

A talaj, trágya, növény kapcsolat elméleti kérdései

Buzás István

Magyar Agrár- és Élettudományi Egyetem, Georgikon Campus, Keszthely, Magyarország
Levelező szerző, e-mail: buzasi942@gmail.com

Beérkezett: 2025. május 6.; elfogadva: 2025. június 3.

Összefoglalás

A talaj tápelemformáinak változásait a valóságot jobban megközelítő módon, dinamikusan (kinetikusan) szemléljük. Minden egyes tápelem számtalan nem felvehető vegyület formájában és néhány felvehető ion formájában létezhet, de a nem felvehető formák és a felvehető formák folyamatosan átalakulnak egymásba. Kevés növény által felvehető ion ismert. A nem felvehető formák rendkívül sokfélék lehetnek, és összetételük részben ismeretlen. Ha nem bolygatjuk a talajt, a felvehetővé alakulásnak és a felvehető nem felvehetővé alakulásának sebessége azonos lesz, vagyis úgynevezett kvázistacionárius egyensúly jön létre. A talajtápanyag-vizsgáló módszerek használhatóságának feltétele, hogy a velük kapott értékek ne függjenek jobban a talajparaméterektől, mint a vizsgált tápelem mennyiségétől.

Kulcsszavak: tápanyagigény, trágyaszükséglet, tápelem-szolgáltatás, tápelemtartalom, talajvizsgálat

Theoretical issues of soil, fertilizer, plant relationships

István Buzás

Hungarian University of Agriculture and Life Sciences, Georgikon Campus, Keszthely, Hungary

Summary

The field of agrochemistry can be placed at the border of physics, chemistry, and biology, and as such, uses their basic laws. At the same time, what makes agrochemistry an independent science is that there are some basic concepts that occur only in agrochemistry. It is striking that agrochemists often hesitate to define these concepts unambiguously, although in their absence the knowledge accumulated in the agrochemical literature does not form a unified system. The author attempts to clarify some well-known agrochemical concepts. It would be a step forward if we made a clear distinction between the nutrient needs of plants and the fertilizer need.

It is believed to be important to view the changes in soil nutrient forms in a more realistic, dynamic (kinetic) way. According to this, each nutrient exists in the soil in the form of countless compounds that cannot be absorbed by plants, but only a few in the form of ions that can be absorbed by plants, and the forms that cannot be absorbed and the forms that can be absorbed are constantly being transformed into each other. The few ions that can be taken up by plants are well known, while the non-absorbable forms can be extremely diverse, and their composition is largely unknown. If we do not disturb the soil, the rate of conversion to absorbable and the rate of conversion of absorbable to non-absorbable will be the same over time, i.e. a so-called quasi-stationary equilibrium is established.

With the help of the above, the concept of soil nutrient supply can be clarified, the decrease in soil nutrient supply over time can be explained, the causes of nutrient deficiency can be explained, and a novel explanation can be given for the yield-increasing effect of fertilization. An important part of the thesis is the interpretation of soil nutrient tests performed by service laboratories. The purpose of tests performed in soil laboratories operating for non-research purposes is not to determine the nutrient content of the soil, but to provide data that can be used to estimate how much fertilizer needs to be applied to achieve a planned crop yield.

At a basic level, our primary expectation of a soil testing method is that the amount of a nutrient released from different soils by the extraction agent correlates with the amount of the same nutrient available to the plant from those soils. However, as we have shown in the example of ammonium quantification, the usability of the method also requires that the values obtained with it are not influenced more by other soil parameters than by the amount of the tested nutrient. The dynamic approach makes it possible to prove that the dependence on the soil parameters is small

if the quantity of nutrient extracted by the method can still be assumed to be proportional to the quantity of absorbable forms in the soil. The development of soil testing methods in recent decades also shows that it is primarily the weak extraction agents that meet this requirement.

The author points out that although the values obtained by soil nutrient testing methods performed in routine laboratories are given in mg.kg^{-1} units, the calibration protocols as well as the methods laid down in the “Blue Book” consider them only as indicator numbers, and neither of them actually takes into account the extracted nutrient quantities. Although strictly speaking, advice based on calibration experiments is the only method of fertilizer recommendation that can be considered scientific, calibration experiments are so expensive and time-consuming that it has only been carried out for a few soil testing methods and a few crops. In the so-called “Blue Book” methods, which form the basis of most fertilizer recommendations currently, the actual calibration was replaced by experts estimating, based on available literature and their own knowledge, the soil test results at which individual soil types can be considered adequately supplied.

The author aims for this discussion paper to serve as a teaching aid for the fundamentals of agrochemistry. He hopes it will spark professional discussions, offering opportunities to explore each topic in greater depth.

Keywords: nutrient requirement, fertilizer requirement, nutrient supply, nutrient content, soil testing

Bevezetés

Kölcsönözve a gondolatot, ennek a cikknek azt a címet is adhatnánk, hogy az agrokémia legegyszerűbb kérdései, amelyekről azt gondolod, hogy biztosan tudod rájuk a választ, de (majdnem) biztos, hogy rosszul tudod. Például kérdezzünk meg szakembereket, mennyit terem egy növény, ha nem kap tápanyagot. Tízből kilenc azt válaszolja, hogy annyit, amennyit a talaj termőképessége megenged. Pedig a helyes válasz az, hogy semennyit. Ugyanis nemcsak a trágyával kiadott tápanyagot tekintjük tápanyagnak, hanem értelemszerűen a talaj is szolgáltat tápanyagot. A növény tápanyagigényét a talaj által szolgáltatott tápanyag és a trágyával kiadott együttesen elégíti ki. Ebből következik, hogy a trágyaigény függ a talaj tápanyag-szolgáltatásától.

A tápanyagigény és a trágyaszükséglet (*Sarkadi 1975*) világos megkülönböztetésének hiánya miatt elvárják a nemesítőtől, hogy adja meg, mennyi műtrágyát kell kiadni a fajta termesztésekor. Holott csak a tápanyagigény a növény tulajdonsága, a trágyaigény a termőhelytől függ.

Az alaptudományok sarkalatos alaptörvényekre épülnek. Az agrokémiai 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 van néhány, csak az agrokémiában előforduló alapfogalom. Úgy tűnik, a tudományterület művelői mindmáig óvakodtak ezek egyértelmű definiálásától. Ismeretüket evidenciának tekintik, pedig mint tapasztalhatjuk, pontosításuk hiánya a magasan képzett körökben is zavart okoz.

Nem tisztázták kellően a talaj felvehető tápanyagtartalmának fogalmát és a talajtápanyag-vizsgálatok célját – azt gondolva, hogy az a tökéletes tápanyagvizsgálat, amelyik annyi tápelemet von ki a talajból, amennyit a növény képes felvenni. Mivel a felvett tápelemmennyiség alapvetően attól függ, hogy milyen növényt termelünk, ilyen módszer nem lehetséges. A kutatók mégis egy év-

századig kísérleteztek a nem létező talajvizsgálati módszer megtalálásával.

Jelen dolgozatban kísérletet teszek az általam alapvetőnek tekintett alapfogalmak tisztázására. Nem szakirodalmi áttekintésnek szánom, csak néhány, szorosan a témával foglalkozó munkára hivatkozom. Lehetetlen lenne felsorolni a vonatkozó szakirodalmakat – ezt egyébként is sokak és sokszor megtették anélkül, hogy lényeges előrehaladáshoz vezetett volna.

Mit nevezünk a talaj tápelemtartalmának?

A talaj tápelemtartalma az a tápelemnek (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Mn, B, Mo, S stb.) tekinthető elemmenyiség, amely a talajban található. Egy igen nagyvonalú becslés szerint például a növénytermesztésre használt talajokban 0,5 százalék a N, 0,3 százalék a P és 3 százalék a K. Ebből adódóan 1 hektár talaj gyökerektől átjárt rétegében nagyságrendileg mintegy 10 000 kg nitrogén, 6000 kg foszfor és 60 000 kg kálium 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 szerint: „Ha egy agrokémikus azt mondja, hogy összes elemtartalom, akkor az biztosan nem összes.”) Mivel tucatnyi „összes”-meghatározási módszer ismert, ez a jelző félrevezető. A talaj tápelemtartalma értelemszerűen annyi, amennyi a talajban van.

Mit nevezünk a talaj felvehető tápelemtartalmának?

A növények csak ionos formában tudják felvenni a tápelemeket; például 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-} formájában. A talaj felvehető tápelemtartalma az a tápelemmennyiség, amely a növény által fel-

vehető ionok formájában található a talajban. A talaj felvehető tápelemtartalma több nagyságrenddel kisebb a talaj tápelemtartalmánál. A gyökerektől átjárt rétegben nagyságrendileg általában 20–30 kg nitrogén, 2–3 kg foszfor és 40–100 kg kálium található belőlük hektáronként.

A talaj így definiált felvehető tápelemtartalma nem keverendő össze valamilyen „növény által a termesztése során felvehető tápelemmennyiséggel”. (A trágyázási szaktanácsadási módszerek tárgyalásánál erről részletesebben lesz szó.) A talajmintából ugyanis nem határozható meg, hogy egy növény mennyi tápelemtartalmat vesz fel, ha nem tudjuk, milyen növényről van szó, a környezeti feltételektől függően milyen intenzitással és mennyi ideig vesz fel tápelemtartalmat stb.

A tápelemformák dinamikus egyensúlyban vannak egymással

A foszforizotópos 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 hektár területre és a talaj valamely rétegvastagságára vonatkoztathatjuk – például a felső 30 cm-es talajrétegre vagy egy növényfőlelés gyökereitől átjárt talajrétegre –, amiből az alábbi mennyiségek adódnak:

$[A]$ = 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 azok anyagi minőségétől, amit az ilyen folyamatoknál szokásos módon így írhatunk fel:

$$w_1 = k_1 \times [A];$$

$$w_2 = k_2 \times [B];$$

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

Egy adott tápanyag nem felvehető formája különböző átalakulási sebességekkel jellemezhető készletekben (poolokban) található a talajban, és ezek felvehetővé átalakulása mind egy-egy k_1 sebességi állandóval jellemezhető ($k_{1,1}$; $k_{1,2}$; $k_{1,3}$...).

Tápanyagigény

A tápanyagigény az a tápanyagmennyiség (tápelemmennyiség), amelyet a növénynek fel kell vennie ahhoz, hogy az általunk tervezett mennyiségű és minőségű termés megteremjen.

- A tápanyagigény nem lehet nulla, mert akkor a termés is nulla.
- A tápanyagigény a növény élete során maximálisan felvett tápanyag mennyiségével becsülhető.
- A tápanyagigény a növény tulajdonsága.
- A fajlagos tápanyagigény az 1 t főtermésre számított tápanyagigény. A különböző növények tápanyagigénye megtalálható a szakkönyvekben.

A trágyaszükséglet

A trágyaszükségletet csak a talaj tápanyag-szolgáltatásának ismeretében tudjuk kiszámolni. A trágyaszükséglet az a tápanyagmennyiség (tápelemmennyiség), amelyet trágya formájában ki kell adnunk ahhoz, hogy a növény az adott talajon ki tudja elégíteni a tápelemigényét, vagyis megteremjen az általunk tervezett mennyiségű és minőségű terményt.

Értéke általában kisebb, mint a tápanyagigény, de ha a talaj erősen megköti az adott tápelemtartalmat, ahogyan például a savanyú vagy nagyon karbonátos talaj a foszfort, vagy bizonyos agyagásványok a káliumot, akkor a foszfor- vagy a kálium-trágyaszükséglet a tápanyagigénynél nagyobb is lehet. Amennyiben a talaj trágyázás nélkül is kielégíti a növény tápanyagigényét, a trágyaszükséglet nulla. Ha a talaj valamely elemmel túlzottan ellátott, a trágyaszükséglet az adott tápelemből lehet negatív is, más szóval a talajban az illető elem mennyiségét inkább csökkenteni kellene. Például sörárpa vagy sárgarépa termesztéséhez túl sok is lehet a talaj nitrogéntartalma, így azt megfelelő előveteményekkel először csökkenteni kell.

- A tápanyagigény a növény tulajdonsága, viszont a trágyaszükséglet attól függ, hogy milyen a talaj tápanyag-szolgáltatása és a növény tápanyagigénye, vagyis csak egy adott talaj–növény viszonylatban létező fogalom.
- Mivel a trágyaszükséglet nem a növény tulajdonsága, a talaj ellátottságának ismerete nélkül lehetetlen megadni az egyes növények termesztéséhez szükséges trágyaadagokat.
- A fajlagos trágyaszükséglet az 1 t főtermésre számított trágyaszükséglet.

Mit nevezünk a talaj tápanyag-szolgáltatásának?

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

menntisége = a talajban felvehető formában található tápelemmenntiség + a növény tápelemfelvételi időszaka alatt a talajból felvehetővé alakuló tápelemmenntiség.

A tápanyag-szolgáltatás típusai

Ha a talajban felvehető formában található tápelemmenntiség nagyobb, mint a növény tápelemigénye, akkor első típusú tápanyag-szolgáltatásról beszélünk. Ez könnyen előfordulhat a nitrogénnél, mert a talaj nitrát-plusz ammónium-nitrogén-tartalma 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 tápanyag-szolgáltatásnak nevezzük. Ez a foszfor-szolgáltatásra jellemző, mert elfogadható termések esetén a növények P_2O_5 -ben megadott foszforigénye 60–100 kg ha⁻¹, viszont a talaj felvehető formában található foszfortartalma az erősen lekötődő $H_2PO_4^-$ és HPO_4^{2-} ionok alacsony koncentrációja miatt csak 2–3 kg lehet hektáronként.

Ha a talajban felvehető formában található tápelemmenntiség 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 tápanyag-szolgáltatásról beszélünk. Ez jellemző a káliumszolgáltatásra, mert a növények általában több száz kg ha⁻¹ K_2O -ban kifejezett káliumigényéhez képest a talajok felvehető formában található káliumtartalma jellemzően 100 kg ha⁻¹ K_2O -ban kifejezett káliummennyiség alatt van (Buzás 1987).

A tápanyag-szolgáltatás sebességének változása az időben

A növény a felvehető formák felvételével megbontja a fennálló dinamikus egyensúlyt. A kvázistacionárius rendszerek mindig egyensúlyra törekszenek, ezért megnő a felvehetővé alakulás sebessége. Ennek ellenére a tápelem-szolgáltatás sebessége idővel csökken. A szolgáltatás sebessége jelentősen csökkenhet annak ellenére, hogy a nem felvehető formák együttes menntisége számottevően nem lesz kisebb. Ennek az az oka, hogy egy-egy tápanyag nem felvehető formája különböző felvehetővé válási sebességekkel jellemezhető készletekben található a talajban. A szolgáltatás sebessége azért csökken, mert a megszámlálhatatlanul sokféle, nem felvehető formájú vegyületből egyre inkább a kisebb k_1 sebességi állandóval jellemezhető formák szolgálatnak.

Szigorúan véve azonban, mivel nulla k_1 -gyel rendelkező anyag nem létezik, a mindenkori felvehetővé vált tápanyag a talajban előforduló összes nem felvehető forma

terméke. Létrehozásában a nem felvehető formák – sebességi állandójuk csökkenésének megfelelően – egyre kisebb mértékben vesznek részt.

A növény tápelemfelvételének változása a növény élete során

A csíranövény nem vesz fel tápanyagot, de betakarításkor vagy a növény életének végén a kifejlődött növény tápelemfelvétele is nulla lesz. A két véglet között minden növényenél van legalább egy olyan időszak, amikor viszonylag nagy sebességgel vesz fel valamilyen tápelemet.

Tápelemhiány és a tápelemhiány oka

A tápelemhiányt növényélettani és növénytermesztési szempontból is vizsgálhatjuk. Növényélettani szempontból akkor van tápelemhiány, ha a növény valamelyik tápelemből nem tud annyit felvenni, amennyi az egészséges növény kifejlődéséhez szükséges.

Számos példa van arra, hogy a növénytermesztő a növény elemösszetételét befolyásolva a felhasználás céljának megfelelő minőségű terményt kíván előállítani. Így például a nitrogénhiányos, kevesebb fehérjét tartalmazó tavaszi árpa a jó sörárpa. A nitrogénhiányos cukorrépa cukortartalma nagyobb. A lucerna még akkor is nagyobb terméssel reagál a molibdén adagolására, amikor molibdéntartalma már mérgező az állatok számára. A sárgarépa termésmenntisége a nitrogéntrágyázástól még akkor is nő, amikor nitráttartalma már az egészségre ártalmas szint felett van stb.

Ezért a termesztés célját is figyelembe véve tápelemhiányról akkor beszélünk, ha a növény nem tud annyi tápelemet felvenni a talajból, mint amennyi a tervezett menntiségű és minőségű termés eléréséhez 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 termésmenntiséghez szükséges tápelemmenntiségnél. Tápelemhiány akkor lép fel, ha a növény élete során van olyan időszak, amikor nagyobb sebességgel képes felvenni a tápelemet, mint amilyen sebességgel a felvehető formákat a talaj a növény közreműködésével szolgáltatni tudja.

Miért javul a talaj tápelem-szolgáltatása, ha megtrágyázzuk a talajt?

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 megzavarjuk az egyensúlyt például azzal, hogy trágyával felvehető formájú tápelemet adunk a talajba (pl. szuperfoszfátot), akkor 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 képesek felvehetővé alakulni, mint azok, amelyek eredetileg voltak a talajban. Ez a két ellentétes folyamat mindaddig folytatódik, ameddig – nagyobb [A], nagyobb [B], nagyobb w_1 és w_2 értéknél – be nem áll az új egyensúly, vagyis w_1 ismét egyenlő nem lesz w_2 -vel. A trágya tehát reakcióba lép a talajjal, és egy jobb tápanyag-szolgáltatású talaj keletkezik.

Az izotópos kísérletek jól mutatják, hogy ez történik akkor is, ha olyan trágyával trágyázunk, amely nem felvehető formában tartalmazza a tápelemet. Attól függően, hogy milyen sebességgel tud felvehetővé alakulni, előbb-utóbb beáll az egyensúly a nem felvehető és a felvehető formák között.

Érdemes végiggondolni, miért javul a növény foszfor-ellátása, ha például 100 kg ha^{-1} foszfor hatóanyagot adunk ki. A könnyebb számolás kedvéért tételezzük fel, hogy a talaj nem felvehető formában lévő foszfortartalma $10\,000 \text{ kg ha}^{-1}$, a felvehető pedig 1 kg ha^{-1} . A 100 kg foszfor kiadása után az új egyensúly beálltakor megközelítőleg $10\,099,99 \text{ kg ha}^{-1}$ lesz a nem felvehető forma és $1,01 \text{ kg ha}^{-1}$ a felvehető forma mennyisége az eredeti $10\,000:1$ arálynak megfelelően. A kereken 100 kg ha^{-1} -os növekedés a talaj $10\,000 \text{ kg ha}^{-1}$ -os foszfortartalmához képest jelentéktelen, és a hektáronként $0,01 \text{ kg}$ -os növekedés is jelentéktelen 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 javult?

Ismert, hogy a foszfortrágyázás után a felvehető formában kiadott foszforból frissen kialakult különböző foszforvegyületek gyorsabban alakulnak át felvehetővé, mint a talajban már régebben jelen lévő, „előregedett” foszforformák (Füleki 2002), ezért megnő a foszforszolgáltatás sebessége.

Tehát a közhiedelemmel ellentétben nem azért trágyázunk, hogy a talaj tápelemtartalmát növeljük. A növény nem a trágya felvehető tápelemtartalmát veszi fel, hanem a talajnak a trágyával történő reakciója után a megváltozott tápanyag-szolgáltatású talaj által biztosított mennyiség egy részét.

A talajlaboratóriumokban végzett tápelemvizsgálatok eredményeinek értelmezése és célja

A nem kutatási céllal működő talajlaboratóriumokban végzett talajtápelem-vizsgálatok célja nem a talaj valamilyen tápelemtartalmának meghatározása, hanem olyan adatok szolgáltatása, amelyek segítségével becsülni tud-

juk, hogy valamely 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, hogy a kivonószert mennyi tápelemet (nitrogént, foszfort, káliumot stb.) oldott ki a talajmintából. A talajvizsgálati módszertől első megközelítésben csak annyit várunk el, hogy a kivonószert a vizsgált tápelemből többet oldjon ki olyan talajokból, amelyek jól ellátják a növényt ezzel az elemmel, mint azokból, amelyek gyengébben.

Mivel tudományos megközelítésben nincsenek oldhatatlan anyagok, oldhatóságuktól függően a kivonatban a vizsgált tápelem minden, a talajban található vegyületből kioldódik valamennyi. Bármilyen kivonószert használunk, nem tudható, hogy a vizsgált tápelem felvehető vagy nem felvehető formában van-e a kivonatban. Az sem biztos, hogy a kivonatban annak az elemnek a mennyiségét határozzuk meg, amelynek szolgáltatásáról képet szeretnénk kapni. Jól példázza ezt a nitrogénellátottság megítélésére szolgáló úgynevezett humuszvizsgálat, amelynél a kivonatból még csak nem is a nitrogént határozzuk meg, hanem a széntartalmat. A módszer azon az egyszerű megfigyelésen alapul, hogy a sok szén, sok szerves anyagot tartalmazó talajok általában jobban ellátják nitrogénnel a növényeket.

Az ezekkel a módszerekkel kivont tápanyagmennyiségek a kivonószertől függően nagyon különbözőek.

Csak foszforvizsgálatra is több mint száz módszer ismert, amelyek abban különböznek, hogy milyen kivonószert használnak. A kivonószertől függően a kioldott mennyiség ugyanannál a talajmintánál is nagyon különböző. Így például lehet, hogy az adott talajminta 1000 grammjára számítva valamilyen vizes módszerrel (Füleki–Czinkota 1993) 4 mg , nátrium-hidrokarbonát oldattal (Olsen 1954) 40 mg , ammónium-laktát pufferrel (Egner–Riehm–Domingo 1960) 200 mg , híg sósavval vagy kénsavval pedig (ezeket tizenkét különböző módszer használja) $5000 \text{ mg P}_2\text{O}_5$ -tel egyenértékű foszfort oldunk ki.

Például a kivonószerként vizet használó foszforvizsgálati módszernél, ha a vizsgált talaj gyengén látja el foszforral a növényeket, akkor 1000 g talajból mondjuk 2 mg , ha jól ellátja őket, akkor mondjuk $6 \text{ mg P}_2\text{O}_5$ -tel egyenértékű foszfor oldódik ki. Vagy ugyanez az AL-módszernél arányaiban 100 , illetve 600 , a savas kivonatoknál 1000 és 8000 is lehet.

A talajlaboratóriumokban végzett tápelemvizsgálati módszerek használhatósága

A talajtápanyag-vizsgálatoknak értelmet ad, hogy a kutatók évtizedek óta végzett kísérletekkel megállapították, az egyes talajvizsgálati módszereknél mekkora az a talaj-

vizsgálati érték, amelynél a talaj jól ellátja a növényt az adott tápelemmel. Ez az érték azonban erősen függhet a talaj anyagi összetételétől, fizikai, kémiai tulajdonságaitól. Az AL-módszernél például talajkilogrammonként 200 mg P_2O_5 -tel egyenértékű foszfor egy semleges vagy kevés kalcium-karbonátot tartalmazó talajnál jó ellátottságot biztosíthat, de ehhez erősen karbonátos talajon 300, savanyú talajon akár 400-as érték is szükséges. Vagy például az 1 százalék széntartalom (humusztartalom) homoktalajon igen jó nitrogénellátást biztosít, ezzel szemben egy nehéz agyag fizikai féleségű talaj ilyen humusztartalomnál a nitrogénhiány következtében szinte terméketlen. Nagyon vizes, levegőtlen lápokon a növények 60 százalék széntartalomnál is nitrogénhiányosak lehetnek.

Ha a talajparamétereiktől való függőség ilyen nagy, talajféleségenként más-más optimális talajvizsgálati értéket kell megadni. Ha a talajtulajdonságoktól való függés olyan nagy, hogy a kivont tápelem mennyisége már jobban függ valamely talajparamétertől, mint a talaj tápelemtartalmától, akkor a módszer használhatatlan.

Kevésbé köztudott, hogy emiatt az $N_{\min}$ -módszer (Wehrmann-Scharpf 1979) és az összes olyan ásványi-nitrogén-tartalom meghatározási módszer, amelynél a kivonat ammóniumtartalmával is számolnak, hibával terhelt. Az ammónium-ion a talajkolloidokkal ellentétben pozitív töltésű, emellett képes komplex ammóniumvegyületeket képezni. Ezek következtében olyan mértékben kötődik a talajkolloidokhoz, hogy a kivonószerekben megjelenő mennyisége csak azonos kolloidtartalmú talajoknál arányos a talaj ammóniumtartalmával. Különböző talajok ammóniumtartalmát nem lehet ezekkel a módszerekkel összehasonlítani, mivel a kivont ammónium mennyisége jobban függ a talaj adszorpciós képességétől, mint a talaj ammónium-ion-tartalmától. 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 ammónium-ion volt, mint a kis szervesanyag-tartalmú homoktalajokéban.

Természetesen nagyon jó lenne meghatározni a talajok ammóniumtartalmát, vagy legalább a különböző talajok ammóniumtartalmának összevethetőségét megol-dani.

A kivonat ammóniumtartalmát hozzáadva a nitráttartalomhoz kapjuk az $N_{\min}$ -értéket. Ez nem okoz számot-tevő hibát, mert a kivonat ammóniumtartalma nitráttartalmának csak tized- vagy századrésze, az viszont elég kínos, hogy a kapott eredmény rosszabbul jellemzi a talaj felvehető (ásványi, minerális) nitrogéntartalmát, mintha nem számoltak volna az ammóniumtartalommal.

A jó talajvizsgálati módszertől tehát azt is megkövetel-jük, hogy ne legyen nagy a talajparamétereiktől való füg-gőség, legyenek olyan talajcsoportok, amelyeken belül ugyanazt a talajvizsgálati értéket tekinthetjük optimális-nak.

A foszforvizsgálatok példáján nézzük meg, mely mód-szereknél várható, hogy kicsi lesz a talajparamétereiktől való függés.

A foszforszolgáltatás a második típusba tartozik, vagyis a w_{1P} -től, a foszfor felvehetővé alakulásának sebességé-től függ a növény foszforellátottsága, mivel a felvehető formában lévő foszfor mennyisége a növény foszforigé-nyéhez képest jelentéktelen.

A w_{1P} viszont a nem felvehető foszforformák mennyi-ségétől és anyagi minőségétől függ, vagyis az $[A_P]$ meny-nység mellett még attól, hogy a nem felvehető formákat milyen vegyületek képezik, hiszen vannak lassan és gyor-san felvehetővé alakuló, nem felvehető formák. Minden egyes nem felvehető P-forma felvehetővé alakulásának sebességére a hozzá tartozó k_{1P} sebességi állandóval fel-írhatjuk:

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

ahol $[A_P]$ = a talajban található, nem felvehető foszfor-vegyületek foszfortartalma (mivel a felvehető formák mennyisége a nem felvehetőkéhez képest elhanyagolha-tó, ez gyakorlatilag a talaj foszfortartalma);

k_{1P} = a talajban található nem felvehető foszforvegyü-let 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 foszforve-gyületek foszfortartalma (a talaj felvehető foszfortartal-ma);

k_{2P} = a talajban található felvehető foszforvegyületek anyagi minőségére jellemző sebességi állandó.

Ha a talajmintát előírászerűen, nem közvetlenül trágyá-zás után szedjük, akkor a talajban várhatóan már beállt az új egyensúly, és

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

A w_{2P} -t w_{1P} -vel helyettesítve felírható az is, hogy

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

Eszerint a talaj foszforszolgáltatása, vagyis a w_{1P} a nem felvehető formában található és a felvehető formában ta-lálható foszfortartalommal egyaránt jellemezhető. A két lehetőség között azonban óriási különbség van.

Ha a foszforszolgáltatást a nem felvehető formák mennyiségével akarjuk összefüggésbe hozni, az optimális foszfortartalomra kapott érték minden talajféleségen más lesz, mert a nem felvehető formájú foszfor minden talajon más vegyületet jelent. Az anyagi minőségükre jel-lemző k_{1P} állandó talajféleségenként változik. Például

egy karbonátos talajban a foszfor főként trikálcium-foszfát, savanyú talajokban részben vas- és alumínium-foszfát, homoktalajokban általában apatit, szerves talajokban szerves foszforvegyületek stb. formájában van jelen. A trikálcium-foszfát, a vas- és alumínium-foszfátok, valamint az apatitok legtöbb módosulatának K_{1P} -értéke nagyon kicsi, mert nagyon stabil vegyületek, és csak nagyon lassan szolgáltatnak felvehető foszfort. Az ilyen talajokban a növények nagy foszfortartalom esetén is foszforhiányban szenvedhetnek, míg a semleges és gyengén lúgos talajok jól disszociáló $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2$ -t tartalmaznak, és aránylag kis foszfortartalom esetén is jól elláthatják a növényeket.

Ezzel szemben a felvehető formák – foszfor esetében H_2PO_4^- vagy HPO_4^{2-} – minden talajféleségekben ugyanazok, mert a növények talajféleségtől függetlenül csak ugyanazokat az ionokat képesek felvenni. Ezért, ha valamely talajon meg tudnánk állapítani, hogy valamely növény természeténél pontosan mekkora az optimális felvehető foszfortartalom, az elvileg a talajparaméterektől függetlenül más talajokra is igaz lenne.

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

Egy kicsit leegyszerűsítve azt mondhatjuk, hogy a vízzel vagy híg sóoldatokkal kivont tápanyagok azokkal a nem felvehető tápanyag-poolokkal vannak egyensúlyban, amelyek viszonylag könnyen átalakulnak/oldódnak. Vagyis ezek a kivonószerek jól jellemzik a felvehető tápanyag mennyiségét. A valóság bonyolultabb, mert oldhatatlan vegyület nem létezik. Már Prjanyisnyikov is leszögezte, hogy a kivonatok tápelemtartalmának létrehozásában oldékonysága függvényében minden tápelemforma részt vesz. Ennek ellenére, mivel a felvehető formájú tápelem sokkal jobban oldható, a gyenge kivonószerekkel kivont kis tápelemmennyiségről joggal feltételezhetjük, hogy inkább a felvehető formában jelen lévő foszfor, illetve kálium mennyiségével lesz arányos.

A tapasztalatok szerint ezekkel a módszerekkel a legkülönbözőbb talajféleségek tápelem-szolgáltatására is megbízhatóbban lehet következtetni.

Hasonló fejlődés figyelhető meg a nitrogénvizsgálatoknál. A nitrogénszolgáltató képesség becsléséhez régen csak a talaj szervesanyag-tartalmát („humusztartalmát”) határozták meg. A talaj nitrogéntartalmának 95–98 százaléka ugyan a szerves anyagban van, de nem felvehető formában. A felvehető formában (NO_3^- és NH_4^+) lévő nitrogén mennyisége legfeljebb néhány százalék, és nagyon változik az időjárástól – a talajmintaszedéskor éppen aktuális talajhőmérséklettől, nedvességtartalomtól – függően. Napjainkban mégis egyre inkább a felvehető formájú nitrogén meghatározására alapozzák

a nitrogéntrágyázási szaktanácsadást (pl. $N_{\min}$ -módszer vagy EUF-módszer).

A felvehető tápelemtartalom pontos meghatározása azonban elég bonyolult, és nem is mindig célravezető. Nagyon kicsi és időben változó mennyiségről van szó, így nagy a hibalehetőség. Ez különösen szembevető a nitráttartalom meghatározásánál. Azért, hogy az időbeni ingadozásokat csökkentsék, általában olyan kivonószereket használnak, amelyek a felvehetőnél valamennyivel nagyobb mennyiséget oldanak ki. Például a nitráton kívül kioldják a könnyen nitráttá vagy ammóniummá alakuló, vízdoldható szerves vegyületeket: EUF szerves frakció (Németh 1971), forró vízzel kioldható szerves frakció (Füleki–Czinkota 1993), vagy könnyen mineralizálódó szerves anyagok meghatározására szolgáló egyéb módszerek.

Összefoglalóan azt mondhatjuk, hogy minél inkább a talaj felvehető tápelemtartalmára, nem pedig a nem felvehető formában lévő tápelemtartalomra jellemző a módszerrel kivont tápelemmennyiség, annál inkább független lesz a tápanyag-szolgáltatást jellemző talajvizsgálati érték a talajparaméterektől, vagyis annál használhatóbbnak tekinthető egy talajtápanyag-vizsgálati módszer.

Trágyázási szaktanácsadás a talajvizsgálati értékek kalibrálásával

Mivel a talajtápanyag-vizsgálati módszerekkel kapott értékek nem többek, mint jelzőszámok, csak a talajvizsgálati értékek kalibrálásával végzett szaktanácsadás tekinthető tudományosan megalapozottnak. A talaj tápanyagvizsgálata során kapott eredményeket akkor tudjuk felhasználni a trágyaadag kiszámításához, ha kísérletekkel megállapítjuk, hogy az egyes talajvizsgálati értékeket mutató talajokon mekkora trágyaadaggal érhető el a legnagyobb és/vagy legjobb minőségű termés.

A talajvizsgálati adatok kalibrálásának elve ugyanaz, mint bármilyen műszeres analitikai módszeré, például az egyszerű lángfotométerrel végzett mérésé, csak itt a növény az érzékelő, a detektor. Amikor lángfotométerrel meg akarjuk állapítani például egy oldat káliumtartalmát, akkor megnézzük, hogy a fotométer hány skálárésznyit tért ki. Az így kapott szám önmagában nem mond semmit. Értelmet az ad neki, ha ismert káliumtartalmú oldatokból álló sorozat skálakitéréseinek ábrázolásával kalibrációs görbét készítünk. Erről olvasható le, hogy az ismeretlen oldatnál kapott műszerkitérés milyen káliumtartalomnak felel meg.

A kalibrációs kísérletek végzéséhez nagy méretű, növekvő ellátottságú parcellákat alakítanak ki úgy, hogy a vizsgálni kívánt tápelemmel éveken keresztül különböző mértékben trágyázták őket. A talajvizsgálat ennek megfelelően a nem vagy csak kis mennyiséggel trágyázott nagyparcellákon kicsi, a nagyobb mértékben trágyázottaknál nagyobb értéket mutat. Ezután minden egyes nagyparcellán növekvő adagokkal végzett trágyázási kísérletekkel megállapítják, hogy a nagyparcellákon mek-

kora volt a legjobb termés eléréséhez szükséges trágyaadag. A legjobb terméshez szükséges trágyaadagot a nagyparcella talajvizsgálati értékének függvényében ábrázolva olyan kalibrációs görbét kapunk, amelyről leolvasható, hogy egy adott talajvizsgálati értékhez mekkora trágyaadag javasolható.

Látható, hogy nem számolnak semmilyen, talajból kivont tápelemmennyiséggel. Talajvizsgálati értékről és nem talaj-tápelemtartalomról van szó. Teljesen mindegy, hogy a talajvizsgálati értéket milyen mértékegységben adjuk meg. Ne vezessen félre senkit, hogy a talajvizsgálati értékeket mg kg^{-1} mértékegységre szokás átszámolni. Ez csupán egy a módszerek összehasonlítására alkalmas megállapodás, nem is minden országban követik. Ilyen kalibrációt eddig csak néhány talajvizsgálati módszerre és néhány növényre végeztek, mivel rendkívül költséges, és hosszú ideig tart (Kulcsár et al. 1997; Németh-Buzás 1991).

A ma általánosan használatos trágyázási szaktanácsadási módszerek alap gondolata

A kutatók számos növénynél és talajféleségnél megállapították, hogy valamely talajvizsgálati módszert használva mekkora az a talajvizsgálati érték, amelynél a talaj jól ellátja a növényt egy adott tápelemmel. Ez ugyan egyfajta kalibrálás, de nem elég a trágyázási szaktanácsadáshoz, mert nem tudjuk megmondani, hogy mennyi trágyát kell kiadni akkor, ha a talajvizsgálati érték ettől eltérő. A talajvizsgálati értékek kalibrációjának hiányában a szaktanácsadók egy tudományosnak csak jóindulattal nevezhető eljárást követnek. A módszert az 1970-es évek végén eredetileg azért dolgozták ki, hogy lehetővé tegyék az akkor elkészült egységes talajvizsgáló laboratóriumi hálózat által szolgáltatott talajvizsgálati adatok trágyázási szaktanácsadásra való felhasználását.

A laboratóriumok hálózatának kiépítésekor a talaj rosszul értelmezett „felvehető tápelemtartalmának”, vagyis a bármely növény által a termesztése során felvehető tápelemmennyiségnek a laboratóriumi meghatározását valóságnak képzelték, amely szerint, például ha a talaj ilyen értelemben vett „felvehető foszfortartalma” 40 kg, a termesztendő növény foszforigénye pedig 100 kg, akkor 60 kg foszfort kell műtrágya formájában kiadni. Csak miután rendeletileg bevezették a háromévenkénti kötelező talajvizsgálatot, akkor szembesültek azzal, hogy helyi próbálkozásoktól eltekintve senki nem tudja, hogyan kell kiszámolni a trágyaadagot az elkészült laboratóriumok talajvizsgálati adatainak segítségével.

Számos szakember közreműködésével Nagy Mihály, Antal József, Stefanovits Pál, Debreczeni Béla, Sarkadi János és még sokan mások (Buzás-Fekete 1979) olyan szaktanácsadási módszert dolgoztak ki, amely az ismert szaktanácsadási elvek egyesítésével megkísérelte azok hibáinak kiküszöbölését.

Az alapelv nagyon egyszerű. Ismereteik és a fellelhető irodalom alapján megbecsülték, hogy az egyes talajféleségek milyen talajvizsgálati érték esetén tekinthetők jól ellátottnak. Amennyiben egy vizsgált táblán vagy táblarészen a talajvizsgálat eredménye ezzel egyezőnek tekinthető, annyi tápelemet javasoltak kiadni trágya formájában, amennyi a tervezett termés tápelemigénye (mérleg-elv). Ha a talajvizsgálati érték az optimálisnak tekintettnél kisebb, akkor a terménnyel és a mellékterméssel elszállítottnál valamennyivel több (feltöltés), ha pedig nagyobb, akkor valamennyivel kevesebb tápelem kiadását javasolják. 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 a közhiedelemmel ellentétben ennél a módszernél sem számolnak a talajvizsgálati módszerrel kivont tápelemmennyiséggel.

Ezt az eljárást – első írásos megjelenése (Buzás-Fekete 1979) borítójának színére utalva – gyakran „Kék könyves” módszernek, mások MÉM–NAK módszernek nevezik. Azóta számos formában megjelentették (Debreczeni 1979; Buzás 1983; Antal 1983, 1987, 2000). A jelenleg használatos szaktanácsadási módszerek alapelvükben nem különböznek tőle, de az eredetit sokban finomították, és a helyi viszonyokra, valamint a megváltozott gazdasági környezetre adaptálták. Politikai nyomásra 1987-ben a szerzők hozzájárulása nélkül megváltoztatták a határértékeket (ún. „Fehér könyv”), de az így megemelt műtrágyaadagok minden tudományos alapot nélkülöznek. Szerencsére az eredeti határértékek használata terjedt el, azokkal számolnak még napjainkban is.

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

Irodalomjegyzék

- Antal J. (1983, 1987) Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Antal J. (2000) Növénytermesztők zsebkönyve. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Buzás I. szerk. (1983) A növénytaplálás zsebkönyve. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Buzás I. (1987) Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Buzás I. (2012) Talaj-, trágya- és növényvizsgálatok. Agrokémia és Talajtan, Vol. 61. Suppl. 2. Szakkommentek. pp. 7–46.
- Buzás I. & Fekete A. szerk. (1979) Műtrágyázási irányelvek és üzemi számítási módszer. I–II. rész. MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központ, Budapest.
- Debreczeni B. (1979) Kis agrokémiai útmutató. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Egner, H., Riehm, H. & Domingo, W. R. (1960) Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. Kungliga Lantbruksakademien Annaler, Vol. 26. pp. 199–215.

- Füleki Gy. (2002) Magyarország talajainak tápelem-szolgáltató képessége. In: Az agrokémia időszerű kérdései. Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum MTK, Debrecen. pp. 52–62.
- Füleki, Gy. & Czinkota, I. (1993) Hot water percolation (HWP): A new rapid soil extraction method. *Plant and Soil*, Vol. 157. No. 1. pp. 131–135.
- Kádár I. & Szebeni Sz. (1981) Különböző N-ellátottságú csernozjom ásványi-nitrogén-tartalma. In: Buzás I.: Bevezetés a gyakorlati agrokémiába. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 1987.
- Kulcsár, L., Debreczeni, K., Jászberényi, I. & Loch, J. (1997) Investigation of the soil N-fractions in special consideration of the N-fertilizer recommendation for sugar beet. In: Van Cleemput, O. et al. (eds.) *Fertilization for sustainable plant production and soil fertility. Proceedings of the 11th International World Fertilizer Congress*, Gent, Belgium. pp. 338–342.
- Loch, J. & Jászberényi, I. (1997) The 0.01 M CaCl₂ solution as a multielement soil extractant-application and experiences in Hungary. In: Filep, Gy. (ed.) *Land use and soil management*. Rexpo Ltd., Debrecen. pp. 175–184.
- Németh, K. (1971) Möglichkeiten zur Bestimmung maßgeblicher Faktoren der Bodenfruchtbarkeit mittels Elektroultra-Filtration (EUF). *Landwirtschaftliche Forschung, Sonderheft*, Vol. 26. pp. 129–198.
- Németh T. & Buzás I. (1991) Kalibrációs N-trágyázási kísérlet őszi káposztarepce jelzőnövényrel. *Agrokémia és Talajtan*, Vol. 40. No. 3–4. pp. 409–418.
- Olsen, S. R. (1954) Estimation of Available Phosphorus in Soils by Extraction with Sodium Bicarbonate. Circular No. 939. US Department of Agriculture, Washington D.C.
- Sarkadi J. (1975) A műtrágyaigény becslésének módszerei. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Wehrmann, J. & Scharpf, H. C. (1979) Der Mineralstickstoffgehalt des Bodens als Maßstab für den Stickstoffdüngerbedarf (N_{min}-Methode). *Plant and Soil*, Vol. 52. No. 1. pp. 109–126.