

Tarlómaradványok hatása a talaj aggregátum-stabilitására

Huisz Andrea – Tóth Tibor – Németh Tamás

MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézet, Budapest
huisz@rissac.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A talaj szerkezeti állapotának minősége szervesanyag-utánpótlással javítható, ennek mértéke a szervesanyag kémiai összetételétől függ. Kísérletünkben a talaj szerkezeti állapotának változását vizsgáltuk (1) kukoricaszár, (2) búzaszalma és (3) kukoricaszár és búzaszalma hatására. Vizsgálataink során a különböző mértékben lebomló szervesanyagok hatását egymáshoz hasonlítva azt tapasztaltuk, hogy a talaj szerkezeti állapota a feltételezett kukoricaszár és búzaszalma > kukoricaszár > búzaszalma sorrendben javult.

Kulcsszavak: aggregátum, vízállóság, nedves szitálás, egységes aggregátum-stabilitási mutató

SUMMARY

Soil structure may be improved by adding readily decomposable organic matter. The extent of amelioration depends on the chemical build-up and decomposability of the crop residues. Three different kinds of organic matters were investigated: (1) maize stem, (2) wheat straw, and (3) maize stem & wheat straw. Comparing the aggregate stabilizing effects of the differently decomposable organic matters to each other, the expected maize stem & wheat straw (mw) > maize stem (m) > wheat straw (w) order was proved.

Keywords: aggregate, water-stability, wet sieving, Normalized Stability Index

BEVEZETÉS

Természeti erőforrásaink közül a talaj alapvető fontosságú, mivel biztosítja a növénytermesztés közegét, és így lehetővé teszi az élelmiszertermelést a mezőgazdaság számára (Várallyay, 2002). Napjainkban az egyre intenzívebb talajhasználat és az alkalmazott növénytermesztési technológiák a talaj szerkezetének fokozatos leromlását, stabilitásának és tápanyag-szolgáltató képességének csökkenését okozhatják (Chan és Heenan, 1999), így veszélyeztetik a talaj termőképességét.

A talaj szerkezete és annak stabilitása nagymértékben függ a talaj szervesanyag-tartalmától. A talajszerkezet stabilizálása és javítása szervesanyagok (mint például szervestrágya, zöldtrágya vagy tarlómaradványok) kijuttatásával általánosan elterjedt gyakorlat, de tényleges hatásukat befolyásolja az alkalmazott mennyiség, minőség (lebonthatóság).

A talajba juttatott szervesanyag abban az esetben képes javítani a talaj szerkezetét, ha lebomlása végig a talajban történik. Ennek következtében a friss

növényi részek, tarlómaradványok vagy zöldtrágyák – a szervestrágya hatásával ellentétben – javíthatják a talaj szerkezetét, mivel a szervestrágya érése során nagymértékű lebomlás megy keresztül, így nem képes javítani a talaj szerkezetét. Az előbbi ok, illetve a szervestrágyát adó haszonállatok számának folyamatos csökkenése, a növekvő szervestrágya árak, és a tarlómaradványoknak a talajba forgatás helyett a szántóföldekről való eltávolítása miatt a talaj szerkezetének javítása szervesanyagok kijuttatásával egyre kevésbé gyakori. Ezek a kedvezőtlen talajművelési technológiák általánosan elterjedtek, és a talaj szervesanyag-készletének csökkenését, végső soron pedig a talaj szerkezeti leromlását okozhatják.

Emiatt vizsgálataink célja különböző szervesanyagok talajszerkezet javító hatásának számszerűsítése és összehasonlítása volt, hogy javaslatot tehessünk a leginkább talajszerkezet-javító növényi anyagok használatára.

A talajszerkezet és az aggregátumok

A talaj szerkezetét olyan talajrészecskék csoportjai hozzák létre, melyek egymáshoz nagyobb erővel kötődnek, mint a többi környező talajszemcsékhez: ezeket a talajrészecske-csoportosulásokat aggregátumoknak nevezzük (Nikiforoff, 1941; cited in Kemper és Rosneau, 1986). A növénytermelés számára a talajszerkezet akkor optimális, ha a talaj egész tömege 1-10 mm-es különálló aggregátumokból áll, amelyek stabilitásukat nedvesen is megtartják. Ezt a talajállapotot morzsás állapotnak nevezzük. A földművelési szempontból a legkedvezőbb a nagyrészt 2-3 mm-es (2000-3000 µm) morzsákból álló talaj.

Az aggregátumok csoportosítása

Az aggregátumok általánosan náluk kisebb, különböző méretű szerkezeti egységekből épülnek fel változatos kötőelemek és mechanizmusok hatására (Tisdall és Oades, 1982). A 2000-7000 µm talajszerkezeti elemeket nagy makro-, a 250-2000 µm nagyságúakat kis makro-, 53-250 µm nagyságúakat mikroaggregátumoknak, az 53 µm-nél kisebb részecskéket iszap és agyag frakciónak nevezzük (Six et al., 1999, 2000). Az azonos mérettartományba tartozó elemi ásványi és szerves részecskéket és aggregátumokat együtt vizsgáljuk, és mindezeket összefoglalóan (a mérettartomány megjelölésével) frakciónak nevezzük.

A talaj szerkezeti elemeinek stabilitása

A talaj szerkezeti elemei akkor tudják fontos feladataikat betölteni, ha megfelelő stabilitásúak: vagyis ha az aggregátumra ható romboló erőt az aggregátum szétesése nélkül képesek elviselni (Kemper és Rosneau, 1986). Ezt a tulajdonságukat aggregátum-stabilitásnak nevezzük. Ha az aggregátumok kisebb egységekre, esetleg elsődleges talajrészecskékre esnek szét, a talajszerkezet minősége leromlik. Ez a romboló hatás lehet külső, például talajművelés, vagy belső, mint például a víz hatása. Mindkét hatás, amennyiben az meghaladja a talaj ellenálló képességét, az aggregátumok szétesését okozza.

Humid területeken az aggregátumok túlságosan gyors vagy túlzott mértékű nedvesedése nagymértékben romboló lehet, ezért a talajszerkezet minősége, állandósága elsősorban a talajmorzsák vízállóságának mértékétől függ. Amikor a légszáraz aggregátum túlságosan gyorsan nedvesedik, kisebb aggregátumokra vagy azok törmelékeire, esetleg elsődleges szemcsékre bomlik szét (Emerson, 1977).

A szervesanyag-utánpótlás hatása a talaj szerkezetére

A talaj szerkezetének stabilitását, az aggregátumok vízállóságát nagymértékben befolyásolja a talaj szervesanyag-tartalma. A talajművelés és növénytermelés szervesanyag-csökkenést okoz, ez azonban talajszervesanyag-pótlással ellensúlyozható. A különböző szerves anyagok (szervestrágya, zöld növényi, ill. tarlómaradványok) használatával végzett szervesanyag-utánpótlás évezredes múltra tekint vissza. A tarlómaradványok talajba forgatása növeli a talaj szervesanyag-tartalmát, és ez által növeli a talaj aggregátum-stabilitását, javítja a talajszerkezetet (Lynch és Elliott, 1983).

A talajszerkezet szervesanyagok kijuttatásával való javítása általánosan használt gyakorlat, ám a talaj szerkezetének tényleges javulása számos tényezőtől függ: a talajba juttatott szervesanyagok mennyiségétől, minőségétől (lebomlásra való hajlamuk mértékétől) és a talaj típusától. A különböző típusú szervesanyagok a talajszerkezetre annak eltérő strukturális szintjén hatnak: ezt befolyásolja a szervesanyag mennyisége, a szervesanyag-részecskék mérete, biokémiai viselkedése (Martens, 2000), és a talaj típusa is (Paul, 1984).

A szervesanyag-részecskék méretének csökkenésével azok mikroorganizmusok által támadható felülete nő, így egyre nagyobb mértékben válnak lebonthatóvá. A tarlómaradványoknak a talajba forgatás előtti zúzása, darabolása megnöveli hozzáférhetőségüket a mikroorganizmusok számára, így javul a lebonthatóságuk, amely végül az aggregátum-stabilitás növekedéséhez vezet.

A növényi maradványoknak az aggregátumok vízállóságára való hatását befolyásolja azok lebonthatósága, amelyet a kémiai összetétel

befolyásol (Martens és Frankenberger, 1992; Martens, 2000). A különböző tarlómaradványok a szerves vegyületek azonos csoportjait tartalmazzák: szacharidokat, fehérjéket, humin- és fenolsavakat, illetve lignint, de e kémiai összetevők aránya függ a növény fajtától, fejlettségi állapotától. Mindezek a tényezők befolyásolhatják a szervesanyagok lebomlásának mértékét és ütemét, és ennek következtében az aggregátum-stabilitást. A könnyen lebomló szerves vegyületeknek (például a glükóznak) gyors, de csak átmeneti, néhány hétig tartó aggregátum-stabilizáló hatása van. Ezzel szemben a lassabban bomló szerves vegyületek (például a cellulóz) aggregátum-stabilizáló hatása kisebb mértékű, de több hónapig is kimutatható (Tisdall és Oades, 1982). Piccolo et al. (1997) a szerves vegyületek lebonthatóságát és aggregátum-stabilizáló hatásának tartamát vizsgálva eredményeik alapján azokat a humuszanyagok > fenolos vegyületek > lignin > cellulóz és fehérjék sorrendbe sorolták.

A növényi eredetű szénhidrátok szemcséi nagyobbak, így a homok frakcióban (>53 µm) jelennek meg, és könnyen lebomlanak (Schulten és Leinweber, 2000). A mikroorganizmusok által lebontva gyorsan, de csak rövid ideig stabilizálják az aggregátumokat. A könnyen bomló poliszacharidok rövid ideig tartó, átmeneti kötéseket képeznek, és így beindítják az aggregátum-képződést (Kay, 1998; Tisdall és Oades, 1982). Ezek a vegyületek erősen kötődhetnek az ásványi részecskék felületére (Kay, 1998; Martens, 2000), így gél-szerű vegyületeket hozhatnak létre, amelyek egymáshoz ragasztják a talaj szerkezeti elemeit (Haynes és Beare, 1997). A fenolok és polifenolok kation hidakat képezhetnek, és ezáltal serkenthetik az aggregátum-képződést (Martens, 2000). Minél magasabb a növényi maradványok lignin-tartalma, annál nehezebb a lebomlásuk (Palm és Rowland, 1997). A lipidek, feltételezhetően hidrofób tulajdonságuk miatt növelik az aggregátumok stabilitását, vízállóságát (Dinel et al., 1997; Pare et al., 1999). A humuszvegyületek nagyfokú kémiai ellenállóságuk és a többi talajrészecskével való kötődésük miatt növelhetik az aggregátumok stabilitását (Piccolo et al., 1997).

A talaj szervesanyag-utánpótlásakor a fent említett vegyületek mindegyike együttesen járul hozzá az aggregátumok vízállóságának növeléséhez (Tisdall és Oades, 1982).

A különböző minőségű és kémiai összetételű növényi maradványok aggregátum-stabilizáló hatását számos kísérlettel vizsgálták. Raimbault és Vyn (1991) szerint kukorica növényi részek talajba keverése azok nagy fenolos vegyület-tartalma miatt növelték az aggregátum-képződést. Martens (2000) gyors, de csak rövid ideig tartó aggregátum-vízállóság javulásról számolt be alacsony fenolsav tartalmú lucerna, repce és fehér here növényi részek talajba keverése után; és nagyobb mértékű aggregátum-vízállóság javulásról nagyobb fenolsav-tartalmú kukorica, zab és szója növényi részek talajba keverése után. John et al. (2005) búza és kukorica tarlómaradványok talajba forgatásának hatását vizsgálta az aggregátumok vízállóságára.

Vizsgálatainkban az aggregátumok vízállósága a növényi részek hozzáadásának hatására a felső talajrétegben a kukorica > búza sorrendben változott, de ezek a változások statisztikailag nem voltak számottevőek, illetve az aggregátumok vízállósága az alsó talajrétegben még kisebb mértékben változott.

A talajműveléssel kijuttatott szervesanyagok abban az esetben serkentik az aggregátumok kialakulását és növelik azok vízállóságát, ha lebomlásuk már a kezdetektől a talajban, méghozzá megfelelő körülmények között történik. Így képesek ragasztó hatású anyagokat felszabadítani. Abban az esetben, ha a szervesanyagok lebomlásuk után kerülnek a talajba, például a szervesstrágya annak érlelése után, kötéseik széttöredeznek, így ásványi részecskéket összeragasztó funkciójukat már nem képesek ellátni. Emiatt a szervesstrágyázás közvetlenül csak kismértékben serkenti az aggregátumok képződését. A talajba juttatott szervesanyag közvetve azonban élénkíti a talaj mikroorganizmusainak élettevékenységét, melyek ragasztóanyagokat képeznek. Mindezek hatására az ásványi részek aggregátumokká kapcsolódnak össze, illetve az aggregátumok stabilitása, vízállósága is növekszik.

A talaj típusa az agyagásványok jelenlétén és azok arányán keresztül befolyásolja az aggregátumok képződését és stabilitását: az agyagásványok védik a növényi részek mikrobiális lebontásakor felszabaduló szerves ragasztóanyagokat, és így növelik az aggregátum-stabilitást (Paul, 1984).

A szervesanyag-utánpótlás hatása a különböző aggregátum-frakciókra

A makroaggregátumok stabilitása nagymértékben függ az élő növényi gyökerek jelenlététől és azok elhalásával, lebomlásával csökken (Oades és Waters, 1991). Könnyen lebomló szervesanyagok talajba juttatása növelheti a makroaggregátumok stabilitását.

Ezzel szemben a mikroaggregátumok stabilitása a könnyen bomló szervesanyagok jelenlététől szinte független (Tisdall és Oades, 1982), mivel a mikroaggregátumok stabilitását nagyrészt szervesetlen vegyületek és nem szervesek befolyásolják (Monreal et al., 1995).

A szervesanyag-utánpótlással talajba juttatott szerves vegyületekre azért van szükség, hogy közvetlenül a makroaggregátumok stabilitását növeljük, amely alapvetően meghatározza a talaj művelhetőségét. Mivel ezek a makroaggregátumokon belüli kötések csak rövid ideig és kis erővel hatnak, a talaj gyakori szervesanyag-utánpótlása javasolt lehetőség szerint friss növényi részekkel.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A mintavételi hely leírása és a talaj jellemzése

A talajmintákat a Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztési és Talajtani Tanszék „Szerves- és műtrágyák hatásának összehasonlító kísérlete – „B” vetésforgó”

elnevezésű területről vettük. Itt a kísérlet célja a szerves- és műtrágyázás, és növényi melléktermék talajtermékenységre gyakorolt hatásának összehasonlító vizsgálata volt. A kísérletet 1960-ban állították be. Talaja Ramann-féle barna erdőtalaj, fizikai félesége homokos vályog. Az Arany-féle kötöttségi szám értéke: 36-37. A talaj felvehető foszforral gyengén, káliummal közepesen ellátott, szervesanyagban pedig szegény, CaCO₃ tartalma 0,5-0,6%. A területen a csapadék sokévi átlaga 700 mm, az évi középhőmérséklet 10,8 °C. A területen a következő növényi sorrendben termesztették a növényeket: kukorica-kukorica-burgonya-őszi búza-őszi búza. A mintavétel évében a területen burgonyát termesztettek. Vizsgálatunk célja a különböző szervesanyagok talajszerkezetre és annak minőségére gyakorolt hatásának vizsgálata volt. Az alkalmazott műtrágyák éves mennyiségét az 1. táblázat mutatja be. Kísérletünkben különböző növényi eredetű szervesanyagok hatását vizsgáltuk: kukoricaszár, búzaszalma, kukoricaszár és búzaszalma együttes hatását szárnélküli kontrollkezeléshez hasonlítottuk. Mind a négy kezelésben azonos talajművelési módot, őszi szántást alkalmaztak, 25 cm mélységig. A kezelések véletlen blokk elrendezésben, négyszeres ismétlésben szerepeltek. A parcellák alapterülete: 7×14 m, vagyis 98 m². A talajmintákat 2006. június 16-17-én, a kukorica 6-8 leveles állapotában vettük. A művelt rétegből a talajművelés mélységével megegyező mélységig (a 0-20 cm-es mélységből), az alatta levő rétegből pedig egy 10 cm mély mintát vettünk (a 20-30 cm-es mélységből). Abból a célból, hogy a szervesanyagok hatását vizsgálhassuk a burgonya bakhátas művelésekor fellépő talajszerkezet romlás kizárásával, a burgonya parcellával megegyező kezelésű ugarból vettük a talajmintákat. Minden kísérleti parcellán 4 pontból vettünk bolygatott talajmintát, melyeket parcellán belül, mélységi kategóriánként homogenizáltunk.

1. táblázat

Az alkalmazott műtrágya-hatóanyag mennyiségek (kg/ha)

Kezelés(1)	N	P	K
Kontroll(2)	0	80	100
Kukorica szár(3)	26	80	100
Búza szalma(4)	0	80	100
Kukorica szár és búza szalma(5)	26	80	100

Table 1: Quantities of applied fertilizer active ingredients (kg/ha)

treatment(1), control(2), maize stem(3), wheat straw(4), maize stem and wheat straw(5)

A talajszerkezet minősítése az egységes aggregátum-stabilitási mutató segítségével

Az aggregátumok hirtelen nedvesedése nagymértékben romboló lehet, ezért a talajszerkezet minősége, állandósága elsősorban a talajmorzsák vízállóságának mértékétől függ.

Ezt leggyakrabban nedves szitalással vizsgáljuk. Jelen tanulmányban a Six et al. (2000) által javasolt módszert kisebb módosítással alkalmaztuk. A módszer az aggregátum-szétiszapolódás mértékét hasonlítja össze két különböző intenzitású, és így aggregátum-romboló talaj-nedvesítési mód hatására.

A módszer a talaj szerkezeti stabilitását az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) értékével jellemzi. Az ennek számításához kifejlesztett vizsgálati módszer az aggregátumok stabilitását úgy számszerűsíti, hogy összehasonlítja azok mennyiségi megoszlását két különböző nagyságú rombolóerő alkalmazásának hatására. Az aggregátumokra ható nagyobb mértékű rombolóerőt (1) gyors nedvesítési módszerrel (GyN) vizsgáljuk: a légszáraz mintát vízbe öntjük, és ezután 5 percig vízben áztatjuk. A gyors nedvesítési minta előkészítési módszer rombolja az aggregátumokat, mert az aggregátumból túl gyorsan távozó levegő az aggregátumot szétrobbantja, még a nedves szitalás előtt.

Az aggregátumokra ható kisebb mértékű rombolóerőt (2) azok szabadföldi vízkapacitás értékéig történő lassú nedvesítésével vizsgáljuk (LN): a légszáraz mintát szűrőpapíron és nylon filteren keresztül kapillárisan annak szabadföldi vízkapacitás értékéig telítjük.

A talaj nedves szitalást megelőző lassú nedvesítése során az aggregátum belsejében levő levegő lassan, az aggregátumot nem rombolva távozik, így az aggregátum ép marad. Továbbá a víz felületi feszültsége növeli a talajrészecskéket összetartó erőt, így a lassan előnedvesített minta előkészítési módszer a GyN módszerhez képes nagyobb arányban eredményez vízálló aggregátum-mennyiségeket (Kemper és Rosneau, 1986).

Ezután a kétféle módon előkészített részmintákat laboratóriumi szitarázó géppel folyamatos vízáram alatt leszitaljuk, így vízálló aggregátum frakciókat kapunk.

A lassú nedvesítéssel (LN) előkészített minták aggregátum-megoszlását tekintjük a kezdeti értéknek, mert a legnagyobb aggregátum mennyiséget a talaj szabadföldi vízkapacitás értékéig való kapilláris nedvesítéskor kapták (Hofman és de Leenheer, 1975). A gyors nedvesítési (GyN) minta előkészítési módszert tekintjük a szétrombolódás utáni aggregátum stabilitási szintnek.

Az EASM a vizsgált talaj aggregátum stabilitását nem abszolút mérőszámmal jellemzi, hanem a különböző talajtípusok, talajművelési vagy növénytermelési módok okozta talajszerkezeti különbségek, változások mértékét számszerűsíti és teszi egymással összehasonlíthatóvá (mértékegység nélküli viszonyszám). Értéke 0 és 1 között változhat.

A talajminta vétel módja és az aggregátum-stabilitás meghatározása

A mintavétel után az eredeti nedvességi állapotú talajmintát kézzel óvatosan diónyinál kisebb részekre bontottuk, majd szobahőmérsékleten hagytuk megszáradni. A talajt száraz állapotban 7 mm-es szitán átszitaltuk, az ennél nagyobb darabokat mozsárban annyira törtük meg, hogy átférjenek a szita lyukain.

Kétféle minta előkészítési módszert alkalmaztunk: a gyors nedvesítési módszerben (GyN) a legnagyobb pórusméretű szitát (2 mm) egy tálba helyeztük, és azt a szita felszíne felett 1 cm-rel feltöltöttük csapvízzel, erre helyeztük az előre kimért 300 g-os légszáraz részmintát, majd 5 percig áztattunk. A másik minta előkészítési módszer szerint az előre kimért 300 g-os részmintát Petri csészébe helyezett filter papíron és 20 µm lyukméretű nylon filteren keresztül óvatosan szabadföldi vízkapacitás értékéig lassan nedvesítettük (LN). A Petri csészét lezártuk, majd a mintákat egy éjszakán át hűtőszekrényben állni hagytuk, hogy nedvességtartalmuk állandósuljon. A kétféle minta előkészítési mód után a részmintákat Retsch AS 200 BASIC típusú laboratóriumi szitarázó géppel folyamatos vízáram alatt leszitaltuk. A rázógépet 70-es frekvenciára állítva minden részmintát 2 percig szitaltunk. Ehhez egy 2 mm-es, egy 250 µm-es és egy 53 µm-es analitikai szitát használtunk. Így 4 frakciót kaptunk: 2000 µm-nél nagyobb nagy makro-, 250-2000 µm kis makro-, 53-250 µm mikroaggregátum-, és az 53 µm-nél kisebb iszap-agyag frakciót. A sziták felszínén levő vízálló aggregátum frakciókat (1-3. frakciót) előre lemért alumínium tálkába mostuk, majd ülepedni hagytuk. Egy napos ülepedés után a letisztult felülülő folyadékot vízlégszivattyúval leszívtuk, majd a frakciókat 60 °C-on megszáritottuk és lemértük. A 4. agyag frakciót részmintánként egy-egy vödörbe gyűjtöttük, majd több napos ülepedés után, amikor a felülülő folyadék már teljesen kitisztult, azt szivattyúval leszívtuk, egy előre lemért alumínium tálkába mostuk, egy napot újra ülepetítettük, a letisztult felülülő folyadékot vízlégszivattyúval leszívtuk, majd a kapott ásványi frakciót 60 °C-on megszáritottuk és lemértük. Ezután mindkét minta előkészítési módszerrel kapott 1. és 2. frakcióból 5 g-ot kimértünk, 15 ml 5 g/l⁻¹ koncentrációjú nátrium-hexameta-foszfát oldattal egy 50 ml-es centrifugacsőben 18 órán keresztül ráztuk, majd a folyadékot a frakciók elkülönítésére használt szitákkal újra leszírtük, így 3 illetve 2 homokfrakciót kaptunk. A sziták felületén levő homokfrakciókat és a diszpergáló folyadékot külön-külön előre lemért alumínium tálkába mostuk, majd 105 °C-on megszáritottuk és lemértük (1. ábra).

Az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) számítása

1.) Az egyes frakciók szétiszapolódásának mértéke

$$DLS_i = \frac{\left\{ \left[(P_{i0} - S_{i0}) - (P_i - S_i) \right] + \left| (P_{i0} - S_{i0}) - (P_i - S_i) \right| \right\}}{2(P_{i0} - S_{i0})} \quad (1)$$

ahol

DLS_i = az egyes frakciók szétiszapolódásának mértéke (I= {i1, i2, i3, i4})

P_{i0} = teljes mintatömeg az I frakcióban a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (6b, 7b, 8b, 9b/1. ábra)

P_i = teljes mintatömeg az I frakcióban a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után (6a, 7a, 8a, 9a/1. ábra)

S_{i0} = az aggregátum-méretű homok frakció tömege az I aggregátum frakcióban a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (11b, 14b, 17b/1. ábra) Minden frakciótömeg g/g talaj egységben.

S_i = az aggregátum-méretű homok frakció tömege az I aggregátum frakcióban a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után (11a, 14a, 17a/1. ábra) Minden frakciótömeg g/g talaj egységben.

Ahol a frakciók index-számai (1. ábra): A frakciók ebben a sorrendben keletkeznek a nedvesztálás során (1. ábra).

i=1=1. frakció =>2000 μm nagy makroaggregátum frakció (6a, b/1. ábra)

i=2=2. frakció =250–2000 μm kis makroaggregátum frakció (7a, b/1. ábra)

i=3=3. frakció =53-250 μm mikroaggregátum frakció (8a, b/1. ábra)

i=4=4 frakció =<53 μm iszap- és agyag frakció (9a, b/1. ábra)

2.) A teljes talaj szétiszapolódásának mértéke

$$DL = 1/n \sum_i^n [(n+1) - i] \times DLS_i \quad (2)$$

ahol

DL = a teljes talaj szétiszapolódásának mértéke

N = aggregátum frakciók száma

DLS_i = az I aggregátum frakció szétiszapolódásának mértéke (I={i1, i2, i3, i4})

3.) A legnagyobb mértékű szétiszapolódás

$$DLS_i(\max) = \frac{\left[(P_{i0} - P_p) + \left| (P_{i0} - P_p) \right| \right]}{2} \times \frac{[1]}{[P_{i0} - S_{i0}]} \quad (3)$$

DLS_i(max) = a legnagyobb mértékű szétiszapolódás ahol

P_{i0} = az I aggregátum frakció teljes mintatömege a lassú nedvesítéses (LN) előkezelés után (6b, 7b, 8b/1. ábra)

P_p = az I aggregátum frakció teljes homok frakció-tömege a gyors nedvesítéses (GyN) előkezelés után (homok=a diszpergálás és szitálás után kapott 53μm-nél nagyobb ásványi frakció) (11a+12a, 14a+15a, 17a/1. ábra)

4.) Az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM)

$$EASM = 1 - [DL / DL(\max)] \quad (4)$$

ahol

$$DL(\max) = \frac{1}{N} \sum_i^n [(n+1) - i] DLS_i(\max) \quad (5)$$

N = 1, 2, 3

1. ábra: A nedves szítálás és a homok-korrekciónak lépései

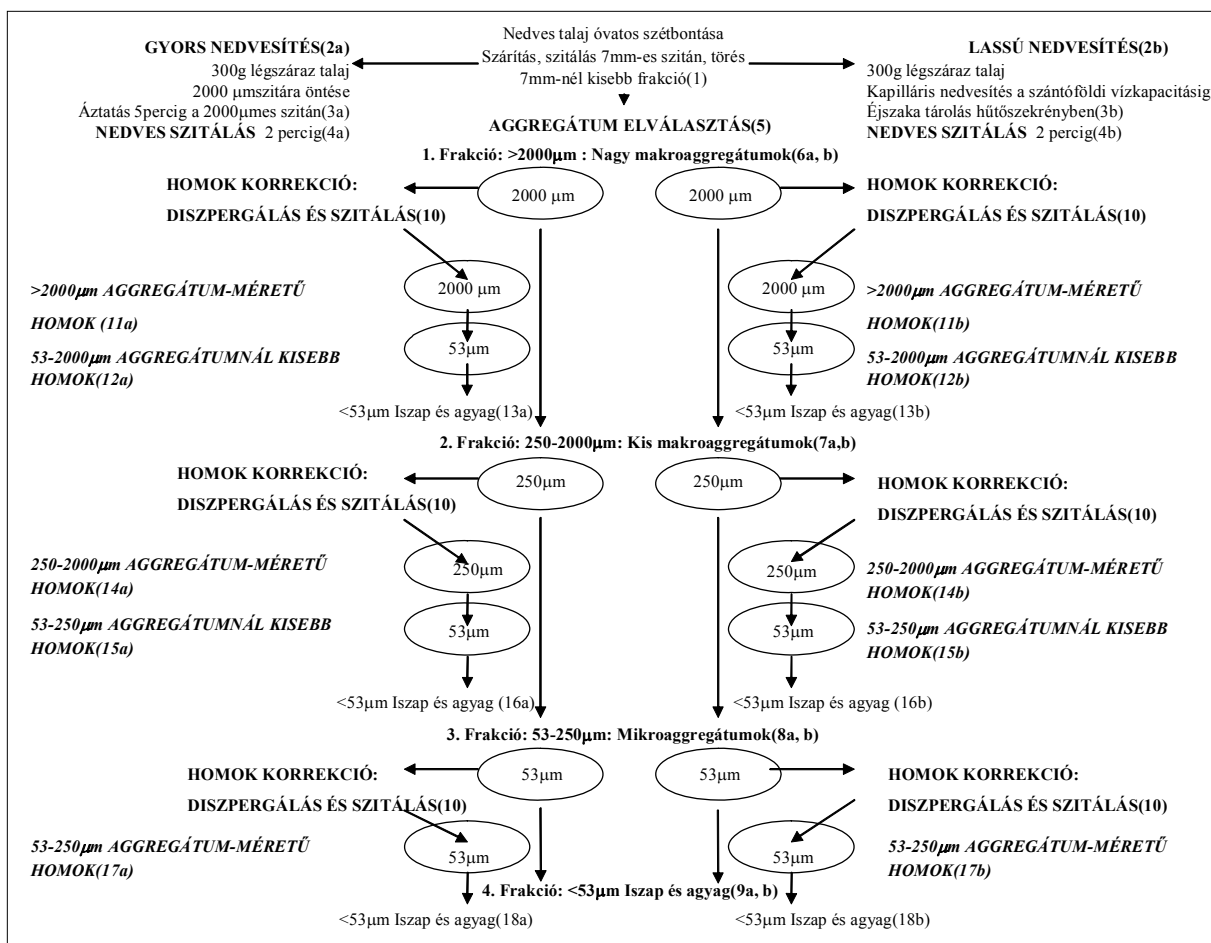


Figure 1: Steps of the wet sieving and sand-correction

wet clods were gently broken apart, air-drying, dry sieving on 7 mm sieve, breaking with mortar, <7 mm fraction(1), slaking (the letter 'a' means the SLAKING pre-treatment)(2a), capillary re-wetting: (the letter 'b' means the capillary re-wetting pre-treatment)(2b), 300g of air-dried soil sample was spread on the nest of the 2mm sieve, slaking for 5min(3a), 300g of air-dried soil was gently capillary re-wetted till field capacity, store overnight in refrigerator(3b), wet sieving for 2min(4a), wet sieving for 2 min(4b), aggregate separation(5), 1.st fraction: >2000µm large macroaggregate fraction(6a, b), 2.nd fraction: 250-2000µm small macroaggregate fraction(7a, b), 3.rd fraction: 53-250µm microaggregate fraction(8a, b), 4.th fraction: silt and clay fraction(9a, b), sand correction: dispersion and sieving(10), >2000µm aggregate-sized sand(11a, b), 53-2000µm sand smaller than the aggregate(12a, b), silt and clay fraction(13a, b), 250-2000µm aggregate-sized sand(14a, b), 53-250µm sand smaller than the aggregate(15a, b), silt and clay fraction(16a, b), 53-250µm aggregate-sized sand(17a, b), silt and clay fraction(18a, b)

AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

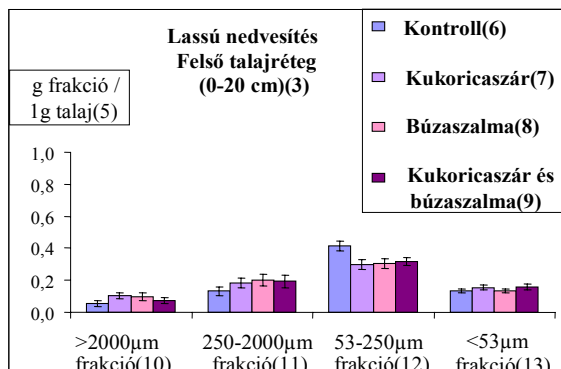
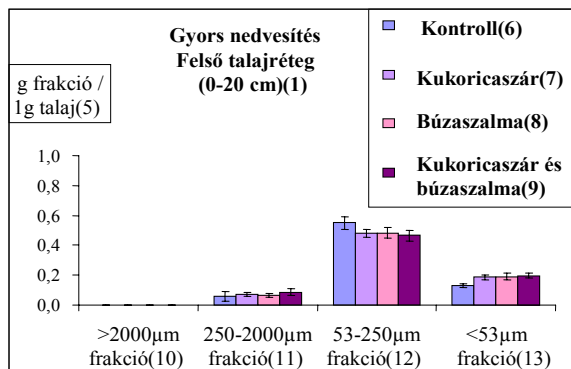
Mind a négy vizsgált kezelésből négy-négy parcellából vettünk mintát, ezekből pedig három-három párhuzamos mérést végeztünk. Ezek eredményét akkor fogadjuk el, amennyiben a másik két mérés átlagához képest 5%-nál kisebb eltérést mutatnak, és ha a vizsgálat okozta tömegvesztés 5%-nál kisebb. Jelen tanulmányban a nedves

szítással kapott eredményeket ismertetjük, a homok-korrekciónak előtt (2-5. ábra). A vizsgált szervesanyagok hatására történt aggregátum-vizállóság változások mértékét a 2. táblázat mutatja (a kontroll minta %-ában). Eredményeinket az SPSS programmal, F- majd két mintás T-próbával értékeltük ki. A statisztikai vizsgálat alapján 95%-os megbízhatósági szinten eltérő értékeket (*) indexszel jelöltük.

2-5. ábra: A különböző nedvesítési módszerekkel kapott frakciók mennyisége a vizsgált kezelésekben és mintavételi mélységekben (1 g talajmintára vonatkoztatva 95%-os megbízhatósági szinten)

2. ábra

3. ábra



4. ábra

5. ábra

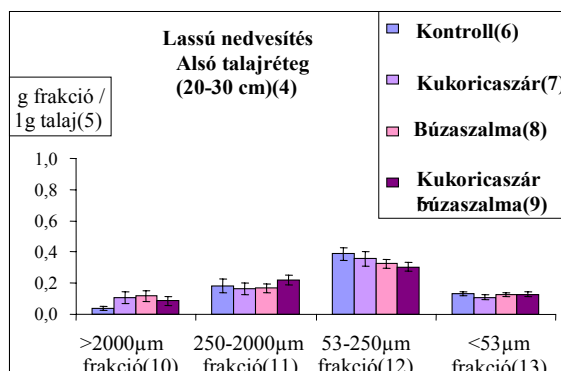
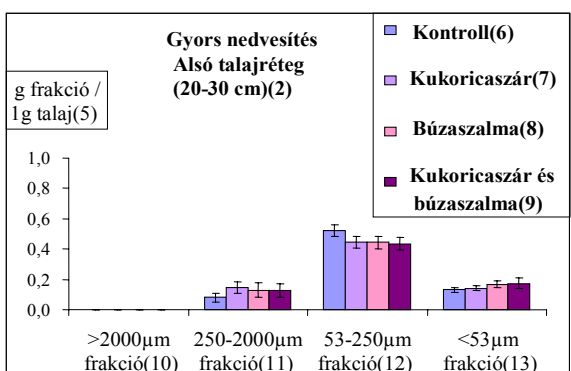


Figure 2-5: Weight of soil mass in the isolated fractions for each treatment and depth layer
 slaking – upper layer(1), slaking – lower layer(2), capillary wetting – upper layer(3), capillary wetting – lower layer(4), g fraction/1 g soil(5), control treatment(6), maize stem treatment(7), wheat straw treatment(8), maize stem+wheat straw treatment(9), fraction >2000 µm(10), fraction 250-2000 µm(11), fraction 53-250 µm(12), fraction <53 µm(13)

2. táblázat

A frakciók mennyiségi változásai a vizsgált szervesanyagok hatására (a kontrollminta tömegének %-ában)

Kezelés(1)	Előkészítési módszer(5)	Réteg(8)	2000-7000 µm frakció(11)	250-2000 µm frakció(12)	53-250 µm frakció(13)	<53 µm frakció(14)
Kukorica szár(2)	Gyors nedvesítés(6)	Felső (0-20 cm)(9)	Nincs frakció(15)	24.92	-12.37*	43.93*
		Alsó (20-30 cm)(10)	Nincs frakció(15)	83.11*	-15.06*	8.92
	Lassú nedvesítés(7)	Felső (0-20 cm)(9)	85.13	38.12*	-28.13*	15.34*
		Alsó (20-30 cm)(10)	188.20*	-11.12	-7.70	-15.90
Búzaszalma(3)	Gyors nedvesítés(6)	Felső (0-20 cm)(9)	Nincs frakció(15)	10.92	-12.13*	46.31*
		Alsó (20-30 cm)(10)	Nincs frakció(15)	59.99	-15.40*	27.81*
	Lassú nedvesítés(7)	Felső (0-20 cm)(9)	71.72*	53.81*	-25.91*	-0.71
		Alsó (20-30 cm)(10)	215.14*	-7.86	-15.86*	-3.90
Kukoricaszár és búzaszalma(4)	Gyors nedvesítés(6)	Felső (0-20 cm)(9)	Nincs frakció(15)	47.81	-15.32*	51.96*
		Alsó (20-30 cm)(10)	Nincs frakció(15)	60.04	-16.98*	33.07*
	Lassú nedvesítés(7)	Felső (0-20 cm)(9)	28.87	47.05*	-23.67*	18.13*
		Alsó (20-30 cm)(10)	130.51*	22.22	-21.39*	-1.17

*A különböző szervesanyagok okozta, a kontrollhoz képest 95%-os megbízhatósági szinten szignifikáns változások a frakciók mennyiségében(16)

Table 2: Changes in dry mass of fractions for the effect of the investigated treatments (in the % of the Control treatment)
 treatment(1), maize stem(2), wheat straw(3), maize stem and wheat straw(4), pre-treatment(5), slaking(6), capillary wetting(7), layer(8), upper layer(9), lower layer(10), fraction 2000-7000 µm(11), fraction 250-2000 µm(12), fraction 53-250 µm(13), fraction <53 µm(14), no fraction(15), the significant changes in the volume of fractions caused by different organic matters (95% confidence level) is indicated by a star (*) (16)

A vizsgált két különböző minta előkészítési (nedvesítési) módszerrel kapott aggregátum-frakciók mennyisége eltérő volt. Az első, nagyobb mértékben aggregátum-romboló minta előkészítési módszer, a Gyors nedvesítés (GyN) a kevésbé vízálló 2000-7000 µm nagy makroaggregátum frakció teljes szétesését okozta mind a négy kezelésben és mindkét vizsgált mintavételi mélységben. Ez a frakció a kisebb mértékben aggregátum-romboló minta előkészítési módszer, a Lassú nedvesítés (LN) esetében volt csak mérhető mennyiségű (3-5. ábra). Fokozatos szétesésekor (Oades és Waters, 1991) ez a frakció főleg 53-250 µm mikroaggregátum frakcióra és <53 µm iszap és agyag frakcióra esett szét Gyors nedvesítéskor (GyN), mindkét vizsgált mintavételi mélységben. Emiatt ebben az esetben ennek az említett két frakciónak a mennyisége a Lassú nedvesítés (LN) esetén mért mennyiséget jóval meghaladta. Ezek az eredmények hasonlóak a John et al. (2005) által tapasztaltakhoz, akik kukorica és búza tarlómaradványok hatását vizsgálták az aggregátumok vízállóságára nézve azonos Gyors nedvesítéses (GyN) módszerrel. A kukorica tarlómaradványos kezelés vizsgálata során azt tapasztalták, hogy a legnagyobb mennyiségű az 53-250 µm mikroaggregátum frakció volt, a búza tarlómaradványos kezelés esetén pedig a 250-1000 µm kis makroaggregátum frakció, de a két kezelés között nem volt statisztikai különbség. Saját kísérletünkben a 250-2000 µm kis makroaggregátum frakció a Lassú nedvesítés (LN) esetében mértéknél kevesebb volt.

A kisebb mértékben aggregátum-romboló minta előkészítési módszer, a Lassú nedvesítés (LN) mind a négy kezelésben és mindkét mintavételi mélységben nagyobb mennyiségű, 2000-7000 µm nagy makroaggregátumot eredményezett, mint a Gyors nedvesítés (GyN). Ezek az eredményeink hasonlóak Christensen (1986) által tapasztaltakhoz, aki árpaszalma talajba való keverésének hatását vizsgálta az aggregátumok mennyiségére száraz szítással: vályogos homoktalajon az 1-20 mm makroaggregátum frakciók mennyiségének növekedését tapasztalta. Yadvinder et al. (2000) hasonló változásokról számoltak be: búzaszalma talajba keverésének és kiegészítő nitrogén műtrágya adagolásának hatását vizsgálták nedves szítással és a >2 mm nagy makroaggregátum frakciók mennyiségének növekedését tapasztalták. Saját kísérletünkben az 53-250 µm mikroaggregátum frakció túlsúlya a többi frakcióhoz viszonyítva nem változott, de a kisebb mértékű rombolóerő alkalmazása a 250-2000 µm kis makroaggregátum frakció nagyobb mennyiségét eredményezte. Emiatt a <53 µm iszap és agyag frakció mennyisége csökkent. Ezek az eredményeink hasonlóak a Christensen (1986) által leírtakhoz, aki árpaszalma talajba való keverésének hatását vizsgálta az aggregátumok mennyiségére száraz szítással vályogos homoktalajon: szintén az iszap és agyag ásványi frakció mennyiségének csökkenését tapasztalta a kis makroaggregátum frakcióban.

A különböző szervesanyagokat az aggregátum-stabilitást befolyásoló hatásuk szempontjából összehasonlítva a makroaggregátumok vízállóságának egyértelmű növekedését tapasztaltuk mindkét eltérő méretű makroaggregátum frakcióban. Ez a jelenség főleg a Gyors nedvesítéses (GyN) vizsgálatokban, a felső talajrétegben szembetűnő, az alsó talajrétegben kisebb mértékben figyelhető meg. A 2000-7000 µm nagy makroaggregátum frakció mennyisége a kukoricaszár és búzaszalma (K&B) > kukoricaszár (K) > búzaszalma (B) sorrendben csökkent. Ezek a változások a Gyors nedvesítéses (GyN) vizsgálatokban a nagyobb mértékű rombolóerő fellépése miatt nem voltak kimutathatóak. Továbbá a különböző szervesanyagok talajba keverése az 53-250 µm mikroaggregátum frakció mennyiségét a vizsgált mintavételi mélységekben, és minta előkészítési módszerek esetében különböző mértékben csökkentette.

Az azonos mérettartományú frakciók összehasonlítása egymással a két vizsgált mintavételi mélységben csak a Gyors nedvesítéses (GyN) vizsgálatokban mutatott hasonlóságokat, a Lassú nedvesítéses (LN) módszer esetében nem. A Gyors nedvesítéses vizsgálatok (GyN) esetében mind a háromféle szervesanyag-kezelés hatására a 250-2000 µm nagy makroaggregátum frakció mennyisége nőtt (a felső és az alsó talajrétegben eltérő mértékben), az 53-250 µm mikroaggregátum frakció mennyisége a kukoricaszár (K) ≈ búzaszalma (B) > kukoricaszár és búzaszalma (K&B) sorrendben csökkent, és a <53 µm iszap és agyag frakció mennyisége a kukoricaszár (K) > búzaszalma (B) > kukoricaszár & búzaszalma (K&B) sorrendben csökkent (a felső és alsó talajrétegben hasonló mértékben). Ezek az eredményeink a Bordovsky et al. (1999) által bemutatottakkal ellentétesek: ők nagyobb mikroaggregátum mennyiségről számoltak be búzaszalma talajba keverésekor, szemben annak szántóföldről való elhordásával.

A felső talajréteg vizsgálatok a különböző minta előkészítési módszerekkel kapott frakciók mennyiségének változásai hasonlóak, de ez statisztikailag nem igazolható. John et al. (2005) az altalajban szintén kisebb mértékű aggregátum-stabilitást tapasztalt.

KÖVETKEZTETÉSEK

Három különböző szervesanyag hatását vizsgáltuk a talaj szerkezeti elemeinek vízállóságára a Six et al. (2000) által javasolt és általunk módosított módszerrel (Huisz, 2007): (1) kukoricaszár, (2) búzaszalma, (3) kukoricaszár és búzaszalma. Vizsgálatunkban két különböző minta előkészítési módszert használtunk: (1) Gyors nedvesítést (GyN), amely az aggregátumokat nagyméretben rombolja és így kis mennyiségű makroaggregátum-frakciókat eredményez, és (2) Lassú nedvesítést (LN), amely az aggregátumokat kisméretben rombolja és így nagy mennyiségű makroaggregátum-frakciókat eredményez.

Vizsgálatunkban a növénymaradványok talajba keverésének hatásaként mindkét makroaggregátum frakció vízállóságában növekedést tapasztaltunk. Ez a változás statisztikailag a felső talajrétegben a Lassú nedvesítéses (LN) előkezelés esetén volt szignifikáns.

A különböző minőségű szervesanyagok a nem kezelt kontrollhoz képest növelték a makroaggregátumok vízállóságát, de ezek az újonnan képződött kötések a Gyors nedvesítéses (GyN) módszer nagyfokú romboló hatására könnyen szétbomlottak. Így könnyen érthető az az eredményünk, hogy a 2000-7000 µm nagy makroaggregátum frakció a nagyobb mértékben aggregátum-romboló Gyors nedvesítéses (GyN) módszer hatására teljesen szétiszapolódott kisebb méretű részecskékké, így nem volt mérhető mennyiségű; de a kevésbé aggregátum-romboló Lassú nedvesítéses (LN) módszer hatására mérhető mennyiségű volt.

A Gyors nedvesítéses (GyN) módszerrel a Lassú nedvesítéses (LN) módszerhez képest fele mennyiségű 250-2000 µm kis makroaggregátum frakciót kaptunk, de nagyobb mennyiségű 53-250 µm mikroaggregátum és <53 µm iszap és agyag frakciót. Ezek az eredmények igazolják a „Mérettartomány szerinti aggregátum elméletet” (Oades és Waters, 1991), amely szerint a nagyobb méretű, de kevésbé vízálló makroaggregátum-frakciók kisebb méretű, de vízállóbb 53-250 µm mikroaggregátumokká és <53 µm iszap és agyag frakcióra iszapolódnak szét.

A kisebb mértékben aggregátum-romboló hatású Lassú nedvesítéses (LN) módszer a Gyors nedvesítéseshez (GyN) képest már mérhető mennyiségű 2000-7000 µm nagy makroaggregátum frakciót, illetve sokkal nagyobb mennyiségű 250-2000 µm kis makroaggregátum frakciót eredményezett. Ennek következtében az 53-250 µm mikroaggregátum és a <53 µm iszap és agyag frakció mennyisége csökkent.

A különböző méretű frakciók vízállóságát egymáshoz viszonyítva az 53-250 µm mikroaggregátum frakció bizonyult a legnagyobb mértékben vízállónak, ami igazolta a korábbi megfigyeléseket (Oades és Waters, 1991).

Kísérletünkben három különböző szervesanyagnak az aggregátumok vízállóságára gyakorolt hatását vizsgáltuk: (1) kukoricaszár (K), (2) búzaszalma (B), (3) kukoricaszár és búzaszalma (K & B). Az aggregátum stabilizáló hatás

szempontjából a kukoricaszár (K) > búzaszalma (B) sorrendre számítottunk, és a makroaggregátum frakciók vízállóságának növekedését tapasztaltunk. Ez a jelenség a felső talajrétegben nagyobb mértékű a Lassú nedvesítéses (LN) módszer esetében. Ezeket az eredményeket az okozza, hogy a tarlómaradványokat a felső talajrétegbe forgatták be, emiatt az alsó talajrétegre nem voltak hatással.

Vizsgálatainkban a különböző szervesanyagok hatására a 2000-7000 µm nagy makroaggregátum frakció mennyisége a kukoricaszár és búzaszalma (K & B) kukoricaszár (K) > búzaszalma (B) sorrendben csökkent. Továbbá az összes alkalmazott szervesanyag talajba forgatása az 53-250 µm mikroaggregátum frakció mennyiségét mindkét vizsgált mintavételi mélységben, mindkét vizsgálati módszer szerint csökkentette. Ez az 53-250 µm mikroaggregátum frakció a Gyors nedvesítéses (GyN) módszer során <53 µm iszap és agyag frakcióra iszapolódnak szét, a Lassú nedvesítéses (LN) módszer során viszont a nagyobb méretű makroaggregátum frakciókban maradt. Ez az eredmény bizonyítja, hogy a szervesanyag talajba juttatása serkenti a mikroaggregátumok közötti ideiglenes, átmeneti kötések keletkezését, azok makroaggregátumokká való összekapcsolódását.

Eredményeinek összegezve elmondhatjuk, hogy a különböző minőségű szervesanyagokat egymáshoz viszonyítva azt tapasztaltuk, hogy az aggregátumok vízállóságát a következő sorrendben növelték: kukoricaszár és búzaszalma (K & B) > kukoricaszár (K) > búzaszalma (B).

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Munkánkat a „Precíziós Mezőgazdaság Program: Termőhely-specifikus precíziós növénytermesztési rendszer kidolgozása és széleskörű gyakorlati elterjesztése” elnevezésű kutatási program tette lehetővé (OTKA-szám: TS 049875). Ezúton szeretnénk megköszönni a Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztéstani és Talajtani Tanszék vezetőinek, Dr. Kismányoky Tamás és Dr. Hoffmann Sándor uraknak, hogy a mintavételezést lehetővé tették számunkra, Dr. Tóth Zoltán és Zsittyán Tamás uraknak pedig a mintavételezéskor nyújtott segítséget, Radimszky László és Kődöböcz László uraknak a mintavételezéskor és a minták feldolgozásakor nyújtott nélkülözhetetlen segítségét.

IRODALOM

- Bordovsky, D. G.-Choudhary, M.-Gerard, C. (1999): Effect of tillage, cropping, and residue management on soil properties in the Texas Rolling Plains. *Soil Science*. 164. 5: 331-340.
- Chan, K. Y.-Heenan, D. P. (1999): Lime-induced loss of soil organic carbon and effect on aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal*. 63: 1841-1844.
- Christensen, B. T. (1986): Straw incorporation and soil organic matter in macro-aggregates and particle size separates. *Journal of Soil Science*. 37: 125-135.
- Dinel, H.-Righi, D.-Hardy, M.-Jambu, P. (1997): Neutral lipids and structural stability of physically degraded soils. *Agrochimica*. 41: 97-108.
- Emerson, W. W. (1977): Physical properties and structure. In: *Soil factors and crop production in semi-arid environment*. University of Queensland Press. 78-104.
- Haynes, R. J.-Beare, M. H. (1997): Influence of six crop species on aggregate stability and some labile organic matter fractions. *Soil Biol. Biochem*. 29: 1647-1653.

- Hofman, G.-de Leenheer, L. (1975): Influence of soil pre-wetting on aggregate instability. *Pedologie*. 25: 190-198.
- Huisz A. (2007): A talaj aggregátum-stabilitása az egységes aggregátum-stabilitási mutató tükrében. *Debreceni Agrártudományi Közlemények, különszám*, 26: 83-99.
- John, B.-Yamashita, T.-Ludwig, B.-Flessa, H. (2005): Storage of organic carbon in aggregate and density fractions of silty soils under different types of land use. *Geoderma*. 128: 63-79.
- Kay, B. D. (1998): Soil structure and organic carbon: a review. (In: Lal, R. et al. (eds.) 1998: *Soil Processes and the Carbon Cycle*) CRC Press, Boca Raton, FL, 169-197.
- Kemper, W. D.-Rosneau, R. C. (1986): Aggregate Stability and Size Distribution (In: Klute, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis Agronomy*. 9: 1.
- Lynch, J. M.-Elliott, L. F. (1983): Aggregate stabilization of volcanic ash and soil during microbial degradation of straw. *Applied and Environmental Microbiology*. 45: 1398-1401.
- Martens, D. A. (2000): Plant residue biochemistry regulates soil carbon cycling and carbon sequestration. *Soil Biol. Biochem.* 32: 361-369.
- Martens, D. A.-Frankenberger, W. T. Jr. (1992): Modification of infiltration rates in an organic-amended irrigated soil. *J. Agron.* 84: 707-717.
- Monreal, C. M.-Schnitzer, M.-Schulten, H. R.-Campbell, C. A.-Anderson, D. W. (1995): Soil organic structures in macro and microaggregates of a cultivated brown chernozem. *Soil Biol. Biochem.* 27: 845-853.
- Nikiforoff, C. (1941): Hardpan and microrelief in certain soil complexes of California. Department of Agriculture, Washington DC. Technical Bulletin 745, US.
- Oades, J. M.-Waters, A. G. (1991): Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29: 815-28.
- Palm, C. A.-Rowland, A. P. (1997): Minimum dataset for characterization of plant quality for decomposition. (In: Cadisch, G.-Giller, K. E. (eds.) 1997: *Driven by Nature: Plant Litter Quality and Decomposition*, CAB International, Wallingford, UK, 379-392.
- Pare, T.-Dinel, H.-Moulin, A. P.-Townley-Smith, L. (1999): Organic matter quality and structural stability of a Black Chernozemic soil under different manure and tillage practices. *Geoderma*. 91: 311-326.
- Paul, E. A. (1984): Dynamics of organic matter in soils. *Plant and Soil*. 76: 275-285.
- Piccolo, A.-Pietramellara, G.-Mbagwu, J. S. C. (1997): Use of humic substances as soil conditioners to increase aggregate stability. *Geoderma*. 75: 267-277.
- Raimbault, B. A.-Vyn, T. J. (1991): Crop rotation and tillage effects on maize growth and soil structural stability. *Agron. J.* 83: 979-985.
- Schulten, H. R.-Leinweber, P. (2000): New insights into organic-mineral particles: composition, properties and models of molecular structure. *Biol. Fertil. Soils* 30: 399-432.
- Six, J.-Elliott, E. T.-Paustian, K. (1999): Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1350-1358
- Six, J.-Elliott, E. T.-Paustian, K. (2000): Soil Structure and Soil Organic Matter: II. A Normalized Stability Index and the Effect of Mineralogy. *Soil Science Society of America Journal*. 64: 1042-1049.
- Tisdall, J. M.-Oades, J. M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33: 141-163.
- Yadvinder, S.-Singh, B.-Meelu, O. P.-Khind, C. S. (2000): Long-term effects of organic manuring and crop residues on the productivity and sustainability of rice-wheat cropping system in Northwest India. (In: Abrol, et al. (eds.) *Long-term Soil Fertility Experiments in Rice-Wheat Cropping Systems*.) New Delhi, India: Rice-Wheat Consortium for the Indo-Gangetic Plains. Rice-Wheat Consortium Paper Series 6.
- Várallyay, Gy. (2002): Basic skills of agricultural water management. Budapest (Handbook of University of Agriculture Gödöllő)