

VITAROVAT

Javaslat néhány agrokémiai alapfogalom pontosítására

BUZÁS István

Szent István Egyetem, Georgikon Kar, Talajtani és Környezetinformatikai Tanszék,
Keszthely

Bevezetés

Mindegyik alaptudomány sarkalatos alaptörvényekre épül. Az agrokémiai tudományterület a fizika, a kémia és a biológia határán helyezhető el, és mint ilyen, ezek alaptörvényeit használja. Ugyanakkor az teszi önálló tudománnyá, hogy van néhány, csak az agrokémiában előforduló alapfogalom.

Ugy tűnik, hogy a tudományterület művelői mindmáig óvakodnak ezek egyértelmű definiálásától. Ismeretüket evidenciának tekintik, pedig pontosításuk hiánya a magasan képezett körökben is zavart okoz.

Kérdezzünk meg szakembereket, mennyit terem egy növény, ha nem kap tápanyagot? Tízből kilenc azt válaszolja, hogy annyit, amennyit a talaj termőképessége megenged, holott a helyes válasz, hogy semennyit. A tápanyagigény és a trágyaszükséglet (SARKADI, 1975) világos megkülönböztetésének hiánya okozza, hogy elvárják a nemesítőtől, adja meg, mennyi műtrágyát kell kiadni a fajtájának termesztésekor. Nem tisztázták kellően a talaj felvehető tápanyagtartalmának fogalmát és a talajtápanyag-vizsgálatok célját. Azt gondolván, hogy az a tökéletes tápanyagvizsgálat, amelyik annyi tápelemet von ki a talajból, amennyit a növény képes felvenni. A kutatók évszázadig kísérleteztek ilyen módszer kidolgozásával.

Jelen dolgozatban kísérletet teszek az általam alapvetőnek tekintett alapfogalmak tisztázására. Nem szakirodalmi áttekintésnek számom, csak néhány, szorosan a témával foglalkozó munkára hivatkozom. Lehetetlen a vonatkozó szakirodalmat felsorolni, azt különben is sokak és sokszor megkísérelték anélkül, hogy lényeges előrehaladás történt volna.

Mit nevezünk a talaj tápelemtartalmának?

A talaj tápelemtartalma az a növényi tápelem (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, B, Mo, S...stb.) mennyiség, amely a talajban található. Igen nagyvonalú becslés szerint, a növénytermesztésre használt talajokban pl, 0,5% a N, 0,3% a P és 3% a K. Ebből adódóan 1 ha talaj gyökerektől átjárt rétegében nagyságrendileg mintegy 10 000 kg nitrogén, 6000 kg foszfor és 60 000 kg K van.

A talaj tápelemtartalma a talajminta teljes tömegének oldatba vitele után az oldatban található tápelemek mennyiségének kvantitatív elemzésével határozható meg. Kerülendő az „összes” jelző használata (Stefanovits Pál: „Ha egy agrokémikus

azt mondja, hogy összes elemtartalom, akkor az biztosan nem összes”). Mivel tucatnyi „összes” meghatározási módszer ismeretes, ez a jelző félrevezető. A talaj tápelemtartalma értelemszerűen annyi, amennyi a talajban van.

Mit nevezünk a talaj felvehető tápelemtartalmának?

A növények a tápelemeket csak néhány ion formájában tudják felvenni, pl. a nitrogént NO_3^- vagy NH_4^+ , a foszfort H_2PO_4^- vagy HPO_4^{2-} , a káliumot K^+ , a kalciumot Ca^{2+} , a magnéziumot Mg^{2+} , a cinket Zn^{2+} , a rézet Cu^{2+} , a mangánt Mn^{2+} , a bórt H_2BO_3^- a molibdént MoO_4^{2-} , a ként SO_4^{2-} formában.

A talaj felvehető tápelemtartalma az a tápelemmennyiség, amely a növény által felvehető ionok formájában található a talajban.

A talaj felvehető tápelemtartalma a talaj tápelemtartalmánál több nagyságrenddel kisebb. A gyökerektől átjárt talajrétegben nagyságrendileg általában 20-30 kg nitrogén, 2-3 kg foszfor és 40-100 kg kálium található hektáronként.

A talaj így definiált felvehető tápelemtartalma nem keverendő össze valamilyen „növény által a természetése során felvehető tápelemmennyiséggel”. (A trágyázási szaktanácsadási módszerek tárgyalásánál erről részletesebben lesz szó). A talajmintából ugyanis nem határozható meg, hogy egy növény mennyi tápelemet vesz fel, ha sem a növényfajta, sem a tápelemfelvétel ideje nem ismert, stb.

A tápelemformák dinamikus egyensúlya

A foszfor-izotópos vizsgálatok jól mutatják, hogy a különböző foszforvegyületek folyamatosan átalakulnak egymásba. A nem felvehető formákban lévő tápelem valamilyen sebességgel felvehetővé alakul, ezzel párhuzamosan felvehető formái pedig folyamatosan nem felvehetővé válnak. Amikor a két ellentétes irányú folyamat sebessége egyenlő, látszólagos (dinamikus, kvázistacionárius) egyensúly jön létre (BUZÁS, 1987).

A tápelemtartalmat 1 ha területre és a talaj valamely rétegvastagságára (pl. a felső 30 cm-es talajrétegre, vagy egy növényfélésegy gyökereitől átjárt talajrétegre) vonatkoztathatjuk:

$[A]$ = a tápelem *nem felvehető formában* lévő mennyisége a talajban, kg ha^{-1}

$[B]$ = a tápelem *felvehető formában* lévő mennyisége a talajban, kg ha^{-1}

w_1 = a nem felvehető formák felvehetővé alakulásának sebessége, $\text{kg ha}^{-1} \text{ nap}^{-1}$

w_2 = a felvehető formák visszaalakulásának sebessége, $\text{kg ha}^{-1} \text{ nap}^{-1}$.

A dinamikus egyensúly akkor áll be, ha $w_1 = w_2$.

Az átalakulás sebessége függ az átalakuló anyagok mennyiségétől és anyagi minőségétől, amit így írhatunk fel:

$w_1 = k_1 [A]$,

$w_2 = k_2 [B]$,

ahol a k_1 a nem felvehető, a k_2 pedig a felvehető formájú tápelem anyagi minőségére jellemző sebességi állandó, számszerűen a w_1 ill. w_2 sebesség, amelyet akkor mérnénk, ha az $[A]$ ill. $[B]$ 1 kg ha^{-1} lenne.

Egy adott tápanyag nem felvehető formája különböző átalakulási sebességekkel jellemezhető készletekben, azaz „pool-okban” található a talajban, és ezeknek felvehetővé alakulása egy-egy k_1 sebességi állandóval ($k_{1,1}$; $k_{1,2}$; $k_{1,3}$...) jellemezhető.

Tápanyagigény

A tápanyagigény az a tápanyag/tápelem mennyiség, amelyet a növénynek fel kell vennie ahhoz, hogy a tervezett mennyiségű és minőségű termés megteremjen.

-A tápanyagigény nem lehet nulla.

-A tápanyagigény a növény élete során maximálisan felvett tápanyag mennyiségével becsülhető.

-A tápanyagigény a növényfaj/fajta tulajdonsága.

-A *fajlagos tápanyagigény* az 1 t főtermésre számított tápanyagigény. A különböző növények tápanyagigénye szakkönyvekben megtalálható (pl. ANTAL, 1983, 1987, 2000; BUZÁS et al., 1979; BUZÁS, 1983.).

A trágyaszükséglet

A trágyaszükséglet csak a talaj tápanyagszolgáltatása ismeretében számítható.

A trágyaszükséglet az a tápanyag/tápelem mennyiség, amelyet trágya formájában kell adni ahhoz, hogy az az adott talajon a növény tápelemigényét kielégítse, vagyis a tervezett mennyiségű és minőségű termés megteremjen.

- A trágyaszükséglet értéke általában kisebb, mint a tápanyagigény, de ha a talaj az adott tápelemet erősen megköti, pl. a savanyú, vagy nagyon karbonátos talaj a foszfort, vagy bizonyos agyagásványok a káliumot, a foszfor-, vagy a kálium-trágyaszükséglet a tápanyagigénynél nagyobb is lehet. Amennyiben a talaj trágyázás nélkül is biztosítja a növény tápanyagigényét, a trágyaszükséglet nulla. De, ha a talaj valamely elemmel túlzottan ellátott, a trágyaszükséglet az adott tápelemből lehet negatív, pl. a sörárpa, vagy sárgarépa termesztéséhez túlzott lehet a talaj nitrogénszolgáltatása, így azt megfelelő előveteményekkel először csökkenteni kell.

-A tápanyagigény a növényfaj/fajta tulajdonsága, viszont a trágyaszükséglet attól függ, hogy milyen a talaj *tápanyagszolgáltatása és a növény tápanyagigénye*, vagyis csak egy adott talaj-növény viszonylatban értelmezhető fogalom.

-Mivel a trágyaszükséglet nem a termesztett növénytől függő tulajdonság, a talaj ellátottságának ismerete nélkül lehetetlen az egyes növények termesztéséhez szükséges trágyaadagokat megadni.

-A *fajlagos trágyaszükséglet* az 1 t főtermésre számított trágyaszükséglet.

Mit nevezünk a talaj tápanyag-szolgáltatásának?

Sokan ma is úgy gondolják, hogy a növény a talajból annyi tápelemet vehet fel, amennyi a talajban felvehető formában van. Ezzel szemben a növény, a talaj által *szolgáltatott* tápelemmennyiséget veszi fel.

A szolgáltatott tápelem mennyisége = a talaj felvehető formában található tápelemmennyisége + a növény tápelemfelvételi időszaka alatt a talajban felvehetővé alakult tápelemmennyiség.

A tápanyag-szolgáltatás típusai

-Ha a talajban felvehető formában található tápelemmennyiség nagyobb, mint a növény tápelemigénye, *első típusú tápanyag-szolgáltatásról* beszélünk. Ez könnyen előfordulhat a nitrogénnél, mert a talaj nitrát- plusz ammónium-nitrogéntartalma nagyobb lehet, mint a növény nitrogénigénye.

-Ha a talaj felvehető formában található tápelemtartalma elhanyagolhatóan kicsi a növény tápelemigényéhez képest, akkor a növény tápelemellátása a tápelem felvehetővé alakulásának sebességétől (w_1) függ. Ezt *második típusú tápanyagszolgáltatásnak* nevezzük. Ez a foszfor-szolgáltatásra jellemző, mert a növények P_2O_5 -ban megadott foszforigénye $60-100 \text{ kg ha}^{-1}$, viszont a talaj felvehető formában található foszfortartalma a $H_2PO_4^-$ és HPO_4^{2-} ionok kis koncentrációja miatt legfeljebb $2-3 \text{ kg}$ lehet hektáronként.

-Ha a talajban a felvehető formában található tápelemmennyiség nem elhanyagolható, de kisebb, mint a növény tápelemigénye, akkor a növény tápelemellátása a talaj felvehető tápelemtartalmától és a felvehetővé válás sebességétől egyaránt függ. Ilyenkor *harmadik típusú tápanyagszolgáltatásról* beszélünk. Ez jellemző a kálium-szolgáltatásra, mert a növények általában több száz $\text{kg ha}^{-1} K_2O$ kálium-igényéhez képest a talajok felvehető formában található káliumtartalma hektáronként jellemzően $100 \text{ kg ha}^{-1} K_2O$ alatt van (BUZÁS, 1987).

A tápanyagszolgáltatás sebességének változása az időben

A növény a felvehető formák felvételével megbontja a fennálló dinamikus egyensúlyt. A kvázistacionárius rendszerek egyensúlyra törekszenek, ezért megnő a felvehetővé alakulás sebessége. Ennek ellenére a tápelemszolgáltatás sebessége az időben csökken. A tápanyagszolgáltatás sebessége jelentősen csökkenhet annak ellenére, hogy a nem felvehető formák együttes mennyisége számottevően nem lesz kisebb. Ennek oka, hogy egy-egy tápanyag nem felvehető formája különböző felvehetővé válási sebességű készletekben található a talajban. A szolgáltatás sebessége azért csökken, mert a nem felvehető formájú vegyületekből egyre inkább a kisebb k_1 sebességi állandójúak szolgáltatnak tápanyagot.

Szigorúan véve azonban, mivel nulla k_1 -ű tápanyagforma nincs, a felvehetővé vált tápanyag a talajban előforduló összes nem felvehető formájú tápanyag terméke. Létrehozásában a nem felvehető formák, a sebességi állandójuk csökkenésének megfelelően, egyre kisebb mértékben vesznek részt.

A tápelemfelvétel változása a növény élete során

A csiranövény nem vesz fel tápanyagot, és betakarításkor, a kifejlődött növény tápelemfelvétele is nulla lesz. E két véglet között *minden növény esetében van olyan időszak, amikor viszonylag nagy sebességgel vesz fel valamely tápelemet.*

Tápelemhiány és a tápelemhiány oka

A tápelemhiányt növényélettani és növénytermesztési szempontból is vizsgálhatjuk.

Növényélettani szempontból akkor van tápelemhiány, ha a növény nem képes valamelyik tápelemből annyit felvenni, amennyi egészséges fejlődéséhez szükséges.

Számos példa van arra, hogy a növénytermesztő nem valamely, a növény számára tökéletes elemi összetételű növény termesztését, hanem, *a termesztés céljának megfelelően, eltérő minőségű* terményt kíván termesztetni. Például a nitrogénhiányos tavaszi árpa a jó sörárpa, a nitrogénhiányos cukorrépa cukortartalma a nagyobb, a lucerna a molibdén adagolására még akkor is nagyobb terméssel reagál, amikor molibdéntartalma már mérgező az állatok számára, a sárgarépa nitráttartalma már az egészségre ártalmas szint felett van, de a nitrogéntrágyázástól még tovább nő a termése, stb.

Ezért a termesztés célját tekintve, tápelemhiányról akkor beszélünk, ha a talajból a növény nem képes annyi tápelemet felvenni, mint amennyi a tervezett mennyiségű és minőségű terméshez szükséges lenne.

A tápelemhiány oka nem az, hogy a talajban nincs elegendő tápelem, ugyanis a talaj tápelemtartalma mindig több százszor, vagy több ezerszer nagyobb az elérhető termésmennyiséghez szükséges tápelemmennyiségnél.

A tápelemhiány akkor lép fel, ha a növény élete során van olyan időszak, amikor nagyobb sebességgel kellene felvennie a tápelemet, mint amilyen sebességgel a felvehető formákat a talaj a növény közreműködésével szolgáltatja.

Miért javul a talaj tápelemszolgáltatása, ha a talajt megtrágyázzuk?

A bolygatatlan talajban a nem felvehető tápelemformák és a felvehető tápelemformák dinamikus (kvázistacionárius) egyensúlyban vannak, vagyis $w_1 = w_2$. Mivel a kvázistacionárius rendszerek mindig egyensúlyra törekszenek, ha az egyensúlyt megzavarjuk, pl. azzal, hogy trágyával felvehető formájú tápelemet (pl. szuperfoszfátot) adunk a talajba, a felvehető formák bizonyos sebességgel nem felvehető formákká alakulnak. Eközben a nem felvehető formák felvehetővé alakulásának sebessége is fokozatosan nő, mert a frissen képződött nem felvehető vegyületek gyorsabban felvehetővé alakulnak, mint azok, amelyek a talajban voltak. Ez a két ellentétes folyamat mindaddig folytatódik, ameddig (nagyobb [A], nagyobb [B], nagyobb w_1 és w_2 értéknél) az új egyensúly be nem áll, vagyis w_1 ismét egyenlő nem lesz w_2 -vel. A trágya tehát reakcióba lép a talajjal, és egy jobb tápanyagszolgáltatású talaj keletkezik.

Az izotópos kísérletek jól mutatják, hogy ez történik akkor is, ha tápelemet nem felvehető formában tartalmazó trágyával trágyázunk. Attól függően, hogy milyen sebességgel alakul a trágyázott talaj tápelemtartalma felvehetővé, előbb-utóbb beáll az egyensúly a nem felvehető és a felvehető formák között.

Érdeemes végiggondolni, miért javul a növény foszforellátása, ha pl. 100 kg ha⁻¹ foszfor hatóanyagot adunk ki. Tétélezzük fel, hogy a talaj nem felvehető formában lévő foszfortartalma 10000 kg ha⁻¹, a felvehető formáé pedig 1 kg ha⁻¹. A 100 kg foszfor kiadása után az új egyensúly beálltakor megközelítőleg 10099,99 kg ha⁻¹ lesz a nem felvehető forma, és 1,01 kg ha⁻¹ a felvehető forma mennyisége az eredeti 10000:1 arálynak megfelelően. A kereken 100 kg ha⁻¹-os növekedés a talaj 10000 kg ha⁻¹-os foszfortartalmához képest jelentéktelen, de a hektáronként 0,01 kg-os növekedés sem jelentős a növény akár napi több kg ha⁻¹-os foszforigényéhez képest. A 100 kg foszfor kijuttatásától sem a talaj foszfortartalma, sem a talaj felvehető foszfortartalma nem nőtt meg számottevően, hogyan lehetséges akkor, hogy a növény foszforellátottsága mégis megjavult?

Ismert, hogy a foszfortrágyázás után a felvehető formában kiadott foszforból frissen kialakult különböző foszforvegyületek gyorsabban alakulnak át felvehetővé, mint a talajban már régebben jelenlévő, "előregedett" foszforformák (FÜLEKY, 2002), ezért megnő a foszforaszolgáltatás sebessége.

Tehát *a közhiedelemmel ellentétben nem azért trágyázunk, hogy a talaj tápelemtartalmát növeljük*. A növény sem a trágya felvehető tápelemtartalmát veszi fel, hanem a talaj és a trágya reakciója után, a jobb tápanyagszolgáltatású talaj által szolgáltatottat.

A talajlaboratóriumokban végzett tápelemvizsgálatok értelmezése és célja

A nem kutatási céllal működő talajlaboratóriumokban végzett talaj-tápelemvizsgálatok célja nem a talaj valamilyen tápelemtartalmának meghatározása, hanem olyan adatok szolgáltatása, amelyek segítségével megbecsülhető, hogy a tervezett termés eléréséhez mennyi trágyát kell kiadni.

Ezek a tápanyagvizsgálatok nagyon egyszerűek. A talajmintát legtöbbször valamilyen oldattal, vízzel vagy más folyadékkal rázzák össze, és analitikai módszerekkel megvizsgálják azt, hogy a kivonószer mennyi tápelemet (nitrogént, foszfort, káliumot, stb.) oldott ki a talajmintából.

A talajvizsgálati módszertől első megközelítésben csak annyit várunk el, hogy a kivonószer a vizsgált tápelemből többet oldjon ki olyan talajokból, amelyek a növényt a vizsgált tápelemmel jól ellátják, mint azokból, amelyek gyengébben.

Mivel tökéletesen oldhatatlan anyagok nincsenek, ezért a talajminták kivonatában oldhatóságuktól függően minden a talajban található vegyületből van valamennyi. Bármilyen kivonószert használjunk is, nem tudható, hogy a kivonatban a vizsgált tápelem felvehető, vagy nem felvehető formában van-e.

Az sem biztos, hogy a talajkivonatban annak az elemnek a mennyiségét határozzuk meg, amelynek a szolgáltatását kívánjuk megállapítani. Jó példa erre a nitrogénellátottság megítélésére szolgáló, ún. humuszvizsgálat, amellyel a kivonatból még csak nem is a nitrogént, hanem a széntartalmat határozzuk meg. A módszer azon

a megfigyelésen alapul, hogy a sok szenet (humifikált növényi vagy állati maradványt) tartalmazó talajok a növényeket jobban ellátják nitrogénnel.

Tehát, az ezekkel a tápanyagvizsgáló módszerekkel kapott értékek csupán jelzőszámok, melyeknek a növénykísérletekkel végzett kalibrálás ad a talaj tápelemszolgáltatására vonatkoztatható értelmet.

Hogy mekkora a kivont tápelemmennyiség, valójában nem fontos. Csak foszforvizsgálatra is több mint száz módszer ismeretes, amelyek abban különböznek, hogy milyen kivonószert használnak. A kivonószertől függően a kioldott mennyiség ugyanazon talajmintánál is nagyon különböző. Lehet, hogy az adott talajminta 1000g-jára számítva valamilyen vizes kioldási módszerrel (FÜLEKY és CZINKOTA, 1993) 4, a nátrium-hidrokarbonát oldattal (OLSEN et al., 1954) 40, az ammónium-laktát pufferrel (EGNER et al., 1960) 200, a híg sósav vagy kénsav oldattal (12 különböző módszer használja őket) 5000 mg P_2O_5 -el egyenértékű foszfor oldható ki a talajból.

Így pl. a vizes foszforvizsgáló módszer a növényeket gyengén ellátó talaj 1000 g-jából mondjuk 2, a növényt jól ellátó talajból mondjuk 6 mg P_2O_5 -el egyenértékű foszfort old ki. Az AL-módszerrel végzett kivonatokban, a kivont P_2O_5 -el egyenértékű foszfor mennyisége 100, illetve 600, a savas kivonatokban pedig 1000 és 8000 lehet.

A talajlaboratóriumi tápelemvizsgáló módszerek használhatósága

A talaj-tápanyagvizsgálókat eredményeiről a kutatók, - évtizedek óta végzett kísérletekkel - megállapították, hogy a talajvizsgáló módszerek mely értékénél látja el jól a talaj a növényt a vizsgált tápelemmel.

Ez az érték azonban a talaj összetételétől, fizikai és kémiai tulajdonságaitól erősen függhet. Például az AL-módszer talaj kilogrammonként 200 mg P_2O_5 -el egyenértékű foszfor egy semleges vagy kevés kalcium-karbonátot tartalmazó talajra jó ellátottságot biztosíthat, de erősen karbonátos talajon 300, savanyú kémhatású talajon pedig a jó ellátottsághoz akár 400-as érték is kellene. Az 1% széntartalom (humusztartalom) homoktalajon igen jó nitrogénellátást biztosít, míg az 1% humusztartalmú nehéz agyag fizikai féleségű talaj a nitrogénhiány következtében szinte terméketlen. Nagyon vizes, levegőtlen lápokon a növények 60%-os széntartalommal is nitrogénhiányosak lehetnek.

Ha a talajtulajdonságoktól a függőség ilyen nagy, talajféleségenként más-más optimális talajvizsgáló értéket kell megadni.

Amennyiben a talajtulajdonságoktól függés olyan nagy, hogy a kivont tápelem mennyisége nagyobb mértékben függ valamely talajparamétertől, mint a talaj tápelemtartalmától, akkor a talajvizsgáló módszer használhatatlan.

Kevésbé köztudott, hogy e miatt az N_{min} módszer (WEHRMANN és SCHARPF, 1979) és az összes olyan ásványi-nitrogéntartalom meghatározási módszer, amelyben a kivonat ammóniumtartalmával is számolnak, hibával terhelt. Az ammónium-ion a talajkolloidok negatív töltöttségével ellentétben pozitív töltésű, és komplex ammónium-vegyületeket is képez. Továbbá olyan mértékben kötődik a talajkolloidokhoz, hogy a kivonószerekben megjelenő mennyisége csak azonos

kolloidtartalmú talajokban arányos a talaj ammóniumtartalmával. Különböző talajok ammóniumtartalmát tehát nem lehet ezekkel a módszerekkel összehasonlítani, mivel a kivont ammónium mennyisége erősebben függ a talaj adszorpcióképességétől, mint a talaj ammónium-iontartalmától. Számos kutató találkozott azzal az első pillanatban meglepő jelenséggel, hogy ezekkel a módszerekkel a nagy szervesanyag-tartalmú, ezáltal nyilván sok ammóniumot tartalmazó talajok kivonatában kevesebb az ammónium-ion, mint a kis szervesanyag-tartalmú homoktalajokéban (pl. NÉMETH és BUZÁS, 1991; SIMON, 2019).

Természetesen nagyon jó lenne a talajok ammóniumtartalmát meghatározni, vagy legalább a különböző talajok ammóniumtartalmának összehasonlíthatóságát kidolgozni.

A talajkivonat ammóniumtartalmát hozzáadva a nitráttartalomhoz az N_{\min} érték nyerhető. Ez az érték számottevő hibával nem terhelt, mert a kivonat ammóniumtartalma csak a talaj nitráttartalmának tized-, vagy századrésze. Probléma viszont, hogy a kapott N_{\min} érték kevésbé jellemzi a talaj felvehető (ásványi) nitrogéntartalmát, mintha az ammóniumtartalommal nem számoltak volna.

A jó talajvizsgálati módszertől tehát megköveteljük, hogy ne legyen nagy a talajparamétereiktől való függősége, legyenek legalább talajcsoportok, amelyekre ugyanaz a talajvizsgálati érték az optimális.

A foszforvizsgálatok példáján nézzük meg, mely módszerektől várható el, hogy kicsi lesz a függőségük a talajparamétereiktől.

A foszforvizsgálatok a második típusú tápanyagvizsgálati típusba tartozik, vagyis a foszfor felvehetővé alakulásának sebességétől (w_{1P}) függ a növény foszforellátottsága. A talajban ugyanis a felvehető formában lévő foszformennyiség a növény foszforigényéhez képest jelentéktelen.

A w_{1P} a nem-felvehető foszforformák mennyiségétől és anyagi minőségétől függ, vagyis attól is, hogy a nem felvehető foszforformákat $[A_P]$ milyen vegyületek képezik. Vannak ugyanis lassan és gyorsan felvehetővé alakuló nem felvehető P-formák. Minden egyes nem felvehető P-forma felvehetővé alakulásának sebességére a hozzá tartozó k_{1P} sebességi állandóval felírhatjuk:

$$w_{1P} = k_{1P} [A_P],$$

ahol: - $[A_P]$ = a talajban található nem felvehető foszforvegyületek foszfortartalma (mivel a felvehető formák mennyisége a nem felvehetőkéhez képest elhanyagolható, ez gyakorlatilag a talaj foszfortartalmát jelenti),
- k_{1P} = a talajban található nem felvehető foszforvegyület anyagi minőségére jellemző (sebességi) állandó.

A nem felvehetővé alakulás ellentétes irányú sebességére ugyanígy felírható:

$$w_{2P} = k_{2P} [B_P],$$

ahol: - $[B_P]$ = a talajban található felvehető foszforvegyületek foszfortartalma (a talaj felvehető foszfortartalma),
- k_{2P} = a talajban található felvehető foszforvegyületek anyagi minőségére jellemző sebességi állandó.

Ha a talajmintát nem közvetlenül trágyázás után vesszük, akkor a talajban az új egyensúly már várhatóan beállt, és

$$w_{1P} = w_{2P}.$$

A w_{2P} -t w_{1P} -vel helyettesítve felírható:

$$w_{1P} = k_{2P} [B_P].$$

Eszerint a talaj foszforszolgáltatása, (vagyis a w_{1P}), a nem felvehető formában található, és a felvehető formában található foszfortartalommal egyaránt jellemezhető.

A két lehetőség között azonban nagy a különbség.

Ha a foszforszolgáltatást a nem felvehető formák mennyiségével hozzuk összefüggésbe, akkor az optimális foszfortartalomra kapott érték minden talajféleségen más. A nem felvehető formájú foszfor minden talajon más vegyületet jelent. Az anyagi minőségére jellemző k_{1P} talajféleségenként változó, mert pl. a karbonátos talajban a foszfor főként trikálcium-foszfát, a savanyú kémhatású talajokban részben vas- és alumínium-foszfát, a homoktalajokban általában apatit, a szerves talajokban szerves foszforvegyületek formában van jelen. A trikálcium-foszfát, a vas- és alumínium-foszfátok, valamint az apatitok módosulatának k_{1P} értéke nagyon kicsi, mert nagyon stabil vegyületek és nagyon lassan szolgáltatnak felvehető foszfort. Ezekben a talajokban a növények nagy foszfortartalom esetén is foszforhiányban szenvedhetnek. A semleges és gyengén lúgos kémhatású talajok azonban jól disszociáló kalcium-dihidro-foszfátot $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -t tartalmaznak és aránylag kis foszfortartalom esetén is jól ellátják a növényeket.

A növények a talajféleségtől függetlenül ugyanazokat az ionokat képesek csak felvenni. Ezért, ha valamely talajon megállapítjuk, hogy a növény természetesen mekkora az optimális felvehető talajfoszfortartalom, az elvileg a talajparamétereiktől függetlenül más talajokra is igaz lenne.

A tápelemvizsgálatok fejlődését követve (BUZÁS, 2012) azt látjuk, hogy egyre gyengébb kémhatású kivonószereket (pl. híg sóoldatokat, 0,01 M kalcium-klorid oldatot, vizet) használnak. Ezek azonban sokkal kevesebb tápelemet oldanak ki, mint pl. a foszfor- és káliumellátottság jellemzésére általánosan használt ammónium-laktát puffer (AL-módszer).

Leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy a vízzel vagy híg sóoldatokkal kivont tápanyagok azokkal a nem felvehető tápanyag-poolokkal vannak egyensúlyban, amelyek viszonylag könnyen átalakulnak/oldódnak. Azaz ezek a kivonószerek a felvehető tápanyag mennyiségét jól jellemzik.

A valóság azonban bonyolultabb, mert oldhatatlan vegyület nincs. A kivonatok tápelemtartalmának létrehozásában oldékonysága függvényében minden tápelemforma részt vesz. Ennek ellenére, mivel a felvehető formájú tápelem sokkal jobban oldható, *a gyenge kivonószerezrel kivont kis tápelemmennyiségről joggal feltételezhetjük, hogy az inkább a felvehető formában jelen lévő foszfor- illetve kálium mennyiségével lesz arányos.*

A tapasztalatok szerint e módszerekkel a legkülönbözőbb talajfélések tápelemszolgáltatására is megbízhatóbban lehet következtetni.

Hasonló fejlődés figyelhető meg a nitrogénvizsgálatokban. A nitrogénszolgáltató képesség becsléséhez régen csak a talaj szervesanyag-tartalmát („humusztartalmát”) határozták meg. A talaj nitrogéntartalmának 95-98%-a a szervesanyagban van ugyan, de nem felvehető formában. A felvehető formában (NO_3^- és NH_4^+) lévő nitrogén mennyisége legfeljebb néhány százalék és nagyon változik az időjárástól, a talajmintavételkor aktuális talajhőmérséklettől és nedvességtartalomtól. Napjainkban mégis egyre inkább a felvehető formájú nitrogén meghatározására alapozzák a nitrogéntrágyázási szaktanácsadást, (pl. az N_{\min} módszer, vagy az EUF módszer, WEHRMANN és SCHARPF, 1979; NÉMETH, 1971; KULCSÁR et al., 1998).

A felvehető tápelemtartalom meghatározása bonyolult, és nem is mindig célravezető. Nagyon kicsi és időben változó talajtápanyag-mennyiségről van szó, így nagy a hibalehetőség. Ez különösen szembeűnő a nitráttartalom meghatározásakor. Azért, hogy a meghatározáskor az időbeni ingadozásokat csökkentsék, általában olyan kivonószereket használnak, amelyek a felvehetőnél valamennyivel nagyobb mennyiséget oldanak ki, például a nitráton kívül a nitráttá- vagy ammóniummá alakuló vízoldható szerves vegyületeket (EUF szerves frakció (NÉMETH, 1971), a forróvízzel kioldható szerves frakció (FÜLEKY és CZINKOTA, 1993)).

Összefoglalóan: minél inkább a talaj felvehető tápelemtartalmára, és nem a nem-felvehető formában lévő tápelemtartalomra jellemző a kivont tápelemmennyiség, a tápanyagszolgáltatást jellemző talajvizsgálati érték annál függetlenebb a talajparamétereiktől, vagyis annál használhatóbb a tápanyagvizsgálati módszer a talaj tápelemszolgáltatásának jellemzésére.

Trágyázási szaktanácsadás a talajvizsgálati értékek kalibrálásával

Mivel a talaj tápanyagvizsgálati módszerekkel kapott értékei csupán jelzőszámok, a talajvizsgálati értékek kalibrálásával végzett szaktanácsadás tekinthető megalapozottnak.

A talaj tápanyagvizsgálata során kapott eredmények akkor használhatók trágyaadag kiszámításához, ha *kísérletileg megállapított a talajvizsgálati értékek, a trágyaadag és a legnagyobb/legjobb minőségű termés kapcsolata.*

A talajvizsgálati adatok kalibrálásának elve ugyanaz, mint bármilyen műszeres analitikai módszeré, pl. a lángfotométeres mérésé, csak ekkor a növény az „érzékelő detektor”.

Amikor lángfotométerrel megállapítjuk egy oldat káliumtartalmát, akkor a fotométer skálarésznyi kitérését jegyezzük fel. Az így kapott számot ismert káliumtartalmú oldatokból álló kalibrációs sorozat skálakitéréseinek ábrázolásával készített kalibrációs görbéről olvassuk le.

A *kalibrációs* szabadföldi kísérletekhez nagyméretű, növekvő tápanyag ellátottságú parcellákat alakítanak ki úgy, hogy a vizsgálni kívánt tápelemmel éveken keresztül különböző mértékben trágyázzák azokat. A talajvizsgálat ennek megfelelően a kontroll (nem trágyázott), vagy csak kis mennyiséggel trágyázott nagyparcellákon kicsi, a nagyobb mértékben trágyázottaknál pedig nagyobb értéket mutat. Ezután, minden egyes parcellán a növekvő adagokkal végzett trágyázási kísérlettel megállapítják, hogy a parcellákon mekkora volt a legnagyobb termés eléréséhez szükséges trágyaadag.

A legnagyobb terméshez szükséges trágyaadagot a parcella talajvizsgálati értékének függvényében ábrázolva kapott kalibrációs görbéről leolvasható, hogy egy talajvizsgálati értékhez mekkora trágyaadag javasolható.

Nem számolnak talajból kivont tápelemmennyiséggel. Talajvizsgálati értékről és nem talajtápelemtartalomról van tehát szó. Ezért nem lényeges a talajvizsgálati érték mértékegysége sem. (Kálium esetében, pl. akár a fotométer kitérése skálarészében megadva is megfelelő lenne). A talajvizsgálati értékeket a kivonási módszerek összehasonlítása érdekében $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ mértékegységben adják meg. Ez azonban, nem minden országban követett eljárás.

Szabadföldi trágyaadagigény kalibrációt hazánkban eddig csak néhány talajvizsgálati módszerre és néhány növényre végeztek, mivel az költséges és hosszú ideig tart (KULCSÁR et al., 1998; NÉMETH és BUZÁS, 1991).

A ma általánosan használatos trágyázási szaktanácsadási módszerek alap gondolata

Számos növényre és talajféleségre megállapították, hogy valamely talajvizsgálati módszer mely talajvizsgálati értéke az, amelynél a talaj a növényt jól ellátja a vizsgált tápelemmel. Ez ugyan egyfajta kalibrálás, de nem elégséges a trágyázási szaktanácsadáshoz, mert nem ismert, hogy mennyi trágya kell akkor, ha a talajvizsgálati érték más.

A talajvizsgálati értékek kalibrációjának hiányában a szaktanácsadók becslési eljárást követnek.

A módszert az 1970-es évek végén azért dolgozták ki, hogy az akkor elkészült egységes talajvizsgáló laboratóriumi hálózat által szolgáltatott talajvizsgálati adatok trágyázási szaktanácsadásra való felhasználását tegyék lehetővé.

A laboratóriumok hálózatának kiépítésekor a „talaj felvehető tápelemtartalmának”, vagyis a termesztett növény által felvehető összes tápelemmennyiségnek laboratóriumi meghatározását vették számításba, amely szerint, pl. ha

a talaj „felvehető foszfortartalma” 40 kg, a termesztett növény foszforigénye pedig 100 kg, akkor 60 kg foszfort kell műtrágya formájában kiadni.

Azonban, mint ezt a talaj felvehető tápelemtartalma fogalmának tárgyalásakor kifejtettük, a „növény által a termesztése során felvehető tápelemmennyiség” a talajmintából nem határozható meg, mert sem a növényfajta, sem a tápelemfelvételi időszak hossza nem ismert. Másrészt a növény nem a trágya felvehető tápelemtartalmát veszi fel, hanem azt a mennyiséget, amelyet a talaj és a trágya reakciója után létrejött jobb tápanyagszolgáltatású talaj szolgáltat.

Csak miután rendeletileg bevezették a háromévenként kötelező talajvizsgálatot, akkor szembesültek azzal, hogy a helyi próbálkozásoktól eltekintve senki sem tudja, hogyan kell a laboratóriumok talajvizsgálati adataiból a trágyaadagot kiszámolni.

Számos szakember (NAGY MIHÁLY, ANTAL JÓZSEF, STEFANOVITS PÁL, DEBRECZENI BÉLA, SARKADI JÁNOS és még sokan mások) közreműködésével (BUZÁS et al., 1979) olyan szaktanácsadási módszert dolgoztak ki, amely az ismert szaktanácsadási elvek egyesítésével a hibák kiküszöbölését kísérelte meg.

A módszer alapelve: A tapasztalatok és a fellelhető irodalom alapján megbecsülték, hogy az egyes talajféleségek milyen talajvizsgálati érték esetén tekinthetők jól ellátottnak.

A korábbi kísérleti táblán nyert talajvizsgálattal megegyező értékű táblán, vagy táblarészen annyi tápelemet javasoltak adni trágya formájában, amennyi a tervezett termés tápelemigénye (mérleg elv). Ha a talajvizsgálati érték az optimálisnak tekintettnél kisebb, akkor a terménnyel és mellékterméssel elszállítottnál valamennyivel több (feltöltés), ha pedig nagyobb, akkor valamennyivel kevesebb tápelem adását javasolták. Mivel a használt módszerekkel mért értékek nagymértékben függenek a talajféleségtől, a humusztartalomtól, a karbonátosságtól, a kötöttségtől és a pH-tól, ezektől függően, más-más optimális értéket adtak meg. Látható, hogy ebben az eljárásban sem számoltak a talajvizsgálati módszerrel kivont tápelemmennyiséggel.

Az eljárást ismertető első kiadvány (BUZÁS et al., 1979) borítója színére utalva ezt a szaktanácsadást gyakran "Kék Könyves" módszernek, mások MÉM-NAK módszernek nevezik. Az eljárás leírása később számos kiadványban megjelent (DEBRECZENI, 1979; BUZÁS, 1983; ANTAL, 1983, 1987, 2000). A jelenleg használatos szaktanácsadási módszerek alapelvükben nem különböznek tőle, de az eredetét sokban finomították és a helyi viszonyokra, valamint a megváltozott gazdasági környezetre adaptálták (pl. CSATHÓ et al., 2007). 1987-ben a szerzők hozzájárulása nélkül a Kék Könyvben megadott határértékeket megváltoztatták, (u.n. „fehér könyv”). Az ekkor megemelt műtrágyaadagok indokolatlanok voltak. Szerencsére az eredeti határértékek használata terjedt el, és azokkal számolnak ma is.

Jelenleg ez az egyetlen, bárki által hozzáférhető és alkalmazható trágyázási szaktanácsadási módszer.

Összefoglalás

Az agrokémia tudományterület a fizika, a kémia és a biológia határán helyezhető el, és mint ilyen, ezek alaptörvényeit használja. Ugyanakkor az teszi az agrokémiát önálló tudománnyá, hogy vannak csupán az agrokémiában előforduló alapfogalmak.

Feltűnő, hogy az agrokémikusok óvakodnak ezek egyértelmű definiálásától, pedig ennek hiányában az agrokémiai szakirodalomban felhalmozott ismeretek nem állnak össze egységes rendszerré.

A szerző néhány ismert agrokémiai fogalom tisztázására tesz kísérletet.

Megállapítja, hogy előrelépést jelenthetne, ha a szakma világosan különbséget tenne a növények tápelemigénye és trágyaigénye között.

Fontosnak tartja, hogy a talaj tápelemformáinak változásait, a valóságot jobban megközelítő módon, dinamikusan (kinetikusan) szemléljük. Eszerint minden egyes tápelem a talajban számtalan, a növény által nem felvehető vegyület formájában, és néhány, a növények által felvehető ion formájában létezhet, valamint a nem felvehető formák és a felvehető formák folyamatosan átalakulnak egymásba.

A növények által felvehető ionok jól ismertek, ezzel szemben a nem felvehető formák rendkívül sokfélék lehetnek és összetételük részben ismeretlen. Ha nem bolygatjuk a talajt, a felvehetővé alakulásnak és a felvehetők nem felvehetővé alakulásának sebessége azonos lesz, vagyis ú.n. kvázistacionárius egyensúly alakul ki.

A fentiek segítségével pontosítani lehet a talaj tápelemszolgáltatásának fogalmát, magyarázni lehet a talaj tápelemszolgáltatásának időbeni csökkenését, a tápelemhiány okait és újszerű magyarázat adható a trágyázás termélnövelő hatására.

A dolgozat fontos részét képezi a szolgáltató laboratóriumok által végzett talaj-tápelemvizsgálatok értékelése.

A nem kutatási céllal működő talajlaboratóriumokban végzett vizsgálatok célja nem a talaj tápelemtartalmának meghatározása, hanem olyan adatok szolgáltatása, amelyek segítségével becsülni lehet, hogy a tervezett termés eléréséhez mennyi trágyát kell kiadni.

A talajvizsgálati módszertől első megközelítésben csak annyit várunk el, hogy a kivonószert a vizsgált tápelemből többet oldjon ki olyan talajokból, amelyek a növényt ezzel az elemmel jól ellátják, mint azokból, amelyek gyengébben. Azonban – mint az ammónium-meghatározás példáján bemutattuk – a módszer használhatóságának az is feltétele, hogy a kapott értékek ne függjenek jobban a talajparamétereiktől, mint a vizsgált tápelem mennyiségétől. A dinamikus szemlélet lehetővé teszi annak igazolását, hogy a talajparamétereiktől való függés akkor kicsi, ha a módszerrel kivont tápelemmennyiségről még feltételezhető, hogy a talajban lévő felvehető formák mennyiségével arányos. A talajvizsgálati módszerek utóbbi évtizedekben bekövetkezett alakulása is azt mutatja, hogy ennek leginkább a kémiaiilag gyenge kioldó hatású kivonószerek tesznek eleget.

A szerző megállapítja, hogy a rutinlaboratóriumokban végzett talaj-tápelemvizsgálati módszerekkel kapott értékeket ugyan legtöbbször mg kg^{-1} mértékegységben adják meg, de egyetlen szaktanácsadási módszer sem számol a

kivont tápelem mennyiségével, mert a talajvizsgálati érték a kivont tápelemmennyiségre való átszámítás után is csak egy kalibrálandó jelzőszám.

Szigorúan véve a kalibrációs kísérletek alapján végzett szaktanácsadás az egyetlen szakmailag megalapozott trágyázási szaktanácsadási módszer. A szabadföldi kalibráció azonban olyan költséges és olyan időigényes, hogy eddig csak néhány talajvizsgálati módszerre és néhány növényre készült el.

A legtöbb jelenlegi szaktanácsadási módszer alapját képező u.n. „Kék Könyves” módszernél a kalibrációt azzal helyettesítették, hogy a szakemberek a fellelhető irodalom és saját ismereteik alapján megbecsülték, hogy az egyes talajfélések milyen talajvizsgálati érték esetén tekinthetők jól ellátottnak.

A szerző a vitacikket az agrokémia alapjainak oktatásához segédanyagként szánja. Szeretné, ha közleménye olyan szakmai vitákat generálna, amelyek során mód nyílna egy-egy témakör részletesebb kibontására.

Kulcsszavak: tápanyagigény, trágyaszükséglet, tápelemszolgáltatás, tápelem-tartalom, talajvizsgálat

Irodalom

- ANTAL J. 1983, 1987, 2000. Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, ill. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- BUZÁS I., FEKETE A., BUZÁS INÉ., CSENGERI PNÉ., KOVÁCS ANÉ. (Szerk.) 1979. Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest. **I-II.** rész.
- BUZÁS I. (Szerk.) 1983. A növénytáplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó Budapest.
- BUZÁS I. 1987. Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- BUZÁS I. 2012. Talaj-, trágya és növényvizsgálatok. Agrokémia és Talajtan. **61.** Supplementum. 2. Szakkommentek, 7–46.
- DEBRECZENI B. 1979. Kis agrokémiai útmutató. Függelék. Mezőgazdasági Kiadó Budapest. 243–344.
- CSATHÓ P., ÁRENDÁS T., FODOR N., NÉMETH T. 2007. A legelterjedtebb hazai trágyázási szaktanácsadási rendszerek tesztelése szabadföldi kísérletekben. Agrokémia és Talajtan **56** 1 173–190.
- EGNÉR, H., RIEHM, H., DOMINGO, W.R. 1960. Untersuchungen über die chemischen Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. **II.** Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler **26.** 199–215.
- FÜLEKY G., CZINKOTA I. 1993. Hot water perkolation (HWP): A new rapid soil extraction method. Plant and Soil. **157.** 131–135.
- FÜLEKY G. 2002. Magyarország talajainak tápelem-szolgáltató képessége. In: Az agrokémia időszerű kérdései. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum MTK. Debrecen. 52–62.

- KÁDÁR I., SZEBENI SZÉNÉ 1981. Különböző N-ellátottságú csernozjom ásványinitrogén-tartalma. BUZÁS I. 1987. Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p. 185.
- KULCSÁR L., DEBRECZENI K., JÁSZBERÉNYI I., LOCH J. 1998. Investigation of the soil N-fractions in special consideration for sugar beet. In Fertilization for sustainable plant production and soil fertility. Proceedings of the 11th International World Fertilizer Congress. (Eds. VAN CLEEMPUT, O., HANEKLAUS, S., HOFMAN, G., SCHNUG, E., VERMOESEN, A.) Gent, Belgium. **III.** 338–342.
- LOCH J., JÁSZBERÉNYI I. 1997. The 0.01 M CaCl₂ solution as a multielement soil extractant-application and experiences in Hungary. In: Land use and soil Management (Ed. FILEP G.), Rexpo Ltd. Debrecen. 175–184.
- NÉMETH K. 1971. Möglichkeiten zur Bestimmung massgeblicher Faktoren des Bodenfruchtbarkeit mittels Elektroultra-filtration (EUF). Landwirtschaftliche Forschung Sonderheft **26.** 1. 129–198.
- NÉMETH T., BUZÁS I. 1991. Kalibrációs N-trágyázási kísérlet őszi káposztarepce jelzőnövényvel. Agrokémia és Talajtan. **40.** 409–418.
- OLSEN, SR. et al. 1954. Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. US DEpartment of Agriculture. Circular No. **939.** Washington DC.
- SARKADI J. 1975. A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- SIMON K. 2019. Nitrogén stabilizátor hatásának vizsgálata üvegházi tenyészedényes kísérletben. Szakdolgozat. Pannon Egyetem Georgikon Kar. Talajtani és Környezetinformatikai Tanszék, Keszthely.
- WEHRMANN, J., SCHARPF, H. C., 1979. Der mineralstickstoffgehalt des Bodens als Mass-stab für den Stickstoffdüngerbedarf (Nmin-methode), Plant and Soil **52.** 109–126.

Open Access nyilatkozat: A cikk a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>) feltételei szerint publikált Open Access közlemény, melynek szellemében nem kereskedelmi céllal a cikk bármilyen médiumban szabadon felhasználható, megosztható és újraközölhető, feltéve, hogy az eredeti szerző és a közlés helye, illetve a CC License linkje és az esetlegesen végrehajtott módosítások feltüntetésre kerülnek.
