1690. július 1.

Irodalom

- [1] Breazeale, J.: Univ. Arizona Exp. Sta. Techn. Bull. No. 021. 1930.
- [2] Burström, H.: Mineral Nutrition of Plants. (Editor: E. Truog.) Univ. Wisconsin. 1951.
- [3] Busnell, J.: Exploratory study of the rate of oxygen consumption by potato roots. Amer. Potato J. **33**. 203—210. 1956.
- [4] Bürrer, T. & Rose, M.: Fiziceszkije uszlovija i roszet rasztenij. Izd. Inosztr. Lit. Moszkva. 1955.
- [5] Comber, N.: J. Agric. Sci. **12**. 363. 1922.
- [6] Csirikov, F. V.: Uszvoenie raszteniami pocsvennih foszfatov. Dokl. AN SSSR. **17**. No. 3. 1937.
- [7] Csizsov, B. A.: K voproszu ob iszpolzovanii pitatelnih veschestv iz szuhaj pocsvi. Izv. AN SSSR. Szer. Biol. No. 4. 1940.
- [8] Dale, J. E. & Sutcliffe, J. F.: Inhibition of salt absorption in red beet root tissue. Nature **177**. 192—193. 1956.
- [9] Dehay, C. & Carre, M.: Etude de la composition de quelques excretions radicellaires. C. R. Acad. Sci. **244**. 230—233. 1957.
- [10] Epstein, E.: Passive permeation and active transport of ions in plant roots. Plant Physiol. **30**. 529—535. 1955.

- [11] *Fjodorovszkij, D. V.*: Novij tip szoszudov dlja vegetacionnih opitov po metodu izolirovannogo pitania. Fiziol. Raszt. **3**. 20—23. 1956.
- [12] *Fudziwara, I.*: A kálium mint tápanyag vizsgálata és hatása a biokémiai folyamatra. (Japán nyelven.) J. Sci. Soil and Manure **27**. 100—104. 1956.
- [13] *Gedroic, K. K.*: Izbrannoje szocsinenija. Szelyhozgiz. Moszkva 1955.
- [14] *Geller, I. A. & Tabenckij, B. A.*: Kornyevice vigyelenija i pitanie rasztenij. Dokl. AN SSSR. **115**. 389—391. 1957.
- [15] *Gracanin, M.*: O elektivnoj sporonoszti biljaka. Veterinaria. **4**. 621—627. 1955.
- [16] *Grütz, W.*: Beziehungen zwischen Nährstoffversorgung und Oxalsäurebildung in der Pflanze. Landw. Forsch. **7**. 121—135. 1956.
- [17] *Guminski, K.*: Postepi biochemii. **4**. No. 3. 1958.
- [18] *Handley, R. & Overstreet, R.*: Respiration and salt absorption by excised barley roots. Plant Physiol. **30**. 418—426. 1955.
- [19] *Heller, R.*: Absorption et migration du phosphore dans les fragments de racines de carotte cultivés in vitro. Rev. Gén. Bot. **63**. 105—124. 1956.
- [20] *Helmi, A. & Elgaboly, M.*: Intern. Bodenkundl. Ges. **2**. 174—178. 1958.
- [21] *Hope, A. B. & Robertson, R. N.*: Initial absorption of ions by plant tissue. Nature **177**. 43—44. 1956.
- [22] *Hunter, A. & Kelley, O.*: Plant Physiol. **21**. No. 4. 1946.
- [23] *Jenny, H.*: Mineral Nutrition of Plants. (Editor: E. Truog.) Univ. Wisconsin. 1951.
- [24] *Jenny, H. & Cowan, E. W.*: Über die Bedeutung der im Boden adsorbierten Kationen für das Pflanzenwachstum. Z. Pflernähr. Düng. **31**. 57—67. 1933.
- [25] *Kolosov, I. I.*: Izucsenie processzov adszorbeii elektrolitov kornyevimi szisztemami. Trudi VIUAA. Vip. 8. 1935.
- [26] *Kolosov, I. I.*: O roli fiziko-himiceszkij processzov v posztuplenii vscsesztv v rasztenia. Veszt. sz/h nauki „Agrotehnika” No. 2. 1940.
- [27] *Kolosov, I. I.*: Vlijanie kationov na pogloscsenia kiszlih kraszok i anionov mineralnih szolej kornyami rasztenij. Tr. Inszt. Fiziol. Raszt. im Timirjazeva **6**. (1) 1948.
- [28] *Komai, Y. & Noda, M.*: Tanulmányok a kationoknak a növény magnézium felvételére gyakorolt hatásáról. (Japán nyelven.) J. Sci. Soil and Manure **28**. 279—282. 1957.
- [29] *Korickaja, T. D.*: Iszpolzovanie kornyami rasztenij pitatelnih vscsesztv iz szuhoj pocsvi. Pocsvovedenie (4) 1939.
- [30] *Koszticsev, Sz. P.*: Fiziologia Rasztenij. Szelyhozgiz. Moszkva 1933.
- [31] *McLean, E. O.*: Nitrogen influences intake of other nutrients by plants. Better Crops **39**. 40—41. 1955.
- [32] *McLean, E. O., Adams, D., Franklin, R. E. J.*: Cation exchange capacities of plant roots as related to their nitrogen contents. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **20**. 345—347. 1956.
- [33] *Macui, Sz.*: Udobrenie i melioracia orosenih riszovih pocsv. Izd. Inoszt. Lit. Moszkva. 1960.
- [34] *Nielsen, T. R. & Overstreet, R.*: A study of the role of the hydrogen ion in the mechanism of potassium absorption by excised barley roots. Plant Physiol. **30**. 303—309. 1955.
- [35] *Norris, W. E. J.*: Gas exchange in relation to nitrogen and phosphorus distribution in the anion root tip. Bot. Gaz. **117**. 223—231. 1956.
- [36] *Pavlovski, G.*: Incercari experimentale pentru cunoastelea conditiilor de repartizare a potasiului intre sol si planta. Ann. Inst. Cercetari Agron. **22**. 649—652. 1952—1953.
- [37] *Peterburgszkij, A. V.*: Ob uszvoenii rasztenijami kalia i drugih ionov iz adszorbirovannogo szosztojanja. Izd. TSZHA. Moszkva. 1953.
- [38] *Peterburgszkij, A. V.*: O dosztupnoszti rasztenijam pitatelnih vscsesztv iz adszorbentov. Pamjati ak. Prjanisnikova D. N. Izd. AN SSSR. Moszkva. 1957.
- [39] *Peterburgszkij, A. V.*: Obmennoje pogloscsenie v pocsve i uszvoenie rasztenijami pitatelnih vscsesztv. Izd. Viszsaja Skola. Moszkva. 1959.
- [40] *Ratner, E. I.*: Mineralnoje pitanie rasztenij i poglotitelnaja szposzobnoszt pocsv. Izd. AN SSSR. Moszkva. 1950.
- [41] *Russel, R. S. & Shorrocks, V. M.*: The effect of transpiration on the absorption of inorganic ions by intact plants. Radioisotopes. Scient. Res. **4**. 286—303. 1958.
- [42] *Smith, R. L. & Wallace, A.*: Cation-exchange capacity of roots and its relation to calcium and potassium content of plants. Soil Sci. **81**. 97—109. 1956.

- [43] *Sulov, I. Sz.*: Iszledovania v oblaszti fiziologii pitania viszsizh rasztenij. Moszkva, 1913.
- [44] *Sutcliffe, J. F.*: The selective uptake of alkali cations by red beet root tissue. *Exptl. Bot.* **8**, 36—49, 1957.
- [45] *Szabinyin, D. A.*: Fiziologiceszkije osnovi pitania rasztenij. Izd. AN SSSR, Moszkva, 1955.
- [46] *Szmirnov, P. M.*: Uszvoenie rasztenijami foszfora v zaviszimoszti ot vlaznoszti pocsvi. *Izv. TSZHA* **4**, 1958.
- [47] *Timirjazev, K. A.*: Izbrannoje szocsinenia. Szelyhozgiz, Moszkva, 1948.
- [48] *Trubeckova, O. M.*: Vlijanie koncentrirovannogo naruznogo rasztvora na posztuplenie mineralnih vesesztv v rasztenia. *Izv. Biol. Inszt. Permszkogo Univ.* **5**, (6) 1927.
- [49] *Trubeckova, O. M.* et al.: Szutoesnij ritm podaesi kalia kornyevoj szisztemoj v nadzemnie organi. *Fiziol. Raszt.* **6**, 129-137 1959.
- [50] *Wilkinson, J.*: Some aspects of phosphate nutrition in the root system of broad bean. *J. Exp. Bot.* **7**, 290—295, 1957.

О ВЫДЕЛЕНИИ ИОНОВ ВОДОРОДА КОРНЯМИ РАСТЕНИЙ ПРИ УСВОЕНИИ ПИТАТЕЛЬНЫХ ВЕЩЕСТВ

А. В. Петербургский и Г. А. Тарабрин

Кафедра агрономической и биологической химии Московской Ордена Ленина Сельскохозяйственной Академии им. К. А. Тимирязева и Всесоюзный Научно-Исследовательский Институт Удобрений и Агропочвоведения им. К. К. Гедройца, Москва

Резюме

Авторы проводили опыты при помощи изолированных культур для изучения поглощения питательных веществ из твердой и жидкой среды. Корни растений были разделены на 2 пряди; первая прядь получает питательные элементы в адсорбированной на ионитах форме, а другая прядь соприкоснулась с дистиллированной водой или кварцевым песком, содержащим питательные вещества в растворенной форме и в различных соотношениях.

Из опытов можно сделать следующие выводы:

1. Поглощение фосфора и кальция из адсорбированного или растворенного состояния проходило в одинаковой мере, но адсорбированный NO_3 был мало доступным для растений.

2. Если одна прядь корней находится в «питательной» половине сосуда, а другая прядь в «чистой» половине (с дист. водой), и содержание влажности в «питательной» половине низкое, тогда растения перераспределяют воду из «чистых» половин в «питательные».

3. Если «питательные» половины содержат акцептор водорода, тогда эта часть сосуда значительно закисляется, а pH — водной вытяжки не изменяется значительно в ходе опыта. Количество водорода, выделенного корнями пропорционально емкости адсорбции среды и непропорционально весу корней.

4. Направление выделения воды корнями влияет на процесс выделения ионов водорода. Таким образом процесс выделения ионов водорода и процесс перераспределения воды между различными корнями одного растения, а также их взаимную связь, следует рассматривать как один из важнейших механизмов воздействия корневой системы растений на субстрат.

Табл. 1. Поступление питательных веществ в овес из растворимого и обменно-поглощенного состояния. (1) Варианты опыта, основной сосуд и смежный сосуд. (2) Средний сухой вес гр/сосуд (3) Количества питательных веществ, извлеченные урожаем в мг/сосуд. (4) Количества питательных веществ, внесенные в мг/сосуд. (5) % извлечения овсом.

Табл. 2. Схема опыта в изолированных песчаных культурах. (1) Варианты опыта. (2) Влажность питательной половины сосуда. (3) Влажность чистой половины сосуда % от полной влагоемкости. (1—4: Все питание на адсорбентах, 5—8: Все питание в форме солей).

Табл. 3. Вес риса и пшеницы и выделение ими ионов водорода через корни. I Все питательные ионы в поглощенном состоянии, II все питательные ионы в виде солей. (1)

Влажность питательной половины в % от полной влагоемкости песка. (2) Сухой вес надземной массы в гр/сосуд. (3) Сухой вес корней в гр/сосуд. (4) Выделено H^+ м-экв/сосуд. (5) Израсходовано воды в гр/сосуд. а — рис., в — пшеница, с — чистая половина, d — питательная половина.

Рис. 1. Изолированные песчаные культуры с овсом. 2 — H_2PO_4 — ионит — изолирован во внутреннем сосуде, 17 — NaH_2PO_4 — соль — изолирована во внутреннем сосуде. 5 — $Ca + H_2PO_4$ — ионит — изолирован во внутреннем сосуде. 20 — $CaCl_2 + NaH_2PO_4$ — соли — изолированы во внутреннем сосуде.

Рис. 2. Качающийся сосуд Федоровского. а) Внешний вид сосуда. в) Балансировка сосуда на подставке перед опытом. с) При неодинаковом расходе воды из частей сосуда нарушается равновесие сосуда.

Рис. 3. Изолированные песчаные культуры с рисом и пшеницей. 11—12: 20% влажность в питательной половине солевое питание. 65—66: 20% влажность питательной половине — поглощенное питание. 21—22: 40% влажность в питательной половине — солевое питание. 75—76: 40% влажность в питательной половине — поглощенное питание.

Hydrogen Ion Excretion by Plant Roots during the Process of Mineral Uptake

A. V. PETERBURGSKIY and G. A. TARABRIN

Department of Agricultural Chemistry, Timiryazev
Agricultural Academy, Moscow

Summary

So called "divided sand cultures" were applied to study the mineral uptake by plant roots from solid phase and from solutions. The root system of the plants studied has been separated into two parts: one being in contact with an ion exchange resin onto which mineral nutrients have been adsorbed, while the other part of the root system was held in another vessel filled with quartz sand and moistened with distilled water or mineral nutrient solutions of various composition.

Results are summarized in the following four items:

1. Roughly identical amounts of phosphorus and of calcium were taken up by the roots when these minerals were adsorbed and in solution, respectively. Adsorbed nitrate, on the other hand, was only slightly utilized by the plants.

2. If both separated parts of the root system were held in sand cultures — one of which was moistened with plenty of distilled water, while the other contained nutrients but was not adequately moistened — water was found to be transported by the roots to vessel containing the nutrients.

3. If the vessels provided with nutrients contained a H -acceptor they were acidified by the roots, but no significant change in the pH of the water extract was observed during the experimental period. The amount of excreted hydrogen was proportional to the adsorption capacity of the medium and independent of the weight of the root mass present.

4. The latter relation is affected by the direction of water transport within the root system. Hydrogen ion excretion and water redistribution by the roots and the interactions of these processes are therefore suggested to be the most important mechanism whereby the medium is affected by plant roots.

Table 1. Uptake of nutrients by oat plants from solutions and from the adsorbed state. (1) Treatment, main vessel and second vessel. (2) Average plant dry weight, g/vessel. (3) Nutrients in the harvested crop, mg/vessel. (4) Available nutrients in the vessels, mg/vessel. (5) Per cent nutrient utilization by the plants

Table 2. Scheme of the treatments (separated sand cultures). (1) Treatment (1 to 4: adsorbed nutrients, 5 to 8: nutrients in solution). (2) Soil moisture content, per cent of the water retaining capacity in the nutrient container. (3) Soil moisture content of the nutrient-free vessel

Table 3. Correlation between the weight of rice and wheat plants and the amount of the hydrogen ions secreted by their roots. I. Available nutrients adsorbed, II. Nutrients in solution. (1) Water content of the nutrient containing vessel, per cent

of the water retaining capacity of the sand. (2) Dry weight of the aerial parts of the plants, g/vessel. (3) Dry weight of plant roots, g/vessel. (4) Hydrogen ions secreted by the roots, mg equivalent per vessel. (5) Applied amount of water, g/vessel. a: rice, b: wheat, c: nutrient-free vessel, d: nutrient containing vessel

Fig. 1. Separated sand culture with oat plants. 2: H_2PO_4 -ionite isolated in the inner vessel. 17: NaH_2PO_4 -salt — isolated in the inner vessel 5: $Ca + H_2PO_4$ -ionite — isolated in the inner vessel. 20: $CaCl_2 + NaH_2PO_4$ -salts — isolated in the inner vessel

Fig. 2. „Air vessel” of Fjodorovskiy. a) A vessel from the outside b) Balanced state on the axis of the vessel at the start of the experiment. c) If water uptake from the two vessel is unequal, the balance is set up

Fig. 3. Separated sand cultures with rice and wheat plants. 11 and 12: Twenty per cent water content in the nutrient containing vessel — nutrient uptake from solution. 65 and 66: Twenty per cent water content in the nutrient containing vessel — uptake of adsorbed nutrients. 21 and 22: Forty per cent water content in the nutrient containing vessel — nutrient uptake from solution. 75 and 76: Forty per cent water content in the nutrient containing vessel — uptake of adsorbed nutrients