

IDŐJÁRÁS

Az Országos Meteorológiai Szolgálat folyóirata. 90. évf. 2–3. szám, 1986. március–június
Journal of Hungarian Meteorological Service, Vol. 90. No 2–3. March–June 1986. Budapest

A légköri savas ülepedés hatása a talajra Magyarországon

VÁRALLYAY GYÖRGY, RÉDLY LÁSZLÓNÉ és MURÁNYI ATTILA, MTA Talajtani és Agrokémiai
Kutató Intézete, H-1022 Budapest, Herman Ottó út 15.

The influence of acid deposition on soils in Hungary. Soil acidification is one of the most significant unfavourable soil degradation processes. It is due to natural factors and/or anthropogenic effects, and results in a decrease of soil fertility in ever increasing areas. We defined soil acidification as a decrease in equilibrium pH value, that is, in the buffer capacity of soils. The main reasons and consequences of soil acidity and soil acidification are summarized in the present paper. The degree of soil acidity depends on the quantity, concentration and chemical composition of substances getting into the soil from various sources, as well as on the buffer-capacity of soils which is determined by numerous soil properties. The relationships between buffer-capacity and various soil characteristics have been studied in detail and described by stepwise-regression analysis. On the basis of „titration-curves” determined in a representative soil sample collection, Hungarian soils were classified into 6 groups according to their susceptibility to acidification:

1. Strongly acidic soils. Their further acidification is not significant under the influence of acid loads (13% of the total area of Hungary). 2. Highly susceptible soils due to their low buffer-capacity (non-calcareous, slightly acidic soils with light texture, low clay and organic matter contents) (14%). 3. Susceptible soils due to their medium buffer-capacity (non-calcareous, slightly acidic soils with medium texture and organic matter content) (5%). 4. Moderately susceptible soils due to their high buffer-capacity (non-calcareous, slightly acidic soils with heavy texture, high clay and/or organic matter contents) (23%). 5. Slightly susceptible soils (salt affected soils non-calcareous from the surface) (4%). 6. Non-susceptible soils which are calcareous from the surface (41%). There is no considerable change in their reaction (pH) until the complete neutralization (dissolution, mobilization) of their carbonate content. The map of these categories was drawn on both 1:500 000 and 1:100 000 scales. In Hungary high-rate mineral fertilization (especially N-fertilization using NH_4NO_3 and urea) has much more significant influence on soil acidification than acid deposition. The spatial variability and time distribution of acid loads may – locally and periodically – result in special stress situations. The chemical composition of acid depositions has particular importance, because some of the components (in addition to their acidifying effect) may be directly toxic for the plants and/or soil microorganisms (e.g. NO_x , SO_2 , heavy metals, etc.). The drastic deterioration in areas under permanent vegetation cover (forest, grassland) is due – in most cases – to the direct physiological influences of certain toxic components. If soil acidification is caused by the non-toxic components of acid depositions, the unfavourable processes and their consequences can be prevented and/or eliminated by liming, which is an indispensable part of agrotechnics in such cases. For the determination and characterization of the effects of acid loads and acid (dry and wet) depositions average values are not satisfactory. The comprehensive analysis of various (actual and potential) stress situations developed under the given conditions is necessary, requiring the establishment of an adequate, well coordinated, multi-factorial, national monitoring system.

✱

A légköri savas ülepedés hatása a talajra Magyarországon. A természeti okok, vagy emberi beavatkozások hatására bekövetkező káros, a talaj termékenységét csökkentő degradációs folyamatok közül egyik legjelentősebb és legelterjedtebb a talajsavanyodás. Ezt a talaj egyensúly pH-értékének, illetve „savtompító képességének” csökkenéseként definiáltuk. Összefoglaltuk a talajsavanyúság, illetve a talajsavanyodás okait, anyagforgalmi

következményeit. A talaj savanyodásának mértéke a talajba jutó anyagok mennyiségétől, koncentrációjától és kémiai összetételétől, valamint a talaj pufferkapacitásától, „savtompító-képességétől” függ, amit számos talajtulajdonság befolyásol. Részletesen vizsgáltuk és stepwise regresszióval elemeztük a köztük fennálló összefüggéseket. Magyarországi talajait — reprezentatív talajminta anyag titrálási görbéinek felvétele alapján — a savas behatásokkal szembeni érzékenység szempontjából 6 csoportba osztottuk: 1. Erősen savanyú talajok. Savas behatásokra további savanyodással alig reagálnak (az ország területének 13%-a). 2. Savanyodásra erősen érzékeny, kis pufferkapacitású talajok (14%). 3. Savanyodásra közepesen érzékeny, közepes pufferkapacitású talajok (5%). 4. Savanyodásra mérsékelten érzékeny, nagy pufferkapacitású talajok (23%). 5. Savanyodásra kevésbé érzékeny (nem felszíntől karbonátos szikes) talajok (4%). 6. Savanyodásra nem érzékeny, felszíntől karbonátos talajok (41%). Ezek kémhatása a karbonátok semlegesítődéséig alig változik. Megszerkesztettük e kategóriák 1:100 000 és 1:500 000 méretarányú térképeit. Megállapítottuk, hogy a talajt érő savterhelésben a műtrágyázásnak (elsősorban a nagy adagú nitrogén [NH_3NO_3 , karbamid] műtrágyázásnak) jóval nagyobb szerepe van, mint a légköri savas ülepedésnek. Ez utóbbinál különös jelentősége van a légköri savas ülepedés térbeli megoszlásának és időbeni dinamizmusának, ami bizonyos esetekben stresszhelyzeteket teremthet; valamint a légköri savas üledekek kémiai összetételének, hisz néhány komponens a savanyító hatáson kívül közvetlenül is toxikus lehet (NO_x , SO_2 , nehézfémek stb.). Növényzettel állandóan vagy tartósan borított felszín (erdő, gyepek) esetén a gyakran megfigyelhető drasztikus károsodások például többnyire bizonyos komponensek közvetlen fiziológiai hatásainak tulajdoníthatók. Ha a savanyodást a légköri savas ülepedés nem közvetlenül toxikus komponensei okozzák, a kedvezőtlen hatás az agrotechnikai rendszerbe épített fenntartó meszezéssel eredményesen megelőzhető, kiküszöbölhető. A talaj „sav-terhelésének” és a savas ülepedés hatásának megállapításához az átlag-adatok nem elegendőek, hanem a különböző körülmények között kialakuló stressz-helyzetek elemzése szükséges, amelyhez feltétlenül indokolt egy megfelelő országos monitoring-rendszer kiépítése.

✱

Bevezetés. A talaj termékenységét a talajtulajdonságok együttese határozza meg, ami a talajban végbemenő anyagforgalmi folyamatok eredménye. A talaj termékenységét gátló tényezők közül világszerte, így Magyarországon is nagy jelentőségű a talaj szélsőséges, erősen savanyú, vagy erősen lúgos kémhatása (Szabolcs és Várallyay, 1978). Ez közvetlenül és közvetve (a talaj egyéb tulajdonságainak, biológiai tevékenységének, tápanyagforgalmának befolyásolásán keresztül) egyaránt kedvezőtlen változásokat eredményez a természetes növényzet és a termesztett növények talajökológiai környezetében, akadályozza víz- és tápanyagfelvételüket, zavartalan növekedésüket és fejlődésüket. A talaj termékenységét csökkentő, káros talajdegradációs folyamatok természeti okok, vagy emberi beavatkozások hatására egyaránt bekövetkezhetnek (Várallyay, 1986). Az általános társadalmi fejlődés (intenzív mezőgazdasági és ipari termelés, közlekedés, településfejlesztés stb.) egyre több és egyre súlyosabb ilyen veszéllyel fenyeget. A káros következmények megelőzése, elhárítása, kiküszöbölése, vagy legalább bizonyos tűrési határig történő mérséklése csak megfelelő ellenintézkedések tudatos és összehangolt rendszerének kialakításával biztosítható (UNEP-FAO, 1983).

A talajdegradációs folyamatok közül egyik legelterjedtebb a talaj kémhatásának szélsőségesé válása, s ezek közül is a talajsavanyodás (*Acidification* . . ., 1982; Kauppi et al., 1984; Stefanovits, 1977).

1. A talajsavanyodás és okai

A talajsavanyodás szűkebb értelemben véve a talaj egyensúlyi pH-értékének csökkenése. Tágabb értelemben azonban talajsavanyodásnak tekinthető a talaj „savanyú-tompító képességének” csökkenése is, amely — bizonyos határig — nem okvetlenül jár egyidejű pH-csökkenéssel.

Talajsavanyodást természeti okok és emberi beavatkozások egyaránt előidézhettek. Ezek közül legfontosabbak a következők:

a) *Természeti okok* (természetes talajképződési folyamatok):

1. Savanyú kémhatású (karbonátmentes, bázis-szegény) talajképző kőzet;
2. A növényi élettévékenység során és a növényi maradványok elbomlásakor végbemenő „sav-termelő” folyamatok (gyökérlégzés, és szervesanyagok lebomlásakor képződő CO_2 ; humuszsavak és egyéb szerves savak; egyéb savanyú bomlástermékek);
3. A semleges és lúgos kémhatású mállástermékek, valamint a talaj „pufferkomponenseinek” kilugzódása a talajban végbemenő állandó (vagy uralkodó) lefelé irányuló vízmozgás következtében (amelynek feltételei: a sok csapadék; a sík vagy enyhe lejtésű felszín miatti kis felszíni lefolyás; a talaj gyenge víztartó- és nagy vízáteresztő képessége);
4. Természetes forrásokból származó légköri savas ülepedés.

Fenti okok megléte vagy hiánya, egymáshoz viszonyított aránya határozza meg a talaj kémhatását kialakító anyagforgalmi folyamatokat, és eredményezi a talajok kémhatás-szerinti igen nagy változatosságát (Stefanovits, 1963; Várallyay et al., 1980). Ezt a képet egyre több és erősebb emberi beavatkozás közvetlen vagy közvetett hatása módosítja.

b) *Emberi beavatkozások*:

1. Területhasználat (művelési ágak, vetés-szerkezet) megváltozása: erdő → gyepek → szántók → erdő. Ennek eredményeképpen megváltozik a talajfelszín növényborítottsága (tartam, fedettség); a talajba kerülő növényi maradványok mennyisége, térbeli eloszlása, kémiai összetétele; s megváltoznak ezek lebomlási folyamatai.
2. Agrotechnika megváltozása. A növényborítás nélküli talajfelszín, a mélyművelés, mélylazítás, öntözés és drénezés jelentős változásokat okoz a talaj anyagforgalmában. Céltudatosan vagy mellékhatásként fokozza vagy fokozhatja a lefelé irányuló vízmozgást, elősegítve ezzel a kilugzási folyamatokat. Ez külső „savterhelés” nélkül is a talaj savanyodását, „savanyúságtompító képességének” csökkenését eredményezheti.
3. Nem megfelelő műtrágyázási rendszer. A termőhelyi adottságokhoz és a növény igényeihez igazodó műtrágyázásnak még a nagy termések eléréséhez szükséges nagy adagok alkalmazása esetén sem szükségszerű következménye a talajsavanyodás. Az csak nem megfelelő műtrágya-féleség (savanyúan hidrolizáló, vagy „fiziológiailag savanyú” kémhatású műtrágyák) nagy és túlzott adagjainak alkalmazása, illetve a savanyító hatást közömbösítő anyagok (például: mész) párhuzamos adagolásának elmulasztása esetén következik be, tehát kivédhető, megelőzhető.
4. Tudatosan alkalmazott talajjavító anyagok (savak, savanyúan hidrolizáló anyagok).
5. Szennyvízzel, szennyvíziszappal és hulladékokkal a talajba juttatott savanyító anyagok.
6. Légköri savas ülepedés. Ennek során az ipari, városi, közlekedési és egyéb légszennyeződések miatt egyrészt közvetlenül jutnak savanyító anyagok a talaj felszínére, másrészt a növényre hulló anyagok egy része mosódik be, vagy kerül növényi maradványként a talajba, s válik ott a lebomlás során savanyító anyagok forrásává.

2. A talajsavanyodás következményei

A talaj egyensúlyi pH-jának, illetve „savanyúság-tompító képességének” csökkenése az alábbi következményekkel járhat:

- mállás fokozódása (esetleg szabad Al és Fe felszabadulása);
- növényi tápanyagok (Ca, Mg stb.) kilúgzódása;
- kiadagolt műtrágyák hatékonyságának csökkenése (pl. a foszfor fixációja, immobilizációja a szabad Al és Fe megjelenésének hatására);
- növénytáplálkozási zavarok (bizonyos elemek hiánya; oldékonysági viszonyok megváltozása → oldott tápelemek arányának megváltozása → kiegyensúlyozatlan tápanyag arányok → esetleges zavaró antagonista hatások stb.);
- mikroszervezetek életfolyamatainak megváltozása (mikrobiális populáció számának, faj-spektrumának és biológiai-biokémiai aktivitásának megváltozása);
- toxikus anyagok „tűrési küszöbértéket” meghaladó mértékű felhalmozódása: talajban lévő anyagok (Al, Mn, stb.) mobilizációja, vagy más forrásból a talajba jutó anyagok (nehézfémek, stb.) oldhatóvá válása.

A talaj savanyodásának fenti következményei általában kedvezőtlenek a növények számára. Tény azonban, hogy a pH csökkenése javítja néhány mikroelem „mozgékonyosságát”, növény általi felvehetőségét. Más kérdés, hogy ez a harmonikus tápanyagellátást biztosító tápelem-arányok szempontjából az esetleges antagonista hatások miatt ténylegesen mennyire érvényesülhet kedvezően. A légköri savas ülepedés N és S tartalma — ha az nem toxikus vegyületek formájában jut a talajba —, növényi tápanyagul szolgálhat; savanyító hatása szélsőségesen lúgos kémhatású talajokon (pl. a Duna-Tisza-közi szolaszorosok és szolaszoros-szolaszorosokon) kifejezetten előnyös lehet.

3. A talaj savanyodását meghatározó és befolyásoló tényezők

A talaj savanyodásának mechanizmusát, mértékét, sebességét alapvetően 3 tényező határozza meg:

1. Milyen forrásokból származó, milyen koncentrációjú és kémiai összetételű anyag kerül a talaj felszínére, illetve a talajba.

2. A területre hulló anyag milyen felszínre jut: milyen hányada kerül a növényre, illetve közvetlenül a talaj felszínére, ez utóbbinak milyen hányada folyik el a felszínen, illetve jut a talajba. A három hányad aránya a terület növényborítottságától, illetve domborzati viszonyaitól függ.

3. A talajba jutó anyagok savanyító hatása elsősorban az alábbi talajtulajdonságoktól függ:

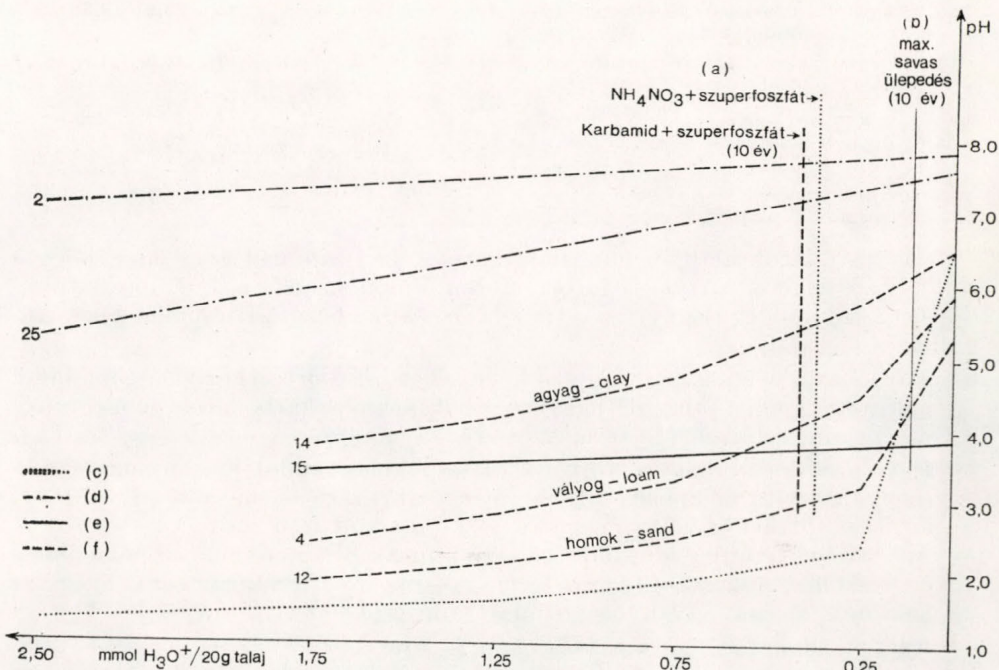
- a talaj kémhatása;
- a szilárd fázis tulajdonságai, így kémiai összetétele (elsősorban a lúgos alkotórészek és karbonátok mennyisége); mechanikai összetétele (fizikai talajféleség); az előforduló agyagásványok és egyéb szervesanyagok kolloidok mennyisége, típusa, állapota; a szervesanyagok mennyisége, lebomlottsági foka, típusa, állapota; a talaj adszorpciós kapacitása, annak telítettsége, a kicserélhető kationok összetétele;
- a talajoldat koncentrációja és kémiai összetétele;
- a talajlevegő összetétele;

- a három fázis aránya, térbeli (vertikális és horizontális) variabilitása és időbeni dinamizmusa;
- a talajban végbemenő fázis-átalakulások, fázis-kölcsönhatások.

Ezek együttesen határozzák meg a talaj „puffer-kapacitását”, „savanyúság-tompító képességét”. Fenti — nagyon vázlatos — összeállításból következik, hogy a különböző emberi beavatkozások hatására bekövetkező talajsavanyodás nagyon különböző. Mértékét, térbeli elterjedését (talajfolt, tábla, kisebb-nagyobb régió, térség), időbeni jelentkezését (hosszú tartamhatás többé-kevésbé szabályos ciklikusság, esetenkénti hatás, stressz-helyzetek) és következményeit tekintve egyaránt. Legalább ennyire különböző mélységűek, részletességűek és pontosságúak adataink, ismereteink is az egyes hatások mechanizmusáról, szerepéről, befolyásolhatóságának mértékéről és lehetőségeiről. A káros következményeket kivédő, tudatos szabályozásnak pedig a hatások regisztrálása, elemzése, a folyamatok alapos megismerése egyaránt nélkülözhetetlen előfeltétele.

4. Magyarország talajainak érzékenysége savanyodásra

A talajok „savanyodás-érzékenységet” szemléletesen fejezik ki az ún. „titrálási görbék”, amelyek azt mutatják, hogy egységnyi „sav-terhelés” ($\text{mmol H}_3\text{O}^+/\text{g talaj}$) milyen pH-csökkenést eredményez. Magyarország tala-



1. ábra: Különböző tulajdonságú talajok titrálási görbéi. Függőleges tengely: eredeti pH, vízszintes tengely: a talaj savterhelése; (a) 10 év utáni ásványi savterhelés, (b) 10 év utáni maximális savterhelés, (c) talaj nélkül, (d) karbonátos talajok, (e) erősen savanyú láptalaj, (f) nem karbonátos ásványi talajok

Fig. 1: Titration curves of various soils. Vertical axis: original pH. Horizontal axis: acid load $\text{mmol H}_3\text{O}^+/\text{20 g soil}$. (a) after 10 years of mineral fertilization; (b) after 10 years of max. acid deposition; (c) without soil; (d) calcareous soils; (e) strongly acidic peat; (f) non-calcareous mineral soils

jainak „savanyodás-érzékenységét” ilyen titrálási görbék segítségével jellemeztük. Vizsgálatainkhoz a Talajtani és Agrokémiiai Kutató Intézet „talaj-bankjából” Magyarország különböző típusú és tulajdonságú talajait reprezentáló 36 feltalaj mintát választottunk. Vizsgálati anyagunkból 6 — típusában, fizikai és kémiai tulajdonságaiban nagymértékben különböző — talaj titrálási görbéit mutatjuk be az 1. ábrán. A talajok főbb jellemzőit foglaltuk össze az 1. táblázatban.

I. TÁBLÁZAT

Néhány vizsgált talaj főbb jellemzői — *Relevant characteristics of the studied soils* Jelölések — *Remarks*: (a) hidrolitos aciditás — *hydrolytic acidity*, (b) szerves anyag — *organic matter content*, (c) Arany-féle kötöttségi szám — *sticky point according to Arany* ($\approx$ SP), (d) agyagtartalom ($<0,002$ mm) — *clay content*, (e) kationkicszerelő kapacitás — *cation exchange capacity* (CEC, meq/100 g soil), (f) bázistelítettség — *base saturation*. No of sample and soil type: (2) *Hydromorphic meadow soil*, (25) and (4) *Lessivated brown forest soil*, (14) *Chernozem brown forest soil*, (15) *Peat*, (12) *Brown forest soil with alternating thin layers of clay substance („kovárvány”), (sand)*

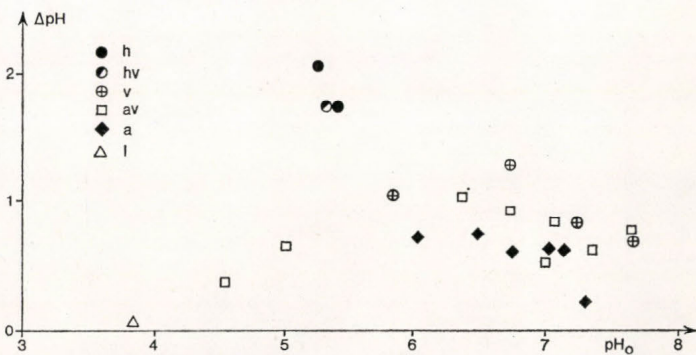
Minta száma No of Sample	Talajtípus Soil type	Mintavétel helye Place of Sampling	pH (H ₂ O)	CaCO ₃ %	(a)	(b)	(c)	(d)	(e) mgeé/ 100 g	(f)
						%	%	%	%	%
2.	Réti talaj	Agyagos-szergény	7,8	1,3	—	6,6	41	23,0	47,0	100
25.	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	Szilvásvár	7,6	0,7	—	2,0	42	23,2	19,3	99
14.	Csernozjom barna erdőtalaj	Kompolt	6,5	—	9,3	3,3	49	46,0	41,8	87,9
15.	Láptalaj	Tiborszállás	3,8	—	55,7	>10	90	24,3	135,5	32,0
4.	Agyagbemosódásos barna erdőtalaj	Nagykanizsa	5,9	—	10,2	1,5	36	15,7	12,3	57,1
12.	Kovárványos barna erdőtalaj	Nyírlugos	5,3	—	7,0	0,4	27	4,8	4,8	25,3

A vizsgálatok alapján megállapítható, s az 1. ábráról is kitűnik, hogy a különböző talajok titrálási görbéi erősen különböznek, a különböző tulajdonságú talajok egységnyi „savterhelésre” különböző pH-csökkenéssel reagálnak:

- Karbonátos talajok „savtompító-képességét” elsősorban karbonáttartalmuk határozza meg, a talaj pH-ja savas behatásokra a karbonátok semlegesítéséig alig csökken (1. ábra, 2. és 25. sz. minta);
- Egységnyi savterhelésre történő pH-csökkenés annál kisebb, minél alacsonyabb a talaj eredeti pH-ja (már csak azért is, mert a pH a H₃O⁺ ion koncentrációjának — negatív — logaritmus a);
- Az erősen savanyú láptalaj (15. sz. minta) pH-ja tehát sav-adagolásra egyrészt nagy szervesanyag-tartalma ($\rightarrow$ nagy pufferkapacitása), másrészt igen erős eredeti savanyúsága miatt alig csökken (1. ábra);
- Nem karbonátos ásványi talajokon a titrálási görbék lefutását a talaj „puffer-kapacitása”, „sav-tompító képessége” határozza meg, amely — mint az előbbieken erre utaltunk — számos talajtulajdonság együttes hatásának eredménye. Az 1. ábráról látható, hogy a kis szervesanyag- és anyag-tartalmú nyírlugosi kovárványos barna erdőtalaj (12. sz. minta) egységnyi savterhelésre (alacsonyabb eredeti pH-ja ellenére) sokkal érzékenyebben, nagyobb pH-csökkenéssel reagált, mint a nagykanizsai, vályog mechanikai összetételű agyagbemosódásos barna erdőtalaj (4. sz. minta),

vagy az agyagos vályog mechanikai összetételű, nagyobb szervesanyag tartalmú kompolti csernozjom barna erdőtalaj (14. sz. minta). Hasonló megállapítások tehetők a 2. ábra alapján is.

Ezen 22 vizsgált talaj azonos savterhelés ($0,25 \text{ mmol H}_3\text{O}^+ / 20 \text{ g}$) hatására bekövetkező pH-csökkenésének mértékét tüntettük fel a talajok eredeti pH-jának függvényében. A mérési pontok mellett a talaj fizikai féleségét is megjelöltük. Mint látható, legérzékenyebbek savanyodásra a karbonát-mentes,



2. ábra: Nem karbonátos talajok pH-változása azonos savterhelés ($0,25 \text{ mmol H}_3\text{O}^+ / 20 \text{ g}$ talaj) hatására. Függőleges tengely: a pH változása, vízszintes tengely: eredeti pH; h = homok, hv = homokos vályog, v = vályog, av = agyagos vályog, a = agyag, l = organikus talaj

Fig. 2: Change in the pH of various non-calcareous soils under the influence of uniform acid load ($0.25 \text{ mmol H}_3\text{O}^+ / 20 \text{ g}$ soil). Vertical axis: change in pH. Horizontal axis: original pH; h = sand; hv = sandy loam; v = loam; av = clay loam; a = clay; l = organic soil.

gyengén savanyú kémhatású, kis pufferkapacitású homok talajok, lényegesen kevésbé a nagy pufferkapacitású, agyag és agyagos vályog mechanikai összetételű talajok, vagy a már eredetileg is erősen savanyú talajok (Murányi és Rédly, 1986).

Részletes vizsgálatokat végeztünk a talajok „savanyodásérzékenysége”, puffer-kapacitása és az ezt meghatározó, illetve befolyásoló talajtulajdonságok közötti összefüggések megállapítására. A vizsgálatba 27 talajtulajdonságot vontunk be, és az adatokat stepwise-regresszióval elemeztük. Eddigi eredményeink szerint a titrálási görbe alatti terület nagyságaként értelmezett pufferkapacitás nem karbonátos ásványi talajok esetében elsősorban a talaj eredeti pH-értékével, mechanikai összetételével, kicserélhető Ca és Al tartalmával mutatott összefüggést. Az elemzés azt is kimutatta, hogy a titrálási görbe különböző pH-tartományjaiban különböző talajtulajdonságok befolyása válik meghatározóvá (Murányi, 1986).

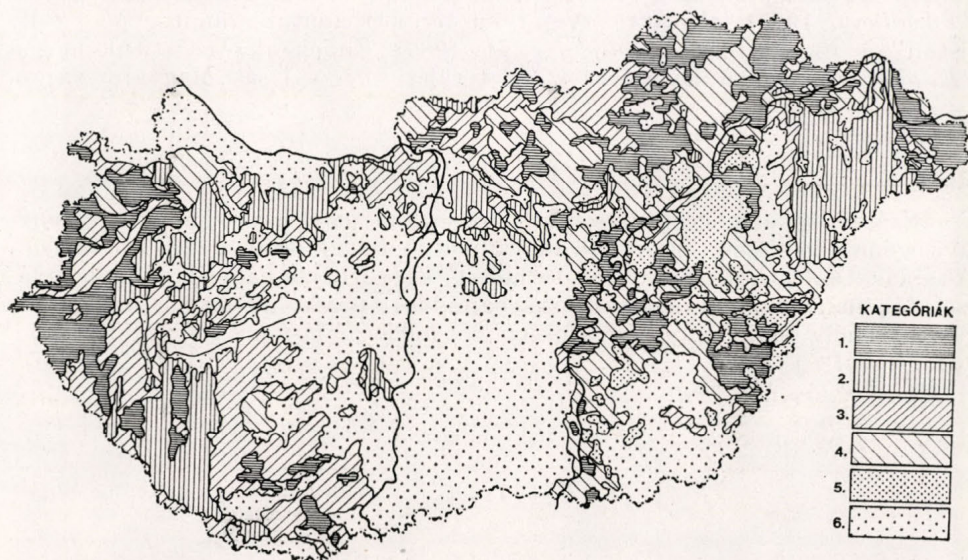
Vizsgálataink alapján kidolgoztuk Magyarország talajainak a savanyodással szembeni érzékenység szerinti kategóriarendszerét. A kategória-rendszert a II. táblázatban foglaltuk össze. A táblázatban megadtuk a besorolás alapját képező talajtulajdonságokat is, mégpedig a „Magyarország agroökológiai potenciáljának felmérése” c. program keretében a termőhelyi adottságokat meghatározó talajtani tényezőkre kidolgozott 8-kódszámú rendszerünk kategóriái szerint (Várallyay et al., 1979 és 1980). A megkülönböztetett 6 alap-kategória a következő:

II. TÁBLÁZAT

Magyarország talajainak kategóriái savanyodással szembeni érzékenységük szerint – Classification of Hungarian soils according to their susceptibility to acidification

Kategóriák Categories		Talajtulajdonságok – Soil characteristics					Terület az ország egész területének %-ában Acreage in % of the total area of Hungary
		Talajképző közet Parent material	pH és mészállapot pH and carbonate status	Fizikai féleség Texture	Szervesanyag- készlet Organic matter, t/ha	Termőréteg vastagsága Depth of solum, cm	
No	Definition						
1	Erősen savanyú Strongly acidic	—	Erősen savanyú Strongly acidic	—	—	—	13
2	Savanyo- dásra — erősen érzékeny	—	↑ Gyengén savanyú Slightly acidic ↓	Homok Sand	—	—	14
				Durva vázrész Coarse fragments			
	To acidifi- cation — highly susceptible	Bármely, kivéve lősz Anything except loess		↑ Homokos vályog Sandy loam	< 200	< 70	
3	— közepesen érzékeny — susceptible	Lősz Loess		↓ Sandy loam	< 200	< 70	5
		—		—	> 200	> 70	
		—		—	< 200	< 70	
4	— mérsé- kelten érzékeny	—		Vályog Loam	< 200	< 70	23
	— moderately susceptible			Agyagos vályog Clay loam	> 200	> 70	
				Agyag Clay	—	—	
5	— gyengén érzékeny — slightly susceptible	—	↓	Szerves Organic soil	—	—	4
		—		—	—	—	
6	— nem érzé- keny — non-sus- ceptible	—	Felszíntől karbonátos Calcareous from the sur- face	—	—	—	41

1. Erősen savanyú talajok. Savas behatásokra további savanyodással alig reagálnak.
2. Savanyodásra erősen érzékeny talajok. Ide tartoznak egyrészt a gyengén savanyú kémhatású homoktalajok és sok durva vázrészt tartalmazó talajok; másrészt a nem lösz alapkőzeten kialakult, gyengén savanyú kémhatású, kis pufferkapacitású, homokos vályog-mechanikai összetételű, kis szervesanyagkészletű, nem mély termőrétegű talajok.



3. ábra : Magyarország talajainak érzékenysége savanyodásra. Kategóriák: 1. Erősen savanyú talaj, 2. Savanyodásra erősen, 3. közepesen, 4. mérsékelten, 5. kevésbé érzékeny, 6. nem érzékeny talaj. Eredeti lépték: 1:500 000

Fig. 3: Map of susceptibility of soils to acidification in Hungary. Original scale 1:500 000. Categories: Strongly acidic soil (1), to acidification highly susceptible (2), susceptible (3), moderately susceptible (4), slightly susceptible (5), non-susceptible (6)

3. Savanyodásra közepesen érzékeny talajok. Ide tartoznak egyrészt a löszön kialakult, gyengén savanyú kémhatású, homokos vályog mechanikai összetételű, kis szervesanyagkészletű, nem mély termőrétegű talajok; másrészt a gyengén savanyú kémhatású, nagyobb szervesanyagtartalmú, mélyrétegű, homokos vályogtalajok, továbbá a kisebb szervesanyag-tartalmú és nem mélyrétegű vályogtalajok.
4. Savanyodásra mérsékelten érzékeny talajok. Ide tartoznak a gyengén savanyú kémhatású, nagy pufferkapacitású talajok: nagyobb szervesanyag tartalmú, mélyrétegű vályogtalajok; a nehezebb mechanikai összetételű (agyagos vályog, agyag) ásványi talajok; és a nagy szervesanyag-tartalmú láptalajok.
5. Savanyodásra kevésbé érzékeny talajok. Ide tartoznak a nem felszíntől karbonátos, A-szintjükben semleges vagy gyengén savanyú kémhatású szikes talajok.
6. Savanyodásra nem érzékeny talajok. Ide tartoznak a felszíntől karboná-

tos talajok, amelyek semleges vagy lugos kémhatása savas „terhelésre” a karbonátok semlegesítődéséig alig változik.

A II. táblázatban összefoglalt kritériumok alapján megszerkesztettük „Magyarország talajainak érzékenysége savanyodásra” c. térképet 1:100 000 és 1:500 000 méretarányban (Várallyay et al., 1986). Ez utóbbi egyszerűsített vázlatát mutatjuk be a 3. ábrán. A térképek szerkesztésénél a talajtani információbázist „Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők (Várallyay et al., 1979. és 1980). c. 1:100 000 méretarányú térkép és Magyarország 1:100 000 méretarányú agrotopográfiai térképe (Várallyay, 1985) jelentette. A térkép területi adatai számítógépes „foltlistán” is rögzítettek (Várallyay et al., 1980). Ennek alapján adtuk meg a II. táblázatban a 6 kategória %-os területi megoszlását Magyarországon.

A talajt érő savas behatások és ezek várható következményei

Számításokat végeztünk a talajt érő legfontosabb „savterhelések” mennyiségének becslésére. Ez irányú adatainkat foglaltuk össze a III. táblázatban. A táblázatból látható, hogy „sav-terhelést” elsősorban a nagyadagú műtrágyázás, főként az ammonitráttal és karbamiddal végzett nitrogén műtrágyázás jelent, amely pedig az ország N-műtrágya felhasználásának több mint 70%-a (41,5 + 28,7 %).

III. TÁBLÁZAT

A talajt érő „savterhelések” Magyarországon — *Acid loads in Hungary*

Savterhelés forrása — <i>Source of acid loads</i>		Becsült átlagos savterhelés <i>Estimated average of acid loads</i> kmol/ha/év	Közömbösítéshez szükséges <i>Necessary for neutralization</i> CaCO ₃ kg/ha ***
NH ₄ NO ₃ műtrágya — <i>Fertilizer</i>	118 kg N/ha *	5,1	252
Karbamid műtrágya — <i>Urea fertilizer</i>	118 kg N/ha *	5,8	286
Szuperfoszfát — <i>Superphosph. fert.</i>	78 kg P ₂ O ₅ /ha *	0,5	24
Savas eső — <i>Acid rain</i>	573 mm	0,2	9
Savas S- és N-vegyületek összes (száraz + nedves) ülepedése max. 2,0 ** (stressz) <i>Total (wet + dry) acid deposition of S and N containing substances</i>			90

* Magyarország szántó-, kert-, gyümölcsös és szőlőterületére felhasznált átlagos N-műtrágya hatóanyag (Mezőgazdasági Statisztikai Zsebkönyv, 1983.), ** Horváth — Mészáros (1985), *** in: Sarkadi (1975)

Ilyen szempontból sajnálatos a jelentős mennyiségű CaCO₃-t is tartalmazó pétisó hazai forgalmazásának és felhasználásának erős visszaesése. A savanyító hatás azonban az agrotechnikai rendszerbe épített fenntartó meszezéssel így is eredményesen megelőzhető (Boldis és Jeney, 1983. Máté és Pusztai, 1977, Pusztai, 1977). A III. táblázatban a savanyító hatás biztonságos és teljes közömbösítéséhez szükséges CaCO₃ mennyiségére vonatkozóan is közlünk adatokat Sarkadi (1975). nyomán. Itt jegyezzük meg, hogy a jelenlegi gazdasági szabályozók sajnos nem ösztönözik a műtrágyázás okozta „sav-terhelés” folyamatos és rendszeres ellensúlyozására. Mivel csak a nagyadagú meszezés minősül meliorációnak (így állami támogatás csak arra

jár), ezért a mezőgazdasági üzemek túlnyomó része nem alkalmazza a műtrágyázás savanyító hatását megelőző fenntartó meszeztést az agrotechnikai rendszer elemeként (hisz arra nem nyújt az állam dotációt), hanem megvárja, míg a savanyodás olyan mértékűvé válik, hogy megszüntetése melioratív műszadagok alkalmazását teszi szükségessé. Ez eredményezi azután azt, hogy a MÉM Növényvédelmi és Agrokémiai Központjának ez irányú felmérései szerint az ország jelentős területén következett be olyan nagymértékű talaj-savanyodás, ami — összes következményeivel együtt — már feltétlenül a talajtermékenység csökkenését eredményezi, s akadálya az intenzív növény-termesztésnek.

A műtrágyázáshoz viszonyítva nagyságrenddel kisebb a *légköri savas ülepedésből* származó talajt érő „sav-terhelés”. *Mészáros* (1984), valamint *Horváth és Mészáros* (1986) átlagos csapadék-összetétel adataival számolva 573 mm évi csapadék csak mintegy 0,2 kmol/ha/év „sav-terhelést” jelent a talajra, ami 9 kg/ha CaCO_3 adagolásával közömbösíthető. Sajnos azonban itt az átlag-adatok nem sokat mondanak, hisz ismeretes a légköri ülepedés mennyiségének és kémiai összetételének igen nagy térbeli és időbeni variabilitása. Ez azt jelenti, hogy bizonyos helyeken, bizonyos időszakokban (időjárási és légszennyezési helyzetek esetén) az átlagos „sav-terhelést” sokszorosan meghaladó légköri savas ülepedés „stresszekkel” lehet és kell számolni. A talaj savanyodása szempontjából ezek jelentik a fő veszélyt. A talajt érő „sav-terhelés” még így is elmarad a nitrogén műtrágyázás hasonló hatásától, tehát rendszeres meszezéssel viszonylag egyszerűen kiküszöbölhető.

A légköri savas ülepedésnek véleményünk szerint a „savterhelésnél” jóval nagyobb az a kedvezőtlen hatása, amit a közvetlenül toxikus komponensek (NO_x , SO_2 , nehézfémek stb.) mennyisége okoz. Akár a talajban, illetve a talajon keresztül, akár a növény felületére jutva közvetlenül. Növényzettel állandóan vagy tartósan borított felszín (erdő, gye) esetében a gyakran megfigyelhető drasztikus károsodások például többnyire bizonyos komponensek közvetlen fiziológiai hatásainak tulajdoníthatók.

A különböző forrásokból származó „sav-terheléseknek” a talaj pH-értékére gyakorolt hatása a titrálási görbék alapján nagy valószínűséggel előre jelezhető, mint ezt az 1. ábrán bemutatjuk. Az ábrán feltüntettük, hogy a maximális légköri savas ülepedés, illetve az N_{118} P_{78} kg/ha adagú műtrágyázás 10 év alatt milyen pH-csökkenést eredményez a vizsgált talajokon, ha nem történik megfelelő ellenintézkedés. Jól látható a nem karbonátos talajok — pufferkapacitástól függő mértékű — de egyaránt erős elsavanyodása, ami ismételten hangsúlyozza az agrotechnikai rendszerbe épülő fenntartó meszezés elengedhetetlen szükségességét.

6. Következtetések, javaslatok

1. Szükséges a talajt érő „sav-terheléseket” (mi hull? hova hull?) és ezek talajtani hatásait folyamatosan regisztráló monitoring-rendszer kiépítése.

2. További kutatások szükségesek a savanyodás mechanizmusának tisztázására, az azt meghatározó és befolyásoló tényezők hatásának és kölcsönhatásának elemzésére.

3. Fentiekkel párhuzamosan összehangolt program kidolgozása szükséges a vizsgált tényezők térbeli megoszlásának és időbeni dinamikájának elem-

zésére, ami a pontszerű mérési adatok térbeli kiterjesztését (térképszerű ábrázolását), illetve az időbeni változások előre jelzését, így tudatos szabályozását, és a nem kívánt következmények időben történő megelőzését teszi lehetővé.

4. A talajsavanyodás és káros következményeinek felszámolásában legfontosabb a megelőzés, a kiváltó ok(ok) megszüntetése: pl. a talajhasználat megváltoztatása; racionális műtrágyázási rendszer; agrotechnikai rendszerbe illesztett fenntartó meszezés; légszennyeződés-kontroll.

5. Biztosítani kell a már bekövetkezett káros változások korrekcióját célzó meliorációs és agrotechnikai beavatkozások elterjesztését, körütekintő tervezését, gondos kivitelezését és folyamatos „karbantartását”.

IRODALOM

- Acidification today and tomorrow*, 1982: A Swedish study prepared for the 1982 Stockholm Conference on the acidification of the environment. Ministry of Agriculture, Stockholm.
- Boldis O. és Jeney I., 1983: A talajsavanyodás és a műtrágyázás. *Magyar Mezőgazdaság* 38, 9–12.
- Horváth L. és Mészáros E., 1986: Savas ülepedés Magyarországon. *Időjárás* 90, 143–149.
- Kauppi, P., Kamari J., Posch M., Kauppi, L. and Matzner E., 1984: Acidification of forest soils. Model development and application for analyzing impact of acidic deposition in Europe. *Collaborative paper IIASA*. Vienna.
- Máté F. és Pusztai A., 1977: Műtrágyázás és a meszezés. „A mezőgazdaság kemizálása” (Ankét, Keszthely, júl. 11–16.) NEVIKI kiadv. Veszprém. 11–17.
- Mészáros E., 1984: Savas esők Magyarországon. *Magyar Tudomány* 29, 529–536.
- Murányi A., 1986: Soil acidification and the soil properties. (*Trans. Conf. on the problems of soil acidification in Poland and Hungary*. Pulawy, 1–3. 10. 1985) Pamiennik Pulawski (nyomtatás alatt).
- Murányi A. és Rédly M., 1986: The susceptibility of Hungarian soils to acidification (*Trans. Conf. on the problems of soil acidification in Poland and Hungary*. Pulawy, 1–3. 10. 1985) Pamiennik Pulawski (nyomtatás alatt)
- Pusztai A., 1977: Talajaink elsavanyodása és a meszezés. *Magyar Mezőgazdaság* 32, 8–9.
- Sarkadi J., 1975: *A műtrágyaigény becslésének módszerei*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Stefanovits P., 1963: *Magyarország talajai*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Stefanovits P. (szerk.), 1977: *Talajvédelem, környezetvédelem*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Szabolcs I. és Várallyay Gy., 1978: A talajok termékenységét gátló tényezők Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan* 27, 181–202.
- UNEP–FAO, 1983: *Guidelines for the control of soil degradation*, Rome.
- Várallyay Gy., 1986: Problems of soil degradation in Hungary. (*Trans. Conf. on the problems of soil acidification in Poland and Hungary*. Pulawy, 1–3. 10. 1985) Pamiennik Pulawski (nyomtatás alatt).
- Várallyay Gy., Rédly M. és Murányi A., 1986: Map of the susceptibility of soils to acidification in Hungary. (*Trans. Conf. on the problems of soil acidification in Poland and Hungary*. Pulawy, 1–3. 10. 1985) Pamiennik Pulawski (nyomtatás alatt).
- Várallyay Gy., Szűcs L., Murányi A., Rajkai K. és Zilahy P., 1979: Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe I. *Agrokémia és Talajtan* 28, 363–384.
- Várallyay Gy., Szűcs L., Murányi A., Rajkai K. és Zilahy P., 1980: Magyarország termőhelyi adottságait meghatározó talajtani tényezők 1:100 000 méretarányú térképe. II. *Agrokémia és Talajtan* 29, 35–76.