

Algateszt a foszfor felvehetőségének a vizsgálatára

ÖRDÖG VINCE és MÁTÉ FERENC

Nyugat-Magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar,
Mosonmagyaróvár és Veszprémi Egyetem, Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar,
Keszthely

A foszfor felvehetőségének a jellemzésére szolgáló módszerek nemzetközi szakirodalmával könyvtárak tölthetők meg, de a hazai szakirodalom is számos közleménnyel járult hozzá az erre vonatkozó ismeretekhez, illetve dolgozta fel időről időre összefoglaló tanulmányokban azokat (BOSTRÖM et al., 1988; CHANG & JACKSON, 1957; FÜLEKY, 1983, 1999; OLSEN & DEAN, 1965; SARKADI, 1975).

A felvehetőség pontosan nem definiálható fogalom, minthogy a talajban különböző vegyületformákban egyidejűleg jelenlévő foszfor frakciók különböző hányada hasznosul attól függően, hogy mely növényfaj, fajta, milyen fejlettségi állapotban, más tápelemekkel való ellátottság milyen szintjén stb. folytat aktív tápanyagfelvételt. A kérdés valójában mindig gyakorlati vonatkozásban merült fel a tápanyag-gazdálkodás szakszerűségének előmozdítására, és erre a célra alkalmasnak bizonyultak a talaj foszforkészletének valamely könnyen mobilizálható hányadát számszerűen jellemző vizsgálatok. A módszerek legtöbbje enyhe oldószerekkel készített kivonatok foszfortartalmának a meghatározása (FÜLEKY, 1976; FÜLEKY & CZINKOTA, 1998; SARKADI, 1986; SCHÜLLER, 1969), de használatosak izotóp-megoszlás vizsgálatán, vagy a foszfornak a talaj szilárd fázisán és a bekevert ioncserélők közötti megoszlásán alapuló eljárások is (MENON et al., 1990; OSZTOICS & VARRÓ, 1986). Kidolgoztak továbbá bioteszteket is: a Neubauer módszernél rosznövény, az *Aspergillus*-teszt esetén gombatenyészet által egyéb fejlődési feltételek optimalizálása mellett felvett foszfort tekintették a felvehetőség mértékének. A módszerek elterjedtségét a jó reprodukálhatóság és az olcsóság mellett döntően az határozta meg, hogy mennyi tápanyag-gazdálkodási tapasztalat, vegetációs kísérlet kapcsolódik hozzájuk, mintegy hitelesítve azokat (FÜLEKY & THAMM, 1979; SARKADI, 1975, 1986; DI GLÉRIA, 1962; THAMM, 1996).

Postai cím: Dr. ÖRDÖG VINCE, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar, Növénytermesztési Intézet, Növényélettan és Növényi Biotechnológia Tanszék, 9200 Mosonmagyaróvár, Kolbai Károly u. 8. *E-mail:* ordogvin@axelero.hu

Ilyen megfontolások után felmerül a kérdés: van-e értelme, indokolt-e újabb módszerek kidolgozása, bevezetése a foszfor felvehetőségének a vizsgálatára? Az igény nemcsak a mezőgazdaságból merült fel, hanem a tavak eutrofizációjának környezeti problémája oldaláról is. Ismeretes, hogy a természetes felszíni édesvizek civilizációs eredetű eutrofizációja világszerte és az esetek nagy többségében az algaflóra elburjánzásának limitáló tényezője a foszfor. Sekély tavakban számottevő szerepe van az ún. belső terhelésnek, ami a mederüledék hozzájárulását jelenti az algák foszforellátásához. A tavi üledékek foszforszolgáltató képességének a vizsgálatára is alkalmazták a talajvizsgálati módszereket, ill. azok módosított változatait (MÁTÉ, 1987), majd kifejezetten az üledék foszfortartalmának frakcionálására is dolgoztak ki eljárásokat (HILTJES & LIJKLEMA, 1980).

Jogos feltételezés, hogy az algaflóra számára a különböző mozgékonyaságú foszfor frakciók hozzáférhetősége eltér a magasabb rendű növényekétől, különösen a gazdasági növényekétől. Felmerült az igény olyan bioteszt kidolgozására, amely az algaflóra elterjedt komponensét képező faj(ok) foszforfelvételének szabályozott körülmények közötti vizsgálatából nyújt lehetőséget az üledék foszforszolgáltató képességének a jellemzésére (HEGEMANN et al., 1983; ÖRDÖG & DOBOLYI, 1997). Ilyen módszer használata összehasonlítási alapot adhat a mezőgazdasági talajvizsgálatban használatos módszerekkel nyert könnyen mobilizálható foszfor-értékeknek a limnológiai kérdések eldöntésére való használhatóságáról, ugyanakkor növeli a talajvizsgálat eszköztárát (SZILIKOVÁCS et al., 1997).

Az elmúlt 35 évben a nemzetközi szakirodalomban fellelhető laboratóriumi algatesztek széles választéka SKULBERG (1964) úttörő közleményét követően jött létre (ÖRDÖG, 1981). A mederüledék vizsgálatára kidolgozott eljárások három nagy csoportba sorolhatók: 1. a tesztalga és az üledék a tápoldatban közvetlenül érintkezik egymással; 2. az algát szelektíven áteresztő hártya választja el az üledéktől; 3. az üledék agarba ágyazott. A legelterjedtebbek a tápoldatos eljárások, amelyek nagyobb, algák számára hozzáférhető foszfor (BioAvailable Phosphorus = BAP) értékeket mérnek, mint az üledék és a tesztalga érintkezését nem biztosító módszerek. Utóbbiak közé tartozik DE PINTO (1982) módszere, aki 0,4 μ pórusméretű membránnal két félre választott tenyésztő berendezést használt a vizsgálatokhoz. Az egyik üvegedényben az egyedüli P forrást biztosító üledékmintát szuszpendálta, a másikba pedig a P-éheztesztelt algát oltotta. A membrán korlátozott áteresztő képessége miatt a módszer alulbecsülte a BAP koncentrációját. Ugyanez állapítható meg a dialízis zsákokkal végzett mérésekre is. A dialízis zsákokba helyezett minták a tápközegbe nem adtak le az algák számára felvehető mennyiségű foszfort, miközben ugyanez a minta a tápoldatos eljárással tesztelve serkentette az algák szaporodását (HEGEMANN et al., 1983). A legkülönbözőbb célokra végzett algatesztekhez, egyszerű szaporíthatóságuk miatt a legáltalánosabban a *Raphidocelis subcapitata*, a *Chlorella vulgaris* és a

Scenedesmus subspicatus zöldalgát használják. Cianobaktériumok alkalmazása nem jellemző, több algával végzett összehasonlító vizsgálat pedig az irodalomban csupán elvétve található. A balatoni mederüledék BAP koncentrációjának mérésére sikeresen használtuk a *Scenedesmus subspicatus* zöldalgával és a Balatonban korábban uralkodó *Cylindrospermopsis raciborskii* cianobaktériummal végzett tesztek (ÖRDÖG & DOBOLYI, 1997).

Jelen tanulmányunkban talaj- és balatoni mederüledék-mintákat vizsgáltunk az általunk korábban kidolgozott eljárással. Arra kerestünk választ, hogy van-e összefüggés a talajban használatos kémiai és biológiai módszerekkel mért hozzáférhető foszfor és az algateszttel nyert BAP értékek között.

Anyag és módszer

A különböző foszforvizsgálati eljárások összehasonlítását húsz talaj- és három balatoni mederüledék-mintán végeztük. A minták alapvizsgálati adatait és összes P-koncentrációját az 1. táblázat tartalmazza. Megállapítható, hogy az összes foszfor, a kötöttség, a humusz-, a mésztartalom és a reakcióállapot szempontjából kellő változatosságot képvisel a mintaanyag, de nem fordulnak elő szélsőséges értékek, eltekintve a balatoni mederiszap nagyon magas méasztartalmától.

A minták összes P-tartalmát, valamint az ammónium-laktát- (AL) oldható foszfort a talaj- és trágyavizsgálati módszerek (DI GLÉRIA, 1962) előírásainak megfelelően határoztuk meg. A Neubauer- és az Aspergillus-tesztet a talajvizsgálati módszerkönyv (BALLENEGGER, 1944) szerint hajtottuk végre. Elvégeztük a NaHCO₃-os, az Olsen-féle P-vizsgálatot (OLSEN & DEAN, 1965), valamint a Füleky-féle forróvízes kivonattal (FÜLEKY & CZINKOTA, 1998) mobilizálható foszfor mérését. Bevontuk az összehasonlításba a tavak foszforterhelésének vizsgálatára kidolgozott, a művelt területekről elfolyó víz BAP mérésére alkalmas vas-oxid-papír módszert (SHARPLEY, 1993a), amelyről az irodalomban jó összehasonlítások találhatók az algatesztek eredményeivel.

Az algatesztet *Cylindrospermopsis raciborskii* cianobaktériummal és *Scenedesmus subspicatus* zöldalgával végeztük a balatoni mederüledék vizsgálatára kidolgozott módszer szerint (ÖRDÖG & DOBOLYI, 1997). A *Sc. subspicatus* zöldalgát N-tartalmú, a *C. raciborskii* cianobaktériumot pedig N-mentes és N-tartalmú BG-11 tápoldatban is vizsgáltuk. A P-éheztetett oltóanyag előállítására a teszt-szervezeteket egy hétig P-mentes tápoldatban szaporítottuk. A kalibrációs görbe készítéséhez és a mederüledék-minták BAP vizsgálatához szükséges P-éheztetett oltóanyagot a zöldalgánál a következő átoltásokkal nyertük:

Z-8 tápagar ⇒ teljes BG-11 tápoldat ⇒ teljes BG-11 tápoldat ⇒ P-mentes BG-11 tápoldat.

1. táblázat
A talaj- (1–20) és balatoni mederüledék-minták (21–23) alapvizsgálati adatai és
összes P-koncentrációja

(1) Minták sorszám	pH (KCl)	CaCO ₃ %	(2) Humusz %	(3) Kötöttségi szám (K _A)	(4) Leiszapolható %	(5) Összes P µg/g
1	6,4	-	1,60	43	38	512
2	6,9	-	1,98	43	39	751
3	6,2	-	2,03	42	38	559
4	6,5	-	1,73	47	38	722
5	6,6	-	1,59	45	37	730
6	7,2	8,0	1,14	41	34	769
7	7,2	12,0	1,38	45	32	793
8	7,1	4,0	2,03	44	36	819
9	7,1	6,0	2,32	42	32	857
10	7,1	6,0	1,88	47	30	755
11	6,9	1,0	1,66	39	33	771
12	4,4	-	1,77	40	32	638
13	4,1	-	1,66	43	32	679
14	5,1	-	1,33	41	34	792
15	4,5	-	1,34	38	36	676
16	4,4	-	1,63	38	36	554
17	4,8	-	1,71	39	34	678
18	4,5	-	1,80	44	32	721
19	4,4	-	1,70	40	32	731
20	6,1	16,0	1,73	45	30	670
21	7,4	66,8	14,4	80	66	551
22	7,4	62,0	13,0	83	69	599
23	7,4	65,0	11,0	79	63	580

Az átoltási sorrendnek megfelelően először a Z-8 tápagaron fenntartott törzstenyészetből oltottunk oltókacsnyi mennyiséget teljes BG-11 tápoldatba és a kísérleti körülmények között szaporítottuk. A 7. napon mértük a tenyészet szárazanyag-tartalmát, majd ennek alapján ismét teljes BG-11 tápoldatba oltottuk tovább úgy, hogy az oltóanyag 10 mg·l⁻¹ kiinduló szárazanyag-tartalom legyen. Az ugyancsak 7 napig inkubált tenyészetből 9 ml szuszpenziót 250 ml P-mentes BG-11 tápoldatba oltottunk, ami szintén mintegy 10 mg·l⁻¹ szárazanyagnak felelt meg. Így biztosítható volt az, hogy minden kísérletben gyakorlatilag ugyanannyi foszfort és algát vigyünk át a tenyészedényekbe.

A kalibrációs görbéhez és a mederüledék-minták BAP vizsgálatához szükséges P-éheztetett oltóanyagot a cianobaktériumnál a következő átoltásokkal nyertük:

teljes BG-11 tápoldat ⇒ P-mentes BG-11 tápoldat.

A N-mentes BG-11 tápoldatban fenntartott és hetente mindig $10 \text{ mg}\cdot\text{l}^{-1}$ kiinduló szárazanyag-tartalomnak megfelelő oltóanyaggal továbboltott *C. raciborskii*-ből 18 ml-t oltottunk a 250 ml N-mentes vagy N-tartalmú BG-11 tápoldatba és 7 napig inkubáltuk.

A kísérleteket szabályozott hőmérsékletű ($25 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$) helyiségben lévő, korábban részletesen leírt tenyésztő berendezésben végeztük, amit a tesztszervezetek igényeinek megfelelően módosítottuk (ÖRDÖG, 1981). A vízszintesen elhelyezett 11 db 60 cm hosszú, 18 W-os Narva gyártmányú Lumoflor 80 fénycső helyett ugyanilyen méretű és teljesítményű 6 db Osram (L 18W/77) és 5 db Tungsram (F74 Daylight) gyártmányú fénycsövet helyeztünk el váltakozva. A vizsgált cianobaktérium alacsonyabb fényigénye miatt minden kísérletben – a zöldalgánál is – csupán minden második fénycsövet üzemeltettük, azaz 3 Osram és 2 Tungsram fénycsövet. A világos-sötét időszakok hossza 12–12 óra, a fénycsövektől 15 cm távol elhelyezett üveglap szintjén, csökkentett megvilágításnál $67 \pm 7 \text{ } \mu\text{mol}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ volt a fényintenzitás.

Az előzetes vizsgálatok alapján a mederüledék BAP koncentrációját a legcélszerűbben 250 ml tápoldathoz egyedüli P forrásként adagolt 100 mg mintával tudtuk mérni. A steril P-mentes tápoldatokhoz először mederüledék-mintát adagoltunk, majd tesztalgával oltottunk. A kísérleteket klorofill-méréssel értékeltük (MSZ-ISO 10260, 1993).

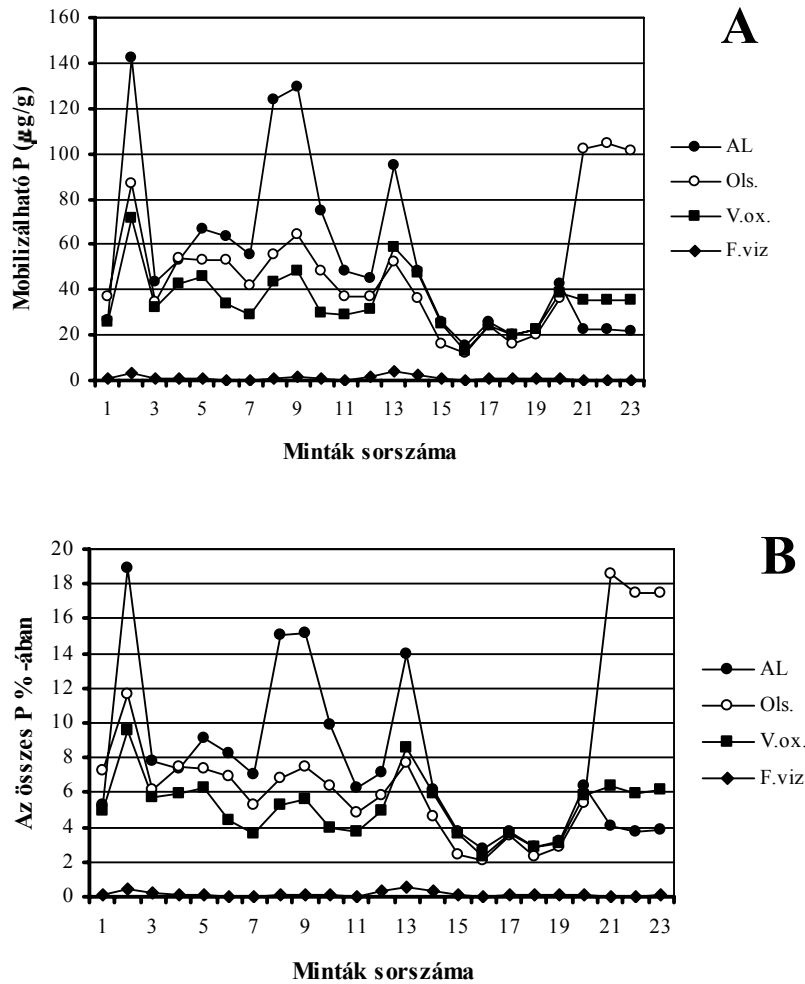
Eredmények

A vizsgált talajmintákból oldószerekkel kivonható foszfor koncentrációját és ennek az összes foszforhoz viszonyított arányát az 1. ábra mutatja. Mint az várható volt, a különböző eljárásokkal mérhető foszfor mennyiségében nagy különbségeket találtunk. Jelentős eltérések figyelhetők meg a mobilizálható és az összes foszfor százalékos arányában is:

- az ammónium-laktátos kivonatban ez 2,8–18,9 %, átlagosan 7,46 %;
- az Olsen P megfelelő értékei 2,1–18,6 %, ill. átlagosan 7,29 %;
- valamivel kisebb hányad jelenik meg a vas-oxid-csík módszerrel (2,3–9,5 %, átlagosan 5,14 %);
- a forróvízes kivonat az összes foszfornak alig néhány tized, néhány század %-át adja, azonban itt átlagos értékről aligha lehet beszélni, minthogy talajmintánként óriási különbségeket mutat.

A Neubauer-tesztel és az algatesztekkel mért hozzáférhető foszfor koncentrációját, valamint ennek az összes foszforhoz viszonyított arányát a 2. ábra mutatja. A hozzáférhető foszfor és az összes foszfor koncentrációjának az összehasonlításából a következő megállapítások tehetők:

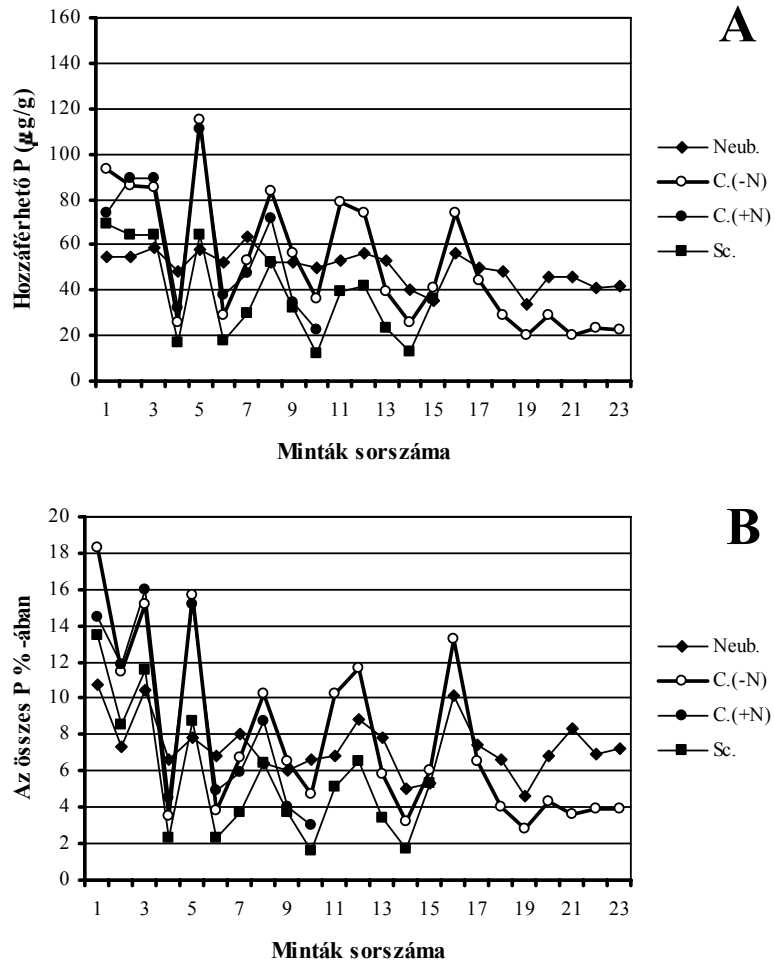
- A Neubauer-tesztel mért értékek az összes foszfor 4,6–10,7 %-át, átlagosan 7,34 %-át teszik ki;



1. ábra

A talajmintákból oldószerekkel kivonható, mobilizálható foszfor koncentrációja (A) és aránya az összes foszfor százalékában (B). AL = ammónium-laktát-oldható foszfor; Ols. = Olsen-féle P-vizsgálat (NaHCO₃-tal kivonható); V.ox. = vas-oxid-papír módszerrel kivonható foszfor; F.viz = forróvizes kivonatban mért foszfor

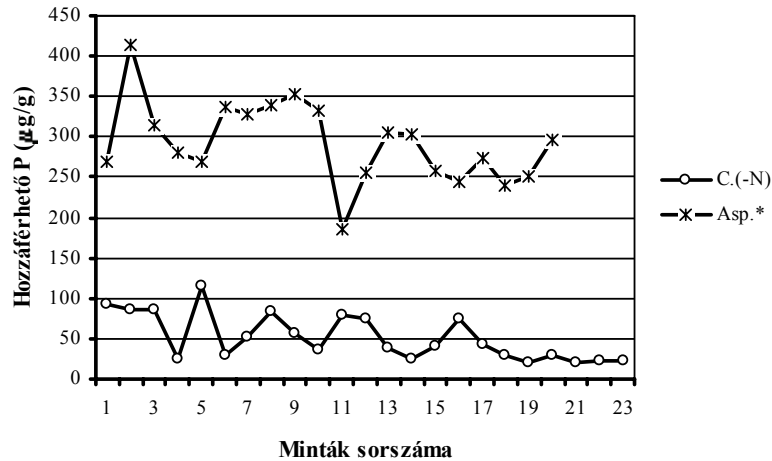
- N-mentes közegben *C. raciborskii*-val mért értékek aránya 2,8-18,2 %, átlagosan 7,63 %;
- N-tartalmú közegben *C. raciborskii*-val mérve az arány 3,0-15,2 %, átlagosan 8,87 %;
- *Sc. subspicatus* zöldalgával kisebb értékek mérhetők, az arányok pedig 1,6–13,5 %, átlagosan 5,63 %.



2. ábra

A talajmintákból bioteszttel meghatározható hozzáférhető foszfor koncentrációja (A) és aránya az összes foszfor százalékában (B). Neub. = Neubauer-teszt (rozsa); C.(-N) = algateszt (*Cylindrospermopsis raciborskii*, N-mentes BG-11 tápoldatban); C.(+N) = algateszt (*Cylindrospermopsis raciborskii*, N-tartalmú BG-11 tápoldatban); Sc. = algateszt (*Scenedesmus subspicatus*, N-tartalmú BG-11 tápoldatban)

A bioteszt módszerek közül az *Aspergillus niger* gombával végzett eljárás csupán félkvantitatív eredményt ad, a létrejövő micéliumtömeg alapján csak a gyengén, közepesen, ill. jól ellátott minősítést lehet a vizsgált talajmintákhoz rendelni, de az nem számítható át foszforra az eredeti módszertani előírások szerint (3. ábra).



3. ábra

A N-mentes BG-11 tápoldatban *Cylindrospermopsis raciborskii* algateszttel meghatározott hozzáférhető foszfor koncentrációjának és az *Aspergillus niger* tesztben mért micélium tömegének (nem koncentráció!) az összehasonlítása

Következtetések

Az 1. ábra jól érzékelteti, hogy bár a különböző oldószeres módszerek eredményei meglehetősen eltérnek egymástól, az egyes minták egymáshoz viszonyított aránya, ill. sorrendje az esetek legnagyobb részében hasonló. Szélsőséges kivételt képeznek a nagy kolloidális mésztartalmú balatoni mederüledék-minták Olsen-értékei, valamint a forróvizes kivonat P-értékeinek egyes, nem mindig értelmezhető értékei. A balatoni minták elhagyásával $P = 5\%$ -on végzett regresszió elemzések – a forróvizes kivonat kivételével – igazolják a szoros összefüggést a különböző oldószerrel mobilizálható P értékei között:

- AL és Ols.: $y = 0,45X + 14,8$ $r = 0,90$
- AL és V.ox.: $y = 0,31X + 17,4$ $r = 0,82$
- Ols. és V.ox.: $y = 0,66X + 8,49$ $r = 0,86$

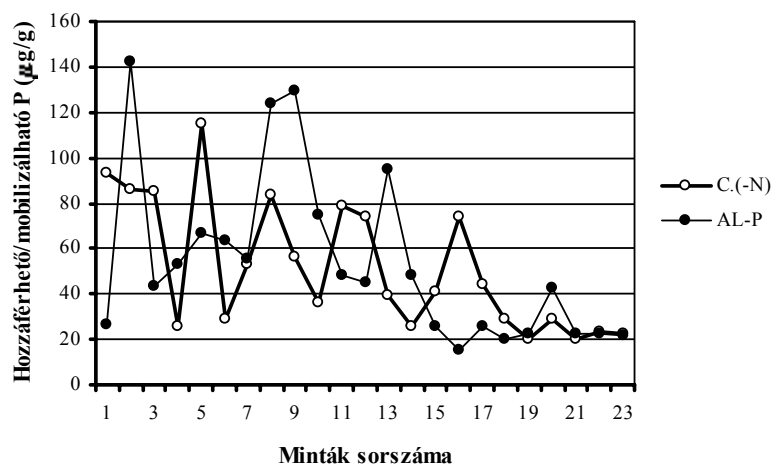
A fenti három eljárással mérhető mobilizálható P-értékek átlaga hasonló: AL-P = 53,7, Ols-P = 49,0, V.ox.-P = 35,6 µg/g. Az összefüggések és az átlagok hasonlósága alapján megállapítható, hogy az ammónium-laktátos és a vas-oxid-papír módszer egymással helyettesíthető, statisztikailag azonos mobilizálható P-értékeket mér a talajmintákban, bár a vas-oxid-papír kisebb értékeket mér és kisebb a különbség is az egyes minták között.

A 2. ábrán jól látható, hogy a talajminták a három algateszttel mért hozzáférhető foszfor koncentrációja alapján hasonló sorrendbe állíthatók. Jóllehet a mért BAP értékek átlaga 38,4 és 61 µg/g között változik, az algatesztek mind-

egyike alkalmas a minták közötti különbségek kimutatására. Az algatesztek közül a leginkább ajánlható N-mentes tápközegben *C.raciborskii*-val mért BAP és a Neubauer-tesztel mért hozzáférhető P átlagos koncentrációja hasonló: 51,5 és 49,8 µg/g. A statisztikai összehasonlításból kiderül, hogy a két adatsor közötti összefüggés mégsem elég szoros ahhoz, hogy az eljárások egymással helyettesíthetők lennének:

$$\text{Neub. és C.(-N):} \quad y = 2,39X - 65,5 \quad r = 0,61$$

Az *Aspergillus niger* tesztel mérhető hozzáférhető foszfor egyetlen más vizsgált bioteszt eredményéhez sem hasonló.



4. ábra

N-mentes BG-11 tápoldatban *Cylindrospermopsis raciborskii* algatesztel meghatározott hozzáférhető foszfor és az ammónium-laktáttal kivonható, mobilizálható foszfor koncentrációjának az összehasonlítása

A 4. ábrán a N-mentes közegben *C. raciborskii*-val mért és az ammónium-laktáttal kivonható foszfor koncentrációját hasonlítottuk össze. Az átlagok hasonlósága ellenére – statisztikai elemzés nélkül is – szembeűnő a teljes különbség a minták között. Vizsgálati eredményeink nem igazolják SHARPLEY (1993b) megállapítását, miszerint a vas-oxid-papír módszerrel mért hozzáférhető foszfor és az algatesztekkel mért BAP között szoros összefüggés lenne. Az átlagok hasonlóságát leszámítva nem fedezhető fel összefüggés az ammónium-laktáttal kivonható P és a Neubauer-féle módszerrel mért P között sem. Az oldószerrel mobilizálható és a biotesztekkel mért hozzáférhető foszfor között nincs olyan összefüggés, amely feleslegessé tenné a másik elvégzését.

A balatoni minták a vizsgált talajmintáktól teljesen eltérően viselkedtek. Részint ebből, részint a bemutatott eredményekből következik, hogy:

- a talajminták vizsgálatára használt oldószeres kivonási és biológiai eljárások tavi mederüledék-mintáknak az algák számára hozzáférhető foszfor tartalmára az algatesztektől eltérő eredményt adnak;
- a felszínen a csapadékkal elmozduló talajrészecskék eutrofizációt okozó hatásának a jellemzésére az algateszt módszer javasolható;
- az algatesztek használata a természetett növények számára a talajból felvehető foszfor koncentrációjának a mérésére nem nyújt előnyt az eddig használt oldószeres és bioteszt módszerekhez képest;
- a talajtanban használt oldószeres kivonási és biológiai eljárások sem helyettesíthetik egymást, vagyis a hozzájuk kapcsolódó tápanyag-gazdálkodási tapasztalatok kérdése, hogy milyen módszerrel (oldószeres vagy biológiai) mért foszfort tekintenek a növények számára felvehetőnek.

Összefoglalás

A talajfelszínen a csapadékvízzel elmozduló és algásodást okozó foszfor mérésére, bár számos módszer áll rendelkezésre, értelemszerűen mégis az algatesztek a legalkalmasabbak. Kérdés az, hogy van-e összefüggés a talajtanban használatos kémiai és biológiai módszerekkel mért mobilizálható/hozzáférhető foszfor és az algateszttel nyert BAP (BioAvailable Phosphorus) értékek között? Helyettesíthetők-e a hosszadalmas algatesztek valamely eddig használt eljárással? A kérdés eldöntésére különböző P-tartalmú, 20 talaj- és 3 balatoni mederüledék-mintán végeztünk összehasonlító vizsgálatokat. A minták alapvizsgálati adatait és összes-P koncentrációját az 1. táblázatban foglaltuk össze. Mértük a minták összes-P és ammónium-laktát oldható P-tartalmát (DI GLÉRIA, 1962), a forró vízzel mobilizálható P-koncentrációt (FÜLEKY & CZINKOTA, 1998), valamint a vas-oxid-papírral kimutatható foszfort (SHARPLEY, 1993a). Elvégeztük a Neubauer- és az *Aspergillus*-tesztet (BALLENEGGER, 1944), az Olsen-féle P-vizsgálatot (OLSEN & DEAN, 1965), továbbá két szervezettel háromféle algatesztet (ÖRDÖG & DOBOLYI, 1997).

Az 1. ábrán a talajminták ammónium-laktáttal (AL), a NaHCO₃-tal (Ols.), vas-oxid-papírral (V.ox.) és forró vízzel mobilizálható foszfor koncentrációját mutatjuk be, ill. ugyanezen P formák arányát az összes foszforon belül. A 2. ábra a Neubauer módszerrel (Neub.), a N-mentes (C.-N) és N-tartalmú (C.+N) BG-11 tápoldatban *Cylindrospermopsis raciborskii*-val, valamint a *Scenedesmus subspicatus*-szal (Sc.) mérhető hozzáférhető foszfor koncentrációját mutatja, ill. ugyanezen P formák összes foszforon belüli arányát. A 3. ábrán a „C.-N” algateszt és az *Aspergillus niger* teszt, a 4. ábrán pedig a „C.-N” algateszt és az AL-P eredményeit hasonlítjuk össze.

Az eredményekből megállapítható, hogy az ammónium-laktátos és az Olsen-féle módszerrel mért értékek között statisztikailag szoros összefüggés állapítható meg, tehát egymással helyettesíthetők.

A talajtanban használatos kémiai és biológiai módszerekkel mérhető hozzáférhető/mobilizálható foszfor egyike sem mutat statisztikailag igazolható összefüggést az algatesztekkel. Talajtani módszerekkel tehát nem helyettesíthetők az algatesztek, másrésztől azoknak a jelen dolgozatban bemutatott módszerei és teszt szervezetei nem alkalmasak a címben jelzett klasszikus talajtani kérdés megválaszolására.

Kulcsszavak: algateszt, foszfor, BAP, talaj, üledék

Irodalom

- BALLENEGGER R., 1944. Talajvizsgálati módszerkönyv. Magyar Állami Földtani Intézet. Budapest
- BOSTRÖM, B., PERSSON, G. & BROBERG, B., 1988. Bio-availability of different phosphorus forms in freshwater sediments. *Hydrobiologia*. **170**. 133–155.
- CHANG, S. C. & JACKSON, M. L., 1957. Fractionation of soil phosphorus. *Soil Science*. **84**. 133–144.
- DE PINTO, J. V., 1982. An experimental apparatus for evaluating kinetics of available phosphorus release from aquatic particulates. *Wat. Res.* **16**. 1065–1070.
- DI GLÉRIA J. (Szerk.) 1962. Talaj- és trágyavizsgálati módszerek. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- FÜLEKY GY., 1976. A talaj könnyen oldható P-tartalmának meghatározására használt kivonószerek vizsgálata I. *Agrokémia és Talajtan*. **25**. 271–281.
- FÜLEKY GY., 1983. Fontosabb hazai talajtípusok foszforállapota. *Agrokémia és Talajtan*. **32**. 7–30.
- FÜLEKY GY. (Szerk.) 1999. Tápanyaggazdálkodás. Mezőgazda Kiadó Budapest.
- FÜLEKY, GY. & CZINKOTA, I., 1998. Hot water extraction of soil nutrient elements. *Agrokémia és Talajtan*. **47**. 115–120.
- FÜLEKY GY. & THAMM F-NÉ, 1979. A jelenleg használt foszforvizsgálati módszerek értékelése különös tekintettel az AL-módszer hazai használhatóságára. In: Az intenzív műtrágyázás hatása a talaj termékenységére. 152–172. MTA TAKI. Budapest.
- HEGEMANN, D. A., JOHNSON, A. H. & KEENAN, J. D., 1983. Determination of algae-available phosphorus on soil and sediment. A review and analysis. *J. Environ. Qual.* **12**. 12–16.
- HILTJES, A. H. M. & LIJKLEMA, L., 1980. Fractionation of inorganic phosphates in calcareous sediments. *J. Environ. Qual.* **92**. 491–500.
- MÁTÉ F., 1987. A Balaton meder recens üledékeinek térképezése. Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése 1985. évről. 367–379. MÁFI. Budapest.
- MENON, R. G. et al., 1990. Sorption of phosphorus by the iron-oxid-impregnated filter paper (P soil test) embedded in soil. *Plant and Soil*. **126**. 287–294.
- MSZ-ISO 10260, 1993. Vízhőminőség. A biokémiai paraméterek mérése. Az a-klorofill-koncentráció spektrofotometriás meghatározása. Magyar Szabványügyi Hivatal. Budapest
- OLSEN, S. R. & DEAN, L. A., 1965. Phosphorus. In: *Methods of Soil Analysis* 2. 123–145. American Society of Agronomy Inc. Madison, Wis.

- OSZTOICS A.-NÉ & VARRÓ T., 1986. A talaj izotóposan kicserélhető foszfortartalmának meghatározása. *Agrokémia és Talajtan*. **35**. 255–276.
- ÖRDÖG V., 1981. Adatok a laboratóriumi algatesztelés szabványosításához. *Bot. Közlem.* **68**. 85–93.
- ÖRDÖG V. & DOBOLYI E., 1997. A BAP meghatározása balatoni üledékben kémiai frakcionálással és bioteszttel. *Hidrol. Közl.* **77**. 5–7.
- SARKADI J., 1975. A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó. Budapest.
- SARKADI J., 1986. Az AL-oldható foszfor és kálium meghatározásának pontossága, illetve megbízhatósága. *Agrokémia és Talajtan*. **35**. 249–254.
- SCHÜLLER, H., 1969. Die CAL-Methode eine neue Methode zur Bestimmung des Pflanzenverfügbaren Phosphates in Boden. *Z. Pflanzenernähr. Bodenk.* **123**. 48–63.
- SHARPLEY, A. N., 1993a. Assessing phosphorus bioavailability in agricultural soils and runoff. *Fertiliser Research*. **36**. 259–272.
- SHARPLEY, A. N., 1993b. An innovative approach to estimate bioavailable phosphorus in agricultural runoff using iron oxide-impregnated paper. *J. Environ. Qual.* **22**. 597–601.
- SKULBERG, O., 1964. Algal problems related to the eutrophication of European water supplies, and a bio-assay method to assess fertilizing influences of pollution on inland waters. In: *Algae and Man* (Ed.: JACKSON, D. F.) 262–299. Plenum Press. New York.
- SZILI-KOVÁCS, T. et al., 1997. Application of some biological methods for the indication of the soil environmental quality. *Acta Microbiol. Immunol.* **44**. 100–101.
- THAMM F.-NÉ, 1996. A műtrágyák utóhatására ható tényezők és a P talajbeli átalakulásának modellezése. *Agrokémia és Talajtan*. **45**. 175–202.

Érkezett: 2001. szeptember 15.

Alga Test for the Investigation of Phosphorus Availability

V. ÖRDÖG and F. MÁTÉ

Faculty of Agriculture and Food Science, University of West Hungary, Mosonmagyaróvár and
Georgikon Faculty of Agricultural Sciences, University of Veszprém, Keszthely (Hungary)

Summary

Although numerous methods are available for the measurement of the phosphorus mobilized by rainwater on the soil surface and thus causing algal invasion, alga tests are obviously the most suitable. The question is, whether there is any correlation between the mobilizable/available phosphorus measured using the chemical and biological methods employed by soil scientists and the BAP (BioAvailable Phosphorus) values obtained with the alga test, and whether the time-consuming alga test can be replaced by any of the techniques used up to now. In order to examine this question, comparative tests were carried out on 20 soil samples and 3 samples of sediment from Lake Balaton, all containing different quantities of P. The basic analytical data and total P concentrations of the samples are summarized in Table 1. Measurements were made on the total P and ammonium lactate (AL) soluble P contents of the samples (DI GLÉRIA, 1962), the P concentration mobilizable by hot water (FÜLEKY & CZINKOTA, 1998) and the phosphorus detectable with iron oxide impregnated paper (SHARPLEY, 1993a). The Neubauer and *Aspergillus* tests (BALLENEGGER, 1944), the Olsen P analysis (OLSEN & DEAN, 1965) and three types of alga test using two organisms (ÖRDÖG & DOBOLYI, 1997) were also applied.

Fig. 1 shows the phosphorus concentrations mobilised in the soil samples by ammonium lactate (AL), NaHCO₃ (Ols.), iron oxide impregnated paper (V.ox.) and hot water, and the ratio of these P forms in the total phosphorus. Fig. 2 illustrates the available P concentrations measured with the Neubauer method (Neub.), with *Cylindrospermopsis raciborskii* in N-free (C.-N) or N-containing (C.+N) BG-11 nutrient solution or with *Scenedesmus subspicatus* (Sc.), and the ratio of these P forms in the total phosphorus. The results of the C.-N algatest and the *Aspergillus niger* test are compared in Fig. 3 and those of the C.-N alga test and the AL-P analysis in Fig. 4.

The results showed a close correlation between the values recorded in the ammonium lactate and Olsen's tests, indicating that they were able to substitute each other.

None of the available/mobilizable P values recorded using the chemical and biological methods employed by soil scientists showed any correlation with the results of the alga tests. It is therefore impossible to replace the alga tests with soil science methods; the methods and test organisms employed in the present work were not suitable for answering the classical soil science question raised above.

Table 1. Basic analytical data and total P concentration of the soil samples (1–20) and the sediment samples from Lake Balaton (21–23). (1) Sample code. (2) Humus %. (3) Upper limit of plasticity according to Arany. (4) Silt content %. (5) Total P, µg/g.

Fig. 1. Mobilizable phosphorus concentration extractable with solvents from the soil samples (A) and its ratio as a percentage of total phosphorus (B). AL = ammonium lactate soluble phosphorus; Ols. = Olsen's phosphorus analysis (extractable with Na-

HCO₃); V.ox. = Phosphorus extractable with the iron oxide impregnated paper method; F.viz = Phosphorus measured in a hot water extract.

Fig. 2. Available phosphorus concentration determined from soil samples using biotests (A) and its ratio as a percentage of total phosphorus (B). Neub. = Neubauer test (rye); C.(-N) = alga test (*Cylindrospermopsis raciborskii* in N-free BG-11 nutrient solution); C.(+N) = alga test (*Cylindrospermopsis raciborskii* in N-containing BG-11 nutrient solution); Sc. = algatest (*Scenedesmus subspicatus* in N-containing BG-11 nutrient solution).

Fig. 3. Comparison of the available phosphorus concentration determined with the alga test (*Cylindrospermopsis raciborskii* in N-free BG-11 nutrient solution) and the mass of mycelia in the *Aspergillus niger* test.

Fig. 4. Comparison of the available phosphorus concentration determined with the alga test (*Cylindrospermopsis raciborskii* in N-free BG-11 nutrient solution) and the concentration of phosphorus extractable or mobilizable with ammonium lactate.