

## Talajművelési rendszerek hatása a szervesanyag eloszlásra a talaj különböző szemcseméretű frakcióiban három év tapasztalatai alapján

Huisz Andrea<sup>1</sup> – Steven Sleutel<sup>2</sup> – Tóth Tibor<sup>1</sup> –  
Georges Hofman<sup>2</sup> – Stefaan De Neve<sup>2</sup> –  
Németh Tamás<sup>1</sup>

<sup>1</sup> MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest

<sup>2</sup> Genti Egyetem, Talajvédelem és Talajhasználat Tanszék, Gent  
huisz@rissac.hu

### ÖSSZEFOGLALÁS

Magyarországi szántóföldi kísérlet talajának szántott rétegében tanulmányoztuk a szerves szénkészlet fizikai (szemcsenagyság és lebomlástól való védettség szerinti) megoszlásának változásait különböző művelési rendszerek hatására. A nem egészen 3 évvel a kísérlet beállítása után 2005. márciusában vett talajmintákat szemcseméret és sűrűség szerinti frakciókra osztottuk. A kezelések jól mérhető, jelentős hatással voltak a mikroaggregátumon belül található szervesanyag két (53-230 $\mu\text{m}$ -es szemcseméretű, a lebomlástól kevésbé illetve jobban védett) frakciójára, és ezek relatív arányára a talaj teljes szerves szénkészletében.

A különböző talajművelési eljárások a szervesanyag frakcióiban különböző megoszlást eredményeztek. A rendszeresen intenzíven művelt talajokban a bolygatatlanhoz képest eltérő fizikai szerkezet, szemcseméret-eloszlás alakul ki, amely a talaj termékenységét és külső behatásokkal szembeni ellenálló képességét csökkenti.

**Kulcsszavak:** aggregátum, szervesanyag, szemcseméret, talajművelő eljárások

### SUMMARY

Changes in the physical distribution (particle size and the state stability against decomposition) of the organic carbon pool in tilled layers of Hungarian field soil under different tillage treatments were studied. Three years after starting the experiment, soil samples were fractionated (they were taken in March 2005) by their particle size and density. The treatments caused well measurable, significant effects on two fractions of intra-microaggregate organic matter (53-250 $\mu\text{m}$  particle-sized, well and less decomposition-resistant pools) and onto their relative rate in the organic carbon pool of the whole soil.

Different tillage treatments caused different distributions in the organic matter fractions. In regularly intensely cultivated soils evolve different physical structure, particle size-distribution, which reduce the soil fertility and its resistance against outer impacts.

**Keywords:** aggregate, organic matter, particle size, tillage proceedings

### BEVEZETÉS

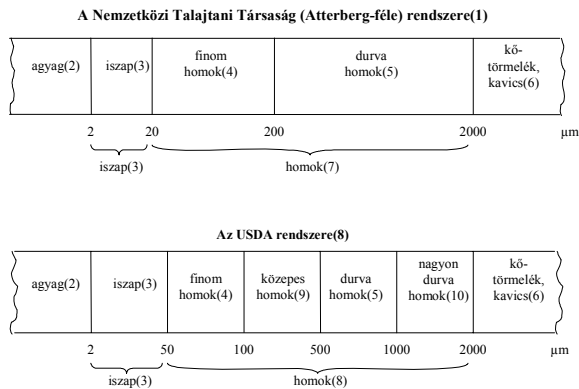
#### A talaj fizikai szerkezete

A talajok alapvető szerkezeti elemei az aggregátumok. Az aggregátumok befolyásolják a talaj szerkezetességét, amely számos egyéb tulajdonságra is hatással van.

Ezek a szerkezeti egységek a talajbéli ásványi és szervesanyag szemcsékből különböző folyamatok és anyagok hatására kapcsolódnak össze. A talajszerkezeti egységek kialakulásának mérsékelt övi talajokra vonatkozó feltételezhető okait és mechanizmusait „Aggregátum nagyságrendi elmélet” címmel Tisdall és Oades (1982) foglalták össze. Fontosságukat a belsejükben levő szervesanyag lebomlástól való védelme indokolja. Méretük alapján 10 $\mu\text{m}$ -nél kisebb és 10-250 $\mu\text{m}$  méretű első- és másodrendű mikro-, 250-1000 $\mu\text{m}$  méretű makro- és 10.000 $\mu\text{m}$ -nél nagyobb megaaggregátumokat különböztetünk meg. A kisméretű mikroaggregátumok képezik a por-, a makroaggregátumok a morzsa-, a megaaggregátumok pedig a talaj rögfrakcióját. A szerkezeti egységek vázát a 2 $\mu\text{m}$ -nél nagyobb szemcsék képezik, az ennél kisebb méretű részecskék (az ásványi és szerves kolloidok) pedig a vázrészek összeragasztásában vesznek részt. A talajszerkezeti elemek fizikailag és biokémiaiilag védik a bennük található szervesanyagot a lebontással szemben; így meghatározzák a talaj termékenységét, hő- és vízgazdálkodó képességét, szennyező anyagokkal szembeni pufferkapacitását és fizikai szerkezetességét. Az aggregátumok belsejében és a közöttük lévő tér alkotja a talaj pórusrendszerét. A talajszerkezeti elemek stabilitása biztosítja a pórustér viszonylagos állandóságát, amely alapfeltétele a talajbéli nedvesség és levegő áramlásának (Stefanovits et al., 1999).

A talaj fizikai és kémiai tulajdonságait a szilárd fázis különböző méretű ásványi szemcséinek mennyisége illetve azok egymáshoz viszonyított részaránya határozza meg. Annak ellenére, hogy az ásványi részecskéket méretük alapján fokozatosan növekvő vagy csökkenő sorrendbe is állíthatjuk, a különböző méretű részecskék fizikai tulajdonságai bizonyos szemcseméret-intervallumokban hasonló. Emiatt gyakorlati szempontból érdemes a hasonló fizikai tulajdonságú, de eltérő szemcseméretű részecskéket együtt vizsgálni. Ezek alapján nevezetes mérettartományokba eső szemcsecsoportokat (frakciókat) különíthetünk el (1. ábra). A 250 $\mu\text{m}$ -nél nagyobb szemcséjű ásványi frakciót durva homoknak, az 53-250 $\mu\text{m}$  szemcsenagyságú frakciót finom homoknak, az 53 $\mu\text{m}$ -nél kisebb szemcséjű frakciót iszap és agyag frakciónak nevezzük.

1. ábra: A szemcsefrakciók mérethatárai

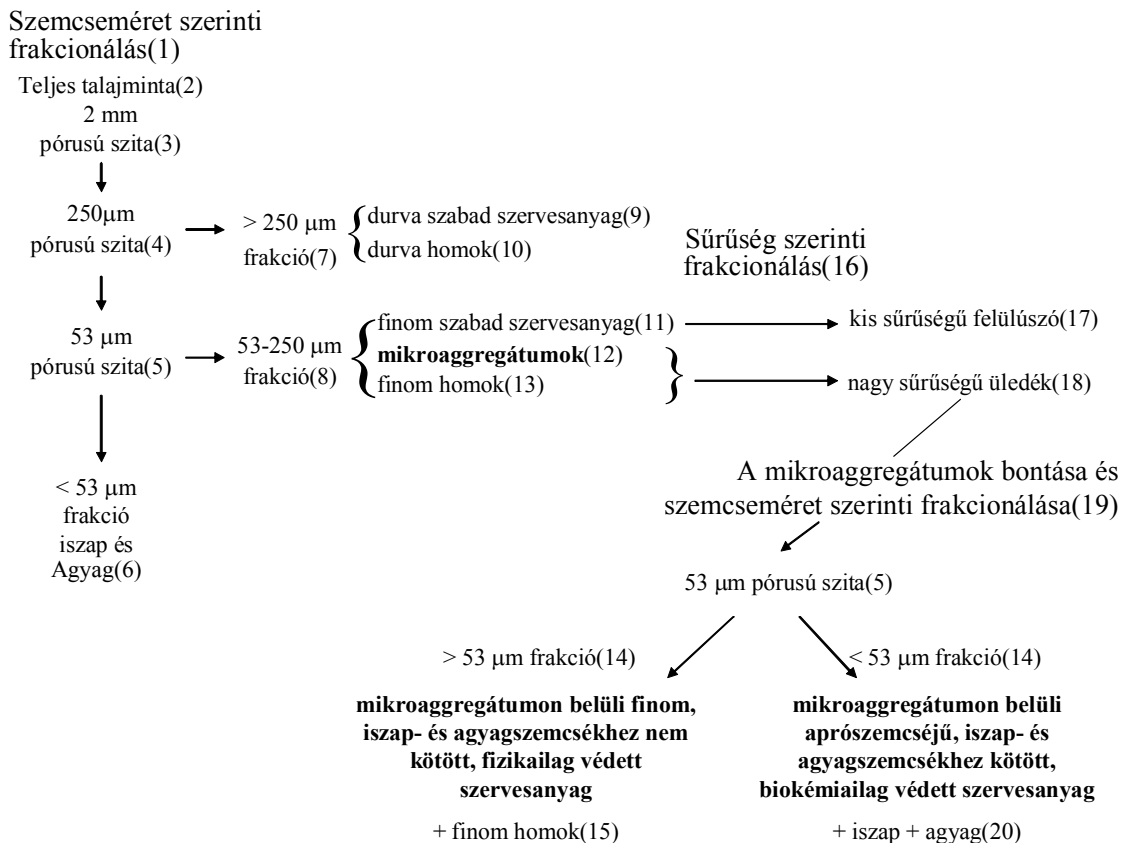


Forrás: Stefanovits et al. (1999)

Figure 1: Size ranges of the particles System of the International Soil Association (according to Atterberg)(1), clay(2), silt(3), fine sand(4), coarse sand(5), rubble, pebble(6), sand(7), system of the USDA(8), middle-sized sand(9), bigger sized coarse sand(10)

Stefanovits et al. (1999) szerint az egyes szemcsefrakciók eltérő funkciót töltenek be a talajban, amit ásványi összetételük és fajlagos felületük befolyásol. A talajbéli szervesanyag részecskék eltérő méretűek, ám szemcseméretük nem mutatja lebomlottságuk fokát. Méretbeli felosztásukat az ásványi részecskékhez hasonlóan végezzük (2. ábra). A 2 mm-nél (2000µm-nél) nagyobb szemcseméretű frakciót nagyon durva szemcséjű, a 250-2000µm-es szemcseméretű frakciót durva, az 53-250µm-es frakciót finom szerves anyagnak nevezzük. Ez utóbbi mérettartományba tartoznak a mikroaggregátumok, amelyekben 53µm-nél nagyobb (53-250µm-es finom szemcséjű), illetve 53µm-nél kisebb (apró szemcséjű) szervesanyagok találhatóak. A szervesanyagok tulajdonságait nemcsak a méretük, hanem az aggregátumokban való elhelyezkedésük, lebomlottságuk mértéke, az ásványi komponensekhez való kötöttségük és a környező talaj lég- és nedvességviszonyai is befolyásolják. Az 53µm-nél nagyobb szervesanyag-maradványok méretük miatt nem képesek az ásványi részecskékkel a szervesanyagot a lebomlástól védő kémiai kötéseket alkotni.

2. ábra: A frakcionálás elvi menete



Forrás: saját adat

Figure 2: Principle of rectifying procedure Particle size fractionation(1), whole soil sample(2), 2 mm sieve(3), 250µm sieve(4), 53µm sieve(5), <53µm fraction (clay and silt)(6), >250µm fraction(7), 53-250µm fraction(8), coarse free POM (particulate organic matter)(9), coarse sand(10), fine free POM(11), microaggregates(12), fine sand(13), >53µm fraction(14), >53µm sized intra-microaggregate physically protected POM + fine sand(15), density fractionation(16), light fraction(17), heavy fraction(18), dispersion of microaggregates and particle size fractionation(19), biochemical protected OM adsorbed to silt and clay particles + silt + clay(20)

Ilyen típusú szervesanyag a mikroaggregátumokban is előfordul: a mikroaggregátumon belüli ásványi részecskékkel kötődni nem képes szervesanyagot mikroaggregátumon belüli finom szervesanyagoknak nevezzük.

Azokat a szervesanyag-formákat, amelyek nem képesek kötődni az ásványi részecskékhez, és a mikroaggregátumokon kívül helyezkednek el, a szakirodalom szabadnak nevezi. A 2 mm-nél (2000 $\mu$ m-nél) nagyobb szemcseméretű frakciót nagyon durva szemcséjű, a 250-2000 $\mu$ m-es szemcseméretű frakciót durva, az 53-250 $\mu$ m-es mikroaggregátumon kívüli frakciót finom szabad szervesanyagoknak nevezzük.

Azok a szervesanyag-formák, amelyek a mikroaggregátumokon kívül helyezkednek el, az aerob dekompozícióval szemben teljesen védtelenek. Ehhez képest a mikroaggregátumokban az 53 $\mu$ m-nél nagyobb (53-250 $\mu$ m-es) finom szemcséjű, ásványi részecskékhez kötődni nem tudó szervesanyag a lebomlástól már fizikailag védett: ezt a mikroaggregátumon kívüli oxigénben, vízben és lebontó mikroorganizmusokban gazdag környezettől való kisebb-nagyobb fokú fizikai elkülönülés okozza. A mikroaggregátumokban az 53 $\mu$ m-nél kisebb apró szemcséjű, különböző mértékben lebomlott részecskék a fizikai védelmen kívül iszap- és agyagrészecskékhez adszorbeálódhatnak (így lesznek kémiai védettek), vagy ez a kötődés el is maradhat; illetve a szervesanyag lebomlásával és a keletkezett anyagok szelektív összekapcsolódása során kialakult bonyolult molekulaszervezetük által biokémiai is védettek a dekompozícióval szemben.

Az ásványi részecskékhez nem kötött szervesanyagot az aerob szervesanyag-bontó mikrobák alakítják át a dekompozícióval szemben védetté: táplálkozásuk során fizikailag kisebb darabokra aprítják azokat, amelyek így kisebb méretük miatt már képesek az ásványi részecskékkel összekapcsolódni; illetve kémiai ragasztó hatású bomlástermékeket szabadítanak fel belőlük, amelyek segítik a komplexképződést. A talajbeli ásványi és szerves elemi részecskékből képződő formációkat szerves-ásványi komplexumnak nevezzük.

#### A művelési eljárások hatása a talaj szerkezeti elemeire

A termesztett növények meghatározott, egyenletes mélységben morzsás talajszerkezetet igényelnek, amelyet műveléskor különböző eljárásokkal igyekszünk megteremteni. A művelési eljárások azonban megszüntetik a bolygatatlan talajra jellemző állapotot, és bár különböző mértékben, de rombolják a talaj eredeti szerkezeti elemeit, és megváltoztatják azok méret szerinti megoszlását. Ezzel ellentétes hatás is bekövetkezik, amikor az eszközök nyomására a széteső aggregátumokból újak képződnek. Mivel a károk sokrétűek (tömörödés, rögösödés, porosodás, stb.), a jelenségeket összefoglalóan talajállapot-hibáknak nevezzük.

A hagyományos művelés során az okszerű tömörítés eljárásai (hengerezés, kombinátorozás,

simítózás, egyengetés), illetve bármely szakszerűtlen beavatkozás olyan szélsőséges nyomóhatást eredményezhet, amely az aggregátumok egymáshoz préselése révén drasztikusan lecsökkenti vagy megszünteti a közöttük lévő, illetve a belsejükben levő pórusteret. Ezt a jelenséget nevezzük talajtömörödésnek. A pórusterek eltűnése lehetetlenné teszi a nedvesség és a levegő áramlását a talajban, illetve gátolja a gyökerek mélyre hatolását is.

A művelhetőségnél szárazabb állapotú talajon végzett eljárások (pl. a szántás, tárcsázás) a szükségesnél nagyobb nyomóhatással dolgozva a tömörödött talajt 10 mm-nél nagyobb, kemény rögökre bontják. A rögképződés azért kedvezőtlen, mert a tömör rögök pórusrendszerük hiánya miatt nem képesek az érkező nedvességet pórusterekbe felvenni, ott tárolni, illetve a mélyebb rétegek felé elvezetni. Nagy mennyiségű nedvesség hatására, teljes átázás után esnek szét szerkezeti alkotóikra. Keménységük miatt talajműveléssel sem lehet a növények számára kedvező morzsákká alakítani őket, nagyobb nyomóerő hatására pedig porrá esnek szét. Ez a jelenség a talaj porosodása. A talajmorzsák szétesését a mikroaggregátumok belsejéből kiszabaduló porrészecskék (iszap és agyag) jelzik; jelenlétük rossz vagy romló szerkezetre utal. Ezeket a kis ásványi szemcséket a talajban áramló nedvesség a felszínről a mélyebb rétegekbe szállítja, amelyek így, iszapot képezve eltömik a talajpórusokat. Ez a jelenség a talaj eliszapolódása. A talaj száradásakor a kapillaris szívóerő a felszínre hozza az eliszapolódott porfrakciót, amely ott kiszáradva nehezen áttörhető lemezszerű bevonatot képez, ezt a jelenséget hívjuk cserepesedésnek.

#### A talajművelési eljárások hatása a talaj szervesanyag tartalmára

A talajművelő eszközök egy része az aggregátumok egymáshoz való közelítésével segíti elő a szerkezetképződést (Stefanovits et al., 1999). Ugyanakkor a talaj nedvességtartalma szerint alkalmatlan beavatkozások a makroaggregátumok szerkezetének rombolásával csökkentik a mikroaggregátumok fizikai védelmét, ezért a bennük adszorbeált szervesanyag könnyebben indul bomlásnak. Six et al. (2002b) összegzése szerint a makroaggregátum struktúra csak nagyon kis mértékben óvja fizikailag a szervesanyagot, ugyanakkor a talajban lévő szervesanyag a fizikailag ellenálló mikroaggregátumokon belül védve van a lebomlástól. A talajaggregátumok említett nagysági rendje és a kötőhatások miatt a mikroaggregátumok stabilitása nagyobb, és kevésbé függ a növénytermesztési rendszertől, mint a makroaggregátumok stabilitása. A mikro- és makroaggregátumok egymásba alakulásának aránya befolyásolja a talaj szervesanyagának előfordulási formáját (Six et al., 2000a, 2004).

Ugyanők kimutatták, hogy a hagyományos műveléshez képest az ugarolás eredményeként csökkent makroaggregátum bomlás a talajbeli szervesanyag stabilizálódásához vezet a fizikailag

ellenállóbb mikroaggregátumokban (Six et al., 2000b). A talajbéli szervesanyagot széles körben kutatva arra a következtetésre jutottak, hogy a mikro- és makroaggregátum kialakulási illetve lebomlási folyamata hozzávetőleg ugyanolyan hosszú időt igényel (Six et al., 1999). Six et al. (1998) korábbi vizsgálataikban a hagyományosan művelt talajok mikroaggregátumaiban kevesebb szervesanyagot állapítottak meg, mint az ugaroltatott talajokban (az ugaroltatás esetén kapott érték 51%-át). Hasonló következtetésre jutottak Bossuyt et al. (2004), amikor kísérletükben a felszíni 5cm-es talajrétegben, a nem művelt talajokban több kötött állapotú szervesanyagot mértek, mint hagyományos művelés esetén.

A különböző művelési ráhatások eltérő mértékben változtatják meg a talaj szervesanyagát befolyásoló fizikai körülményeket. Ezek közül a talajlevegő oxigéntartalma a legfontosabb, mivel ennek növelése („a talaj szellőztetése”) a szervesanyag-bontó mikrobák tevékenységét fokozza, hiánya pedig csökkenti azt. A művelés intenzitása és a talaj humusztartalma közötti összefüggéseket Gyuricza (2000) homokos vályog talajon a direktvetés, a (16-20 cm mély) tárcsázás, a (22-25 cm mélységig ható) szántás, a (35-40 cm mélységig ható) lazítás és (20-22 cm mélységig ható) szántás nyomán vizsgálta. Eredményei azt mutatták, hogy a hosszú időn keresztül kevésbé bolygatott talaj humusztartalma nagyobb; az intenzívebben, mélyebben művelt talajé pedig kevesebb: a direktvetéses kezelésben a humusz 46%-kal, a tárcsázottban 43%-kal, a lazított és tárcsázott talajban 19%-kal volt magasabb, mint a szántottban.

A szántás a művelt réteg megfordítását jelenti: e művelet során a felszíni jól átvegyőzött, oxigénben gazdag talajréteg (a benne élő aerob szervesanyag-bontó mikrobákkal együtt) a barázda aljára, oxigénben szegényebb környezetbe kerül, illetve az altalajban jelenlevő anaerob mikrobák a felszíni oxigéndús környezetbe kerülnek. A szántás előtti felszíni réteg aerob mikrobaközössége a számára kedvezőtlen alsó réteg anaerob körülményei közé fordítva elpusztul, így a szervesanyag bomlása lelassul. Ezzel egyidőben a szántás előtti alsóbb rétegben megtalálható anaerob mikrobák az oxigéndús környezetben elpusztulnak, ellenben a felszaporodó aerob mikrobák intenzív szervesanyag-bontásba kezdenek, csökkentve annak mennyiségét (Szabó, 1992).

A lazítás kíméli a talaj szervesanyagát, nem okoz gyors szervesanyag-bontást, mivel a tömörödött talajréteget forgatás nélkül törí át; így intenzíven nem levegőzteti át a talajt.

A tárcsázásra jellemző műveletek a keverés, a porhanyítás, a sekély lazítás, és a durvább keverés; forgató hatása csekély. A szakszerűen végzett tárcsás porhanyítás során a talaj túlzottan nem levegőzik át, így az aerob mikrobák serkentése is visszafogott marad, emiatt gyors szervesanyag-bontás sem következik be.

„A sekély bolygatás miatt a 20 cm alatti talaj bakteriális tevékenysége nem változik meg” (Szabó, 1992).

A hagyományos vetéssel szemben, amely a vetést megelőzően több munkamenetet igényel – így a talaj szerkezetét jobban károsítja –, a direktvetés megmunkálatlan talajba történik, így a szerkezetromboló hatása is kevesebb. Hosszan tartó direktvetéses rendszer esetén a talaj szerkezete nem romlik tovább, és bizonyos idő eltelte után javulni kezd (Birkás et al., 2002). Rámutattak arra, hogy „a direktvetéses rendszerre való áttérés első éveiben a hagyományos művelési rendszerre jellemző kedvezőtlen jelenségek még tapasztalhatóak: a talaj tömörödik, rögösödik, porosodik. Ezek a jelenségek legkevesebb 2-4 év alatt mérséklődnek. A nem művelt talajhoz hasonló fizikai, biológiai, kémiai egyensúlyi állapot bekövetkezése a 8-10. évtől várható. Kötött, nagy agyagtartalmú talajokon ezek a kedvező folyamatok lassabban mennek végbe, vagy teljesen elmaradnak”.

Jelen tanulmányban a Six et al. (2002b) által javasolthoz hasonló módszerrel, szemcseméret és sűrűség szerint választottunk szét négy különböző talajművelési rendszer alkalmazása után vett szántóföldi talajmintát. Ezeknek a talajmintáknak a különböző szemcseméretű szervesanyag-frakcióinak megoszlása alapján vizsgáltuk a különböző művelési rendszerek hatását a talaj szerkezeti egységeire, és azok eltérő mértékben stabilizálódott szervesanyagára.

## ANYAG ÉS MÓDSZER

### A mintavételi hely leírása és a talaj jellemzése

A talajmintákat 2005. március 30-31-én a Hatvanhoz közeli József-majorban (a Szent István Egyetem Gödöllői Agrártudományi Központ Kht. gazdaságában), beállított „Talajművelési tartamkísérlet” parcelláiból vettük. A kísérleti terület az Alföldi hordalékkúp-síkság és a Cserhátalja határán helyezkedik el, Hatvan és Aszód térségében. A kísérletet 2002. júniusában állították be. A kísérleti terület sík, az észak-nyugati szeleknek kitett. Talaja mészlepedékes csernozjom, fizikai félesége vályog. Tömörödsre közepesen érzékeny, kémhatása kissé savanyú. A talajszelvény analitikai eredményei szerint a felszíni 20 cm-es réteg 23% homok-, 42% vályog-, 35% agyagfrakciót tartalmaz. A felszíni 40 cm-es réteg átlagos humusztartalma 2,84% (ennek megoszlása: a 0-20 cm-es réteg 3,17% humuszt, a 20-40 cm-es réteg 2,5% humuszt tartalmaz). A felszíni 20 cm-es réteg összes nitrogén tartalma 0,13-0,15%, AL-P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>: 240-320 mg/kg, AL-K<sub>2</sub>O: 80-140 mg/kg. A KCl-os pH-értéke 5,22. Arany-féle kötöttségi száma 42. A területen a csapadék sokévi átlaga 580 mm, a vegetációs idő alatt 323 mm. A kísérlet tartama alatt 2002. átlagos, 2003. száraz, 2004. csapadékos évnek számított. A területen a kísérlet beállítása előtt 2 évig őszi búzát (*Triticum aestivum*) termesztettek, ezt követően kondíciójavító növényként fehér mustárt (*Sinapis alba*).

A kísérlet tartama alatt a területen a következő növényi sorrendben termesztették a növényeket: 2001: őszi búza – *mustár* – őszi búza – kukorica; 2002: őszi búza – *mustár* – őszi búza – *rozs* – *borsó* – őszi búza; 2003: őszi búza – *mustár* – őszi búza – vetetlen – *borsó* – őszi búza (a köztesnövények dőlt betűvel). Az alkalmazott műtrágyák éves N, P mennyisége hektáronként: őszi búza esetében 180 kg N + 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 120 kg K<sub>2</sub>O; kukorica esetében 200 kg N + 150 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> + 100 kg K<sub>2</sub>O. A talaj a kísérlet tartama alatt szerves trágyázásban nem részesült. A kísérleti terület nem volt talajcsővezve.

Az alkalmazott kezelések: direktvetés, tárcsázás, tárcsázás és lazítás, szántás voltak. A szántást Kverneland 4 fejes váltvaforgató ekével és Packomat C szántáselmunkálóval végezték (ennek a műveletnek a munkamélysége 26 cm volt). A tárcsázás Case-IH nehéztárcsával történt, 14-16 cm művelési mélységben. A középmeilylazítót 40-45 cm mélységig járátták. A direktvetéshez tárcsás csorosozlyás IH 6200-as vetőgépet használtak, amely alkalmas direktvetésre (ebben az esetben a vetőágyat a vetés előtt a többi parcellával együtt 7-8 cm mélyen dolgozó síklapú tárcsával készítették).

A kezeléseket véletlen blokk elrendezésben, négyszeres ismétlésben állítottuk be. A parcellák mérete 13×150 m. Minden kísérleti parcellából 12 pontmintát vettünk a 0-10 cm-es és a 10-20 cm-es talajrétegből, amelyeket mélységi kategóriánként homogenizáltunk. A mintavételi mélységeket a gyökérszóna tápanyag-szolgáltatási szempontjából két legfontosabb tartományához igazítottuk.

#### A szemcsenagyság szerinti frakcionálás leírása

A nedves, szemcsenagyság szerinti szitálás Six et al. (2002a) módszere alapján történt. Ez a típusú szitálás lehetővé teszi a makroaggregátumok teljes lebontását 53-250µm nagyságú mikroaggregátumokra, miközben a legkevésbé roncsolja azokat. A különböző talajművelési eljárások minden részmintáját háromszoros ismétlésben szemcsenagyság szerint frakcionáltuk az alábbiak szerint. A mintákat nedves szitálás során három szemcseméret-frakcióra (250µm-nél nagyobb, 53-250µm, 53µm-nél kisebb frakció) osztottuk. Mindegyik frakciót szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk, majd lehűlés után mérlegesen lemértük. Minden frakciót üvegflióban tároltunk (2. ábra).

A részmintákból kimértünk 10 g-ot filterpapírral, illetve 20µm pórusméretű nylon filterrel bélelt Petri-csészébe tettünk. Azért, hogy elkerüljük a mikroaggregátumok roncsolódását a nedves szitálás során, minden légszáraz talajmintát újra nedvesítettünk Gale et al. (2000) módszerével: Petri-csészénként annyi vizet adtunk a talajmintához, hogy annak állaga puha-pépes legyen (mintától

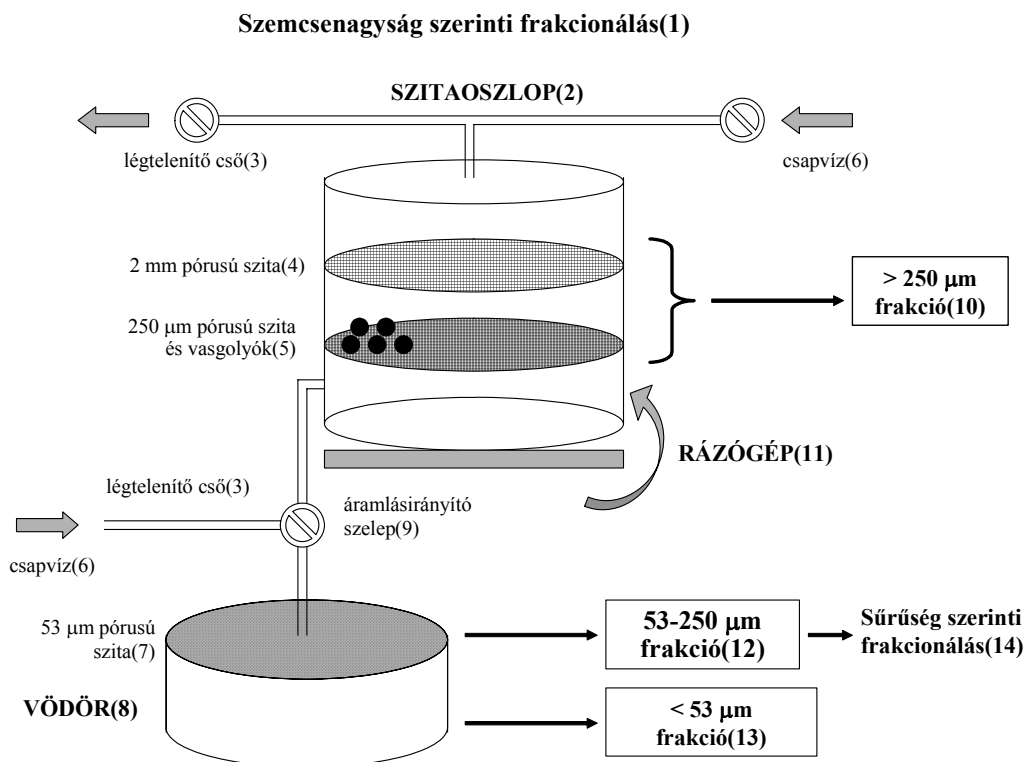
függően 7-9 ml-t). A vizet lassan, óvatosan adagoltuk a filterpapírra, vigyázva arra, hogy a víz közvetlenül ne érjen a talajmintához. A Petri-csészét lezártuk, majd a mintákat egy éjszakán át hűtőszekrényben állni hagytuk, hogy nedvességtartalmuk állandósuljon.

A szitaoszlop (3. ábra) egy vízbevezető és egy légtelenítő csővel ellátott fedélből, két darab egymásba illesztett – egy 2 mm-es és egy 250µm-es pórusméretű – talajvizsgáló szitából, és egy kivezető nyílással ellátott aljból állt.

A teljes szitaoszlop egy rázógépre volt rögzítve. A 250µm-es pórusméretű talajvizsgáló szitára 100 db 4 mm átmérőjű vasgolyót tettünk. A vasgolyók feladata volt a szitálás során a makroaggregátumok bontása mikroaggregátumokká. Ez a folyamat azért nem roncsolta a mikroaggregátumokat, mert a talajmintát előzőleg puha-pépes állagúra nedvesítettük, és mert a szitálás teljes folyamata alatt a szitaoszlopban víz áramlott. A talajmintát a 2 mm pórusméretű talajvizsgáló szitára helyeztük, a szitaoszlopot lezártuk a fedéllel, majd feltöltöttük vízzel. Kinyitottuk azt a vízcsapot, amely egy csövön keresztül a szitaoszlop tetejébe vezette a vizet. Ekkor bekapcsoltuk a közepes fordulatszámúra állított rázógépet. A folyamatosan áramló vízszugár a 2 mm-nél nagyobb részecskéket a 2 mm pórusméretű szita felületére, a 250µm-nél nagyobb részecskéket a 250µm pórusméretű szita felületére gyűjtötte, a 250µm-nél kisebb méretű részecskéket pedig a szállítófolyadékkal együtt a szitaoszlop kivezető nyílásán keresztül egy vödör felé továbbította. A vödör szélére egy 53µm pórusméretű szitát helyeztünk, így az áramló szállítófolyadék az 53µm-nél nagyobb részecskéket az 53µm pórusméretű szita felületére gyűjtötte, az 53µm-nél kisebb méretű részecskéket pedig a szállítófolyadékkal együtt a vödörbe vezette. Amikor a vödör felé áramló folyadék már nem tartalmazott talajrészecskéket, a szitaoszlop tetejébe vezető csapot elzártuk, kikapcsoltuk a rázógépet és a szitaoszlopot szétszedtük.

A 2 mm és 250µm pórusnagyságú szita felületén maradt 250µm-es szemcseméretnél nagyobb durva szabad szervesanyag és durva homok keverékét összegyűjtöttük, ismert tömegű mérőedénybe téve szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk, majd lehűlés után mérlegesen lemértük. Ugyanígy jártunk el az 53µm pórusnagyságú szita felületén maradt 53-250µm szemcseméretű finom szabad szervesanyag, mikroaggregátumok és finom homok keverékével. A vödörben levő víz, iszap és agyag elegyét addig hagytuk ülepedni, amíg a folyadékfázis víztiszta nem lett. Ekkor a vizet kiszivtuk, és a visszamaradt anyaggal a fentiek szerint jártunk el. Minden frakciót üvegflióban tároltunk (Sleutel et al., 2005).

3. ábra: A szitaoszlop felépítése



Forrás: saját adat

Figure 3: The sieving column

Particle size fractionation(1), sieving column(2), windpipe(3), 2 mm sieve(4), 250µm sieve and iron bowls(5), tap water(6), 53µm sieve(7), bucket(8), regulation siphon(9), >250µm fraction(10), Shaking machine(11), 53-250µm fraction(12), <53µm fraction(13), density fractionation(14)

### A sűrűség szerinti frakcionálás leírása

Six et al. (1998) módszerével 1,88 g/cm<sup>3</sup> poli-wolfram-nátrium oldattal (Sodium Polytungstate – SPT oldat, Na<sub>6</sub>(H<sub>2</sub>W<sub>12</sub>O<sub>40</sub>)H<sub>2</sub>O) sűrűségük alapján elválasztottuk az 53-250µm szemcseméretű frakcióban levő finom szabad szervesanyagot a mikroaggregátumok és a finom homok keverékétől. Ez utóbbi frakciót kémiaiilag bontottuk, majd szemcseméretük szerint különválasztottuk az 53µm-nél nagyobb frakciót (a mikroaggregátumokon belüli finom szemcséjű, fizikailag védett szervesanyag és finom homok keverékét) és az 53µm-nél kisebb frakciót (a mikroaggregátumon belüli iszap- és agyagszemcsékhez adszorbeált, biokémiaiilag védett szervesanyag, iszap és agyag keverékét). Minden frakciót ismert tömegű 400 ml-es mérőedénybe tettünk, szárítószekrényben 105 °C-on tömegállandóságig szárítottuk, majd lehűlés után mérlegesen lemértük. Minden frakciót üvegfolyában tároltuk.

Az 53-250µm-es szemcse nagyságú szárított frakcióból kimértünk 4 g-ot, és előnedvesítettük a fentiek szerint. A mintákat 80 ml-es nalgene anyagú Eppendorf centrifugacsőbe mostuk 50 ml SPT oldat segítségével (az SPT oldatot 1,88 g/cm<sup>3</sup>-es sűrűséggel használtuk, hogy az aggregátumokon belüli nedvesség az oldatsűrűséget 1,85 g/cm<sup>3</sup>-re hígítsa, ahogy azt Gale (2000) javasolta). A mintákat

3200 G-s fordulaton 20 °C-on egy órán keresztül centrifugáltuk. A felülúszó részt, vagyis a finom szabad szervesanyagot tartalmazó folyadékot kiszívtuk, és egy ismert tömegű 20µm-es pórusnagyságú nylon filteren keresztül leszűrtük. Ehhez egy kivezető csővel ellátott Erlenmeyer lombikot használtunk, aminek szájához gumigyűrűvel erősítettünk egy Büchner-féle porcelán tölséret, és ebbe helyeztük a nylon filtert. A folyadék gyorsabb szítalását pumpa használatával biztosítottuk. A filteren maradt szervesanyagot többször átöblítettük, hogy a maradék SPT oldatot eltávolítsuk, majd a filtereket 50 °C-on megszáritottuk. Az üledéket desztillált vízzel többször átöblítettük, hogy a maradék SPT oldatot eltávolítsuk: a centrifugacső tartalmát 50 ml-ig feltöltöttük desztillált vízzel, 20 °C-on 10 percig 3200 G-s fordulaton centrifugáltuk, a kapott mosófolyadékot leszívtuk. Ezt a lépést 3-szor megismételtük. Ezután a centrifugacsőbe csövenként 3 csepp 0,25M-os CaCl<sub>2</sub> és 0,25M-os MgCl<sub>2</sub> oldatot cseppentettünk, és 15 db 4 mm átmérőjű üveggolyót tettünk. Ezután a centrifugacsőveket 16 órán keresztül rázógéppel ráztattuk. A mintákat rázatás után 53µm-es pórusnagyságú szítán leszűrtük, majd vízzel átöblítettük. A szítán maradt anyagot (a finom szemcséjű homokot és mikroaggregátumon belüli finom szemcséjű, fizikailag védett szervesanyagot)

egy előre lemért tömegű mérőedénybe mostuk, 105 °C-on szárítottuk, majd lemértük. A szítán átjutott anyagot (az apró szemcséjű biokémiaileg védett szervesanyagot) 1000 ml-es mérőedénybe töltöttük, térfogatát 1000 ml-re egészítettük ki, és hozzáadtunk 10 ml 0,25 M-os CaCl<sub>2</sub> és 0,25 M-os MgCl<sub>2</sub> oldat elegyét, majd egy éjszakán keresztül hagytuk ülepedni (a hozzáadott CaCl<sub>2</sub> és MgCl<sub>2</sub> gyorsítja az ülepedés folyamatát). Másnap a mosófolyadékot leszívtuk, és az üledéket egy előre lemért tömegű

mérőedénybe mostuk, 105 °C-on szárítottuk, majd lemértük (Sleutel et al., 2005).

## EREDMÉNYEK

### A szervesanyag megoszlása a talajfrakciókban

A talaj méretbeli és minőségi frakcióinak mennyiségi arányát a különböző talajművelési kezelésekből (100 g talajmintára vonatkoztatva) az 1. táblázat mutatja.

1. táblázat

A szemcsenagyság és sűrűség szerinti elválasztás eredményeként kapott frakciók szárazanyagának mennyisége (g 100 g<sup>-1</sup> talaj mennyiségre vonatkoztatva olvasható a mérési adatok átlaga és szórása)

KEZELÉS(1)	Durva homok és durva szabad szervesanyag (>250µm)(3)	Mikroaggregátumok, finom szabad szervesanyag és finom homok (53-250 µm)(2)			Iszap és agyag (< 53 µm)(9)
		Kis sűrűségű frakció(4)	Nagy sűrűségű frakció(5)		
			53-250 µm Finom szabad szervesanyag(6)	> 53 µm Mikroaggregátumokon belüli finom szemcséjű, fizikailag védett szervesanyag + finom homok(7)	
<b>0-10 cm(10)</b>					
DIREKTIVETÉS(11)	2,2 ± 0,5	0,5 ± 0,2	7,9 ± 1,1	44,2 ± 4,1	44,5 ± 4,6
TÁRCSÁZÁS(12)	2,3 ± 0,5	0,6 ± 0,3	8,4 ± 1,2	42,5 ± 7,6	47,2 ± 5,4
TÁRCSÁZÁS ÉS LAZÍTÁS(13)	1,8 ± 0,4	0,5 ± 0,1	7,6 ± 0,7	41,5 ± 7,2	48,3 ± 6,0
SZÁNTÁS(14)	1,5 ± 0,4	0,4 ± 0,3	7,4 ± 1,1	51,5 ± 5,5	40,2 ± 4,7
<b>10-20 cm(10)</b>					
DIREKTIVETÉS(11)	1,2 ± 0,5	0,3 ± 0,1	7,5 ± 1,0	44,5 ± 4,5	46,4 ± 4,8
TÁRCSÁZÁS(12)	1,5 ± 0,3	0,5 ± 0,1	6,7 ± 0,9	39,5 ± 14,6	51,5 ± 13,2
TÁRCSÁZÁS ÉS LAZÍTÁS(13)	1,7 ± 0,7	0,3 ± 0,1	7,5 ± 1,0	45,5 ± 6,5	44,8 ± 5,8
SZÁNTÁS(14)	1,4 ± 0,4	0,4 ± 0,2	7,0 ± 0,9	39,9 ± 8,1	50,2 ± 6,7

Forrás: saját mérési adatok

Table 1: Amount of soil dry matter in the size and density fractions (g 100 g<sup>-1</sup> soil) obtained by the physical fractionation (average ± standard deviation)

Tillage treatment(1), microaggregates, fine free POM and fine sand (53-250µm)(2), coarse sand and coarse free POM (particulate organic matter) (>250µm)(3), light fraction(4), heavy fraction(5), fine free POM(6), physically protected organic matter in the microaggregates + fine sand(7), biochemical protected organic matter in the microaggregates + silt + clay(8), silt and clay(9), depth layer(10), direct drilling(11), disking(12), disking and loosening(13), ploughing(14)

### A talajfelszíni (0-10 cm-es talajréteg) minták eredményei

A minták ásványi és szerves összetevőinek szemcseméret és lebomlástól való védettség mértéke szerinti eloszlása a direktvetéshez képest mind a három kezelés hatására eltérő eredményt adott.

A direktvetés esetében a legtöbb az iszap és agyag (44,5%), a legkevesebb pedig a finom szabad szervesanyag (0,5%) volt.

A tárcsázás eredményezte a kezeléseik között a legtöbb durva homokot és durva szabad szervesanyagot (2,3%), a legtöbb finom szabad szervesanyagot (0,6%) és a legtöbb mikroaggregátumon belüli finom szemcséjű, ásványi részecskékhez nem kötött, fizikailag védett szervesanyagot (8,4%).

A tárcsázás és lazítás kombinált alkalmazása eredményezte a kezeléseik között a legtöbb iszapot és agyagot (48,3%), és a legkevesebb

mikroaggregátumon belüli aprószemcséjű, ásványi részecskékhez adszorbeált, (bio)kémiaileg védett szervesanyagot (41,5%).

A szántás eredményezte a kezeléseik között a legtöbb mikroaggregátumon belüli aprószemcséjű, ásványi részecskékhez adszorbeált, (bio)kémiaileg védett szervesanyagot (51,5%); ezzel párhuzamosan pedig az összes többi frakció a másik három kezeléshez képest csökkent.

### Az altalaj-minták (10-20 cm) eredményei

A talaj mélyebb rétegeiből vett minták szervesanyagának szemcseméret szerinti eloszlása a művelő eszközök eltérő munkamélysége, az atmoszférikus hatások, a biológiai aktivitás mélységfüggése miatt a felszíni talajréteghez képest eltérően alakult.

A direktvetés eredményezte a kezeléseik között a legkevesebb durva homokot és durva szabad

szervesanyagot (1,2%), és finom szabad szervesanyagot. A direktvetésben mértük a kezelések között a legtöbb mikroaggregátumon belüli, finom szemcséjű, ásványi részekhez nem kötött, fizikailag védett szervesanyagot (7,5%). A felszíni réteghez hasonlóan ebben az esetben is az iszap és az agyag volt a legtöbb (46,4%) a kezelésen belül.

A tárcsázás eredményezte a kezelések között a legtöbb finom szabad szervesanyagot (0,5%) és iszapot és agyagot (51,5%). Ezzel összefüggésben itt kaptuk a kezeléseken belül a legkevesebb mikroaggregátumon belüli finom és apró szemcséjű szervesanyagot (sorban 6,7%-ot és 39,5%-ot).

A tárcsázás és a lazítás kombinációja adta a kezelések közötti legtöbb durva homokot és durva szabad szervesanyagot (1,7%), mikroaggregátumon belüli, finom szemcséjű, ásványi részekhez nem kötött, fizikailag védett szervesanyagot (7,5%) és mikroaggregátumon belüli apró szemcséjű, ásványi részecskékhez kötött, (bio)kémiailag védett szervesanyagot (45,5%). E három frakció túlsúlya miatt a finom szabad szervesanyag frakció nemcsak a kezelésen belül, hanem egyben a kezelések között is a legkisebb eredményt mutatta (0,3%); a direktvetéssel azonos értéket. A kezelések között a legkevesebb iszapot és agyagot (44,8%) itt kaptunk.

A szántás kezelésen belül a legkevesebb a finom szabad szervesanyag (0,4%), a legtöbb az iszap és agyag volt (50,2%); míg a másik három frakció nem volt kiugró mennyiségű.

#### **AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE**

A talajművelési eljárások a talaj szervesanyag tartalmában lényeges változásokat csak bizonyos idő elteltével okoznak, vizsgálatuk hosszabb idő elteltével ésszerű (Gerzabeck et al., 2001).

A feltalajban a legtöbb durva homokot és durva, szabad szervesanyagot a tárcsázás után (2,3%) kaptuk, mert a tarlómaradványok a sekély művelési mélység miatt a felszíni rétegekben maradnak. Legkevesebb durva homokot és durva szabad szervesanyagot pedig a szántás alkalmazásakor (1,5%), mert a szántás a talajfelszínre került tarlómaradványokat a művelt réteg aljára fordítja, és a nyers, nagy szemcséjű szervesanyagban szegény, főleg erőteljesen lebomlott szervesanyagot tartalmazó altalaj kerül a felszínre. Ugyanez a frakció a talaj mélyebb rétegében a tárcsázás és lazítás együttes alkalmazásakor volt a legtöbb (1,7%), mert a lazítás 40 cm-es munkamélysége miatt a tarlómaradványok egy része ebbe a mélységbe is lekerül. Legkevesebb durva szabad szervesanyagot a talaj mélyebb rétegében a direktvetés esetében mértünk (1,2%). Ennek oka vélhetően az, hogy a tarlómaradványok a felszín bolygatásának hiányában nem kerülnek a mélyebb rétegbe.

A legtöbb finom szabad szervesanyag a feltalajban a tárcsázás esetében volt mérhető (0,6%). Ennek oka, hogy a műveléskor aprózódott tarlómaradványok a tárcsázás sekély mélysége miatt a felszíni rétegekben maradnak. Ez a frakció ebben a mélységben a szántás esetében volt a legkevesebb

(0,4%), mert a talaj évenkénti forgatása és szellőztetése révén beálló aerob talajállapot a szabad, bomlástól nem védett szervesanyag gyors lebomlását okozza. Ugyanez a frakció az altalajban a tárcsázás esetében volt legtöbb, mivel a tárcsázás a talajt túlzottan nem levegőzteti át, így a szabad szervesanyagok bomlása is lassúbb. Ugyanez a frakció a direktvetés, a tárcsázás és lazítás együttes alkalmazásakor volt a legkevesebb. Első esetben azért, mert a tarlómaradványok a felszín bolygatása nélkül nem kerültek ebbe a mélységbe; a második esetben pedig azért, mert a tárcsázás és a lazítás a talajt túlzottan nem levegőztetik át, így a szervesanyagok bomlása is lassú.

A mikroaggregátumon belüli finom szemcséjű, ásványi részecskékhez nem kötődött, fizikailag védett szervesanyag a feltalajban legnagyobb mennyiségben a tárcsázás esetében volt mérhető (0,6%), mert a sekély lazítás a talajt túlzottan nem levegőzteti át, így a bomlástól nem védett szabad szervesanyagok nincsenek kitéve intenzív bomlási folyamatoknak. Ebben a mélységben a legkevesebb finom szabad szervesanyagot a szántás után mérhetünk (0,4%), mivel ez az eljárás intenzív aerob körülményeket teremt, így a bomlástól csak kismértékben védett szabad szervesanyagokat intenzív bontó folyamatok támadják. Az altalajban a legtöbb ilyen típusú szervesanyag a tárcsázás nyomán volt mérhető (0,5%). A legkevesebb ilyen típusú szervesanyagot a direktvetés, a tárcsázás és lazítás kezelések talajában mértünk (mindkét esetben 0,3%).

A mikroaggregátumon belüli apró szemcséjű, ásványi részekhez kötött, biokémiailag védett szervesanyag a legnagyobb mennyiségben a szántott feltalajban volt mérhető (51,5%), valószínűleg azért, mert forgatáskor olyan mélyebb talajréteg került a felszínre, amelyben a szervesanyag az előrehaladt dekompozíció során ásványi-szerves komplexet képezett. Ez a frakció a tárcsázás és a lazítás együttes alkalmazásakor volt a legkevesebb (41,5%). Ugyanakkor az altalajban a legtöbb szervesanyagot a tárcsázás és lazítás esetén mértünk (45,5%), legkevesebbet pedig a tárcsás kezelésben.

Az iszap és agyag frakció a tárcsázás és lazítás esetén volt a legtöbb, feltehetően azért, mert a két eljárás kombinálása a felszíni talajrétegben a mikroaggregátumokat keveri és levegőzteti, így bontja, és az azokból felszabaduló porszemcsék hozzáadódtak a talaj korábbi művelések hatására kialakult porfrakciójához. A legkevesebb por a szántott feltalajban volt mérhető (40,2%), mivel a korábbi erősen elporosodott felszíni talajréteget a szántással aláforgatták, és a felszínre került porszemcsék pedig az alsóbb rétegbe vándoroltak (az altalaj 50,2% porfrakciót tartalmazott). Ez a frakció az alsóbb talajrétegben legnagyobb mennyiségben a tárcsázás után volt mérhető (51,5%), legkisebb mennyiségben pedig a tárcsázás és lazítás együttes alkalmazásakor (44,8%). Az utóbbi esetben mikroaggregátum-roncsoló forgatás nem történt, illetve a tárcsázás keverő hatása csak a talajfelszínen jelentkezett.



## KÖVETKEZTETÉSEK

A gyakori bolygatás – a hagyományos sokmenetes, vagy intenzív művelés – az aerob mikrobiális légzési folyamatok serkentése révén pusztítja a talaj szervesanyagait.

A szántás során a talaj forgatása miatt kialakuló aerob állapot intenzív szervesanyag bontó körülményeket teremt, emiatt csökken a különböző méretű, aggregátumos szerkezet által nem védett, szabad szervesanyagok mennyisége. Mindezeket saját eredményeink is alátámasztották: szántás esetén a legtöbb szervesanyag a mikroaggregátumok belsejében volt található, ott pedig a biokémiailag védett részecskék domináltak (51,5%). A szántáskor, továbbá az iszap- és agyag frakció is az alsóbb talajrétegekbe vándorol (50,2%).

A lazítás nem forgatja a talajréteget, a tárcsázás pedig csak a talajfelszínét porhanyítja, emiatt a szervesanyagot intenzíven bontó aerob körülmények a teljes vizsgált mélységben kevésbé alakulnak ki. Ennek következtében a felszíni talajrétegben a szervesanyag legnagyobb mennyiségben a mikroaggregátumon belüli biokémiailag védett frakcióban volt jelen (41,5%). Ugyanakkor a feltalaj

porfrakciója ebben a kezelésben volt a legnagyobb (48,3%), amely a tárcsázás aggregátum-roncsoló hatásával magyarázható. Az altalajban viszont a szervesanyag durva frakciója és a mikroaggregátumon belüli szervesanyag mindkét kategóriája (a fizikailag és biokémiailag védett állapotú szervesanyag) meghaladta az összes többi kezelését (sorban: 1,7%; 7,5%; 45,5%).

A direktvetés szerkezet kímélő hatását saját vizsgálatunk is igazolta. Hosszan tartó direktvetéses rendszer alkalmazása esetén a talaj szerkezete nem romlik tovább, és bizonyos idő eltelté után javulni kezd (Birkás et al., 2002). Az eredmények alapján a kísérlet beállítása óta eltelt idő még nem volt elegendő a talaj regenerációjához. Vélhetően emiatt mérhető a feltalajban a többi kezeléshez képest csak közepes mennyiségű szervesanyag, illetve az altalajban a többi kezeléshez viszonyítva a legkevésbé szabad szervesanyag (a 250µm-nél nagyobb frakcióban 1,2%; az 53-250µm-es frakcióban 0,3%). Előremutató jel, hogy az altalaj 53µm-nél nagyobb, mikroaggregátumon belüli fizikailag védett szervesanyag tartalma a tárcsázás és lazítás kombinált alkalmazásához hasonlóan kedvező értéket mutat (7,5%).

## KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat a 2003-2004-es Magyar-Flamand Kormányközi Tét Együttműködés tette lehetővé. A talajminták a SZIE MKK Földműveléstani Tanszéke

és az MTA TAKI által közösen gondozott művelési tartamkísérletből származnak.

## IRODALOM

- Birkás M.-Antos G.-Csik L.-Szemők A. (2002): Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. SZIE Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar, Növénytermesztési Intézet, Földműveléstani Tanszék. 104-5, 142, 198-201, 233-8, 241-4.
- Bossuyt, H.-Degryze, S.-Denef, K.-Six, J. (2004): A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till Res*, 79, 7-31.
- Gale, W.J.-Cambardella, C.A.-Bailey, T.B. (2000): Surface residue- and root-derived carbon in stable and unstable aggregates. *Soil Sci Soc Am J*, 64, 196-201.
- Gerzabeck, M.H.-Haberhauer, G.-Kirchmann, H. (2001): Soil matter pools and carbon-13 natural abundances in particle-size fractions of a long-term agricultural field experiment receiving organic amendments *Soil Sci Soc Am J*, 65, 352-358.
- Gyuricza Cs. (2000): Az értékkörző és hagyományos talajművelés egyes fizikai és biológiai hatásának értékelése. Doktori (PhD) értekezés. Gödöllő, 148.
- Six, J.-Elliott, E.T.-Paustian, K.-Doran, J.W. (1998): Aggregation and soil organic matter accumulation in cultivated and native grassland soils. *Soil Sci Soc Am J*, 62, 1367-1377.
- Six, J.-Elliott, E.T.-Paustian, K. (1999): Aggregate and Soil Organic Matter Dynamics under Conventional and No-Tillage Systems *Soil Sci Soc of Am J*, 63, 1350-1358.
- Six, J.-Elliott, E.T.-Paustian, K. (2000a): Soil macroaggregate turnover and microaggregate formation: a mechanism for C sequestration under no-tillage agriculture. *Soil Biol Biochem* 32: 2099-2103.
- Six, J.-Paustian, K.-Elliott, E.T.-Combrink, C. (2000b): Soil structure and soil organic matter: I. Distribution of aggregate-size classes and aggregate-associated carbon. *Soil Sci Soc Am J* 64: 681-689.
- Six, J.-Callewaert, P.-Lenders, S.-De Gryze, S.-Morris, S.J.-Gregorich, E.G.-Paul, E.A.-Paustian, K. (2002a): Measuring and understanding carbon storage in afforested soils by physical fractionation. *Soil Sci Soc Am J*, 66, 1981-1987.
- Six, J.-Conant, R.T.-Paul, E.A.-Paustian, K. (2002b): Stabilization mechanisms of soil organic matter: Implications for C-saturation of soils. *Plant Soil*, 241, 155-176.
- Six, J.-Bossuyt, H.-Degryze, S.-Denef, K. (2004): A history of research on the link between (micro)aggregates, soil biota, and soil organic matter dynamics. *Soil Till Res* 79: 7-31.
- Sleutel, S.-De Neve, S.-Németh, T.-Tóth, T.-Hofman, G. (2005): Effect of manure and fertilizer application on the distribution of organic carbon in different soil fractions in long-term field experiments *Soil Sci*, In Press
- Stefanovits P.-Filep Gy.-Füleky Gy. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 131-49.
- Szabó I.M. (1992): A mikroorganizmusok aktivitásának szabályozása. A talajművelési eljárások, trágyázási és növénytermesztési rendszerek célszerű kombinációjával. In: Szabó I.M. Az általános talajtan biológiai alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, 325-335.
- Tisdall, J.M.-Oades, J.M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J Soil Sci*, 62, 141-163.