

SZÉKFOGLALÓ ELŐADÁSOK A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIÁN

Hetényi Magdolna

HETEROGÉN SZERVES ANYAG
A TALAJBAN
ÉS A RECENS ÜLEDÉKEKBEN



Terintetes Nagy 97

személyi szabályainak 32. és a leg szót:
újra újran választott tag, a külső kivétel
szabályába tartozó dolgozat felolvasásáért,
személyes megnevezés esetén beüldö
legfeleltes egy év alatt széklet foglalt; külsőben meg
száza megnevezésűen."

Lehetetlen esetek, melyekben kivált vidéken la
gátolhatóak a határidőket megtartani: de hallgat
elnézni a szabály meg nem tartatását, amelyet
mint összes szabályzatunkat szőlőseink tekintet
következéseire figyelmeztetünk J. Aladein
szélségtelen.

Indoklásba hozatik tehát, hogy egyelőre az
1861. ¹⁸⁶¹ig választott székletfoglatás által meg nem erős
ított tagok nevei a kivételből kitöröltesse, az 1861-
és 1865-ig választottak a szabályokra emeltesse, jö
vőre pedig a titokzatos hivatal oda utasítsa, hogy
evidenciában tartás végett az újban választottakat,
míg széklet nem foglaltak, a sorozatba fel ne vegye."

853
1865

Jan. 26. 1865.
Zollner Mór
Lugany Béla
Hollán Ernő

Kemény László
Königsberg László
Jóshörményi
r. tag Jolly János utca
Gyöngyösi utca 3

Hetényi Magdolna

HETEROGÉN SZERVES ANYAG A TALAJBAN
ÉS A RECENS ÜLEDÉKEKBEN

(Egy új irányzat a szerves geokémiai kutatásokban)

SZÉKFOGLALÓK
A MAGYAR TUDOMÁNYOS AKADÉMIAÁN

A 2007. május 7-én megválasztott
akadémikusok székfoglalói

Hetényi Magdolna

HETEROGÉN SZERVES ANYAG
A TALAJBAN ÉS A RECENS
ÜLEDÉKEKBEN

(Egy új irányzat a szerves geokémiai
kutatásokban)



Magyar Tudományos Akadémia • 2014

Az előadás elhangzott 2008. március 18-án

Sorozatszerkesztő: Bertók Krisztina

Olvasószerkesztő: Laczkó Krisztina

Borító és tipográfia: Auri Grafika

ISSN 1419-8959

ISBN 978-963-508-736-5

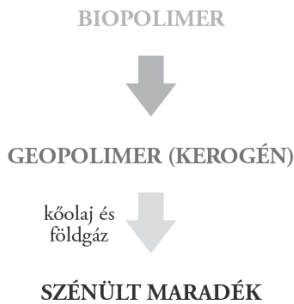
© Hetényi Magdolna

Kiadja a Magyar Tudományos Akadémia
Kiadásért felel: Lovász László, az MTA elnöke
Felelős szerkesztő: Kindert Judit
Nyomdai munkálatok: Kódex Könyvgyártó Kft.

Miért fordít a szerves geokémia a 21. században a korábbiaknál nagyobb figyelmet a talajban és a recens üledékekben felhalmozódott szerves anyagra?

A szerves geokémia feladata a geológiai szerves anyag eredetének, átalakulási folyamatainak egy geoszféra belüli és az egyes geoszférák közötti mozgásának megismerése. Mivel vizsgálatának tárgya a szerves anyag, ezért megkülönböztetett figyelmet fordít a szén (carbonium) körforgására. Vizsgálja a természetes szénvegyületek eredetét, és tanulmányozza azokat a folyamatokat, amelyek egy-egy adott környezetben ezek átalakulását, bomlását vagy megőrződését szabályozzák. A szén az élő és az élettelen világnak egyaránt fontos alkotórésze, körforgásában megjelenik elemi formában, valamint számos szerves és szervetlen vegyület formájában is. A természetben szerves kötésben előforduló szén képződésének alapfolyamata a fotoszintézis. A fotoszintetizáló élőlények szervetlen szénvegyületből (az atmoszférából származó szén-dioxidból) szerves szénvegyületeket állítanak elő, majd ezekből felépülnek a biopolimerek. Az életfunkciók megszűnését követően a biopolimerek a talajban vagy a vízoszlopban és ezt követően az üledékekben jelentős mértékben degradálódnak. Bár a különböző biopolimerek stabilitása a vízi és szárazföldi környezetben is nagyon eltér egymástól – egyes molekulák jól oldódnak, mások alig, néhány vegyület a biokémiai degradációval szemben eléggé ellenálló, más vegyületcsoportok biokémiaiilag labilisak –, összességében a degradáció határfoka nagy, az asszimilálódott szén-dioxidnak kevesebb mint 1%-a őrződik meg szerves geopolimer formájában. Ugyanis, a biopolimerek maradványainak egy részéből a talajban vagy az üledékben zajló diagenézis révén ismét polimer, de most már geológiai

polimer, egy nagy molekulatömegű, bonyolult szerkezetű szerves anyag, keletkezik, amelynek fő alkotóelemei a szén, a hidrogén és az oxigén, lényeges alkotói lehetnek még a kén és a nitrogén is. A biopolimerrel kezdődő evolúció két nagy részfolyamatra osztható: a geopolimer képződése és érése (1. ábra). A geopolimer képződése viszonylag kis mélységben, geológiai értelemben rövid idő alatt megy végbe, a biopolimernek egy része monomerré bomlik, más része csak kisebb mértékű degradációt szenved, majd mindezekből egy új polimer, de már geológiai polimer épül fel. Az érési folyamat az üledékes kőzetekben a betemetődéssel párhuzamosan, geológiai értelemben is hosszú idő alatt történik, végterméke erősen kondenzált maradék szén, amelynek rendezettsége, bizonyos esetekben, megközelíti a grafit szerkezetét. A szénülési folyamat melléktermékeként különböző kisebb molekulák – többek között a földgáz és a kőolajat alkotó vegyületek – képződnek.



1. ábra. A geopolimer képződése és érése

A 20. század második felében, amikor a kőolaj és a földgáz felhasználása a gazdasági élet meghatározójává vált, a szerves geokémiai kutatások, érthető módon, a geopolimer érési folyamatának megismerésére koncentráltak, hiszen ebben a szakaszban képződnek a fosszilis energiahordozók, a kőolaj és a földgáz is. Az üledékes kőzetekben raktározódott szerves anyag elsődleges

tanulmányozását azonban nemcsak a fosszilis energiahordozókkal való szoros kapcsolata, hanem jelentős tömege is indokolta. Bár a megőrződés hatásfoka kicsi, az első fotoszintetizáló élőlények megjelenése óta eltelt hosszú idő alatt mégis jelentős mennyiségű szerves anyag halmozódott fel a geológiai környezetben. Legnagyobb mennyiség (10^{22} g C) az üledékes kőzetekben raktározódott.

Az üledékes kőzetek szerves anyagával ellentétben, a talaj és a fiatal üledékek szerves anyagára a szerves geokémia eddig kevesebb figyelmet fordított. A geokémiai kutatások ebben a témakörben a 90-es évek végén, a századforduló környékén élénkült meg, amikor az egyre sürgősebb megoldást igénylő környezeti problémák a szerves geokémikusok figyelmét is az ember közvetlen környezetére, így a recens tavi, mocsári, tengeri üledékekben és különösen a talajban felhalmozódott szerves anyagra irányították. Ennek a szerves anyagnak a tömege bár kisebb, mint az üledékes kőzetekben raktározódott szerves anyagé, de nem jelentéktelen. Például a talajban lévő szerves vegyületek tömege nagyobb, mint az élő anyagban és az atmoszférában lévő szerves vegyületek együttes tömege (1. táblázat). A mocsári környezetben felhalmozódott szerves anyag tömege ugyancsak számottevő. Például az északi félteke tőzegmocsaraiban az atmoszféra C-tartalmával közel azonos tömegű C található.

1. táblázat. A közvetlen környezetünkben szerves kötésben előforduló C tömege (10^{16} g)

A tengervízben oldva ^(a)	700
A recens tengeri üledékekben ^(a)	1000
Az atmoszférában ^(b)	620
Az élő biomasszában ^(b)	720
A talajban ^(b)	1580

Hedges–Keil 1995 (a)

Gleixner et al. 2001 (b)

Ez a nem jelentéktelen mennyiségű szerves anyag fontos szerepet játszik számos lényeges környezeti folyamatban, például a globális C-ciklusban és így a földi hőmérséklet szabályozásában vagy a talajképződésben, befolyásolja a szennyező anyagok mobilitását. Geokémiai jellemzőinek mélységtrendje alkalmas a múltban történt természetes és antropogén változások felismerésére, a paleokörnyezet rekonstrukciójára. A globális környezeti és klímaváltozások nyomait elsősorban a tengeri üledékek, a lokális és a regionális változások nyomait tavi és a mocsári üledékek őrizték meg.

Felhalmozódás, mobilizálódás, stabilitás

Napjaink egyik legégetőbb környezeti problémája az üvegházhatású gázok által előidézett éghajlati változás. A környezeti hatások minél alaposabb megismerése, előrejelzése érdekében szükséges az üvegházhatású gázok forrásainak és elnyelőinek részletes tanulmányozása. A szárazföldi ökoszisztéma meghatározó szerepet játszik az üvegházhatású gázok kibocsátásában és elnyelésében. Ezért a globális éghajlati változások modellezéséhez a szárazföldi C-ciklus és ezen belül különösen a szén-dioxid-kibocsátás és -elnyelés részleteinek a megismerése elengedhetetlennek látszik. Kiemelt jelentőségűek azok a környezeti hatások, amelyek a szén-dioxidnak a talajban és az üledékekben történő felhalmozódását és újramobilizálódását szabályozzák. Érthető tehát, hogy *napjainkban a szerves geokémia is a korábbiaknál intenzívebben foglalkozik a felszíni, felszín közeli szerves anyag frakcióinak stabilitásával*. Fontos tisztázni például, hogy a bomló növényzet szerves anyaga milyen arányban oxidálódik szén-dioxiddá, és jut vissza az atmoszférába, és milyen hányada halmozódik fel a talajban. Nagyon lényeges kérdés, hogy a szén-dioxid mennyi ideig (néhány hónapig vagy néhány száz/ezer évig) raktározódik a talajban és az üledékekben, mikor kerül ismét az atmoszférába. További fontos kérdés, hogy a meghatározott „tartózkodási idő” egy stabilitás szempontjából homogén anyag jellemzője vagy nagyon különböző stabilitású frakciók eredője. Az agrár- és a geokémiai kutatások egyaránt

több, egymástól nagyon különböző tartózkodási idejű csoport egyidejű jelenlétét igazolták. *A szerves anyag környezeti hatásainak, elsősorban a C-forrásként és -elnyelőként játszott szerepének megismeréséhez tehát szükséges a különböző stabilitású csoportok részarányának és kémiai összetételének tisztázása is.*

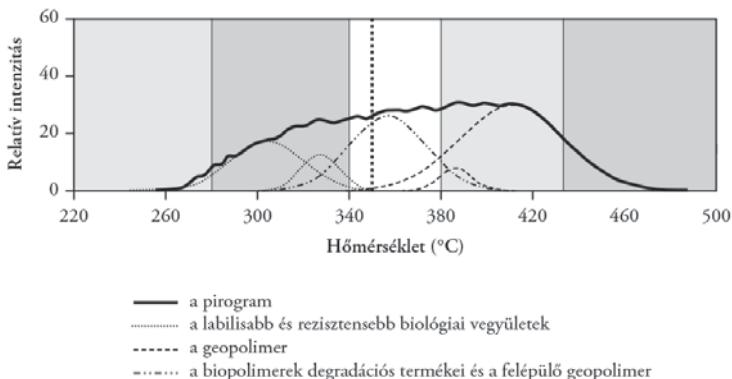
A 20. század utolsó harmadában kidolgozott és jól bevált geokémiai vizsgálati módszereket nem vagy legalábbis változtatás nélkül nem alkalmazhatjuk a talaj és a recens üledékek szerves anyagának tanulmányozására. Az üledékes kőzetek szerves anyaga, bár molekuláris szinten ugyancsak heterogén, makroszinten közel homogénnek tekinthető, már megtörtént a biológiai szerves anyag átalakulása geológiai szerves anyaggá, és néhány biomarkertől eltekintve gyakorlatilag csak a geopolimer jelenlétével kell számolnunk. Ezzel szemben a talaj és a fiatal üledékek rendkívül heterogén szerves anyaga, a bio- és geopolimerek széles spektrumát tartalmazza, a szerves anyag alkotórészei folyamatos átmenetet képeznek a biológiai szerves anyagoktól a huminanyagokig. Például a talajban a növényi anyag, a növények különböző mértékig degradálódott maradványainak egész sorozata mellett jelen vannak a képződő geopolimer különböző polimerizációs fokú változatai, a huminanyagok. A prekursor biomassza is tartalmazhat a növényi anyag mellett más, így bakteriális vagy gombaeredetű törmelék is. Továbbá gyakori és esetenként mennyiségileg is jelentős az allochton kerogén és a különböző égési folyamatokból származó black carbon hozzájárulása a szerves anyaghoz.

Az individuális komponensek azonosítása és mennyiségük meghatározása a heterogén szerves anyagban rendkívül nehéz, és az esetek többségében nem is szükséges, célszerűbb olyan módszereket keresni, amelyek bizonyos jellegzetes csoportok részarányának becslésére alkalmasak. Kétféle megközelítés lehetséges: (i) gyors, sorozatmérésekre is felhasználható eljárással, a keverék elválasztása nélkül, a fő csoportok relatív mennyiségének meghatározása, (ii) a keveréket alkotó jellegzetes csoportok elválasztása egymástól. Az előbbi kevésbé pontos, in-

kább becslésjellegű, de összehasonlíthatatlanul gyorsabb, nagyszámú mérést tesz lehetővé. Az utóbbi pontosabb, módot ad az egyes frakciók kvantitatív elválasztására és ezek részletes geokémiai vizsgálatára is, de rendkívül időigényes eljárás.

A geológiai szerves anyag különböző termikus stabilitású frakciói

Gyors, első tájékozódásra alkalmas módszernek bizonyult az üledékes kőzetek kőolaj- és földgázpotenciáljának becslésére, a kerogén minősítésére ma már világszerte standard eljárásként használt Rock–Eval-pirolízis (Espitalié et al. 1985) módosított változata. A természetben sok százezer, néhány millió év alatt lezajló termikus degradáció közelítőleg elsőrendű kémiai reakció, amely lehetőséget ad arra, hogy a hosszú geológiai időt a hőmérséklet emelésével kompenzálva laboratóriumban szimuláljuk a folyamatot. A Rock–Eval-pirolízis lényegében termikus degradáció, az adatok számítása a pirogram értékelésével történik. A görbe alatti terület, illetve a csúcshőmérséklet a két kulcsadat. Az újabb kutatások szerint a módszer alkalmazható a talajban (Di Giovanni et al. 1998) és a recens üledékekben (Sanei et al. 2005) megjelenő éretlen szerves anyag geokémiai jellemzésére és a talaj szerves szennyeződéseinek (Lafarque et al. 1998) kimutatására is. Az így kapott adatok a szerves anyagot, mint homogén egészet, jellemzik, és nem utalnak annak heterogenitására. A talaj különböző hőstabilitású anyagok keverékéből álló heterogén szerves anyagának, az előkísérletek során megállapított kísérleti feltételek mellett felvett pirogramján azonban jól látható, hogy több különböző részfolyamatot leíró görbe eredője lehet. Ezek matematikai elkülönítésével, a görbe dekonvolúciójával becsülhető a biopolimer transzformációjának mértéke, a humifikáció foka, kijelölhető az a hőmérséklet, amelyen a biopolimerek termikus bomlása befejeződött, és a huminanyag bomlása még nem kezdődött el (2. ábra). Ezen a hőmérsékleten kísérletileg is meghatározható a humifikáció foka (Hetényi et al. 2005, Hetényi–Nyilas 2007). Több mint száz, különböző ökoszisztémából, különböző szé-



2. ábra. Mezőgazdasági talaj (Magyarország) Rock–Eval-pirogramjának matematikai bontása

lességi övekről származó talajon végzett vizsgálat eredményei igazolták, hogy a Rock–Eval-pirolízissel mért és számított adatok alkalmasak a heterogén szerves anyag mennyiségi és minőségi mélységtrendjének, a humifikáció előrehaladásának a nyomon követésére. Előzetes tanulmányok (Sebag et al. 2005) igazolták, hogy négy elemi Gauss-görbével elérhető a pirogram 99%-os lefedettsége. Az elemi Gauss-görbék különböző termikus stabilitású szervesanyag-csoportokat reprezentálnak. A friss növényekből és az avarból származó termikusan labilis és termikusan stabil biomakromolekulák (pl. cellulóz és lignin) mellett, az éretlen geomakromolekulák (a tágabb értelemben vett huminanyag) és az érett geomakromolekulák csoportja különíthető el. Az utolsóként említett csoport főleg fizikai és kémiai folyamatok (diagenezis, ásványi anyagokkal történő kölcsönhatás vagy természetes és antropogén égési folyamatok) által stabilizálódott geopolimereket és kismennyiségű különösen stabil biológiai vegyületet tartalmaz. Mivel számolnunk kell a részben degradálódott biopolimerekkel és a felépülő geopolimer különböző mértékben polimerizálódott változataival, a pirogram matematikai bontásával pontosan nem határozhatjuk meg, de jó közelítéssel becsülhetjük a heterogén szerves anyag négy különböző termikus

stabilitású csoportját. A módszer különösen alkalmas a biopolimer fokozatos degradációjának, a geopolimer képződésének, a mineralizációs és humifikációs folyamatoknak a nyomon követésére.

A kémiai rezisztens, stabil frakció (ROM)

A frakciók kémiai elválasztása általában oldódási sajátságaik alapján történik. Ilyen módon három fő frakció különíthető el.

1. A szerves oldószerben oldódó lipidek, bár mennyiségük jelentéktelen, makro- és molekuláris szinten egyaránt nagyon lényeges információt szolgáltatnak, elsősorban a szerves anyag forrásául szolgáló biomassza összetételéről.
2. A legjobban tanulmányozott (az utolsó 10 évet megelőzően szinte kizárólag ezt a frakciót vizsgálták), a szárazföldi növényekből származó szerves anyag jelentős részét alkotó, lúgos közegben oldódó fulvin- és huminsav.
3. A korábban alig vagy nagyon korlátozottan vizsgált, a laboratóriumi kezeléssel szemben rezisztens ROM (*Refractory, non-hydrolyzable, macromolecular Organic Matter*) környezeti szempontból rendkívül jelentős, nagy stabilitású frakció.

Az ROM-frakció hozzájárulása a talaj szerves anyagához tág határok között változik, néhány %-tól akár 80%-ig is terjedhet, a mérsékelt övi talajok felső szintjében általában eléri, illetve meghaladja a 20%-ot (2. táblázat). Két fontos környezeti folyamatban játszik lényeges szerepet:

- befolyásolja a szennyező anyagok mobilitását és
- viszonylag hosszú élettartama miatt a globális C-ciklusban szén-dioxid-elnyelőként funkcionálhat, hosszú időn keresztül tárolja az atmoszférából származó szén-dioxidot.

2. táblázat. A nagy stabilitású, kémiailag rezisztens ROM-frakció részaránya néhány talajban

Talaj	Mélység (cm)	ROM (%)	Hivatkozás
Mocsári	0–40	30	Hetényi et al. 2006
Fenyőerdei	0–30	34	Quénéa et al. 2005
Homokos mezőgazdasági	0–30	20	

Tömege és a környezeti folyamatokban, mindenekelőtt a globális C-ciklusban, játszott szerepe egyaránt indokolja minél részletesebb geokémiai megismerését. Ellentétben a molekulárisan heterogén, extrahálható (a szerves oldószerben oldódó lipid, valamint a lúgban oldódó fulvin- és huminsav) frakciókkal, amelyek makroskálán viszonylag homogén jellegét az oldószer polaritása és pH-ja szabályozza, az ROM-frakció makroszinten is heterogén. Alkotói csoportosíthatók az „előéletük” alapján, mint termikusan változatlan szerves anyag (a biopolimerek nagy stabilitású maradványai és az éretlen huminanyag) és termikusan átalakult szerves anyag (kerogén és black carbon). A kémiailag stabil ROM-frakció két termikusan stabil anyag csoportja több vonatkozásban különbözik egymástól (3. táblázat).

A fizikai és a kémiai mállással szemben ellenálló kerogén a talaj és a recens üledékek szerves anyagának változó, esetenként jelentős hányadát alkotja. A black carbon (BC) a redukált C-nek a kémiai oxidációval szemben egyik legellenállóbb formája az ROM-nek gyakran mennyiségileg is fő komponense. 280–500 °C-on exoterm reakció révén keletkezik, a tökéletlen égés terméke, a C gyakori megjelenési formája környezetünkben, az atmoszférában, a talajban, a recens és idős üledékekben egyaránt előfordul. Kizárólag szárazföldi eredetű, de a folyóvízi vagy légi szállítással viszonylag jelentős része kerül az óceáni, elsősorban a selfüledékekbe. Irodalmi adatok szerint, ezekben az üledékekben

felhalmozódott szerves szén 3–10%-a BC. Időbeli elterjedtsége is széles skálájú, 350 M éves (késő devon) üledékekben is találtak a vegetáció égésére utaló BC-t.

3. táblázat. A kémiailag stabil ROM-frakció termikusan stabil csoportjainak néhány jellemzője

KEROGÉN
– Az üledékes OM meghatározó része
– Képződése, érése <ul style="list-style-type: none"> • üledékes kőzetekben • természetes folyamat • geológiailag hosszú idő alatt
– Mállással szemben ellenálló
BLACK CARBON
– Az ROM kémiailag legellenállóbb alkotórésze
– Képződése <ul style="list-style-type: none"> • a felszínen • természetes vagy antropogén folyamat • geológiailag nagyon rövid idő alatt • szárazföldön • égéssel
– Előfordul <ul style="list-style-type: none"> • az atmoszférában • a talajban • a recens tavi és tengeri üledékekben • az üledékes kőzetekben
– Keletkezhet <ul style="list-style-type: none"> • a biomassza égésével/égetésével • a fosszilis energiahordozók égetésével
– A globális produkció évente <ul style="list-style-type: none"> • a vegetáció égéséből 40–600 Gt • a fosszilis energiahordozók égéséből 7–24 Gt

Kétféle módon, a biomassza égésével és a fosszilis energiahordozók égésével keletkezik. Képződése az utolsó száz évben drámaian fokozódott, az erdők égé-

se és égetése, valamint a fosszilis energiahordozók égetése miatt. A biomassa égésének szilárd maradéka az ún. „char-BC”, néhány grafitréteg rendezetlenül elhelyezkedő halmazából áll. A rendezettség mértéke az égés körülményeitől (pl. hőmérsékletétől) függ. A részben szenesedett növényi anyagtól – amelyen gyakran felismerhetők a biológiai prekursor morfológiai sajátosságai is – kezdődően egyre szénültebb, a környezeti hatásokkal szemben egyre ellenállóbb BC-típus alakul ki. Az ún. „soot-BC” illékony anyagokból a lángban képződik, a pirolízis során felszabaduló kis molekulák, szabad gyökök rekombinálnak a lángban. A termékek között PAH-multirétegek és erősen grafitosodott C is megtalálható. A multirétegek vagy rendezetlenek, vagy különösen stabil, rendezett, 3 dimenziós, ún. hagymahéjszerkezetet alkotnak.

Az atmoszféra szén-dioxid-tartalma az ipari forradalom kezdete óta nőtt, de kisebb mértékben nőtt, mint a fosszilis energiahordozók és az a biomassa égése során képződött szén-dioxid mennyisége alapján várható lehetne. Az ilyen módon „hiányzó” szén-dioxid egy részét az óceánok nyelték el karbonát és bikarbonát formájában. A másik fontos elnyelő a recens üledékek és a talaj szerves anyagának legstabilabb alkotórésze az ROM és ezen belül is első sorban a BC. Seiler és Crutzen (1980) a múlt század utolsó harmadában közölt adatai szerint, évente átlagosan 10^9 t az atmoszférából származó C stabilizálódik BC formájában.

A fentiek alapján úgy tűnik, hogy az ROM és azon belül a BC kiváló szén-dioxid-elnyelő, és képes az elnyelt szén-dioxidot több ezer évig raktározni. Amint azonban ezt a legújabb kutatási eredmények is alátámasztották, a környezet változásai radikális módon megváltoztathatják a stabilitási viszonyokat. A kémiaiilag stabil ROM és BC például mikrobiológiai hatásokkal szemben jóval kevésbé rezisztens. Minden olyan környezeti hatás, amely növeli a mikrobiológiai aktivitást, nagy mennyiségű stabil C-vegyület degradációját és mobilizálódását segíti elő. Fontaine és munkatársai (2004, 2007) például ősgyeppelel

borított talaj mélyebb zónáiban lévő, rendkívül stabilnak feltételezett C mobilizálódását idézték elő cellulóz adagolásával. Ugyanebben a környezetben más faktorok, például a hőmérséklet változása vagy az oxigéntartalom növekedése, nem vezetett hasonló eredményhez. A legújabb karbonciklus-éghajlati modellek egyértelműen jelzik, hogy különösen a talajban raktározódott, nagyon stabilnak feltételezett szerves anyag meglehetősen „sérülékeny” (Heimann et al. 2008). Az utóbbi néhány évben megszorodott és intenzívebbé vált időjárási szélsőségek, valamint a talajhasználat az a két legfontosabb környezeti hatás, amely képes a talajban és a recens üledékekben raktározódott, stabilnak feltételezett szerves anyag akár jelentős részét mobilizálni.

A talajhasználat hatása a szerves anyag stabilitására

Régóta ismert, hogy az erdőirtást követő mezőgazdasági használat során csökken a talaj összes szervesanyag-tartalma. Már néhány tízéves mezőgazdasági használat után is komoly változás észlelhető. Például a hazai csernozjom talaj A szintjében az erdőirtást követő 33 éves mezőgazdasági művelés alatt 60%-kal (Hetényi et al. 2006), a dél-franciaországi homokos fenyőerdei talaj A szintjében 22 éves mezőgazdasági termelés alatt kb. 1/3-ával (Quénéa et al. 2005) csökkent a szervesszén-tartalom. A különbségnek számos, egymással is kölcsönhatásban lévő oka van; kevesebb a szerves anyag forrásául szolgáló biomassa (a növényi maradvány), a rendszeresen jól átlevégoztetett talajban jelentősebb az oxidáció, nagyobb a mikroorganizmusok aktivitása.

A mezőgazdasági használat nemcsak az összes szerves anyag, hanem ezen belül a stabil, esetleg már több száz éve kialakult ROM degradációját is fokozza, és így növeli az atmoszférába jutó szén-dioxid mennyiségét.

A legújabb kutatások igazolták, hogy az erdőirtást követő 20–30 éves mezőgazdasági használat után is jelen van az erdei származású szerves anyag a talajban, és a mezőgazdasági talaj stabil frakciója (az ROM) 85%-ban az erdei

talajból öröklődött. Az ROM két részből tevődik össze: mikrobiológiai tevékenység hatására jelentősen degradálódott eredeti ROM-ból és az erdei származású szerves anyagon élő mikroorganizmusokból származó biomasszából. A mikroorganizmusok szerepe tehát kettős, intenzív degradációval csökkentik a szerves anyag mennyiségét, ugyanakkor növelik is, mert saját szervezetük szerves anyagával is hozzájárulnak a biomasszához.

A mezőgazdasági használat alatt, az alkotó vegyületek, vegyületcsoportok eltérő biokémiai rezisztenciája következtében, az ROM kémiai összetétele is megváltozik. A változás jellege és mértéke a környezeti feltételektől függ. Quénéa et al. (2005) dél-franciaországi talajokon végzett kísérletei szerint, amint ez várható volt, erősen degradálódtak a poliszacharidok. A korábbi feltételezésekkel ellentétben, csökkent a lignin tömege, de a legstabilabb része megőrződött. Növekedett a különösen rezisztens alifás biopoliszacharid-membránok (pl. a szuberin) részaránya.

A talajművelés hatása nemcsak a felszínközéln, hanem a mélyebb zónákban is megmutatkozik. A mezőgazdasági talaj esetében az A és B szintek között nemcsak a szerves anyag tömege, hanem ezen belül a biopolimer részaránya is csökken. Az erdei talajoknál a mélység trendje nem ilyen egyértelmű. A jelentősen csökkent mennyiségű összes szerves anyagon belül a geopolimer részaránya kevéssel kisebb. Ennek oka, hogy az erdei talaj gyökérszónájában nagyobb a csak lassan oxidálódó lignin részaránya (Hetényi et al. 2005).

Az időjárási szélsőségek hatása a szerves anyag stabilitására

A fényellátottság, a levegőszennyezettség, az ózontartalom, a víztartalom változása természetesen jelentős hatással van a primer biológiai produkcióra, és így a felhalmozódó, ezen belül a stabil formában felhalmozódó, szén potenciális forrását is módosíthatja.

Az utóbbi években, és az előrejelzések szerint a következő évtizedben is, egyre gyakoribb időjárási szélsőségek nemcsak a biológiai produkciót befolyásolják, hanem – a mezőgazdasági használathoz hasonlóan – a korábban (akár több száz vagy több ezer évvel ezelőtt) már stabilizálódott C gyors mobilizálódását is előmozdíthatják.

A felmelegedés következtében fokozódó párolgással kialakuló negatív vízmérleg megváltoztatja a C vertikális eloszlását a talajban. Számos kísérlet igazolta, hogy a vízháztartás változásával a talaj mélyebb zónáiban raktározódott, különösen stabilnak vélt szerves anyag labilissá válhat.

Az örökfagy birodalmában a fagyott állapot megvédte a talaj szerves anyagát a mikrobiológiai degradációtól. A gyors felmelegedés teret nyithat a mikrobiológiai bomlásnak, és hirtelen nagy mennyiségű szén-dioxid szabadulhat fel. A várható hatás mérlegeléséhez tekintetbe kell venni, hogy a becslések szerint legalább 4×10^{11} t C raktározódik ebben a környezetben (Sabine et al. 2004).

A kiszáradás, és különösen az ismétlődő kiszáradás, jelentősen csökkenti a szerves anyag mennyiségét. Például szomszédos, állandóan vízzel borított és időszakosan vízzel borított mocsári talaj felső 40 cm-es rétegeiben a szerves szén mennyiségének aránya 19:1 (4. táblázat, Hetényi et al. 2005).

4. táblázat. A szerves anyag mennyisége és minőségi mutatói szomszédos, különböző vízborítottságú mocsári talajok felső 40 cm-es rétegében

Vízborítottság	TOC (%)	HI mgCH/g TOC	OI mgCO ₂ /g TOC
Állandó	17,1	179	224
Időszakos	0,9	77	466

Tovább árnyalja a képet az a tény, hogy a szélsőséges időjárási változások nemcsak a szerves anyag, és kitüntetetten a stabilnak vélt szerves anyag, mo-

bilizálódását idézik elő, rövid távon belül növelve a légkörbe jutó szén-dioxid mennyiségét, de az atmoszféra szén-dioxid-tartalmának csökkentését kiváltó eseményekhez is vezethetnek. Például a vízhiány, a szélsébség, a levegő-hőmérséklet és a humiditás változásai fokozzák az erdőégek gyakoriságát, és növelik a mértékét, így segítik elő a C gyors kivonását a bioszférából, azaz közvetve a szén-dioxid gyors kivonását az atmoszférából.

Messze nem a teljesség igényével, pusztán néhány példával törekedtem megvilágítani azt, hogy az időjárási szélsőségek és a talajhasználat képes alapvetően átalakítani a szárazföldi C-ciklust. Ezek a hatások mobilizálják a korábban stabil C-et, vagy ellenkezőleg képesek nagy mennyiségű C-et stabil formában kivonni a bioszférából és így közvetve az atmoszférából. A már így is bonyolult helyzetet tovább módosítja az a tény, hogy ezek a szélsőségek és a talajhasználat visszahatnak egymásra.

Hivatkozások

- Behar, F.–Vandenbroucke, M. 1987. Chemical modelling of kerogens. *Organic Geochemistry* 11: 15–24.
- Bordenave, M. L.–Espitalié, J.–Leplat, P.–Oudin, J. L.–Vandenbroucke, M. 1993. Screening techniques for source rock evaluation. In: Bordenave, M. L. (ed.): *Applied Petroleum Geochemistry*. Editions Technip, Paris, 217–278.
- Clymo, R. S. 1996. Assessing the accumulation of carbon in peatlands. In: Laiho, R.–Laine, J.–Vasander, H. (eds.): *Northern peatlands in global climate change*. SILMU, 207–212.
- Derenne, S.–Largeau, C. 2001. A review of some important families of refractory macromolecules: composition, origin and fate in soils and sediments. *Soil Science* 166: 833–847.
- Di Giovanni, C.–Disnar, J. R.–Bichet, V.–Campy, M.–Guillet, B. 1998. Geochemical characterization of soil organic matter and variability of a postglacial detrital organic supply (Chaillexon Lake, France). *Earth Surface Processes and Landforms* 23: 1057–1069.
- Disnar, J. R.–Guillet, B.–Keravis, D.–Di Giovanni, C.–Sebag, D. 2003. Soil organic matter (SOM) characterization by Rock-Eval pyrolysis: scope and limitations. *Organic Geochemistry* 34: 327–343.
- Espitalié, J.–Deroo, G.–Marquis, F. 1985. La pyrolyse Rock-Eval et ses applications. *Revue de l'Institut Français du Pétrole* 40: 563–579.
- Fontaine, S.–Bardoux, G.–Abbadie, L.–Mariotti, A. 2004. Carbon input to soil may decrease soil carbon content. *Ecol. Lett.* 7: 314–320.
- Fontaine, S. et al. 2007. Stability of organic carbon in deep soil layers controlled by fresh carbon supply. *Nature* 450: 277–280.

- Gleixner, G.–Czimczik, C. J.–Kramer, C.–Lühker, B.–Schmidt, M. W. I. 2001. *Plant compounds and their turnover and stabilization as soil organic matter: Global Biogeochemical Cycles in the Climate System*. Academic Press, 201–215.
- Hedges, J. I.–Keil, R. G. 1995. Sedimentary organic matter preservation: an assesment and speculative synthesis. *Marine Chemistry* 49: 81–115.
- Heimann, M.–Reichstein, M. 2008. Terrestrial ecosystem carbon dynamics and climate feedbacks. *Nature* 451: 289–292.
- Hetényi, M.–Nyilas, T.–M. Tóth, T. 2005. Stepwise Rock-Eval pyrolysis as a tool for typing heterogeneous organic matter in soils. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis* 74: 45–54.
- Hetényi, M.–Nyilas T.–Sajgó Cs.–Brukner-Wein, A. 2006. Heterogeneous organic matter from the surface horizon of a temperate-zone marsh. *Organic Geochemistry* 37: 1931–1942.
- Hetényi, M.–Nyilas, T. 2007. Variation of Rock-Eval data as a function of heating rate. *Acta Mineralogica-Petrographica* 47: 47–52.
- Lafarque, E.–Marquis, F.–Pillot, D. 1998. Rock-Eval applications in hydrocarbon exploration, production and soil contamination studies. *Revue de l'Institut Français du Pétrole* 53: 421–437.
- Poirier, N.–Derenne, S.–Balesdent, J.–Mariotti, A.–Massiot, D.–Largeau, C. 2003. Isolation and analysis of the non-hydrolysable fraction of a forest soil and an arable soil (Lacadée, south-west France). *European Journal of Soil Science* 54: 243–255.
- Poirier, N.–Sohi, S. P.–Gaunt, J. L.–Mahieu, N.–Randall, E. W.–Powlson, D. S.–Evershed, R. P. 2005. The chemical composition of measurable soil organic matter pools. *Organic Geochemistry* 36: 1174–1189.
- Quénéa, K.–Derenne, S.–Largeau, C.–Rumpel, C.–Mariotti, A. 2005. Spectroscopic and pyrolytic features and abundance of the macromolecular refractory fraction in a sandy acid forest soil (Landes de Gascogne, France). *Organic Geochemistry* 36: 349–362.S
- Sabine, C. L. et al. 2004. Integrating Humans, Climate and the Natural Worlds. In: Field, C. – Raupach M. (eds.): *The Global Carbon Cycle*. Washington DC, 17–44.
- Sanei, H.–Stasiuk, L. D.–Goodarzi, F. 2005. Petrological changes occurring in organic matter from Recent lacustrine sediments during thermal alteration by Rock-Eval pyrolysis. *Organic Geochemistry* 36 (8): 1190–1203.
- Schmidt, M. W. I.–Noack, A. G. 2000. Black carbon in soils and sediments: Analysis, distribution, implications and current challenges. *Global Biogeochemical Cycles* 14 (3): 777–793.
- Sebag, D.–Disnar, J. R.–Guillet, B.–Di Giovanni, C.–Verrecchia, E. P.–Durand, A. 2005. Monitoring organic matter dynamics in soil profiles by “Rock-Eval pyrolysis”: bulk characterization and quantification of degradation. *European Journal of Soil Science*, doi: 10.1111/j. 1365-1389.
- Seiler, W.–Crutzen, P. J. 1980. Estimates of gross and net fluxes of carbon between the biosphere and atmosphere from biomass burning. *Clim. Change* 2: 207–247.
- Song, J.–Peng, P.–Huang, W. 2002. Black carbon and kerogen in soils and sediments. 1. Quantification and characterization. *Environmental Science and Technology* 36: 3960–3967.
- Zachos, J. C.–Dickens, G. R.–Zeebe, R. 2008. An early Cenozoic perspective on greenhouse warming and carbon-cycle dynamics. *Nature* 451: 279–283.

Erdy János
Bochtovich Ruffózsé

Wenzel Gusztáv

Jábiar Gabon
Nagy János

Terintetes Nagygyűlés! Arany János

Minia felemelő szabályainak 32. §-a egy szót:
Mindem sijnomán választott tag, a külső kövétel
lével, osztályába tartozó dolgotat felolvasásával,
vagy személyes meg nem jelenhetős esetén beüldé
sével, legfeljebb egy év alatt sörét foglat; külsőben meg
választása meg nem működően:

Teketűt esetet, melyekben kivált vidéken la
kor gátolhatuak a határidőt megtartani: de hallga
tag elűzni e szabály meg nem tartatását, amlyet
tesz, mint örves szabályzatunkat erőlkönet terintet
át söröségteleu. figyelucsessi leuia a T. Akademi
Judithányba koratit tehát, hogy egyelőre a
határidőt s sörfoglalás által meg nem
határidőlt kövétellesseu, az 186

...mállo szabályainak 32. és 33. cikkében
 ...járnak választott tag, a hitközség kivétel
 ...lyába tartozó dolgozókat felolvasásában
 ...lyas megnevezéssel illeti; hitközség meg
 ...felelő egyénialatt nével foglat; hitközség meg
 ...megnevezésénél:
 ...lehetőség szerint, melyekben az állt az előző
 ...töltöttnél a hitközség megnevezésére a hitkö
 ...lyas a szabály megnevezésére a hitközség
 ...mint önszóló szabályok esetében a hitközség
 ...nevelésére figyelemmel a hitközség megnevezésére

...választott, hogy egyelőre
 ...választott a szőlőfoglatás által megnevezett
 ...választott a hitközség kivételével, az 1861.
 ...pedig a hitközség kivételével a hitközség kivételével,
 ...szabályokra emelt tekintettel, hogy
 ...tartás végett az újdon választottakat,
 ...nem foglaltat, a sorozatba fel ne legyen

Jan. 26. 1865
 Bullay Márk
 Láng József
 Hollán Ernő

853 / 1865

B. Kencsény Eszter
 Köntény Lissly
 Jolly Frank...
 ...

