

Levélen keresztül adott radioaktív foszfor felvételének tanulmányozása kukoricanövénnyen

BÁRTFAY TIBORNÉ

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete,
Budapest

Az intenzív mezőgazdasági termelésben mind nagyobb szerepet játszanak a hatásosabb trágyázási eljárások, melyek a tápanyagoknak olyan formában és időben való adagolására törekzenek, amivel legsikeresebben lehet a növény fejlődését és a termés kialakulását befolyásolni. Itt kell emlitenünk a permetezőtrágyázást, amelynek elterjedését a végrehajtás technikai megoldásának fejlődése mindinkább elősegíti. Különösen azokban az esetekben mutatkozik hatásosnak, amikor a kedvezőtlen talajfeltételek vagy csapadékmegoszlás miatt a növény nem tudja a szükséges tápanyagot a talajból biztosítani, illetve az alkalmazott műtrágyát hasznosítani. Pl.: A talaj által megkötött foszfor vagy az esős vidékeken a talaj kilúgozása miatt nagymértékben csökkent oldható nitrogén pótlására sikerrel alkalmazzák. A makroelemeken kívül a növények életfolyamataiban nagy szerepet játszó mikroelemek levélen keresztüli adagolása is nagy gyakorlati jelentőségre tett szert.

A növények levélen keresztül történő táplálásának elméleti kutatását nagymértékben elősegítette a sugárzó izotópok alkalmazása. Az utóbbi évek irodalmában számtalan munka foglalkozik a levélre adott ionok felvételének, megoszlásának és hasznosulásának problémájával.

BUKOVAC és WITWER [4], SWANSON és WHITNEY [14], BIDDULPH [2] és munkatársai kálium, nátrium, foszfor, kén, kalcium, magnézium és több mikroelem radioaktívan jelzett vegyületeinek felvételét és transzlokációját tanulmányozták babnövényen autoradiográfia segítségével. A felvételek mutatták, hogy a kálium és nátrium a leggyorsabban mozgó elemek a növényben. A foszfor mozgékonyabb a kénél, a kalciumot és magnéziumot felvette a levél, de nem szállította tovább.

BIDDULPH [3] kimutatta azt is, hogy a növénybe került jelzett szén nádcukor formájában vándorol tovább.

WRIGHT és BARTON [15] a transpiráció hatását vizsgálták a foszfor felvételre napraforgónövénnyen. Bármilyen eszközt használtak is fel a transpiráció megváltoztatására (fény, hő, páratartalom) pozitív összefüggés állt fenn a vízszállítás és a P^{32} felhalmozódás között a levélben.

KENDALL [8] a P^{32} transzlokációjára anyagsere innibitorok hatását tanulmányozta. Az inhibitor akkor befolyásolta a P^{32} szállítását, ha érintkezésbe került azokkal a floemsejtekkkel, melyeken keresztül a vándorlás folyik.

KÚTHY [10] munkatársaival a különböző sókoncentráció hatását vizsgálta kukoricanövénnyen. Úgy találták, hogy — több egyéb tényező mellett — a sótűrést a növény kora erősen befolyásolja.

FERENCZ [5] burgonyanövényen figyelte a levéltrágyázás hatására beálló nitrogénanyagcsere változásokat.

A cukoroldatnak a foszfor abszorpciójára kifejttet hatásáról különböző szerzők eltérő kísérleti eredményeket közölnek. AZUMA OKUDA és TOSHIO KAWASAKI [12] legújabb publikációja szerint: minél nagyobb a cukor mennyisége a foszforoldatban, annál kevesebb foszfort abszorbeál a növény levele.

A szénhidrátok és a foszfor együttes mozgásának problémájával foglalkoztak KAZARJAN [7] és munkatársai.

PAVLOV [13] a levéltrágyázás és a gyökér anyagfelvételének összefüggését tanulmányozta. Kimutatta, hogy a levélre került tápanyag megváltoztatja ugyanannak az anyagnak és más tápanyagnak is a gyökéren keresztüli felvételét.

E pár szemelvény, amit a nagyszámú irodalmi adatból citáltunk, rámutat arra, hogy a tápanyagok levélen keresztül történő felvétele és hasznosulása rengeteg tényezőtől függ. A hőmérséklet, a talaj és levegő nedvességtartalma, a sejtnedv pH-ja, a kísérő ionok és vegyületek, a tápanyag koncentrációja, a levél kora, mind döntő befolyással bírnak a levélabszorpcióra és a tápanyag megoszlásra. A felsorolt tényezők hatásfoka növényfajonként változó, ezért szükséges a felvétel körülményeit növényenként tisztázni.

Jelen munkában a kukoricánövény levelére adott foszfor megoszlását és beépülését tanulmányoztuk mint a permetezőtrágyázás egyik legfontosabb elvi problémáját. E munkánk segítségét nyújt a kukorica permetezőtrágyázásával kapcsolatos további kutatáshoz, egyben a gyakorlat számára is értékes eredményeket kaptunk. A kukorica hosszú tenyészidejű növény, és a különböző időben fellépő tápanyagigényeinek kielégítésére a tápanyagadagolásnak ez a módja lenne a legmegfelelőbb. A fiatal növény foszforhiányát a vetés előtt talajba juttatott foszforműtrágya általában kielégíti, a későbbi periódusokban — a virágzás és magkötés idején — pedig levéltrágyázással a növény fokozottabb foszforigényeit biztosítani lehet. A technikai megoldást illetően a repülőgépről történő permetezés látszik a legcélszerűbbnek. Mivel ebben az esetben főleg a felső leveleket éri a permetlé, szükségesnek tartottuk a különböző levélszintek foszforfelvételét tanulmányozni. Ugyanis utalást találtunk arra, hogy a fiatal levelek csak alig, vagy egyáltalán nem vesznek fel a foszfor tápanyagot, míg az alsó öregebbek nagy mennyiséget rövid idő alatt abszorbeálnak [9].

Munkánk második részében azt vizsgáltuk, hogy a levelekről a termésbe jutott anorganikus foszfor a mag embrium és endospermium részében milyen szerves vegyületek formájában kötődik meg.

E tárgykörbe vágó metabolikus kutatások a növénytermesztés számára jelentősek, mivel a levélen keresztüli táplálás módszerének további fejlesztését segítik elő.

A különböző levélszintekre adott foszfor abszorpciójának és transzlokációjának vizsgálata

Kísérleteinket tenyészkeretben termesztett *Martonvásár* 5. hibrid kukoricánövényen hajtottuk végre. Egyformán fejlett hatsoros levelű tejesérésben levő növényeket választottunk ki.

A növényeket három csoportba osztottuk, minden csoportba 4—4 növény tartozott. Az első csoport növényeinek az alulról számított harmadik

levelét kezeltük P^{32} -vel jelzett 1/10 mólos KH_2PO_4 oldattal, a második csoport növényeinek a negyedik, a harmadik csoporténak pedig az ötödik levelét kezeltük.

A tápoldatnak a levélre juttatását illetően több szerző többféle módszert ajánl [6, 11]: a levél bemártását, levélre kenést, permetezést, csepegtetési eljárást stb. A mi céljainkra legjobban a tápoldat felkenése felelt meg, amelyre a következő kvantitatív eljárást dolgoztuk ki:

Minden kezelendő levél számára külön-külön kis üvegfolyót vettünk, melyben 5 ml 1/10 mólos KH_2PO_4 oldatot pipettáztunk, majd 100 μC P^{32} oldatot adtunk hozzá ugyancsak KH_2PO_4 alakjában. Az izotóp oldat nagy fajlagos aktivitású volt, tehát gyakorlatilag se a koncentrációt nem növelte, sem a pH-t nem befolyásolta. A folyókat közepén átfűrt gumidugóval zártuk le, ebbe parafinnal átitatott fapálcikát helyeztünk, melynek a végére meghatározott súlyú vattát kötöttünk. Az így előkészített edényeket analitikai mérleggel lemértük, és súlyukat a művelet elvégzése után visszamértük. Így pontosan kiszámíthattuk, hogy milyen mennyiségű aktív, illetve inaktív anyag került a levélre. Arra törekedtünk, hogy minden esetben azonos mennyiségeket vigyünk fel, ami többszöri leszárítással és újrakenéssel lehetővé vált. Végül fokon 1—1 levélre 10 mg inaktív foszfor jutott, mely megfelelt 72 μC aktivitásnak. Természetesen minden növénynek csak 1-1 levelét kezeltük, és a foszfor megoszlás vizsgálatára a többi levelét, valamint a termést használtuk fel.

Mind a levélből, mind a termésből a felviteltől számított 3, 6, 12, 24 óra múlva, majd 6 napon át minden reggel ugyanazon időpontban vettük a mintákat.

A mintavétel szempontjából fontos volt előzetesen tájékozódó vizsgálatokat végezni, hogy a levél tövétől számított különböző távolságokra miként oszlik el az aktív foszfor. Erre a célra fenti módon kezelt növények leveleiből az ér mellett sűrűn a hossz tengely irányába 1 cm átmérőjű dugófúróval kis korongokat fűrtünk ki, melyek aktivitását érzékeny GM csővel mindjárt lemértük. Azt tapasztaltuk, hogy a felvett foszfor eloszlása a levél tövétől a csúcs felé az idővel arányosan halad. Kezelés után 3 nappal a levéltő és a csúcs között még négyszeres, 6 nap múlva már csak másfélszeres aktivitás különbségeket mérünk. A levélből a mintákat tehát az első 10 cm foszforral túltelített rész után vettük, ahol egy nagyobb szakaszon egyenlő volt a megoszlás.

A termés feldolgozásánál először meghatároztuk a szárazanyagot, majd elhamvasztás után sósavas oldatának aliquot részéből aktivitást mértünk. Két alkalommal a bibéből is vettünk mintát, mellyel hasonló módon jártunk el.

Az 1. táblázat mutatja, hogy a különböző szinteken elhelyezkedő 1-1 levélre juttatott aktív foszforodat 6 nap alatt milyen intenzitással transzlokálódott a többi levélbe.

Az első két mintavételkor a 3. és 6. órában a levelekben még nem volt mérhető aktivitás.

Leghamarabb a 3. számú, tehát öregebb levélkezelés esetében mutatkozott eredmény, közvetlenül a kezelt alatti és feletti levélben. Két nap alatt kis mennyiségben ugyan, de minden levélben mérhető az aktív foszfor, és a továbbiakban bekerülő mennyiségek a kezelés szintjétől le- és felfelé egyenlő megoszlásra törekcsenek.

A negyedik levél foszforfelvételének eredményei két napig megegyeznek az előbbivel, a továbbiakban azonban az aktivitás a felsőbb levelekben mutatkozik erőteljesebben.

Ez a kép még szembetűnőbb a fiatalabb levelekre kent foszfor esetében (5. levél), ahonnan a foszfor zömmel a legfelső kis levélbe vándorolt. Ebben az esetben az alsó két levélben még a hatodik napon se volt kimutatható aktivitás.

A jelzett tápanyagnak a magvakba történő intenzív beáramlását a 2. táblázat szemlélteti 1 g friss, ill. szárazanyag percenkénti impulzusszámának mennyiségében. A csövek minden növénynél az alulról számított negyedik

1. táblázat

A különböző levélszintekre adott P³² megoszlása a kukoricánövény leveleiben

(1) Kezelés helye és jele	(2) Levél- szint (alul- ról szá- mítva)	(3) Mintavétel ideje						
		12 óra	24 óra	48 óra	72 óra	96 óra	120 óra	144 óra
		impulzus/perc						
A) A 3. levél kezelt	1	42	47	56	149	140	161	268
	2	—	64	68	102	156	205	468
	3	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	4	47	51	72	120	209	293	384
	5	—	—	73	113	152	278	296
	6	—	—	52	71	76	104	275
Össz. imp.		89	162	321	555	733	1041	1691
B) A 4. levél kezelt	1	39	44	67	73	97	128	162
	2	—	—	33	45	61	65	115
	3	—	—	40	81	91	147	213
	4	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	5	—	45	49	95	166	268	402
	6	—	46	54	103	179	307	384
Össz. imp.		39	135	243	397	594	915	1276
C) Az 5. levél kezelt	1	—	—	—	—	—	—	—
	2	—	—	—	—	—	57	56
	3	—	—	—	50	54	106	140
	4	—	42	44	62	82	113	114
	5	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
	6	—	48	92	215	262	320	322
Össz. imp.		—	90	136	327	398	596	632

levél tövében ültek, tehát a 3. levél kezelése esetében felfelé, az ötödiknél lefelé áramlással juthatott be a jelzett tápanyag a magba. A negyedik levéllel, a cső egyszinten lévén, legkönnyebb volt a beépülés, amint azt a táblázat adatainak magas aktivitásértékei mutatják.

Az öregebb levélről (3. levél) a tápanyagnak a termésbe vándorlása jóval lassúbb és mennyiségileg is jelentékenyen kevesebb, mint a másik két esetben. Az eredmények a napok számával haladva már nagyságrendi különbségeket mutatnak.

A terméssel egy szinten levő levélről (4. levél) a beáramlás már az első mintavételnél (3. óra) jól mérhető eredményeket adott. Az aktivitás mind a friss, mind a szárazanyagra számított értékeknél a három objektum közül a legjobb eredményeket mutatja.

2. táblázat

 A különböző levélszintekre adott P³² beáramlása a termésbe

(1) Kezelés helye és jele	(2) Vizsgált anyag	(3) Mintavétel ideje										
		impulzus/perc 1 g anyagban										
		3 óra	6 óra	12 óra	24 óra	48 óra	72 óra	96 óra	120 óra	144 óra		
A) A 3. levél kezelt	a) <i>Mag</i> friss anyag száraz anyag	— —	152 1085	252 1775	277 2 000	476 3 234	1945 14 370	2 501 21 070	3 686 26 640	5 417 35 700		
	b) <i>Csutka</i> friss anyag száraz anyag	— —	— —	— —	— —	— —	— —	3 433 17 050	4 209 16 640	5 198 20 030		
B) A 4. levél kezelt	a) <i>Mag</i> friss anyag száraz anyag	260 2040	843 6121	1166 9053	2 096 16 190	4 292 29 690	7 608 69 110	15 300 95 220	21 650 113 300	23 240 198 200		
	b) <i>Csutka</i> friss anyag száraz anyag	— —	— —	— —	— —	— —	— —	14 420 55 440	14 070 49 690	15 370 52 090		
C) Az 5. levél kezelt	a) <i>Mag</i> friss anyag száraz anyag	117 780	460 2969	752 2190	1 570 9 442	3 900 22 420	7 739 49 410	13 350 76 820	17 130 84 680	22 310 92 310		
	b) <i>Csutka</i> friss anyag száraz anyag	— —	— —	— —	— —	— —	— —	8 166 28 230	8 037 27 380	8 338 26 910		

A felső — fiatal — levélkezelés esetében a beépülés intenzitása az első két napon lassú, de a továbbiakban megközelíti az előbbit. A negyedik naptól a csutkában is mértük az aktivitást. Ezek az adatok még jobban kidomborítják a különböző levélszintek kezelésének hatását. Az alsó levélről a tápanyag lassú beáramlása a termésbe, a csutkának naponként emelkedő aktivitás értékeiből is kitűnik. A felsőbb levelek kezelésének esetében pedig már a negyedik napon mintegy telített állapotba kerül, és a beáramló tápanyagot teljesen a magnak adja át.

A bibéből vett minták aktivitás értékei mindhárom esetben megegyezően csekély eredményt adnak. Nyilvánvaló, hogy ennél az élettani szerepét betöltött szervnél csak adszorptíve megkötött aktivitásról lehet szó.

A különböző korú levelekre adott P^{32} felvételét szemlélve azt látjuk, hogy a megoszlás a levelek és a termés felé nem egyértelmű. A levelekbe a legalsó levélszintről több aktív oldat áramlott szét, mint a felsőről. Hatodik napon az össz aktivitást véve alapul 63%-os eltérés mutatkozik az idősebb levél javára a legfiatalabbhoz viszonyítva.

Ha a termésbe beáramlott foszfor impulzusszámaint vizsgáljuk, akkor fordított értéket látunk. A fiatal levélről — friss súlyra számítva — 76%-kal nagyobb a beáramlás.

Tekintve, hogy a permetezőtrágyázásnak nem annyira a növény fejlődés, mint inkább a terméskialakulás befolyásolása a főcélja, tehát ebből a szempontból eredményeink megnyugtató választ adnak.

Levélen keresztül adott radioaktív foszfor megkötődésének vizsgálata különböző fejlettségű kukoricamagvak embrium és endospermium részében

A foszfor, az anyagcserét katalizáló szerepe folytán, a növények életfolyamataiban döntő jelentőségű tényező. Részt vesz a légzésben, a szénhidrátok és fehérjék szintézisében és lebontásában, alkotórésze több redoxáznak és energiaátvitelben szereplő nukleotidnek (DPN, TPN) valamint a foszforillálásban szereplő ADP- és ATP-nek is. Nagymértékben található a sejtmembránokban a sejt-hártyák lipidjeiben, a fitinben és a biokatalizátorok egész sorában.

Növényélettani szerepe a növekedésben levő szerveknél jelentős, különösen a termés és magvak érésénél, amikor az anorganikus foszfátokból szerves vegyületek épülnek fel.

A foszfor jelenléte a szénhidrátok mobilizációjáról is tájékoztatást nyújt. A szénhidrátok mozgásának folyamata a levelekben kezdődik a hexozok foszforillezésével, ahonnan a foszforillezett cukrok a xylemen keresztül a raktározó szervekbe vándorolnak. A mozgáshoz szükséges energia a cukrok labilis alakjainak bomlásakor szabadul fel, a foszforsavnak a cukorról történő lehasadása útján. Tehát a foszfor a szénhidrátok mennyiségének, valamint a növényekben történő mozgásának legjobb indikátora, mivel az oldható szénhidrátok mozgásában a szállító szerepét tölti be.

Kísérletünk első részében beszámoltunk arról, hogy a kukoricánövény a levelére juttatott foszfát ionokat milyen mértékben veszi fel, továbbá arról is számot adtunk, hogy a termésbe milyen mértékben építi be. Felmerült az a kérdés, milyen szerves vegyületek formájában kötődik meg? A foszforvegyületek alakulásának vizsgálatára a kukoricamagokból 4 frakciót választottunk szét oly módon, ahogy egy előző dolgozatban már közöltük [1]. A savoldható

frakciót 10%-os triklorcetsavval, a lipidfoszfátokat metanol-kloroform keverékével, 5%-os triklorcetsavval, 90 C°-on a nukleinsavfoszfátokat, a maradék elroncsolása után a foszforproteideket határoztuk meg.

Tekintve, hogy a mag a külön rendeltetéssel bíró, egymással kölcsönhatásban levő embriumnak és endospermiumnak az együtteséből áll, nem tartottuk érdektelennek nemcsak az egész magot, hanem a két összetevőt is külön-külön megvizsgálni. Az embriumnak, mely az új növény kezdete, saját teste kiépítéséhez tápanyagokra van szüksége, melyet az endospermiumban raktározott készletekből enzimei segítségével von ki. Ezeknek a folyamatoknak a lebonyolításában a foszfor egyik legnagyobb szerepet játssza a nagyenergiájú foszforvegyületek segítségével.

Kísérleti rész

A különböző időben vetett kukoricaállományból egyazon időben eltérő fejlettségű növények álltak rendelkezésünkre. A kísérlethez 15 db növényt választottunk ki úgy, hogy 5—5-nek a szemtermése kb. egyforma fejlettségi fokot mutatott. A növényeket az előzőekben leírt módon kezeltük, mindegyiket azonos levélszinten (alulról a negyedik levelet). A kezelés után három hét múlva a csöveket leszedtük, és minden csőről a középrészről óvatosan lefejtett magokat különválasztottuk. Minden egyes mintából szárazanyag meghatározást végeztünk, és a szárazanyag tartalom alapján 3 csoportra osztottuk a mintákat. A szárazanyag középértéke az alábbi eredményeket adta:

- I. csoport 37,7%
- II. csoport 47,5%
- III. csoport 56,0%

Minden csoportban 3—3 cső magvai maradtak, a többit szelektálni kellett.

Hogy az egyedi különbségekről tájékozódást kapjunk, a csoportokon belül minden egyes mintát kezdetben külön-külön dolgoztunk fel. A magokból először, tájékozódás végett, összes aktivitást mértünk, majd a teljes szem foszforfrakcióinak analízisét végeztük el, melyeknek aliquot részeciből ugyancsak aktivitást mértünk.

A csoportokon belüli minták vizsgálati eredményei csekély eltérést mutattak, ezért csak az eredmények középértékeit közöljük (3. táblázat).

A 3. táblázat mutatja, hogy a termésbe jutott foszfor zömmel az első frakcióban van, és a többi organikus kötésű foszforvegyületbe kb. 10—20% közötti mennyiség épült be. Az első frakcióban, a szerves foszforvegyületeken kívül, az összes anorganikus foszfor is jelen van. Izotóp technikával nem tudunk a kettő között különbséget tenni, tehát hogy a felvett foszforból az első frakció organikus vegyületeibe mennyi épült be, ezzel az eljárással nem tudjuk kimutatni.

Ha a lipid-, nukleinsav- és proteinfoszfor eredményeit a friss anyag %-ában nézzük, a különböző fejlettségű magok nem mutatnak nagy eltérést. De az összes impulzusszámhoz viszonyítva — ugyancsak a friss anyagra vonatkoztatva — a legfiatalabb magvak építettek be legtöbb foszfort az említett három frakcióba. A szárazanyagra számított eredményekből ez még jobban kitűnik.

Az embrium és endospermium rész feldolgozásánál a következőképpen jártunk el: Egy-egy csoporton belül egyesítettük a magokat, mivel az előbbeni vizsgálatoknál megbizonyosodott, hogy az egyedi szórás nem nagy. Az egyesített átlagmintából minden analízishez 30—30 szem magot szétoperáltunk csíra és endospermium részre, ezeket hűtött edénybe helyeztük, lemértük súlyukat, majd elvégeztük a szükséges kémiai műveleteket. Egy másik, hasonlóképpen előkészített mintából össz-aktivitást és szárazanyag meghatározást végeztünk.

Az egyes csoportokon belül a párhuzamos minták súlyadatait a 4. táblázat szemlélteti.

A 3. táblázat az embrium és endospermium foszforfrakcióinak 1 g friss, ill. szárazanyagra számított adatait is adja a két párhuzam középértékében.

Az embriumban a savoldható foszfátok mennyisége mind a három csoportban az összes érték 94%-át, az endospermiumban viszont csak 73, ill. 79%-át képezi. Ennek a frakciónak szerves foszforvegyületei főleg cukorfoszfátokból, glicerofoszfátokból és energiadús foszforvegyületekből tevődnek össze. Mivel a foszfor aktívan részt vesz a szénhidrátok szállításában a levelekből a generatív szervekbe, feltehető, hogy a szerves foszfor egy része cukorfoszfát észterként kerül a magokba. Ennek a frakciónak részletesebb vizsgálatát, sajnos, technikai okok miatt nem tudtuk elvégezni.

3. táblázat

A P³² megoszlása az egész mag és részeinek foszforfrakcióiban

(1) Foszforfrakciók	I.		II.		III.	
	csoportban					
	(2) friss anyag	(3) száraz anyag	(2) friss anyag	(3) száraz anyag	(2) friss anyag	(3) száraz anyag
impulzus/perc 1 g anyagban						
A) Az egész magban						
Savoldható foszfor	5 374	14 240	9 581	20 187	8 118	15 557
Lipid-P	755	2 001	762	1 607	843	1 504
Nukleinsav-P	156	414	93	195	109	193
Protein-P	471	1 446	438	923	503	897
Összes imp.	6 756	18 101	10 874	22 912	9 573	18 151
B) Az embriumban						
Savoldható-P	62 940	169 841	70 449	166 120	73 673	142 450
Lipid-P	2 941	7 918	3 200	7 562	2 686	5 194
Nukleinsav-P	—	—	267	629	296	573
Protein-P	726	1 954	953	2 248	1 183	2 288
Összes imp.	66 607	179 713	74 869	176 559	77 838	150 505
C) Az endospermiumban						
Savoldható-P	3 702	10 677	3 721	7 827	3 897	7 108
Lipid-P	666	1 920	557	1 171	666	1 214
Nukleinsav-P	368	484	23	48	71	129
Protein-P	490	1 414	268	564	268	488
Összes imp.	5 226	14 495	4 569	9 610	4 902	8 939

A savoldható foszforesoport után mind az embriumban, mind az endospermiumban a lipidfoszfátok értéke a legmagasabb. Ezeknek a szerves foszforvegyületeknek a magvak érése idején van a legnagyobb szerepük. A tejesérés időszakában a mag lipidjeinek jelentős része foszfátidokból áll. A foszfátidok fontos szerepet játszanak a sejtlártyák permeabilitásának kialakításában és fenntartásában, a sejtnedv és plazma pH-jának pufferolásában — általában befolyásolják a sejtek és szövetek fizikokémiai sajátosságait.

A négy frakció közül a nukleinsavfoszfor mennyisége a legcsekélyebb. A legfiatalabb magok embriumában nem is találtunk mérhető mennyiséget. Mivel éppen a fiatal sejtek anyagcseréjében a nukleinsav fontos és nélkülözhetetlen vegyület, feltételezhető, hogy a fiatal csírába került nukleinsav a proteinek szintetizálásában vett részt, és stabilis kötésű nukleoproteid formában van jelen. Így az utóbbi frakcióban a foszforproteidekkel együtt került vizsgálatra.

4. táblázat

30 db mag súlyadatai

Vizsgált anyag	I.		II.		III.	
	csoportban, a két párhuzamban					
	1	2	1	2	1	2
a) 30 db mag endospermiumának súlya g	7,80	7,50	8,70	8,60	11,50	11,20
b) 30 db mag embriumának súlya g	0,34	0,31	0,90	0,85	1,00	1,10
Összesen:	8,14	7,81	9,60	9,45	12,50	12,30
c) 1 mag átlagsúlya g ...	0,27	0,26	0,32	0,31	0,41	0,41
d) Csira % a magban	4,1	3,9	9,3	8,9	8,0	8,9

A magban megoszló foszfor áttekintésére a g-súlyra számított értékek nem adnak reális képet. Ugyanis amíg a mag endospermiumából 3—5 db, addig az embriumból 30, ill. a legfiatalabb magvakból 100 db jut 1 g-ra. Azért az eredményeket egy szem magra is átszámoltuk, melyet a 5. táblázatban közlünk.

A savoldható foszforesoport ismeretlen mennyiségű szerves foszforvegyületeitől eltekintve, a szerves foszfátok az endospermiumban vannak túlsúlyban, ami ennek a szervnek a tartaléktápanyag raktározó szerepét domborítja ki. Ha egy szem magra eső összes impulzusszám %-ában nézzük egy csíra vagy egy endospermium impulzusszámának mennyiségét, akkor az tűnik fel, hogy a legfiatalabb magvak esetében a százalékos megoszlásban fordított értéket találunk. Ez azzal magyarázható, hogy a másik kettőnél jóval kisebb és fejletlenebb csíra nem tudott még annyi tápanyagot beépíteni vagy szintetizálni, így a beáramló foszfor nagyobb mennyisége az endospermiumban maradt.

Egy szem mag értékelésében tehát — tekintve hogy a felvett foszfor nagyobb százalékban a csírába épül be — ennek fejlettsége dönti el az egy

szem magba kerülő foszfor mennyiségét. Helytelen következtetés lenne azonban kimondani, hogy a nagyobb csírával rendelkező fejlettebb, tehát idősebb magok hasznosítják nagyobb mértékben a felvett foszfort, mert a fiatal mag fejlődésével és gyarapodásával a foszfor beáramlás is fokozatosan halad.

Sajnos, a foszforizotóppal túl hosszú ideig nem kísérhetjük a növényben lejátszódó folyamatokat, mivel bizonyos határt szab a rövid, 14 napos felezési ideje. Így pl.: a beérett magot már nem tudjuk megvizsgálni, pedig végső

5. táblázat

A foszforfrakciókban I szem magra számított P³² megoszlási értékei

(1) Vizsgált anyag	(2) Fejlettség foka	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	%
		Sav- oldható-P	Lipid-P	Nuklein- sav-P	Protein-P	Összes impulzus	
impulzus/perc							
a) Egy egész mag	I. csop.	1596	198	52	135	1981	100
	II. csop.	2978	251	8	108	3345	100
	III. csop.	3918	334	37	145	4434	100
b) Egy embrium	I. csop.	713	33	—	8	754	37
	II. csop.	1971	95	7	25	2091	62
	III. csop.	2585	92	11	43	2731	61
c) Egy endosperm.	I. csop.	883	165	50	127	1225	63
	II. csop.	1006	156	8	83	1253	38
	III. csop.	1333	241	25	101	1700	39

fokon ez döntené el, hogy a tápanyagnak a levélre juttatása idejétől a termés beéréséig milyen mennyiségű foszfor halmozódott fel a magban. Ha viszont nagyobb aktivitást viszünk a növényre, károsító hatás tapasztalható, nem számítva, hogy az anyagcsere folyamatokat is nagymértékben károsan befolyásolhatja. Így az ilyen hosszú tenyészidejű növényeknél, mint amilyen a kukorica is, vizsgálatainkat csak egy meghatározott időpontra terjeszthetjük ki, mint ahogy jelen munkánk is csak egy adott időpont keresztmetszetének képét adja.

Összefoglalás

A kukoricánövény különböző levélszintjeire adott P³²-vel jelzett KH₂PO₄ oldat abszorpcióját és transzlokációját tanulmányoztuk. A hat levélsoros növényeknek alulról számított 3., 4., ill. 5. levelére kentük fel quantitative a tápoldatot. A levelekből és a termésből különböző időpontokban vett minták aktivitását mértük.

A tápoldat megoszlás a levelek és a termés felé nem egyértelmű. A levelekbe a legalsó levélszintről több aktív oldat áramlott szét, mint a felsőről. Viszont a felső, fiatal levelekről a termésbe kb. 76%-kal nagyobb a tápoldat beépülése, mint az alsó levélszintről.

Különböző fejlettségű növényeken vizsgáltuk a levélen keresztül felvett foszfor beépülését a csíra és endospermium foszforvegyületeibe. A foszfor-

vegyületeket 4 frakcióra választottuk szét: a savoldható-, lipid-, nukleinsav- és proteinfoszfor mennyiségeit határoztuk meg.

A savoldható foszfátok minden esetben túlsúlyban vannak. A levélről bekerült foszfor a korai tejésérés stádiumában az endospermiumban — a fejlettebb növényeknél pedig az embriumban halmozódik fel.

Érkezett : 1961. augusztus 15.

Irodalom

- [1] BÁRTFAY, T.-NÉ: Foszforvegyületek alakulása a borsónövény fejlődése folyamán. Növénytermelés **5**, 321—330. 1956.
- [2] BIDDULPH, O. et all.: Circulation patterns for phosphorus sulfur, and calcium in the bean plant. *Plant Physiol.* **33**, 293—300. 1958.
- [3] BIDDULPH, O. & CORY, R.: An analysis of translocation in the phloem of the bean plant using the P^{32} and C^{14} . *Plant Physiol.* **32**, 608—619. 1957.
- [4] BUKOVAC, M. J. & WITTEW, S. H.: Absorption and mobility of foliar applied nutrients. *Plant Physiol.* **32**, 428—435. 1957.
- [5] FERENCZ, V.: MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet 1957. évi jelentése.
- [6] KAINDL, K.: Untersuchung über die Aufnahme von P^{32} markiertem primärem Kaliumphosphat durch die Blattoberfläche. *Die Bodenkultur* **7**, 324—353. 1953.
- [7] KAZARJAN, V. O. ET ALL.: O szoprjarsennom peredvizsenii uglevodov i foszfora v rasztenijah. *Dokl. AN. Armjanszkoj Sz. Sz. R. Erevan.* **20**, (5) 197—201. 1955.
- [8] KENDALL, W. A.: Effect of certain metabolic inhibitors on translocation of P^{32} in bean plants. *Plant Physiol.* **30**, 347—350. 1955.
- [9] KOONTZ, H. & BIDDULPH, O.: Factor affecting absorption and translocation of foliar applied phosphorus. *Plant Physiol.* **32**, 463—470. 1957.
- [10] KÚTHY, S.: A permetezőtrágyázás problémái és magyarországi tapasztalatai. *MTA Agrártud. Oszt. Közl.* **9**, 217—236. 1956.
- [11] OKUDA, A. & KAWASAKI, T.: The effect of different phosphorus compounds and pH on foliar absorption by use of radioactive isotopes. I. *Soil and Plant Food.* **6**, 66—70. 1960.
- [12] OKUDA, A. & AMADA, T.: The effect of sucrose on the absorption and translocation of foliar applied phosphoric acid labeled by radioactive phosphorus. *Soil and Plant Food.* **6**, 71—75. 1960.
- [13] PAVLOV, A. N.: Posztuplenie vescsesztv cserez lisztja i korni u kukuruzy. *Fiziol. Raszt.* **7**, 326—334. 1960.
- [14] SWANSON, C. A. & WHITNEY, J. B.: The translocation of foliar applied phosphorus³² and other radioisotopes in bean plants. *Amer. J. Bot.* **40**, 816—823. 1953.
- [15] WRIGHT, K. E. & BARTON, N. L.: Transpiration and the absorption and distribution of radioactive phosphorus in plants. *Plant Physiol.* **30**, 386—388. 1955.

ИЗУЧЕНИЕ УСВОЕНИЯ РАДИОАКТИВНОГО ФОСФОРА, НАНЕСЕННОГО НА ЛИСТЬЯ КУКУРУЗЫ

Э. Бартфай

Научно-Исследовательский Институт Почвоведения и Агрохимии АН Венгрии, Будапешт

Резюме

В первой части опыта мы изучали адсорбцию и транслокацию меченого изотопом раствора KH_2PO_4 , нанесенного на листья кукурузы различного яруса. Наносили известные количества питательного раствора на 3, 4 и 5 (считая снизу) лист растения кукурузы, имевшего шесть рядов листьев. Пробы брались из обработанных листьев через 3, 6, 12, 24 часа после нанесения раствора, каждое утро в течение первых шести дней и из урожая. Пробы из листьев брали пробочником с диаметром 1 см и измеряли их актив-

ность. Активность урожая измеряли после сжигания из определенной известной части солянокислого раствора. Активность, определенная в пестиках была незначительной.

Табл. 1 показывает с какой интенсивностью активный раствор фосфора, нанесенный на листья, расположенные в разных ярусах, за шесть дней транслоцировался в остальные листья. Интенсивный отток в семена за это же время показан в табл. 2.

Распределение между листьями и семенами не равномерное. Из самого нижнего яруса листьев отток активного раствора был сильнее, чем из верхнего. На шестой день отклонение в пользу более старого листа составляет 63%, если взять за основу общую активность. Из молодого же листа, в пересчете на сырой вес отток на 76% выше.

Во второй части нашего опыта мы исследовали, в состав каких органических соединений урожая вошел фосфор из радиоактивного раствора, нанесенного на листья. В опыте мы использовали растения, находящиеся на различных стадиях развития, сгруппировав их по содержанию сухого вещества. Количество сухого вещества было 37,7% для растений первой группы, 47,5% — для второй и 56,0% для третьей группы.

Для определения фосфорных соединений, семена кукурузы разделили на фракции: кислотно-растворимые фосфаты извлекли 10%-ной трихлоруксусной кислотой, липид-фосфаты — хлороформ-метаноловой смесью, нуклеиново-кислые фосфаты 5%-ной трихлоруксусной кислотой при 90° С и после сжигания остатка определили фосфопротеиды.

Кроме фракций фосфора целого зерна, — показанные в табл. 3. — по отдельности анализировали и зародыш и эндосперм семя. Для этой цели отделяли зародыш от эндосперма 30—30 зерен из каждой группы и анализировали их. Данные веса параллельных образцов из каждой группы приведены в табл. 4.

В 3. табл. приведены данные анализа зародыша и эндосперма в среднем по двум параллельным определениям в расчете на 1 г свежего, или сухого вещества.

Из определяемых четырех групп соединений фосфора во всех случаях преобладают кислотнорастворимые фосфаты. За ними, как в зародыше, так и в эндосперме, следует количество липид-фосфатов. Незначительное количество нуклеиновой кислоты объясняется тем, что она участвовала в синтезе протеинов и находится в виде нуклеопротеидов.

Более наглядную картину распределения фосфатов в зерне мы получим, при пересчете полученных результатов на одно зерно (табл. 5.). В этом случае количество кислоторастворимых фосфатов также наибольшее. Однако — в противоположность данным, полученным при расчете на один грамм веса — во всех трёх стадиях развития остальные три фракции фосфора оказываются в перевесе в эндосперме. Даже для наименее развитых зерен общее количество импульсов оказалось наибольшим в эндосперме.

Значит, попавший на листья фосфор в стадии ранней молочной спелости накапливается в эндосперме, а в более развитых растениях — в зародыше.

Табл. 1. Распределение P^{32} , нанесенного на листья различных ярусов в листья кукурузы имп/мин. (1) Место и обозначение нанесения раствора А = 3. лист снизу, В = 4. лист снизу, С = 5. лист снизу обработан. (2) Ярусы листьев, считая снизу. (3) Срок взятия образцов, указанный в часах, считая от обработки.

Табл. 2. Отток, нанесенного на листья различных ярусов, P^{32} в зерно, импульсов/мин на 1 г вещества. (1) Место и обозначение нанесения раствора (см. табл. 1.). (2) Материал, подвергнутый анализу. (а) зерно свежее и сухое вещество, (б) стержень початка, свежее и сухое вещество. (3) Срок взятия образцов в часах, считая от обработки.

Табл. 3. Фракции фосфора в различных частях зерна. (Для II—III вариантов) (1) Фракции фосфора (кислотно-растворимый, липидный-Р, Р нуклеиновых кислот, протеина). В свежих образцах. В сухом веществе имп/мин в 1 г вещества. А) Целое зерно. В) Зародыш. С) Эндосперм.

Табл. 4. Вес 30 шт семян для 1 и 2 повторности образцов I—III вариантов. (1) Исследованный материал. а) Вес эндосперма 30 зерен г. (б) Вес зародышей 30 зерен г. с) Средний вес 1 зерна. г. d) % зародыша в зерне.

Табл. 5. Величины фосфорных фракций в расчете на 1 зерно. (1) Исследованный материал. а) одно целое зерно. б) один зародыш. с) один эндосперм. (2) Руппировка по развитию. (3) Кислотнорастворимый Р. (4) Липидный Р. (5) Р нуклеиновой кислоты. (6) Р протеина. (7) Всего импульсов/мин и %.

Studies on the Uptake of Radioactive Phosphorus Maize Plants after Foliar Application

E. BARTFAY

Research Institute for Soil Science and Agricultural Chemistry of the Hungarian Academy of Sciences, Budapest

Summary

In the first phase of these studies labelled KH_2PO_4 has been applied to leaves of maize plants at different insertions and absorption and translocation of the phosphorus was always followed. A known quantity of phosphate was applied. Maize plants in the six-leaf stage were treated on either their 3rd, 4th, or 5th leaf. Untreated leaf and ear samples were taken 3, 6, 12 and 24 hours after treatment and also in the morning of the following six days. Leaf samples were taken with a $d = 1$ cm cork-borer and the activity of the leaf disks was measured directly. Ear samples were combusted and the HCl solution of the ash was used for activity measurements. Activity of the pistils was never conspicuous.

The distribution in maize plants of radioactive phosphorus six days after treatment of one of their leaves is shown in Tables 1 and 2. Data for the leaves are found in Table 1, while the amounts of labelled phosphorus translocated to the ears are shown in Table 2.

It is seen that more phosphorus was translocated from the third leaf than from the fifth leaf to the other untreated leaves. The difference among them was as much as 63% on the sixth day. On the other hand, on a fresh weight basis 76% more phosphorus was accumulated by the ears if the phosphate was applied to the youngest leaf.

Further experiments were devoted to the study of labelled organic phosphorus compounds of the ears after leaf treatment of maize plants with P^{32} -phosphate. The plants applied in these studies were in different developmental stages, and these latter were characterized by the per cent dry matter content of their tissues. Dry matter content was 37.7% in the youngest stage (group I in Tables 3 to 5), studied, 47.5% in the second stage (group II), and 56.0% in the oldest plants (group III).

The phosphorus content of maize seeds was separated into four fractions: acid-soluble compounds were extracted with 10% trichloroacetic acid and lipid-phosphates with a methanol-chloroform mixture, nucleic acid-phosphorus was extracted with 5% trichloroacetic acid at 90° C, and the phosphorus content of the residue which was determined after combustion is referred to in the following as protein-phosphorus.

The phosphorus fractions of whole seeds, of the embryo and of the endosperm are shown in Table 3. The latter were excised from seeds, and the parallel samples, each derived from 30—30 seeds were analysed after fresh and dry weight measurements (see Table 4.). The phosphorus values in Table 3 are averages for the two parallels, expressed on both a fresh and a dry weight basis.

Of the four fractions acid-soluble phosphorus was always present in the highest amount followed by lipids. It is suggested that nucleic acids in this material are firmly bound to proteins and therefore a significant part of this fraction was not extracted from the residue.

The distribution in different fractions of the phosphorus content of seeds on a mg./kernel basis is shown in Table 5. These values show that the absolute amounts of lipid-P, nucleic acid-P, and protein-P are highest in the endosperm, regardless of the developmental stage of the plants treated. However, only in the youngest stage was the total activity highest in the endosperm. In other words, most of the phosphorus coming from the leaves is accumulated in the endosperm of young seeds, but after milky ripeness the highest amounts are accumulated in the embryo.

Table 1. Distribution of P^{32} in untreated leaves of maize plants (c. p. m.) after treatment of one of their leaves. (1) Treated leaf: A = 3rd leaf from the base, B = 4th leaf, C = 5th leaf. (2) Number, from the base, of the leaf level studied. (3) Sampling time, hours after treatment

Table 2. Accumulation of P^{32} in the ears after leaf treatment of maize plants (c. p. m. per 1 g. fresh and dry matter). (1) Treated leaf. A to C as in Table 1. (2) Ear part studied: (a) seed, (b) cob. (3) Sampling time, hours after treatment

Table 3. Quantitative composition of the phosphorus content of various parts of seeds deriving from maize plants treated on one of their leaves. (1) Phosphorus fraction:

acid-soluble, lipid-, nucleic acid-, and protein-phosphorus. (2) c. p. m. per 1 g. fresh weight. (3) c. p. m. per 1 g. dry weight. *A)* Total seed. *B)* Embryo. *C)* Endosperm

Table 4. Fresh and dry weights of the endosperm and embryo samples studied. (1) Plant material: (a) dry weight of 30 endosperms, g.; (b) dry weight of 30 embryos, g.; (c) average dry weight of one kernel, g.; (d) weight of the embryo, per cent of total seed weight

Table 5. Phosphorus fractions of maize seeds on a mg. per kernel basis. (1) Plant material: (a) whole seed, (b) embryo, (c) endosperm. (2) Developmental stage of the plants. (3) Acid-soluble phosphorus. (4) Lipoid phosphorus. (5) Nucleic acid phosphorus. (6) Protein phosphorus. (7) Total activity, c. p. m. and %