

Foszfor–cink kölcsönhatás-vizsgálatok a trágyázási kutatásokban

A növények ásványi táplálásának tudományos igényű vizsgálata az 1800-as évek elején a hamu elemzésével kezdődött. A foszforsavat de Saussure minden általa vizsgált növény hamujában megtalálta és megállapította, hogy nélküle a növények nem létezhetnének. Wiegmann és Polstorf braunschweigi gyógyszerészek azt is tisztázták 1842-ben, miszerint ezeket a hamualkotó vegyületeket nem maga a növény készíti, hanem a talajból veszi fel őket. Részletesebben Liebig tárta fel a foszfor jelentőségét a növények táplálásában, mivel a XIX. század közepétől már tudományos szabadföldi, tenyészedény- és vízkultúrás kísérletek eredményei álltak rendelkezésre. A foszfortrágyázással kapcsolatos első szabadföldi kísérleteket 1840–1850 táján J. B. Lawes angol műtrágyagyáros végezte, aki Liebig (és saját) trágyaszereit próbálta ki rothamstedi földjén. Bár kettejük között nem volt egyetértés a trágyák hatásának elméletében azt Lawes is megállapította, hogy a foszfor a répa esetében hatékonynak bizonyult (LIEBIG 1876, in: KÁDÁR, 1996)

Hazai földön RÁZSÓ (1898) számolt be a szuperfoszfát termésfokozó hatásának kipróbálásáról. Cikkében többek között egy kehidai gazda véleménye ad képet a kísérlet eredményességéről: „úgy a szalmában mint a szemben nagy terméstebblet mutatkozik a műtrágya javára, miért is helyénvalónak találom annak alkalmazását.”

A cink élettani jelentőségére THORNE (1957) szerint elsoként Raulin utalt 1863-ban. Bizonyította, hogy a cink szükséges a növekedéshez gombákkal végzett kísérletében. JAVILLIER (1912) *Aspergillus niger* fajon jutott ugyanerre a következtetésre, sőt beszámolt arról is, hogy cink-szulfát- (5,4–54 kg/ha) kezeléssel búzán, kukoricán, borsón fokozott növekedést észleltek. A cink esszenciális voltát véglegesen SOMMER és LIPMANN (1926) igazolta. Ezen eredmények után már 1927-ben sikeresen kezeltek Zn-hiányos kukoricát, földimogyorót, borsót Floridában cink-szulfáttal. ALBEN és munkatársai (1932) tung olajfa, más kutatók pedig néhány gyümölcsfa esetében észleltek Zn-reakciót.

A fentebb bemutatott két elem (P, Zn) kölcsönhatásainak vizsgálatára csak a XX. század első negyedében indultak el a kutatások. Ekkor már a P-trágyázást elterjedten alkalmazták a fejlett növénytermesztői kultúrával rendelkező országokban és azt tapasztalták, hogy szuperfoszfát tartós alkalmazása után bizonyos növényeken (főleg kukorica, bab) Zn-hiány tünetek lépnek fel. Olykor a P-műtrágyák alkalmazása Zn-hiányt váltott ki, más esetekben nem. Fontos támpontja volt a kutatásnak azon talajok vizsgálatának megkezdése, ahol a Zn-hiány rendszeres volt. MOWRY és CAMP (in: THORNE, 1957) már 1934-es floridai tanulmányukban olajfa esetében tapasztalt Zn-hiányról írva beszámoltak arról, hogy a talaj magas foszfátartalma fontos tényező a felvehető cink csökkentésében. Kaliforniában CHANDLER (1937, in: THORNE, 1957) azt tapasztalta, hogy a

Zn-hiány általánosan előfordul állattartó telepek karámjainak helyén, ahol a talajok oldható foszfáttartalma gyakran igen magas. Utah államban THORNE és WANN (1950) tesztelt Zn-hiányos talajokat, s a talaj magas oldható foszfáttartalmát regisztrálták.

Ausztráliából WEST (1938) számolt be citrusféléken tapasztalt Zn-hiány tünetekről szuperfoszfát-kezelt táblákról. LEGGETT (1952, in: THORNE, 1957) radioaktív Zn-izotópot a talajba juttatva vizsgálta eltérő P-kezelések hatását a növények Zn-felvételére. A bab Zn-tartalmában 20–30 %-os, a kukoricában 30–50 %-os visszaesést tapasztalt 780 kg P_2O_5 /ha kezelés hatására, bár Zn-hiány tünetek nem voltak észlelhetők. Tápoldatos kísérletben CHAPMAN és munkatársai (1937, in: THORNE, 1957) idéztek elő Zn-hiány tüneteket citrusféléken (levélfoltosodást) az oldat foszfátkoncentrációjának változtatásával. A magas foszfátkoncentráció növelte a levélfoltosodás mértékét.

A foszfátok Zn-felvételére gyakorolt további szerepének felderítésében STAKER (1942) ért el újabb eredményeket, amikor jelentősen csökkentette a cink toxicitását foszfátkezeléssel egy 10,16 % Zn-tartalmú, New York állam nyugati részéről származó tozegtalajon. Négyféle talajmintát vizsgált, melyek Zn-tartalma 0,43–10,16 % között volt. Üvegházi, laboratóriumi és szabadföldi körülmények között, spenót tesztnövényvel dolgozott. A foszfát (Na-metafoszfát, 9860 kg/ha) minden más kezelésnél hatékonyabbnak bizonyult, beleértve a meszezést is.

A fent említett tanulmányokkal szemben azonban BOAWN és munkatársai (1954) nem tudták befolyásolni sem a kezelésekkel adott, sem a talaj természetes Zn-tartalmából származó cink felvételét szuperfoszfát-kezeléssel a Columbia-medencében (Washington körzetében), babbal végzett szabadföldi kísérletükben. A foszfátoknak nem volt hatásuk a Zn-felvételekre annak ellenére, hogy 390 kg P_2O_5 /ha dózist is kijuttattak és a babnövény P-tartalma megduplázódott. A szerző oszibarackfák Zn-hiány tüneteinek fokozásával is megpróbálkozott, azonban 1000 kg/ha P_2O_5 -dal egyenértékű szuperfoszfát-kezeléssel sem ért el eredményt. Ezt a kezelést olyan gyümölcsösben végezte, ahol az enyhe Zn-hiány tünetek általánosak voltak. JAMISON (1944) a cink oldhatóságát vizsgálva foszfátoldatban levonta a következtetést, hogy pH 7,0 alatt és 8,0 felett az oldhatóság jelentősen emelkedett.

Habár a foszfátok a talajban a cink oldhatósága ellen hatnak, kétséges, hogy a Zn-hiány kialakulása magyarázható lenne a foszfátok általi direkt Zn-kicsapással – vonja le a következtetést THORNE (1957).

Indiában az intenzíven művelt rizsföldeken nagyadagú NPK-trágyázással együtt Zn-trágyázást is alkalmaztak a sikeres termesztés érdekében. A P- és Zn-kijuttatás hatását tanulmányozó kutatás a növénybeni P- és Zn-koncentrációra azonban itt is ellentmondásos eredményeket hozott. HALDAR és MANDAL (1981) csökkent Zn-felvételt tapasztalt P-kezelés hatására üvegházi tenyészedény-kísérletben nyugat-bengáliai alluviális mészes agyagtalajon (pH 7,7–8,0, agyag 32–43 %, szerves C 0,86–1,15 %, felvehető P 6,1–8,4 ppm). BHADRACHALAN (1969) azonban nem figyelt meg változást a rizs Zn-felvételében. Igaz, a kérdés kezdeti kutatásában egyes szerzők nem vették figyelembe a növény életkorát, amely befolyásoló tényező. CHATTERJEE és munkatársai (1982) Nyugat-Bengáliából származó gangeszi alluviális rizs talajon (pH 6,5, szerves C 0,61 %, Olsen-P 12,0 ppm, DTPA-Zn 1,1 ppm) tenyészedény-kísérletben vizsgálták P- (0, 50 és 100 ppm KH_2PO_4) és Zn- (0, 5 és 10 ppm $ZnSO_4$) kezelések hatását a növényi felvételre. Egy cserépbe 2 db 25 napos rizsnövényt ültettek, a vizsgálatokat pedig 60 és 115 napos korban végezték. Mint megállapítják, szükséges a Zn-trágyázás a nagyobb adagú P-kijuttatás esetén, ellensúlyozandó az antagonista hatást.

RAJAGOPAL és MEHTA (1971) vizsgálatai szerint a P- és Zn-kezelések nemcsak egymás felvételét befolyásolták (a 100 kg/ha P_2O_5 -kezelés a növényben 34,3 %-kal mérsékelte a Zn-tartalmat), hanem a cink nagyobb koncentrációban (20 ppm) a vas és a réz jelenlétét csökkentette, kisebb koncentrációban (5 ppm) a Mn-felvételt növelte a növényben. A kukorica tenyészedeny-kísérlet beállítási adatai a következők voltak: 200 kg N/ha $(NH_4)_2SO_4$ formában és 100 kg K_2O /ha K_2SO_4 formában egységes alaptrágyák, 0 és 100 kg P_2O_5 /ha P-kezelések (kálium-dihidrogén-foszfát), 0, 2,5, 5, 10 és 20 ppm Zn-kezelések $ZnSO_4$ formában. A talaj Gujaratból (India) származó meszes homok (pH 7,1, szerves C 0,49 %, bikarbonát-oldható P 5,2 ppm, dithizone NH_4O -Ac-oldható Zn 0,52 ppm). A kukorica termését jobban tudták növelni cink és foszfor együttes alkalmazásával, mint csak P-adagolással.

LABANAUSKAS és munkatársai (1958) két egymást követő évben adott 9 kg/fa szuperfoszfát-kezelés mellett az avokádó levelében Zn- és Cu-koncentráció csökkenést tapasztaltak a Pkezelést nem kapott növényekhez viszonyítva. Összefoglalójukban tapasztalataikat úgy összegzik, hogy több éven át tartó magas P-ellátottság az avokádó növényben mikroelemhiányhoz vezethet, különös tekintettel a cinkre.

WARD és munkatársai (1963) annak a jelenségnek az okát kutatták, miért fordul elő időnként, hogy P-tartalmú starter trágyák visszafogják a kukorica növekedését. A sorokba kijuttatott P-trágya számottevően mérsékelte a növény Zn-koncentrációját és a talajtömörödöttség, valamint a nedvességtartalom emelkedése csak fokozta a Zn-tartalom csökkenését. Megállapították, hogy az öntözés tömörödött talajon, ahol a talaj P-tartalma magas, Zn-hiányt okozhat.

Hogy mi lehet a szerepe a $CaCO_3$ -nak és mi a foszfornak ebben a folyamatban, azt PAULI és munkatársai (1968) próbálták kideríteni. Tenyészedeny-kísérletükben teszt növényként babot használtak, melyet mosott kova homoktalajon vetettek el, P-, Zn- és $CaCO_3$ -kezeléseket alkalmazva. A karbonát a teljes növény Zn-tartalmát jelentősen csökkentette. Ez a hatás leginkább a levélben volt kifejezett, ahol a Zn-felvétel közel 90 %-kal esett vissza. A nagyadagú Pkezelések $CaCO_3$ nélkül a növényi részek Zn-koncentrációját megemelték és a vízoldható Zn-tartalom nagyságrendi növekedését okozták a természetes közegben, eltérően a szabadföldi kísérleteknél tapasztaltakkal, ahol a nagy P-dózis gyakran Zn-hiány kialakulásához vezetett. A $CaCO_3$ -kezelés magas P-szinttel párosulva nem okozott szignifikáns változást a növényi Zn-tartalomban, növekedett viszont a foszfor transzlokációjának aránya a levelekbe. Megállapítható tehát, hogy a túlzott $CaCO_3$ -ellátás eltérően befolyásolja a babnövényben a foszfor és cink transzportját a gyökértől a levelek felé.

A foszfor és cink alkalmazásának kedvezőtlen hatása, vagyis a kölcsönhatások következtében esetlegesen kialakuló Zn-hiány növényfiziológiai alapú, nem pedig egyszerű kémiai kicsapódás (Zn-foszfátként) a gyökéren kívül, állapítja meg STUKENHOLZ (1965) doktori értekezésében.

RAGAB (1980) megpróbált fényt deríteni a P–Zn kérdés növényfiziológiai, -életteni hátterére. Üvegházban, 3-féle egyiptomi talajjal végezte kísérleteit kukorica teszt növényen. A már korábban megállapított szokásos interakciót is tapasztalta, a növekvő P-adagolás csökkentette a növény Zn-tartalmát. A gyökérben és a hajtásban eltérő mennyiséget tapasztalt a kezelések hatására: a P-adagolás a gyökérben növelte, a hajtásban viszont csökkentette a cink jelenlétét. Ezt a jelenséget a len esetében is megfigyelték már. RAGAB (1980) úgy véli, hogy a P–Zn kölcsönhatás oka a gyökéren belül kerekendő: a Zn-szállítás a gyökérből a hajtásba fiziológiai gátolt vélhetően azért, mert a

gyökér megemelkedett sókoncentrációja ($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) depolarizálhatja a xylem-potenciált, ezzel az anionok átjutását növelve, a kationokét (Zn^{2+}) pedig csökkentve a relatíve kevésbé negatív xylem nyáláb felé. A túlzott karbonáttartalom befolyásolja ezen elemek viszonyát a növényen belül azzal, hogy csökkenti a Zn-szállítást és növeli a P-szállítást a gyökérből a hajtásba.

A P–Zn-trágyázás és a mikroelem-felvétel viszonyait tárgyalja WARNOCK (1970). Üvegházi tenyészedény-kísérletben karbonátos (3–4 % szabad mész, pH 8,4) agyagos vályogtalajon kukoricát termesztett (ezen a talajon szabadföldön Zn-hiányt tapasztaltak). 7-féle P/Zn arányt állított be a talajban kezeléseivel az 520/0-tól a 0/40 ppm-ig. A két legtagabb arányú kezelésnél (P_{520} , Zn_0 és P_{260} , $\text{Zn}_{1.25}$) a növények Zn-hiányosak voltak. Ahhoz, hogy a Zn-hiány látható tünetei megjelenjenek – és emiatt SHULKA és MORRIS (1967) szerint a növény Zn-hiányosnak minősüljön – a levél- és szárszövetek Zn-koncentrációjának 12 ppm-nél kevesebbnek kell lennie. Ebben az esetben ez megtörtént és a Zn-hiány tünetei megjelentek. Bár a 130/2,5 ppm P/Zn arányú kezelésnél nem tapasztalt Zn-hiány tünetet, a szár és a levél szöveiteinek Zn-koncentrációja megegyezett a Zn-hiányos növényekével. Ez mutatja, hogy e kezelés növényeinek fejlődését a cink behatárolta, bár növekedésben a legjobbnak bizonyultak az összes többihez képest. Az eddig leírtak nem sok újdonságot tartalmaztak a korábban bemutatott irodalmi adatokkal összehasonlítva. WARNOCK (1970) azonban a Fe- és a Mn-tartalom változásában is összefüggéseket tapasztalt. A Zn-hiányos növény leveleiben a vas koncentrációja mintegy hétszeresére emelkedett (80-ról 570 mg/kg-ra), a mangáné megduplázódott (45-ről 109 mg/kg-ra). A vas, cink és mangán közötti ismert antagonizmus miatt a megemelkedett Fe-koncentráció a Zn-hiányos szövetekben hozzájárulhat az élettani zavarok kialakulásához – állapítja meg végül a szerző.

Csernozjom talajon álló, rozettásodással Zn-hiányra utaló almaültetvények talajvizsgálati eredményeinek értékelése során orosz kutatók is hangsúlyozzák a talaj magas P-tartalmának, alacsony humusztartalmának és magas pH-jának fontosságát a felvehető cink csökkentésében (NAUMOV et al., 1984).

A durum búzák kenyérgabonáéhoz viszonyított nagyobb érzékenységet a Zn-hiányra CAKMAK és munkatársai (1996) hangsúlyozzák. Törökországban, Közép-Anatólia vidékén a talajok Zn-hiánya általános problémája a búzatermesztésnek, az átlagosan 7,9 pH-jú talajok több mint 90 %-a 0,5 mg/kg-nál kevesebb DTPA-kivonható cinket tartalmaz, ami a növénytermelés szempontjából kritikus. A kísérletek szerint a durum búzákon korábban és nagyobb mértékben jelentkeztek a Zn-hiány tünetei, mint a kenyérbúzákon és a hajtás szöveiteinek Zn-koncentrációja is mérsékeltebb volt.

A P x Zn interakciót tápoldatos kísérletben gyapotnövényen vizsgálva CAKMAK és MARSCHNER (1986) megállapítják, hogy – más növényfajokhoz hasonlóan – ebben az esetben is a foszfor által kiváltott Zn-hiány elsősorban a megnövekedett P-felvételnek és -transzlokációnak a következménye, nem pedig a Zn-felvétel gátlása miatt következik be. Kísérletükből született második közleményükben (MARSCHNER & CAKMAK, 1986) arról is beszámolnak, hogy ^{32}P -izotóppal végzett vizsgálatuk során a Zn-hiányos növények esetében a ^{32}P mindössze 7,8 %-a szállítódott bazipetálisan, míg ez az arány egy megfelelően ellátott növényenél 34 % volt. A fentiekből egy, a hajtásban jelenlévo, a gyökerek P-felvételét és a P-transzportot szabályozó visszacsatolási mechanizmus Zn-hiány okozta károsodásra következtetnek a szerzők, melynek eredményeképpen toxikus mértékben halmozódik fel a foszfor a levelekben a gyökér felé zajló visszaszállítás elmaradása vagy lecsökkenése miatt.

Hazánkban elsoként a gyümölcstermesztek számolnak be Zn-hiány tünetekről, melynek jellegzetességeit az alma esetében HUSZ (1941) már az 1930-as években leírta és „A beteg növény és gyógyítása” c. munkájában a 2 %-os ZnSO_4 -oldatos kezeléssel elért eredményeket is taglalja. Alma, birs, szilva, cseresznye, oszibarack növények esetében főleg laza homoktalajon, magas pH esetén gyakori jelenség a Zn-hiány; kötött, nagy agyagtartalmú talajokon ritkán fordul elő. Mivel a cink főleg a feltalajban van, a forgatás után felszínre került altalaj sokszor nem teszi lehetővé a megfelelő Zn-ellátást. A talaj túlmeszeszése és a nagyadagú P-trágyázás szintén kiválthatja a Zn-hiány tüneteinnek megjelenését (PAPP, 1974; KÁDÁR, 2002).

MOHÁCSY (1959) is megemlíti, hogy a Duna–Tisza közti homokterületeken gyakori, hogy az almafa rendellenesen fejlődik, hajtásai elsőprűsödnek. Ez Zn-hiánnyal függ össze, a gyógyításra 2 %-os Zn-gálic oldatot javasol. A P-trágyázás és meszesítés Zn-felvételre gyakorolt hatásairól még nem ír a szerző.

Az 1970-es évek közepén szántóföldön is tapasztalható volt, hogy a foszforral jól ellátott, „feltöltött” meszes talajon, ahol az oldható Zn-készlet egyébként is alacsony és a növényi részek Zn-tartalma a kielégítő ellátottság alsó harmadában található, az oszi búza szerveinek Zn-koncentrációja akár a felére is lecsökkenhet. ELEK és KÁDÁR (1975) mészlepedékes csernozjom talajon beállított szabadföldi NPK-kísérletükben a búza mikroelem- és makroelem-tartalmát vizsgálták levélanalízissel bokrosodáskor és virágzáskor. A Zn-, Cu-, Mn-, B- és Fe-tartalmakat mérve megállapították, hogy a nagyadagú P-trágyázás jelentős mértékben (mintegy 40 %-kal) csökkentette a növények Zn-tartalmát. Nagymértékű változást tapasztaltak még a Mn- és a Fe-tartalomban is. A Mn-tartalom 35 %-kal növekedett virágzáskor foszfor hatásra, míg a Fe-tartalom csökkent 40 %-kal a bokrosodás idején (1. táblázat). A mangánra vonatkozó eredmények itt hasonlóak a WARNOCK (1970) által leírtakhoz, a Fe-tartalomban azonban a magyar kutatók csökkenést, Warnock 7-szeres növekedést tapasztalt P-kezelés hatására. Ugyanebben a kísérletben a Zn-érzékeny kukorica már termésűcsökkenéssel reagált a P-indukálta Zn-hiányra (KÁDÁR & ELEK, 1977; KÁDÁR & LÁSZTITY, 1979).

Az említett kísérlethez közeli Mezofalvai Mezogazdasági Kombinát trágyázási gyakorlatának áttekintése után kiderült, hogy a táblák egy részének P-ellátottsága már nem kívánatos mértékben emelkedett. A helyszíni talaj- és növényvizsgálatok, valamint az üzemi tápelemmérlegek adatai alapján KÁDÁR és munkatársai (1981) javasolták a PK-mutrágyák használatának mintegy 50 %-os mérséklését és egyidejűleg a kukorica Zn-, ill. az oszi búza Cu-trágyaszerekkel való kezelését.

Az 1970-es évek derekával földművelésünk P-mérlege országosan is erosen pozitív-
vá vált (KÁDÁR, 1979). Az élenjáró nagyüzemek tábláinak P-ellátottsága gyakran az optimum fölé került. Mivel a kukorica a legnagyobb területen termesztett Zn-érzékeny kultúránk és főként a meszes termohelyek növénye, az 1980-as években szabatos tenyészedeny- és szabadföldi kísérletekben vizsgálták a P–Zn elemek közötti kölcsönhatásokat (KÁDÁR & SHALABY, 1984, 1986; SHALABY & KÁDÁR, 1984; KÁDÁR & CSATHÓ, 2002; KÁDÁR & TURÁN, 2002).

Tenyészedeny-kísérletben (5 növény/edeny, 64 kezelés, 2 ismétés, betakarítás 30 cm-es, 6-leveles korban) mészlepedékes csernozjom talajon (CaCO_3 5 %, humusz 3 %, MÉM NAK (1979) határértékek alapján igen jó Mn-, kielégítő Mg- és Cu-, közepes N-

1. táblázat

Néhány mikroelem mennyisége az oszi búzában (mg/kg) növekvő P-adagok hatására
(Mészlepedékes csernozjom talaj, Nagyhörűcsök, Mezoföld) (ELEK & KÁDÁR, 1975)

Mintavétel ideje	kg P ₂ O ₅ /ha				SzD _{5%}	Átlag
	0	500	1000	1500		
			<i>Fe</i>			
Bokrosodás	329	198	201	198	17	231
Virágzás	116	108	105	106	6	109
			<i>Mn</i>			
Bokrosodás	90	88	92	91	2	90
Virágzás	55	73	74	76	2	69
			<i>Zn</i>			
Bokrosodás	23	15	14	14	1	16
Virágzás	25	14	12	12	2	16
			<i>Cu</i>			
Bokrosodás	10	9	10	11	1	10
Virágzás	6	5	4	4	0.4	5
			<i>B</i>			
Bokrosodás	8	7	7	7	0.1	7
Virágzás	4	4	4	4	–	4

és K-, valamint gyenge P és Zn-ellátottság) KÁDÁR és PUSZTAI (1982) vizsgálta az NPK-túltrágyázás hatásait a levéldiagnosztikai szempontból fontos információkat hordozó 6-leveles kukorica elemfelvételére. Közleményükben ismételten felhívják a figyelmet az általuk is tapasztalt P–Zn antagonizmusra és a feltöltő trágyázás mikroelem-tartalmat befolyásoló veszélyeire.

A mezőföldi mészlepedékes csernozjom talajon folyó, még az 1960-as évek végén beállított Országos Mutrágyázási Tartamkísérletekben évente 0,4–2,0 t/ha szemterméscsökkenéssel reagált a kukorica a P-túlsúlyra. A P-túlsúly által kiváltott Zn-hiány, ill. termés-csökkenés Zn-trágyázással megszüntethető volt (CSATHÓ et al., 1989; CSATHÓ, 2002).

A P-ellátottság növelésével a kukoricalevelek N-, K-, Ca-, Mg-, P-, Fe-, Mn- és Cu-tartalma nőtt, a Zn-tartalom viszont felére csökkent a búza–kukorica bikultúra, illetve búza–kukorica–kukorica–borsó forgóban az 1968-ban Nagyhörcsökön, karbonátos csernozjom talajon beállított kísérletben. A kedvező 1987-es évjárat során növényenként egy cső díszlett, csövenként 420–520 szemmel. Az 1988-ban bekövetkezett aszályos esztendőben a csövenkénti szemszám 290–400-ra esett vissza, vagyis a P-indukálta Zn-hiány száraz körülmények között mérsékelte a kukoricacso növekedését és a szemek számát – vonja le a következtetést CSATHÓ és LÁSZTITY (1994).

KÁDÁR (1987) a kukorica ásványi táplálásáról írt munkájában is rámutat a Zn-ellátás fontosságára, melynek hiánya felléphet meszes, foszforral jól ellátott talajon. Amennyiben a P/Zn arány a zöld növényi részekben a 200 körüli értéket eléri vagy meghaladja, a Zn-trágyázás hatékony lehet. A 2. táblázatban jól tanulmányozható a túlzott P-ellátottság (és ezzel a tág P–Zn arányok) termésdepressziót előidéző hatása KÁDÁR (2003) munkája alapján. A szerző 20–50 kg/ha ZnSO₄-ot javasol a talaj Zn-szolgáltató képességének tartós javítására.

2. táblázat

A talaj P-ellátottságának hatása a légszáraz kukorica összetételére 1993-ban
(Mészlepedékes csernozjom talaj, Nagyhörcsök) (KÁDÁR, 2003)

Elem	AL-oldható P ₂ O ₅ , mg/kg				SzD _{5%}	Átlag
	78	105	175	263		
4–6 leveles hajtás						
Termés, g/20 db	68	60	40	32	11	50
Ca, %	0,48	0,51	0,54	0,57	0,03	0,53
Mg, %	0,36	0,39	0,40	0,43	0,03	0,40
P, %	0,30	0,35	0,38	0,44	0,02	0,37
Mn, mg/kg	85	91	100	117	7	98
Al, mg/kg	38	33	33	30	8	33
Zn, mg/kg	28	21	18	15	3	20
Sr, mg/kg	11	17	21	27	3	19
P/Zn arány	107	167	211	293	36	194
Szár						
Termés, t/ha	6,4	5,3	3,7	2,4	0,8	4,5
P, mg/kg	683	789	981	1138	114	898
Mn, mg/kg	82	91	87	98	10	90
Zn, mg/kg	21	16	12	11	3	15
Sr, mg/kg	13	14	17	20	1	16
P/Zn arány	33	49	82	103	12	67
Szem						
Termés, t/ha	6,4	5,7	3,9	2,4	0,6	4,6
K, %	0,68	0,73	0,79	0,85	0,04	0,76
P, %	0,23	0,26	0,30	0,36	0,02	0,28
Mg, %	0,11	0,12	0,13	0,13	0,01	0,12
Zn, mg/kg	16,6	13,7	11,4	10,4	1,1	13,0
Mn, mg/kg	4,6	4,8	5,2	5,7	0,4	5,1
Cu, mg/kg	1,2	0,9	0,8	0,7	0,2	0,9
P/Zn arány	132	184	270	343	46	232

As, Se, Ni, Co, Cr, Hg, Cd 0,1 mg/kg méréshatár alatt. A S átlagosan 0,14 %, a kezelésektől függetlenül

Az optimális P/Zn arányt a kukoricalevélben CSATHÓ és munkatársai (1989) 80–150 körüli értékben állapítják meg, a 200-as érték már Zn-hiányt jelent.

A mikro- és makroelemtrágyák közötti kölcsönhatások további tanulmányozására az MTA TAKI Nagyhorcsöki Kísérleti Telepén 1977 oszén P- és Zn-kezelésekkel beállított szabadföldi tartamkísérlet szolgált. A kísérlet talaja löszön képződött meszes csernozjom, mintegy 5 % CaCO₃-ot és 3 % humuszt tartalmaz a szántott rétegben. A pH(KCl) 7,3, az AL-P₂O₅ 60–80, AL-K₂O 140–160, KCl-Mg 150–180, az EDTA-Mn 80–150, az EDTA-Cu 2–3, ill. EDTA-Zn 1–2 mg/kg értékekkel jellemezhetők. A MÉM NAK (1979) által elfogadott módszerek és határértékek alapján a talaj igen jó Mn-, ki-elégítő Mg- és Cu-, közepes N- és K-, valamint gyenge P- és Zn-ellátottságú. A talajvíz 13–15 m mélyen helyezkedik el, a terület aszályérzékeny, éghajlata az Alföldéhez hasonlóan szárazságra hajló. Átlagos középhomérskélete 11 °C, éves átlagos csapadékösszege 576 mm. A kísérlet elrendezése split-plot, 4P×3Zn = 12 kezeléssel és 3 ismétlésben, összesen 36 db 4,9×15=73,5 m²-es parcellával. A tesztnövény kukorica (monokultúra).

CSATHÓ és KÁDÁR (1989) 1980-ban 1 t/ha-os terméscsökkenést tapasztalt e kísérlet 150–200 mg/kg AL-P₂O₅-ot tartalmazó parcelláján, ahol Zn-trágyázás nem történt és a virágzaskori kukoricalevél P/Zn aránya 250, vagy e feletti volt.

A nagyhőrcsöki tartamkísérlet feldolgozása és értékelése során az első négy év tapasztalatait összegezve megállapítottuk, hogy az 1000 kg/ha feltöltő P₂O₅-trágyázás gazdaságtalan és Zn-hiányt okozva terméscsökkenéshez vezet, melyet 40 kg/ha Zn-trágyázással ellensúlyozni lehet. A P/Zn arány ideális értéke a vegetatív növényi részben (kukorica) 50–150, 200 feletti érték esetén a Zn-trágyázás hatékony lehet. 1978-ban a P-tűlsúly és az augusztusi aszály a meddő tövek arányát 13–20 %-ra növelte (KÁDÁR & TURÁN, 2002).

Összefoglalás

A P–Zn kölcsönhatások vizsgálata az 1930-as évektől indult, amikor növény- és talajvizsgálatok alapján arra következtettek, hogy e két elem egymás növényi felvételét befolyásolja. A P-trágyák egyre elterjedtebb alkalmazásával megjelenő P-indukálta Zn-hiány gyakori jelenséggé vált a XX. század második felében. A Zn-hiány, és az emiatt fellépő élettani zavarok okaiként több lehetséges változatot is megemlítenek a kutatók. Általános az a vélemény, hogy a P-trágyázással kiváltott Zn-hiány nem a foszfátok általi közvetlen Zn-kicsapódás következménye, hanem növényfiziológiai alapú.

A növényben végbemenő folyamatok megítélése azonban eltérő. Egyesek a talaj nagy CaCO₃-tartalmát teszik felelőssé a mérsékelt Zn-felvételért és növénybeni szállítódásért, mások a Zn-hiányos szövetekben kialakult nagy Fe-tartalomban látják az élettani zavarok okát. A harmadik vélemény szerint a Zn-hiány következtében egy, a hajtásban jelenlévő, a gyökerek P-felvételét és a P-transzportot szabályozó visszacsatolási mechanizmus károsodik, melynek eredményeképpen toxikus mértékben halmozódik fel a foszfor a levelekben a gyökér felé irányuló visszashállítódás lecsökkenése, esetleg elmaradása miatt. A vizsgálatok egységesen következtettek azonban arra, hogy a P/Zn arány eltolódásának és a gyökér, valamint a levelek erosen eltérő P- és Zn-tartalmának az oka, hogy a Zn-hiány által kiváltott rendellenesség következtében a gyökérből a levelek irányába zajló Zn-shállítódás lecsökken, a P-shállítódás pedig megnövekszik.

Magyarországon elsőként a gyümölcstermesztők körében vált ismertté a Zn-hiány fogalma. A P-trágyázás és meszezés Zn-felvételre gyakorolt hatásairól azonban a kerteszek is csak a 1970-es évek elején tesznek említést, csakúgy, mint a szántóföldi kultúrákkal foglalkozó kutatók. A vizsgálatok sok tekintetben hasonló eredményre vezettek mint külföldi kollegáiké, de pl. a P-mutrágyázásra bekövetkezett Fe-tartalom változásában a megállapítások eltérőek.

Látható tehát, hogy a P–Zn kölcsönhatás kérdése nem tisztázott, számos egymásnak ellentmondó közlés található a nemzetközi irodalomban. Míg az 50–60-as években rendszeresen jelentek meg cikkek a témából, az utóbbi 10–15 évben már csak néhány szerző foglalkozott vele keveset publikálva. További elemzésre szorul, hogy az említett hazai kísérletekben milyen gyakorisággal erősödhet a P×Zn kölcsönhatás, milyen az időjárási tényezők befolyásoló szerepe és hogyan hatnak mindezek a hozamokra.

Irodalom

ALBEN A. O., COLE, J. R. & LEWIS R. D., 1932. Chemical treatment of pesan rosette. Phytopathology. **22**. 595–601.

- BHADRACHALAM, A., 1969. Some factors affecting the availability of zinc in rice soils. M. Sc. Thesis, University of Philippines, College of Agriculture.
- BOAWN, L. C., VIETS, F. G. JR. & CRAWFORD, C. L., 1954. Effect of phosphate fertilizers on zinc nutrition of field beans. *Soil Sci.* **78**, 1–7.
- CAKMAK, I. & MARSCHNER, H., 1986. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. I. Zinc deficiency enhanced uptake rate of phosphorus. *Physiol. Plantan.* **68**, 483–490.
- CAKMAK, I. et al., 1996. Zinc deficiency as a critical problem in wheat production in Central Anatolia. *Plant and Soil.* **180**, 165–172.
- CHATTERJEE, A. K., MANDAL, L. N. & HALDAR, M., 1982. Interaction of zinc and phosphorus in relation to micronutrient nutrition of rice plant at two different growth stages. *Z. Pflanzenern. Bodenk.* **145**, 460–469.
- CSATHÓ P., 2002. Zn-hexamínos levéltrágyázás a kukorica P-indukálta Zn-hiányának leküzdésére. *Agrofórum.* **13**, (12) 20–21.
- CSATHÓ, P. & KÁDÁR, I., 1989. P–Zn interaction studies on maize (*Zea mays* L.) monoculture. In: *Proc. 6th Int. Trace Element Symp.* Vol. 2, 630–637. Leipzig–Jena, Germany.
- CSATHÓ, P. & LÁSZTITY, B., 1994. The effect of long-term P application on the yield of maize (*Zea mays* L.) on a calcareous chernozem soil. *Acta Agron. Hung.* **43**, 297–304.
- CSATHÓ P., KÁDÁR I. & SARKADI J., 1989. A kukorica műtrágyázása meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés.* **38**, 69–75.
- ELEK É. & KÁDÁR I., 1975. A foszforműtrágyázás hatása a makro- és mikrotápanyagok felvételére. In: *A mezogazdaság kemizálása VI. Ankét.* Keszthely, 89–93. NEVIKI. Veszprém.
- HALDAR, M. & MANDAL, L. N., 1981. Effect of phosphorus and zinc on the growth and phosphorus, zinc, copper, iron and manganese nutrition of rice. *Plant and Soil.* **59**, 415–426.
- HUSZ B., 1941. A beteg növény és gyógyítása. *Kir. Magyar Természetud. Társulat.* Budapest.
- JAMISON, V. C., 1944. The effect of particle size of copper and zinc source materials and of excessive phosphates upon the solubility of copper and zinc in Norfolk fine sand. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.* **8**, 323–326.
- JAVILLIER, M., 1912. Influence du zinc sur la consommation par l' *Aspergillus niger* de ses aliments hydrocarbonés, azotés et minéraux. *Compt. Rend.* **155**, 190–193.
- KÁDÁR I., 1979. Földművelésünk N-, P- és K-mérlege. *Agrokémia és Talajtan.* **28**, 527–545.
- KÁDÁR I., 1987. A kukorica ásványi tápanyagellátása. *Növénytermelés.* **36**, 57–65.
- KÁDÁR I., 2002. Levéltrágyázás jelentősége és szerepe a növénytáplálásban. *Agrofórum.* **13**, (12) 7–10.
- KÁDÁR I., 2003. Műtrágyázás hatása a silókukorica termésére karbonátos csernozjom talajon. (Kézirat) MTA TAKI. Budapest.
- KÁDÁR I. & CSATHÓ P., 2002. A PxZn kölcsönhatás vizsgálata kukorica monokultúrában. In: *XVI. Országos Környezetvédelmi Konferencia.* 161–169. Siófok.
- KÁDÁR I. & ELEK É., 1977. Műtrágyázás hatása a kukorica makro-és mikroelem felvételére. In: *A mezogazdaság kemizálása. Ankét.* 71–81. NEVIKI-KAE. Veszprém.
- KÁDÁR I. & LÁSZTITY B., 1979. A feltöltő PK-műtrágyázás lehetőségének vizsgálata néhány magyarországi talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **28**, 123–143.
- KÁDÁR I., LÁSZTITY B. & SIMON L., 1981. Az üzemi talaj- és növényvizsgálati eredmények értelmezése és felhasználása mezőföldi csernozjom talajon. *Agrokémia és Talajtan.* **30**, 65–78.
- KÁDÁR I. & PUSZTAI A., 1982. Az NPK műtrágyázás hatása a 6 leveles kukorica makro- és mikroelem tartalmára II. *Növénytermelés.* **31**, 523–532.
- KÁDÁR, I. & SHALABY, M. H., 1984. Interaction between P and Zn fertilizers in a calcareous chernozem soil. In: *Proc. CIEC 9th World Fertilizer Congress*, Budapest (Eds.: WELTE, E. & SZABOLCS, I.) Vol. 3, 124–128. Goeltze Druck, Goettingen.
- KÁDÁR I. & SHALABY, M. H., 1986. A P és Zn trágyázás közötti összefüggések vizsgálata meszes csernozjom talajon. *Növénytermelés.* **35**, 419–425.
- KÁDÁR I. & TURÁN T., 2002. P–Zn kölcsönhatás mészlepedékes csernozjom talajon kukorica monokultúrában. *Agrokémia és Talajtan.* **51**, 381–394.

- LABANAUSKAS, C. K., EMBLETON, T. W. & JONES, W. W., 1958. Deficiencies of Micronutrients. Calif. Agric. **12**. (10) (University of California, Riverside)
- LIEBIG, J. VON, 1876. Kémia alkalmazása a mezőgazdaságban és a növényélettanban. (Szerk.: KÁDÁR I.) MTA TAKI. Budapest. 1996.
- MARSCHNER, H. & ÇAKMAK, I., 1986. Mechanism of phosphorus-induced zinc deficiency in cotton. II. Evidence for impaired shoot control of phosphorus uptake and translocation under zinc deficiency. Physiologia Plantarum. **68**. 491–496.
- MÉM NAK, 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM NAK. Budapest.
- MOHÁCSY M., 1959. Gyümölcsstermesztés a házi és háztáji kertben. Mezogazd. Kiadó. Budapest.
- NAUMOV, V. D., TARASOV, V. M. & NAUMOVA, L. M., 1984. Injury to apple orchards by rosette disease as function of the level of ordinary zinc and phosphorus in chernozems. Soviet Agricultural Sciences, No. 10. 39–41.
- PAPP J., 1974. A gyümölcsösök tápanyagellátása. In: A gyümölcsstermesztés alapjai. (Szerk.: GYURÓ F.) 435–441. Mezogazdasági Kiadó. Budapest.
- PAULI, A. W. et al., 1968. Zinc uptake and translocation as influenced by phosphorus and calcium carbonate. Agronomy Journal. **60**. 394–396.
- RAGAB, S. M., 1980. Phosphorus effects on zinc translocation in maize. Commun. Soil Sci. Plant Analysis. **11**. 1105–1127.
- RAJAGOPAL, V. & MEHTA, B., 1971. Effect of zinc and phosphorus application on the response and chemical composition of hybrid maize grown on „torana” soil. Indian J. Agric. Sciences. **41**. 156–166.
- RÁZSÓ I., 1898. A szuperfoszfát terméshozzájárulási hatásának kipróbálása az oszi gabonafélék alá. Kísérletügyi Közlemények. **I**. (1) 93–119. Földművelésügyi Magyar Királyi Ministerium Mezőgazdasági Kísérletügyi Központi Bizottsága. Budapest.
- SHALABY, M. H. & KÁDÁR I., 1984. A P és Zn trágyázás közötti kölcsönhatások vizsgálata meszes homoktalajon. Agrokémia és Talajtan. **33**. 261–267.
- SHULKA, U. C. & MORRIS, H. D., 1967. Relative efficiency of several zinc sources for corn (*Zea mays* L.). Agronomy Journal. **59**. 200–202.
- SOMMER, A. L. & LIPMANN, C. B., 1926. Evidence on the indispensable nature of zinc and boron for higher green plants. Plant Physiol. **1**. 231–249.
- STAKER, E. V., 1942. Progress report on the control of zinc toxicity in peat soils. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **7**. 387–392.
- STUKENHOLZ, D. D., 1965. Zinc–phosphorus relationships in corn: The influence of temperature incubation and applied nitrogen, phosphorus and zinc. Diss. Abstr. 25.
- THORNE, W., 1957. Zinc deficiency and its control. Advances in Agronomy. **9**. 31–65.
- THORNE, D. W. & WANN, F. B., 1950. Nutrient Deficiencies in Utah Orchard. Utah Agr. Expt. Bull. 338.
- WARD, R. C. et al., 1963. Factors for poor response of corn and grain sorghum to phosphorus fertilization. III. Effects of soil compaction, moisture level and other properties on P–Zn relations. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **27**. 326–330.
- WARNOCK, R. E., 1970. Micronutrient uptake and mobility within corn plants (*Zea mays* L.) in relation to phosphorus-induced zinc deficiency. Soil Sci. Soc. Amer. Proc. **34**. 765–769.
- WEST, E. S., 1938. Zinc-cured mottle leaf in citrus induced by excess phosphate. J. Council Sci. Ind. Research. **11**. 182–184.

Érkezett: 2003. április 25.

TURÁN TAMÁS LEVENTE
MTA Talajtani és Agrokémiái
Kutatóintézete, Budapest

Postai cím: TURÁN TAMÁS LEVENTE, MTA Talajtani és Agrokémiái Kutatóintézete, 1022 Budapest, Herman Ottó út 15. E-mail: turan@rissac.hu