A humusz mítosza és a talaj szerves anyagának új értelmezése

SZERZŐ: VÍG VITÁLIA ▪ TALAJÖKOLÓGUS, A TALAJMEGÚJÍTÓ GAZDÁK EGYESÜLETÉNEK OKTATÁSI PROGRAMFELELŐSE, A TERRAVITKA ALAPÍTÓJA

A talajt sokáig egyfajta „fekete doboznak" tekintették, ahol a növényi maradványok a biológiai lebomlás mellett valamilyen rejtélyes kémiai átalakuláson mennek keresztül, és ebből születik a humusz, a talaj egyik legfontosabb, szinte varázslatosnak tekintett alkotóeleme. A nehezen bontható szerves anyagok kémiai szintézisén alapuló klasszikus humusz-elmélet határozta meg a talajtan gondolkodásmódját az elmúlt két évszázadban. Az utóbbi évtizedek kutatásai azonban alapjaiban kérdőjelezték meg ezt a képet.

A legújabb tudományos eredmények szerint a talaj humusztartalma nem egy hosszú távon kémiailag stabil anyag, hanem folyamatosan változó, különböző állapotú szerves vegyületek együttese. Ezek részben elhalt szervezetek maradványai, részben pedig mikrobiális metabolitok, amelyek sorsa döntően a fizikai környezetükön múlik: vagy hozzáférhetőek a lebontó szervezetek számára, vagy ásványi felületekhez, illetve aggregátumok belsejébe zárva válnak tartósabbá.

Ez a szemléletváltás gyökeresen új irányokat jelöl ki a talajgazdálkodásban is: a szervesanyag-megőrzés kulcsa a talaj bolygatásának minél nagyobb mértékű elkerülése a talaj életfolyamatainak és fizikai szerkezetének védelme érdekében.

A mikrobiológiai gyökerek: a talaj, mint külső emésztőrendszer

Anne Biklé és *David Montgomery* (2016) gondolatait idézve: a talaj nem önálló szervezet, mégis sok szempontból úgy működik, mint egy külső bélrendszer. A talajban élő mikroorganizmusok lebontják és átalakítják a szerves anyagokat, amelyek így a növények számára felvehető tápanyagokká válnak.

Ugyanaz a mikrobiális logika működik az emberi bélben, a növények gyökerei körül és a talajban: a mikrobák szerzik meg és alakítják át azokat a vegyületeket, amelyek gazdáik, (emberek, állatok vagy növények) számára létfontosságúak. Ez a mikrobiom-szemlélet forradalmasítja a talajról alkotott képünket: a talaj szervesanyag-forgalma nem különválasztható az élőlények anyagcseréjétől.

A humusz-elmélet lerombolása

A hagyományos nézet szerint a tartós humusz nagy molekulájú, kémiailag stabil polimerekből épül fel, amelyek ellenállnak a lebomlásnak, és évszázadokig a talajban maradnak. Ezzel szemben *Markus Kleber* és *Johannes Lehmann* 2015-ben a *Nature* hasábjain megjelent *„The contentious nature of soil organic matter"* című tanulmányukban rámutattak, hogy nincs meggyőző bizonyíték a humuszanyagok ilyen formában történő szintézisére.

A szerzők szerint a talaj szervesanyaga nem különálló, stabil vegyületek halmaza, hanem folyamatosan lebomló és átalakuló szerves molekulák elegye. A tartósság kulcsa nem a kémiai ellenálló képesség, hanem az, hogy a szerves anyag fizikailag hozzáférhetetlen a lebontó szervezetek számára.

A talajfolytonosság modell (*Soil Continuum Model*)

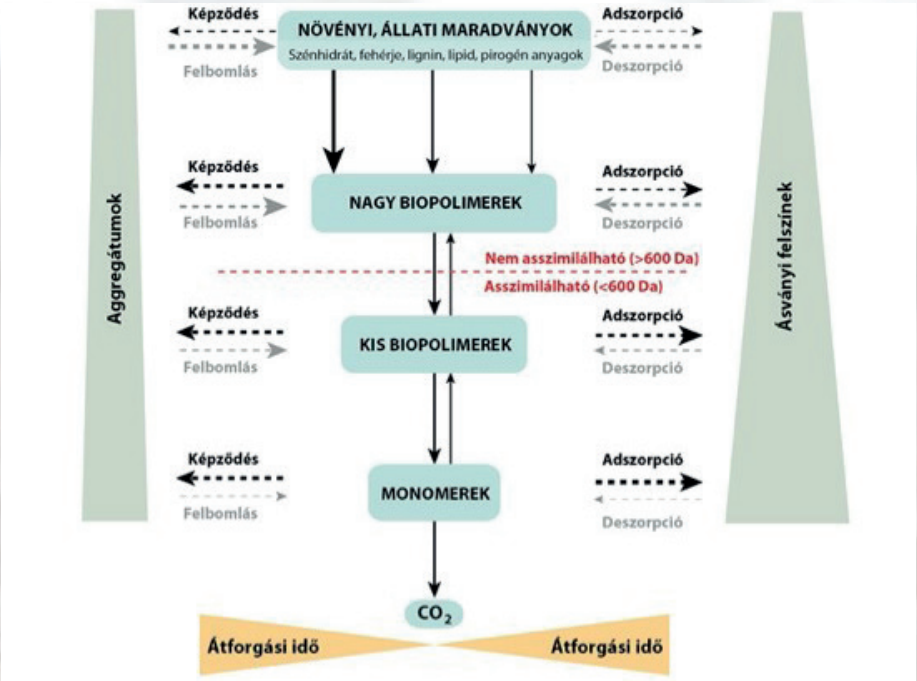
A Lehmann-Kleber-féle megközelítésből nőtt ki a *Soil Continuum Model*, amely szerint nincs éles határ a friss szervesanyag, a köztes állapotok és a „humusz" között. A szerves anyag folyamatos átalakulásban van, és mindig attól függ, hogy a mikrobák hozzáférnek-e, vagy elzárva marad.

Ez a gondolkodásmód felváltja a korábbi „stabil humusz" paradigmát, és egy dinamikus, hálózatos képet ad a talaj szerves anyagáról.

Fizikai védelem: a tartós szerves anyag záloga

A tartósság tehát nem kémiai varázslat, hanem fizikai védelem. *Jennifer Dungait és munkatársai* (2012) kísérletekkel igazolták, hogy a szerves anyag

Fotók: shutterstock.com



Talaj folytonosság modell Lehmann és Kleber nyomán

sorsa elsősorban a mikrobák számára való hozzáférhetőségtől függ. Ez két fő mechanizmussal valósulhat meg:

1. Ásványi kötődés: a szerves molekulák adszorbeálódnak az agyagásványok és oxidok felületére, ahol a mikrobák számára nehezebben elérhetőek.

2. Mikroaggregátumokba záródás: a talaj szerkezetében kialakuló apró morzsákban fizikailag elzáródik a szerves anyag a lebontó szervezetek elől.

Ez magyarázza, hogy a talaj bolygatása miért vezet gyors szénvesztéshez: az eke szétszakítja az aggregátumokat, felszabadítja az addig védett szerves anyagot, amely így gyorsan lebomlik és szén-dioxidként a légkörbe jut.

Gyökérzet és mikrobák: a szerves anyag forrásai

A tartós szerves anyag képződésében döntő szerep jut a növényi gyökérzetnek és a gyökérváladékoknak. Az élő gyökerek folyamatosan szerves vegyületeket bocsátanak ki a talajba, amelyek táplálják a mikrobaközösségeket. Ezek a mikrobák lebontják a szerves anyagokat, majd saját testükben és metabolitjaik révén beépülnek a talaj szervesanyag-készletébe.

A szántóföldi gyakorlatban ez azt jelenti, hogy az állandó élő gyökérzet jelenléte (pl. takarónövények révén) nemcsak a talajt védi az eróziótól, hanem folyamatos szervesanyag-forrást biztosít.

A talaj szerves anyagának mikrobiális eredete

A talaj szerves anyagának, különösen a tartós szervesanyag-frakcióinak jelentős része mikrobiális eredetű. A mikroorganizmusok anyagcseretermékei az elhalt egyedek sejtfalai és bomlástermékei hosszú távon beépülnek a talajmátrixba. Így a tartós szervesanyag nem közvetlenül a növényekből származik,

▶ FOLYTATÁS A 40. OLDALON

Humusz vagy szerves anyag?

A talajvizsgálati eredményeken szereplő „humusz%-os tartalom” valójában az összes szerves anyag készletét mutatja meg az adott mintában. A laborokban jellemzően bikromátos, kénsavas eleggyel oxidálják a talajban lévő szerves szénvegyületeket. Az oldat színét kolorimetriásan mérik, majd az eredményből a szén mennyiségére következtetnek.

A kapott értéket egy szorzófaktorral (1,724) megszorozzák, ami feltételezésen alapul: ez a szám az oxigén, hidrogén és egyéb elemek hozzávetőleges arányát is figyelembe veszi. Az eljárás tehát egy erős oxidatív roncsoláson alapul, amely minden szerves anyagot felold – az élőt és az elhaltat egyaránt.

Ezért amikor a laboratóriumi vizsgálat alapján „humusztartalomról” beszélünk, valójában a talaj teljes szervesanyag-készletének százalékos arányát becsüljük meg. Ide tartoznak a növényi és állati maradványok, a mikroorganizmusok élő és holt biomasszája, a mikrobiális metabolitok, valamint azok a szerves vegyületek is, amelyek részben az ásványi szemcsékhez kötődve vagy az aggregátumok pórusaiban válnak hosszabb távon védetté.

Ennek fényében célszerű lenne a „humusz” és a „szerves anyag” kifejezéseket egymás szinonimájaként kezelni, és a fogalmat kiterjeszteni az élő és elhalt szerves komponensek egészére.

▶ FOLYTATÁS A 39. OLDALRÓL

hanem a mikrobák élettevékenysége révén őrződik meg, kulcsszerepet játszva a talaj szénmegőrző képességében és termékenységében (*Miltner et al.*, 2012; *Dohnalkova et al.*, 2017).

Mit jelent mindez a gyakorlatban?

A tudományos felismerések gyakorlati üzenete egyértelmű:

- Csökkenteni kell a bolygatást. A regeneratív módszerek és a no-till rendszerek alapvetőek.
- Állandó gyökérzetet kell biztosítani. A tenyészidőszak alatt és azon kívül takarónövények, változatos vetésforgó, köztes vetés és évelő komponensek révén.
- A talajéletet táplálni kell. A szármaradványok helyben hagyásával, állandó növényi borítottsággal, diverz növényzet révén változatos fotoszintézis termékek és gyökérváladékok biztosításával, és a kémiai terhelés minimalizálásával.

A Talajmegújító Gazdák Egyesületének gyakorlata is azt mutatja, hogy a bolygatás elhagyása és a természetes folyamatok támogatása révén a talaj szervesanyag-készlete megőrizhető és hosszú távon növelhető. Fontos tudni azonban, hogy a regeneratív gyakorlatoknak köszönhetően a talaj szerkezete, vízmegtartó-képessége és tápanyag-gazdálkodása sokkal hamarabb javulni kezd, minthogy a humusz tartalomban jelentős változást tapasztalnánk.

A laborvizsgálatok során kimutatott humusz% a talaj teljes szervesanyag-tartalmát jelzi, de a talaj aktuális biológiai aktivitásának és gyorsan hozzáférhető szénkészleteinek megértéséhez érdemes a labilis, vagy aktív szenet (POXC) is mérni, ami gyorsabban reagál a talaj egészségének javulására (lásd a keretes írásokat).



A mikroorganizmusok anyagcseretermékei az elhalt egyedek sejtfalai és bomlástermékei hosszú távon beépülnek a talajmátrixba

Humuszban gazdaggá az állandó növényzettel fedett, élő, bolygatatlan talaj válik

A humusz nem varázslatos, kémiailag stabil anyag, hanem a talaj élővilágának és fizikai szerkezetének közös terméke. A tartós szervesanyag létrejöttéhez mikrobiális aktivitásra és fizikai védelemre van szükség.

Ez a felismerés új utat nyit a talajgazdálkodásban: ahelyett, hogy külső inputokkal próbálnánk „humuszt építeni", a talaj életét kell fenntartanunk, bolygatatlan szerkezetét védenünk, és biztosítanunk a gyökérzet folytonosságát. Hiszen az élő növényzet képes szerves anyagot termelni, mellyel táplálja a talaj életét, amelyből végeredményben a tartós humusz jelentős része keletkezik.

Ha követjük a fenti elveket, nemcsak talajaink szervesanyag-tartalmát őrizzük meg, hanem hosszú távon javítjuk élelmiszereink tápértékét és hozzájárulunk a klímaváltozás mérsékléséhez is.

Aktív szén – a talaj „gyorsforgalmú" szerves anyaga

Az aktív szén, más néven permanganát-oxidálható szén (POXC), a talaj könnyen hozzáférhető, mikrobiálisan aktív szénfrakcióját jelenti, amely gyorsan reagál a talajgazdálkodási intézkedésekre. Ezt a fogalmat *Ray R. Weil és munkatársai* vezették be 2003-ban, akik egy egyszerű és érzékeny laboratóriumi és terepi módszert javasoltak az aktív szén kimutatására. A mérés lényege, hogy a talajmintát rövid ideig (kb. 2 perc) enyhe bikromátos vagy permanganátos oxidációval kezelik, majd a permanganát színintenzitásának csökkenését spektrofotométerrel mérik. Ez az eljárás csak a legkönnyebben oxidálható, labilis szénformákat reagáltatja meg – ide tartoznak a friss növényi maradványok, gyökérváladékok és mikrobiális metabolitok, amelyek közvetlen energia- és tápanyagforrást jelentenek a talaj mikrobiális közössége számára.

Az aktív szén tehát a talaj „gyorsforgalmú valutája": mennyisége gyorsan tükrözi a gazdálkodási gyakorlatok hatását, például a forgatást, takarónövények alkalmazását vagy szervesanyag-visszapótlást. Jobban korrelál a mikrobiális aktivitással, a talaj légzésével és az aggregátum-stabilitással, mint a teljes szervesanyag-tartalom, így ideális indikátorként szolgál a talaj egészségének mindennapi nyomon követésére.

Hivatkozások:

Lehmann, J., & Kleber, M. (2015). The contentious nature of soil organic matter. Nature, 528, 60–68.

Dungait, J. A. J., Hopkins, D. W., Gregory, A. S., & Whitmore, A. P. (2012). Soil organic matter turnover is governed by accessibility not recalcitrance. Global Change Biology, 18(6), 1781–1796.

Montgomery, D. R., & Biklé, A. (2016). The Hidden Half of Nature: The Microbial Roots of Life and Health. W. W. Norton & Company.

Weil, R. R., Islam, K. R., Stine, M. A., Gruver, J. B., & Samson-Liebig, S. E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. American Journal of Alternative Agriculture, 18(1), 3–17. https://doi.org/10.1079/AJAA200228

Miltner, A., Bombach, P., Schmidt-Brücken, B., & Kästner, M. (2012). SOM genesis: Microbial biomass as a significant source. Biogeochemistry, 111(1–3), 41–55. https://doi.org/10.1007/s10533-012-9762-4

Dohnalkova, A. C., Tfaily, M. M., Smith, A. P., Chu, R. K., Crump, A. R., Brislawn, C. J., Varga, T., Shi, Z., Thomashow, L. S., Harsh, J. B., & Keller, C. K. (2017). Molecular and Microscopic Insights into the Formation of Soil Organic Matter in a Red Pine Rhizosphere. Soils, 1(1), 4. https://doi.org/10.3390/soils1010004

Weil, R. R., Islam, K. R., Stine, M. A., Gruver, J. B., & Samson-Liebig, S. E. (2003). Estimating active carbon for soil quality assessment: A simplified method for laboratory and field use. Soil Science Society of America Journal, 67(3), 968–979. https://doi.org/10.2136/sssaj2003.9680ResearchGate