

A talaj aggregátum-stabilitása az egységes aggregátum-stabilitási mutató tükrében

Huisz Andrea

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

ÖSSZEFOGLALÁS

A talaj szerkezete és annak minősége fontos tulajdonság, mivel számos lényeges talajbeli folyamatot befolyásol. A talajművelés, a termesztett növények és egyéb tényezők mind nagy hatással vannak a talaj szerkezetére, ezért annak hatékony védelméhez szükséges nyomon követni a talaj szerkezetének változását. Ennek számszerűsítésére tett kísérletet Six et al. (2000) az egységes aggregátum-stabilitási mutató kidolgozásakor, amelyet összehasonlított más mutatókkal. A témában eddig legáltalánosabban használt módszert (a nedves szitálást) úgy módosította, hogy így kiküszöbölje az eltérő talajtípusok különböző szemcseméretű ásványi frakciójából adódó, és a vizsgálatok közben felmerülő zavaró hatásokat. Így lehetővé tette a talajművelés vagy a növénytermelés miatt eltérő talajszerkezetek közötti különbségek számszerűsítését, azok összehasonlíthatóvá tételét. Jelen tanulmányban a Six et al. (2000) által javasolt módszert és az egységes aggregátum-stabilitási mutatót ismertetjük és értékeljük saját kísérleti eredményeink alapján.

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

SUMMARY

Soil structure and its quality are fundamental properties because they control many processes in soils. Tillage, crop and other factors influence soil structure. Efficient protection of it needs indication of changes in soil structure. A new Normalized Stability Index proposed by Six et al. (2000) tries to evaluate these changes, which was compared with some former used indices. The most common method (wet sieving) was modified to reduce the confounding effects of different particle size distribution of different soil types and method used to the investigation. Changes in soil structure caused by tillage and crop management therefore have been made quantitative and comparable. In this paper, we review the new method and Normalized Stability Index proposed by Six et al. (2000) and present the results of our investigations.

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

BEVEZETÉS

A talajszerkezet minősége, a jó minőség megőrzése a mezőgazdaság szempontjából alapvető fontosságú, mivel a talajszerkezet lényeges folyamatokat tesz lehetővé, illetve módosít. Biztosítja például a tápelemek elraktározását vagy éppen feltárását, a reakciók közegét a talajban jelen levő kémiai komponensek számára, lehetővé teszi a talajlevegő- és nedvesség áramlását, közvetve pedig a talaj biológiai aktivitását és termékenységét. Napjainkban egyre gyakoribb a talaj szerkezetének

fokozatos leromlása, stabilitásának és tápanyag-szolgáltató képességének csökkenése (Chan és Heenan, 1999), amely sajnálatos módon összefügg a talajhasználattal és a növénytermesztési technológiákkal. Mindezeket a szervesanyag mennyiségének csökkenése, a talaj tömörödése, a savanyodás, a szikesedés és a talajlakó élőlények élettevékenységének csökkenése okozza. Ezek a változások csökkentik a talaj vízbefogadó képességét, ezáltal növelik a felszíni lefolyást és az eróziót, rontják a talaj művelhetőségét és levegőző képességét. Végül olyan gazdaságilag kedvezőtlen következményeket okoznak, mint a magasabb művelési költségek, vagy a csökkent terméseredmények. Emiatt a talajszerkezet hatékony védelméhez szükséges annak változását nyomon követni, illetve számszerűsíteni. A talajszerkezetnek a növénytermesztés, erózió vagy egyszerűen csak a különböző talajtípus vagy mintavételi helyszín okozta eltéréseit már a múlt század elején sok országban, köztük hazánkban is nagy intenzitással, számos módszerrel vizsgálták, és teszik ezt napjainkban is. Ezen vizsgálatok eredményeinek értékelhetősége azonban a vizsgálati módszerek tudományos indokokat nélkülöző, nagyon gyakran önkényes, nem a természetes folyamatokat leíró volta miatt kétséges.

Six et al. (2000) a korábban van Steenberg et al. (1991) által kifejlesztett talajszerkezet-változást jelző indexet úgy módosította, hogy az alkalmas legyen (1) megbízhatóan kimutatni a talajtípusok, a talajművelés vagy a növénytermelés okozta talajszerkezeti különbségeket, változásokat, és (2) kiküszöbölje ki a vizsgálatok végzésekor felmerülő, vagyis nem a fenti okokra visszavezethető változások zavaró hatását. Jelen tanulmányban a Six et al. (2000) által javasolt talajszerkezet-változást vizsgáló módszert és az azzal kapott eredmények kiértékelését ismertetjük és értékeljük saját eredményeink alapján. Vizsgálataink célja a szervesstrágyázás talajszerkezetre és annak minőségére gyakorolt hatásának számszerűsítése volt.

A TALAJSZERKEZET

Talajszerkezet alatt a talajt alkotó ásványi és szerves alkotórészek különböző erők hatására létrejövő csoportosulásából keletkező anyaghalmozatok alak és nagyság által megszabott térbeli elrendeződését értjük. A talajszerkezet lényegesen befolyásolja a talajban lejátszódó fizikai, kémiai és biológiai folyamatokat. Meghatározza a talaj víz- és légáteresztő és -szolgáltató képességét, az erózióra és rögösödéssre való hajlamát, a

tápanyagok körforgalmát, átjárhatóságát a gyökerek számára és a termésmennyiséget (Lal, 1991; Bronick és Lal, 2005). Várallyay (2002) szerint a szerkezeti elemek fejlettségének mértékét, vagyis azok alakját és nagyságát a genetikai talajszerkezet írja le. Ez a morfológiai megközelítés. Mindezek a talajképződési folyamatok által befolyásolt tulajdonságok. A talajtípusok ezen jellemzőik alapján különíthetők el egymástól. Gyakorlati szempontból a talaj szerkezeti állapotát, a szerkezeti elemek vízzel és művelőeszközökkel szembeni ellenálló képességét, tápanyag-szolgáltató képességét, vagyis a talaj növénytermelésre való alkalmasságát pedig az agronómiai talajszerkezet írja le.

Talaj-aggregátumok

Azonban a talaj szerkezetét nem bizonyos szerkezeti elemek véletlenszerű elrendeződése, hanem a talajrészecskék csoportjai hozzák létre, melyek egymáshoz nagyobb erővel kötődnek, mint a többi környező talajszemcsékhez (Nikiforoff, 1941; Kemper és Rosneau, 1986), és amelyek összetett folyamatok során számos különböző ragasztóanyag és kötőerő hatására keletkeznek. Ezek a néhány mm átmérőjű aggregátumok a talaj szerkezeti egységei, az ásványi részecskéknek szerves vagy szervesetlen vegyületek hatására új struktúrába való elrendeződésével és összekapcsolódásával létrejött másodlagos szerkezetek (Duiker et al., 2003; Lal, 1991). Részen ezek felelősek a talaj szerkezetességének kialakításáért (Tisdall és Oades, 1982). Ilyen aggregátumok minden kolloid anyagot tartalmazó talajban kialakulnak. Bennük az eltérő méretű szemcsék csoportjai még a talajművelés, az intenzív esőzések vagy a nedvesedés és a kiszáradás okozta zavaró hatások ellenére is megtartják elrendeződésüket.

Az aggregátumok kialakulásának és lebomlásának összetett folyamata számos tényező együttes hatásának eredménye. Ilyenek a talajképződési folyamatok, a környezet, a talajművelés, a növényzet, a talaj mikrobiológiai aktivitása, a talaj fagyása vagy kiszáradása és a rendelkezésre álló talajnedvesség, és a talajtulajdonságok: a talajszerkezet, az ásványi összetétel, a szervesanyag-tartalom, a kicserélhető ionok, a tápanyagkészlet (Kay, 1998; Bronick és Lal, 2005; Stefanovits et al., 1999).

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 morzsás állapotnak nevezzük. A talaj morzsás szerkezete művelt talajokban létfontosságú, mivel számos talajtulajdonságot befolyásol, amelyek meghatározzák a talaj tápanyag-szolgáltató képességét, a vízbeszívargást, a porozitás viszonyokat, a talaj levegőzöttségét, és életteret biztosítanak a talajlakó élőlényeknek. A földművelési

szempontból kívánatos talajmorzsák 0,25-0,5 mm-nél (250-500 μ m-nél) nagyobbak. A legkedvezőbb a nagyrészt 2-3 mm-es morzsákból álló talaj (di Gléria et al., 1957).

Az aggregátumok felosztása

Az aggregátumok a talaj szerkezeti egységei: ásványi részecskéknek szerves vagy szervesetlen vegyületekkel való összekapcsolódásával létrejött másodlagos képződmények (Kay, 1998; Duiker et al., 2003; Lal, 1991; Stefanovits et al., 1999). Az aggregátumok általánosan náluk kisebb, különböző méretű szerkezeti egységekből épülnek fel változatos kötőelemek és mechanizmusok hatására (Tisdall és Oades, 1982). Az aggregátumokat felépítő elemi ásványi és szerves részecskék, és az aggregátumok nagysága is a mikrométerestől egészen a milliméteres mérettartományig folytonos eloszlást mutat, de túlnyomóan a talajtípusra jellemző bizonyos nagyságrendi csoportokba tartoznak. Azonban az ásványi részecskék és aggregátumok különböző méretű képviselőinek fizikai tulajdonságai bizonyos mérettartományokon belül hasonlóak, az eltérő mérettartományok pedig különböznek egymástól. Emiatt gyakorlati szempontból érdemes a hasonló fizikai tulajdonságú, azonos mérettartományba tartozó elemi ásványi részecskéket vagy aggregátumokat együtt vizsgálni. Ezek alapján nevezetes mérettartományokba eső ásványi szemcse- vagy aggregátum-csoportokat (frakciókat) különíthetünk el (1., 2., 3., 4. táblázat). A talajbeli szervesanyag részecskék méretbeli felosztását az ásványi részecskék és aggregátumok méretéhez hasonlóan végezzük, de ez nincs mindig összefüggésben a szervesanyag kémiai tulajdonságával, lebomlottságának mértékével. E három csoport méret szerinti elkülönítését nehezíti, hogy az ásványi vagy szerves részecskék a belőlük felépülő aggregátumokkal megegyező méretük is lehetnek (Dexter, 1988).

Az aggregátum frakciók nagysága és tulajdonságaik is változatosak, egymástól eltérők. Függnek a vizsgált talaj tulajdonságaitól, a minta előkészítés módjától, a vizsgálati módszertől, a vizsgálat céljától. Emiatt számos szerző önkényesen jelöli ki az aggregátum frakciók mérettartományait, amelyek ennek eredményeképpen változatosak. Stefanovits et al. (1999) például 10 μ m-nél kisebb és 10-250 μ m méretű első- és másodrendű mikro-; 250-1000 μ m méretű makro- és 10.000 μ m-nél nagyobb megaaggregátumokat különböztet meg. A kisméretű mikroaggregátumok képezik a por-, a makroaggregátumok, a morzsá-, a megaaggregátumok pedig a talaj rögfrakcióját. A szerkezeti egységek vázát a 2 μ m-nél nagyobb szemcsék képezik, az ennél kisebb méretű részecskék (az ásványi és szerves kolloidok) pedig a vázrészecskék összeragasztásában vesznek részt (2., 3., 4. táblázat).

A talajt alkotó elemi szemcsék méret szerinti csoportosítása

Szemcse-méret, mm(1)	Szemcsefrakció-kategóriák elnevezése és mérettartománya(2)			
	Kacsinszki Rendszere(3)	USA rendszere(4)	ATTERBERG és a Nemzetközi Talajtani Társaság rendszere(5)	Magyarország rendszere(6)
> 3	Durva kavics(7)	Kavics(8)	Kavics(8)	Kavics(8)
2-3	Kavics(8)			
1-2		Középfinom homok(9)	Nagyon durva homok(17)	Durva homok(18)
0,5-1	Durva homok(18)			
0,25-0,5		Középfinom homok(9)	Finom homok(10)	Finom homok(10)
0,10-0,25	Finom homok(10)			
0,05-0,10		Nagyon finom homok(19)	Finom homok(10)	Finom homok(10)
0,02-0,05	Durva por(11)			
0,01-0,02		Középfinom por(12)	Iszap, por(20)	Iszap, por(20)
0,005-0,01	Finom por(13)			
0,002-0,005		Finom por(13)	Agyag(14)	Agyag(14)
0,001-0,002	Agyag(14)			
< 0,001		Agyag(14)	Agyag(14)	Agyag(14)

Forrás: Várallyay, 2002

Table 1: Particle size groups of soil

Particle size in mm(1), names and size ranges of particle size groups(2), system of Kacinszki(3), system of USDA(4), system of Atterberg and the National Soil Science Society(5), system of Hungary(6), coarse gravel(7), gravel(8), medium fine sand(9), fine sand(10), coarse dust(11), medium fine dust(12), fine dust(13), clay(14), physical sand(15), physical clay(16), very coarse sand(17), coarse sand(18), very fine sand(19), silt and dust(20), coarse fragments(21), silt(22)

A talajt alkotó szerkezeti egységek méret szerinti csoportosítása Stefanovits (1999) szerint

Átmérő, mm(1)	Szerkezeti rangsorolás(2)	Gyakorlati elnevezés(3)
< 0,01	Finom mikroaggregátumok(4)	Porfrakció(8)
0,01-0,25	Mikroaggregátumok(5)	
0,25-1	Makroaggregátumok(6)	Morzsafrakció(9)
1-3		
3-10		
10-20	Megaaggregátumok(7)	Rögfrakció(10)
>20		

Forrás: Stefanovits et al., 1999

Table 2: Aggregate size groups of soil

Diameter in mm(1), theoretical name(2), common name(3), fine microaggregates(4), microaggregates(5), macroaggregates(6), megaaggregates(7), dust fraction(8), aggregate fraction(9), clod fraction(10)

A talajt alkotó szerkezeti egységek méret szerinti csoportosítása Ballenegger és di Gléria (1962) szerint

A frakciók mérethatárai (mm)(1)	A frakció elnevezése(2)
<0,25	Por(3)
0,25-0,5	Aggregátum(4)
0,5-1	
1-3	
3-5	
5-10	
10-20	Apró rög(5)
>20	Rög(6)

Forrás: Ballenegger és di Gléria, 1962

Table 3: Aggregate size groups of soil (2.)

Size ranges of structural units(1), name of fraction(2), dust(3), aggregates(4), fine clods(5), clods(6)

A talajt alkotó szerkezeti egységek méret szerinti csoportosítása Ballenegger és di Gléria (1962) szerint

A szerkezeti egység mérethatárai (mm)(1)	A szerkezeti egység neve(2)	
<0,01	Por(3)	Mikroaggregátum(8)
0,01-0,25		Mezoaggregátum(9)
0,25-1	Apró aggregátum(4)	Makroaggregátum(10)
1-10	Aggregátum(5)	
10-20	Apró rög(6)	
>20	Rög(7)	

Forrás: Ballenegger és di Gléria, 1962

Table 4: Aggregate size groups of soil

Size ranges of structural units(1), name of fraction(2), dust(3), small aggregates(4), aggregates(5), fine clods(6), clods(7), microaggregates(8), mesoaggregates(9), macroaggregates(10)

Az aggregátum frakciók méreteinek összehasonlítása

Méret (mm)(1)		
Tisdall és Oades, 1982	Gale et al., 2000; Elliott, 1986	Six, 1999, 2000; Márquez, 2004
<0,002 Agyagpelyhek(2)		
0,002-0,02 Laza, szerkezet nélküli keverék (mikroorganizmusok, biopolimerek, agyagpelyhek)(3)	<0,020 Iszap-agyag frakció(6)	<0,002-0,053 Iszap-agyag frakció(6)
0,02-0,250 Mikroaggregátum(4)	0,053-0,25 Nagy mikroaggregátumok(7) 0,020-0,053 Kis mikroaggregátumok(8)	0,053-0,25 Mikroaggregátumok(4)
> 0,250 Makroaggregátum(5)	0,25-2 Kis makroaggregátumok(9)	0,25-2 Kis makroaggregátumok(9)
>2 Makroaggregátum(5)	>2 Nagy makroaggregátumok(10)	>2 Nagy makroaggregátumok(10)

Table 5: Comparison of size ranges of aggregate-fractions

Size range(1), clay floccules(2), random mixture, close associations of microorganisms, biopolymers, clay microstructures(3), microaggregates(4), macroaggregates(5), silt and clay fraction(6), large microaggregates(7), small microaggregates(8), small macroaggregates(9), large macroaggregates(10)

A nemzetközi szakirodalom a 250µm-nél nagyobb aggregátumokat makro-, a 250µm-nél kisebbeket mikroaggregátumoknak nevezi (Edwards és Bremner, 1967; Tisdall és Oades, 1982; Elliott, 1986; Miller és Jastrow, 1990; Oades és Waters, 1991). A mikroaggregátumok méretbeli felosztása és mérettartományának alsó határának megállapítása azonban már nem ilyen egységes (5. táblázat): egyes szerzők szerint a mikroaggregátumok 20-250µm, mások szerint <2-250µm mérettartományba sorolhatók. Ennek oka a már említett vizsgálati módszertől és számos talajtulajdonságtól való függés, illetve az, hogy a 2-100µm-es mérettartományról speciális kolloidkémiai viselkedése miatt kevés ismerettel rendelkezünk (Dexter, 1988). Ez utóbbi miatt gyakorlati szempontból bizonyos szerzők a 20-250µm mikroaggregátum frakcióból az 53-250µm tartományt vizsgálják és nagy mikroaggregátum frakciónak nevezik. Megint mások csak az 53-250µm tartományt tekintik mikroaggregátum frakciónak, az 53µm-nél kisebb frakciót pedig egységesen iszap-agyag (vagy ásványi) frakciónak nevezik. Az aggregátumok méretbeli felosztásáról és tulajdonságaikról Tisdall és Oades (1982) és Oades és Waters (1991) közöl áttekintést (6. táblázat). Az általuk feltételezett aggregátum-formák és azok mérettartományai között sok az átfedés, de főleg a nagyobb frakciók leírására elegendő vizsgálati

eredmény létezik. Az általuk megfogalmazott „Mérettartomány szerinti aggregátum elmélet” olyan talajokra érvényes, melyekben az aggregátum megszilárdításáért a szervesanyag felelős, Alfisol és Mollisol típusú talajokra (viszont nem érvényes az Oxisol típusú talajokra, melyekben az aggregátumok megszilárdításáért oxid-vegyületek felelősek). Különböző típusú talajok szerkezetének aggregátsági mértéke azonban eltérő lehet. Következtetéseik szerint a vízálló szerkezeti egységek méret szerinti eloszlása nem egyenletes, és ezen egységek vízzel szembeni ellenálló képessége egy-egy uralkodó ragasztóanyag vagy mechanizmus hatásának eredménye.

Tisdall és Oades (1982) szerint az általuk vizsgált „red-brown earth” talajban, (amely az Alfisol-ok csoportjába tartozik,) a 2000µm-nél nagyobb aggregátum frakcióban az aggregátumokat és elemi szemcséket 2% szervesanyag tartalom felett finom gyökér- és gombahifa hálózat kapcsolja össze. 1% szervesanyag tartalom alatt viszont csak ideiglenes kötő mechanizmusok. Emiatt a 2000µm-nél nagyobb aggregátum frakció stabilitása nagymértékben függ a növényi gyökerek és a gombahifák jelenlététől, és a talajművelési eljárásoktól. Ezek a szerkezeti elemek porózusak, és főleg 20-250µm-es egységekből állnak.

A 20-250µm-es aggregátum frakció ellenáll a gyors átnedvesedésnek, és a talajművelő eljárások sem rombolják őket. Ezt egyrészt kis méretük, másrészt számos kötőanyaguk okozza, melyek hatása összeadódik. A 100-200µm-es aggregátumok központjában elektronmikroszkópon jól látható „szervesanyag-maradvány mag” található (Oades és Waters, 1991). Ezek az aggregátumok elég stabilak, de az intenzív művelés roncsolhatja őket. A 90µm-nél kisebb aggregátumokban a növényi maradványok a nagyon előrehaladott lebomlás miatt egyre nehezebben felismerhetők. Ezeknek az aggregátumoknak a belsejében található az utolsó növényi maradványok, főleg lignin edénynyalábok, még gyakrabban a már teljesen lebomlott szervesanyag-maradvány körüli üres tér. A „szervesanyag-maradvány mag” teljes lebomlása után annak bomlástermékei képesek hosszú távon stabilizálni az aggregátumot. A 20-250µm-es aggregátum frakció nagyrészt 2-20µm-es aggregátumokból áll.

A 2-20µm-es aggregátumokat különböző ragasztó anyagok kapcsolják össze, például tartós kötést biztosító szervesanyagok és alumino-szilikátok. Bennük „növényi maradvány mag” szinte alig ismerhető fel, a szervesanyag döntően mikrobiális eredetű. A 2-20µm-es agyag-aggregátumok 2µm-nél kisebb agyagrészecskékből állnak össze, melyek között olyan erős szervesanyag okozta kötések

találhatóak, hogy ellenállnak a talajművelési eljárásoknak. Ezek a 2-20µm-es agyag-aggregátumok általában szinte teljesen vízállóak, főleg csernozjom talajokban és füves területeken. Ebben a 2-20µm-es mérettartományban gyakran találhatóak agyagpelyhek (vagy más néven flokkulátumok), melyek az agyag-részecskék kristályszerkezetet nem képező összekapcsolódásával jönnek létre, és agyaggal bevont baktérium-kolóniák, de főleg mikroorganizmusok, biopolimerek és agyag mikrostruktúrák laza, szerkezet nélküli keveréke (Oades és Waters, 1991).

A 2-20µm-es agyag-aggregátumokból szervesanyag hatására 2-53µm-es aggregátumok kapcsolódhatnak össze.

A 2µm-nél kisebb aggregátumok általában agyagpelyhek (vagy más néven flokkulátumok), amelyek nagyobb pelyhekké állhatnak össze, illetve lehetnek nagyon finom ásványi szemcsék szervesanyag és vasoxidok által összekapcsolt egysége.

Nagymennyiségű szerves és szervesetlen kolloidot tartalmazó talajokban a 2µm-nél kisebb mérettartományban szerkezet csak nehezen ismerhető fel (Oades és Waters, 1991).

Más szerzők a mikroaggregátum frakciót három alcsoportra bontják: 2µm-nél kisebb, 2-20µm-es, és 20-250µm frakciókra (Synder és Vázquez, 2005).

6. táblázat

Aggregátum formák mérettartománya, alkotó elemei és ragasztóanyaga, mechanizmusai „red-brown earth” talajban Tisdall és Oades (1982) és Oades és Waters (1991) szerint

Aggregátum frakció mérete(1)	Alkotó elemek(2)	Ragasztóanyagok, mechanizmusok(3)
<2µm	agyagpelyhek, nagyon finom ásványi szemcsék egysége(4)	szervesanyag és vasoxidok(5)
2-20µm	Agyag-aggregátumok, agyag-pelyhek, agyaggal bevont baktérium-kolóniák, mikroorganizmusok, biopolimerek és agyag mikro-struktúrák laza, szerkezet nélküli keveréke(6)	mikrobiális eredetű szervesanyagok és alumino-szilikátok(7)
2-53µm	2µm-nél kisebb agyagrészecskékből összekapcsolódó agyag-aggregátumok(8)	Szervesanyag(9)
20-250µm	2-20µm aggregátumok(10)	mikrobiális eredetű szervesanyagok és alumino-szilikátok(11)
	20-90µm aggregátumok(12)	Szervesanyag(9)
	100-200µm aggregátumok(13)	Szervesanyag(9)
> 2000µm	20-250µm aggregátumok(14)	gyökér- és gombahifa hálózat vagy ideiglenes kötő mechanizmusok(15)

Forrás: Tisdall és Oades, 1982; Oades és Waters, 1991

Table 6: Size range, components, adhesive and mechanisms of aggregate forms in red-brown earth soil

Size range of aggregate-fraction(1), building particles(2), cementing compounds, binding agents, mechanisms(3), clay floccules, very fine mineral particles(4), organic matter and iron oxides(5), clay-aggregates, clay floccules, colonies of bacteria surrounded by a capsule to which particles of fine clay is attached, random mixture of microorganisms, biopolymers and clay microstructures(6), microbial originated organic matter, aluminosilicates(7), clay aggregates attached of clay particles less than 2µm(8), organic matter(9), aggregates 2-20µm(10), microbial originated aluminosilicates(11), aggregates 20-90µm(12), aggregates 100-200µm(13), aggregates 20-250µm(14), plant roots and fungal hyphae or transient binding agents(15)

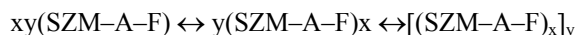
Aggregátum kialakulási elméletek

Az aggregátumok kialakulásáról számos elmélet született. Közülük Hadas (1987) modellje, melyet Dexter (1988) foglalt össze, látszik a legígéretesebbnek egyszerűsége és alkalmazhatósága

miatt (Christopher et al., 1998). E szerint a legalacsonyabb nagyságrendi egység pár ásványi szemcse összekapcsolódása szerves ragasztóanyagok hatására, így az agyagszemcsékből 5µm-es lemezek vagy pelyhek (ún. domain-ek) képződnek (Emerson,

1959, 1977; Tisdall és Oades, 1982). Nagyságrendben a következő szerkezeti egységek a lemezek vagy pelyhek összekapcsolódásával létrejövő „csomók” (ún. klaszterek), és ha ezek mikroaggregátumokká állnak össze, egy nagyságrenddel nagyobb szerkezetet képeznek és így tovább. Azonban nem minden nagyságrendi kategória létezik minden talajtípusban (Dexter, 1988; Christopher et al., 1998).

A 250 μ m-nél kisebb mikroaggregátumok úgy jönnek létre, hogy szerves molekulák (SZM) agyaggal (A) és többértékű fémionokkal (F) kapcsolódnak össze és így 2 μ m-nél kisebb szerves-ásványi részecskék (SZM-A-F) képződnek, melyek további részecskékkel kapcsolódva makroaggregátumokat hoznak létre: [(SZM-A-F)_x]_y (Edwards és Bremner, 1967; Tisdall, 1996; Bronick és Lal, 2005). Ezen a szerveződési szinten A-F-A, SZM-F-SZM, alumínium- és vas-oxid- és hidrogén-kötések is fellépnek. Ez a folyamat az ellenkező irányban is lejátszódhat, szervesanyag-részecskék körül makroaggregátumok képződhetnek (Voronin és Sereda, 1976; Christopher et al., 1998):



ahol x és y az összekapcsolódott szerves-ásványi részecskék eltérő számát mutatja.

Feltételezéseink szerint fokozatos kialakulásuk során minden fejlődési szakaszban eltérő kapcsoló folyamatok játszanak fontos szerepet (Tisdall és Oades, 1982; Bronick és Lal, 2005).

A „Mérettartomány szerinti aggregátum elmélet” alapján a mikroaggregátumok összekapcsolódásával makroaggregátumok jönnek létre, illetve a mikroaggregátumok belső kötése erősebbek, mint a makroaggregátumokban levők (Edwards és Bremner, 1967; Bronick és Lal, 2005). A mikrobák a szervesanyag lebontása közben ragasztóanyagokat termelnek és választanak ki, melyek hatására a makroaggregátum egyre ellenállóbb lesz a lebontással és az egyéb fizikai hatásokkal szemben, végül a makroaggregátum belsejében mikroaggregátum képződik. Amint a makroaggregátum belsejében levő szervesanyag lassan lebomlik, és a mikrobiológiai aktivitás csökken, a kiválasztott ragasztóanyagok mennyisége is csökken, így a makroaggregátum elveszti stabilitását, bomlással szembeni ellenálló képessége csökken, végül lebomlik és nála ellenállóbb mikroaggregátumok szabadulnak fel belőle (Jastrow et al., 1998; Six et al., 1999, 2000; Bronick és Lal, 2005).

A „Körkörös aggregátum elmélet” szerint baktériumok kolóniái körül az általuk kiválasztott poliszacharidokból fokozatosan egy burok, ún. kapszula keletkezik, melybe az agyagszemcsék beleszáradnak, így ún. „bakteriális mikroaggregátumok” jönnek létre. Az aggregátum külső felszínére koncentrikusan újabb rétegek rakódnak. Az agyaghéj védőburkot képez a baktériumkolónia számára és megakadályozza az aggregátum belsejében található szervesanyag

lebomlását (Santos et al., 1997; Bronick és Lal, 2005).

Bronick és Lal (2005) szerint a makroaggregátumok feltehetőleg nagyszámú mikroaggregátum felhalmozódásával, vagy szervesanyag, vagy „bakteriális mag” körül keletkeznek, majd később lebomlásukkor mikroaggregátumokká esnek szét vagy bomlanak le. A mikroaggregátumok valószínűleg előbb agyagrészecskék, szervesanyag-szemcsék és kationok összekapcsolódásával keletkeznek, vagy a makroaggregátumok élelciklusának termékei. A kisméretű ásványi vagy szerves elemi szemcsék képesek az aggregátumok külső felszínén megtapadni és ott felhalmozódni.

Az aggregátumok valószínűleg mindezen fent említett folyamatok kombinációjaként keletkeznek.

Az aggregátumok keletkezését befolyásoló tényezők

Az aggregátumok létrejöttét a talaj szervesanyag tartalma, a talajlakó élőlények élettevékenysége, a kapcsoló ionok jelenléte, a talaj agyag- és karbonát-tartalma, nedvesedése és száradása, a talaj hőmérséklete (fagy) és a növényi gyökerek jelenléte befolyásolja. A talajbéli szervesanyag az aggregátumok képződése során ragasztóanyagként funkcionál, majd a kialakuló aggregátumok központi magját alkotja. A talajlakó élőlények és azok szerves anyagcseretermékei hozzájárulnak a talaj szerkezetének fejlődéséhez. Fontos aggregátum-képződést segítő anyagok a kristályos és amorf fém-oxidok és -hidroxidok: ezek összekötést létesítenek a szerves és szerves-szerves részecskék között. Az aggregátumok képződését a talaj agyagtartalma is segíti: összekapcsolja az elemi szemcséket és befolyásolja a szervesanyag lebomlását és körforgását. Az aggregátumok hosszú távú stabilitását gyakran lebomlásnak ellenálló vegyületek és fém-ionok biztosítják.

A növényi gyökerek és gombahifák behálózják az ásványi részecskéket és szervesanyagokat termelnek, melyek összeragasztják azokat. A gyökerek és a hifák okozta vízelvonás segít stabilizálni az aggregátumokat. Az -oxid, -hidroxid-ionok kicsapódása, a foszfátok és karbonátok segítik az aggregátum-képződést. A kationok, mint a Si⁴⁺, Fe³⁺, Al³⁺ és Ca²⁺ fokozzák az ásványi szemcséket ragasztó anyagok kicsapódását és összekapcsolják az ásványi és szerves szemcséket, így aggregátum képző hatásúak. Amennyiben a talaj kémhatása enyhén savas, az oldódásnak ellenálló szervesanyagok képesek komplexet képezni Fe²⁺- és Al³⁺-ionokkal, így mozgékony fém-szerves komplexek jönnek létre, amelyek a talajban bárhol kicsapódhatnak. Ez a típusú komplexképződés csökkenti a szervesanyag mikrobiológiai hozzáférhetőségét és a mineralizációt (Bronick és Lal, 2005).

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 érlelése után, kötéseik szétöredeznek, így ásványi részeket összeragasztó funkciójukat már nem képesek ellátni. Emiatt a szervesstrágyázás közvetlenül csak kismértékben serkenti az aggregátumok képződését (di Gléria et al., 1957). 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.

Az aggregátum frakciók stabilitását befolyásoló tényezők

A különböző aggregátum frakciók eltérő stabilitását számos faktor befolyásolja, melyeket a következőkben mutatunk be.

A makroaggregátumok stabilitását az élő növényi gyökerek és gombahifák hozzák létre (Oades és Waters, 1991). Ezek pusztulásakor a makroaggregátum stabilitása kezdetben nagymértékben, majd fokozatosan lassulva csökken (Oades és Waters, 1991). Másrészt a makroaggregátumok stabilitása a szervesanyag készlettől és a talajművelési módoktól függően is változik. Ennek oka az, hogy a makroaggregátumokban levő kötőanyagok (mint a gyökerek, gombahifák, mikrobiális és növényi eredetű poliszacharidok) csak átmenetiek, melyeket az intenzív talajművelés rombolhat.

A makroaggregátumok szétesésekor 20-250 μ m-es mikroaggregátumok szabadulnak fel, amelyek lényegesen stabilabbak, mint a nagyobb aggregátumok. A mikroaggregátumok stabilitását főleg a belsejükben található szervesanyag „mag” befolyásolja, amely táplálékforrásul szolgál az aggregátumban élő mikroorganizmusoknak, így hat azok ragasztóanyag-termelésére (Oades és Waters, 1991). A mikroaggregátumok nagyfokú stabilitását az agyagrészecskék, az aromás humuszanyagok és kicsapódó vas- és alumínium-vegyületek között kialakuló tartós kötések okozzák, illetve ebben a talaj agyagásvány-összetételének is fontos szerepe lehet (Khrisna Murthi et al., 1977; Six et al., 2000). A mikroaggregátumok stabilitása nem függ sem a talaj szervesanyag-tartalmától, sem a talajművelési eljárásoktól: ezek nem okozzák szétesésüket (Tisdall és Oades, 1982; Christopher et al., 1998), viszont a becsapódó esőcseppek mechanikai energiája, vagy a sók, elektrolitok igen.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A mintavételi hely leírása és a talaj jellemzése

A talajmintákat a Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar Növénytermesztéstan és Talajtani Tanszék „Szerves- és műtrágyák hatásának összehasonlító kísérlete” 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 kísérlet tartama alatt a területen a következő növényi sorrendben termesztették a növényeket: cukorrépa-kukorica-kukorica-őszi búza-őszi búza (1985-ig vöröshere). A mintavétel évében a területen kukoricát termesztettek. Vizsgálatunk célja a szervesstrágyázás talajszerkezetre és annak minőségére gyakorolt hatásának vizsgálata volt. Az alkalmazott szerves- és műtrágyák éves mennyisége hektáronként: 0 kg N + 0 kg P + 0 kg K a kontroll parcella esetében, és 0 kg N + 0 kg P + 0 kg K és 6×17,3 t/ha istállótrágya (5 év alatt 2 részletben) a szervesstrágyázott kezelésben. Mindkét 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). Minden kísérleti parcellán 4 pontból vettünk bolygatott talajmintát, melyeket parcellán belül, mélységi kategóriánként homogenizáltunk.

Az aggregátumok stabilitásának vizsgálata

A talajmorzsák akkor tudják fontos feladataikat betölteni, ha megfelelő stabilitásúak: vagyis ha az aggregátumon belüli összetartó erők meghaladják a rájuk ható romboló erőt (Kemper és Rosneau, 1986; di Gléria et al., 1957). Ezt a tulajdonságukat aggregátum-stabilitásnak nevezzük. Ha az aggregátumok kisebb egységekre, esetleg elsődleges talajrészecskékre esnek szét, a talajszerkezet megbomlik, az aggregátumok a talaj tömegében átrendeződnek, aminek következtében a póruster jellege megváltozik, és 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. Ennek mechanizmusát Dexter (1988) írta le. A nagyobb aggregátumok egyre csökkenő ellenálló képességét a saját növekvő térfogatuk okozza. Az aggregátum növekedésével annak tömege nagyobb ütemben nő, mint a felszíne, mivel a tömeg a gömb alakú aggregátum sugarának köbével, felszíne viszont csak a sugár négyzetével nő. Így a gravitációs és az adhéziós erő hatása összeadódik, és az aggregátum tömege nő. Azonban az aggregátum tömegének növekedésével a kötőerő nem tart lépést; állandó marad. Emiatt az egyre növekvő aggregátumok stabilitása egyre kisebb. Ehhez

hozzájárul az is, hogy a kisebb részecskék a körülöttük levő pórustérrel, vagyis levegővel telt csatornákkal együtt alkotják a következő nagyság szerinti csoportot, ezek pedig csökkentik az aggregátum szilárdságát és ellenállóságát, így a nagyobb aggregátumok a mechanikai hatásokkal szemben kevésbé ellenállóak, mint a kisebbek (Dexter, 1988; Christopher et al., 1998; Hadas, 1987). Hadas (1987) és Dexter (1988) szerint egy adott nagyság szerinti csoport szétválasztásakor a nála nagyobb szerkezeti egységek részeikre esnek szét, de az annál kisebb egységek sértetlenek maradnak (Brady, 1990; Tisdall és Oades, 1982; Christopher et al., 1998).

A talaj szerkezeti minőségének jellemzésére gyakran használják az aggregátumok stabilitásának mértékét (Six et al., 2000; Bronick és Lal, 2005). Az aggregátumok stabilitása az a tulajdonságuk, hogy az aggregátumon belüli összetartó erők képesek-e elviselni az alkalmazott romboló erőt. A talajszerkezet ellenállóságát úgy számszerűsíthetjük, hogy vizsgáljuk egy ismert nagyságú szerkezetet romboló erő hatására: mérjük az ennek hatására épen maradó aggregátum frakciók mennyiségét, tömegét. A mérések eredményei akkor jellemzik a valódi talajszerkezet ellenálló képességét, ha az alkalmazott romboló erő hasonlít a természetben fellépő és aggregátum bomlást okozó erőkhez.

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). Ez a fajta szétválasztás általános és sokféle talajon fellép abban az esetben, ha az aggregátum nem elég ellenálló, hogy elviselje annak belsejéből, a duzzadó és vízzel telítődő pórusokból kiszabaduló levegő okozta nyomást. Az ionok hidratációja és az ozmózis vizet pumpál az agyagszemcsékből összekapcsolódott lemezek köze, eltávolítva őket egymástól és az őket körülvevő aggregátumok duzzadását okozva. Ha az aggregátumok túl gyorsan nedvesednek, a nedves rész a szárazhoz képest olyan nagymértékben duzzadhat, hogy a két rész közötti felületen nyíróerők lépnek fel, amelyek képesek az aggregátumot stabilizáló kötéseket szétválasztani. Mivel a kötőanyagok egy része vízben oldható, a talaj nedvesedésével kioldódnak. Más anyagok kötőereje a hidratációval együtt gyengül. Ha az aggregátumokat légköri nyomáson lassan, vagy légüres térben gyorsan nedvesítjük, az aggregátum belsejében rekedt levegő képes az aggregátum rombolása nélkül eltávozni, így ez a két módszer nem romboló hatású.

Természetes körülmények között a szétválasztás csak a növényzettel nem borított területek felszíni rétegeiben fordul elő, mivel ezek gyakran teljes mértékben kiszáradnak, majd a csapadék érkezésekor hirtelen nedvesednek. A nagyobb nedvességtartalmú, de szét még nem ázott

aggregátumok vízállósága nagyobb, mint a légszárazaké. Lyles (1974) mesterséges esőztetés kísérlete az előzetesen nedvesített talajmintával kétszer annyi ép aggregátumot eredményezett, mint amikor nem nedvesítette elő a talajmintát. A felszíni talajrétegek teljes szétválasztódása nagyon súlyos talajleromlás, mivel ezek a rétegek akadályozzák a vízbeszívargást és a csírázást (Tisdall és Oades, 1982). Az aggregátum szétválasztódásával létrejövő kisebb egységek vagy kisebb aggregátumok szintén instabilak lehetnek, így elemi agyagszemcsék szabadulhatnak fel. Ezek képesek eltönni a víz és levegő áramlásához nélkülözhetetlen pórusokat. A duzzadást és a szétválasztást az agyagszemcsékkel kapcsolódó kicserélhető Na^+ - és Mg^{2+} -ionok, és az elektrolit koncentráció okozzák.

A talajszerkezet annál jobb, minél nagyobb az aggregátumok vízállósága. Azonban az aggregátumok vízállóságának relatív volta miatt csak az azonos módszerrel előkészített, azonos romboló erő alkalmazása után kapott frakciók vízállóságát hasonlíthatjuk össze. Ezt leggyakrabban nedves szítással vagy más szóval nedves szítással aggregátum-analízissel vizsgáljuk. A módszert Tyulin (1928) találta fel (in di Gléria et al., 1957), majd később számos szerző módosította (például Baksejev, 1951; Dvoracek, 1950; Marquetant és Várallyai, 1952; Meyer és Rennenkamp, 1936; Pigulevszkij, 1936; Szavvinov, 1931 és Versinyin, 1952 /in di Gléria et al., 1957/). A nedves szítálás során ismert tömegű, valamilyen módszerrel előkezelt (előnedvesített) talajmintát folyamatos vízáram vagy külső vízköpeny segítségével különböző pórusméretű szítákon leszítalunk: így a szíták pórusai által meghatározott mérettartományú aggregátum frakciókat kapunk. Vízálló aggregátum frakcióknak a nedves szítálás után adott pórusméretet, vagyis szemcsenagyságot meghaladó aggregátumokat és azok törmelékeit nevezük. A nedves szítással módszerrel nyert adatok közvetlenül a vízálló talaj-aggregátumok százalékos mennyiségét adják meg. A módszer előnye, hogy egymással összehasonlítható értékeket kapunk.

A nedves szítálást a vizsgálandó aggregátum frakciók mérettartományának megfelelő különböző lyukbőségű szítákkal végezzük. A szítálás végezhető a szíták egymás utáni, egyenkénti alkalmazásával, ekkor a fokozatosan csökkenő lyukméretű szíták felületén maradt vízálló aggregátumokat a soron következő kisebb lyukbőségű szita segítségével újra szítaljuk. Ennek a módszernek az alkalmazásakor a vizsgálandó frakciók számánál eggyel kevesebbszer kell a szítálást elvégezni, ami időben nagyon hosszadalmas. Így végzi a nedves aggregátum analízist például Six et al. (1999, 2000), Márquez et al. (2004), Cambardella és Elliott (1993). A másik módszer a szíták sorozatba építése, így a szítálás egyetlen lépésben végezhető: ekkor a szítákat fokozatosan csökkenő lyukbőségű sorozatban építik egymásba. A nedves szítálást számos szerző kézi erővel végzi (Six et al., 2000; Elliott, 1986; Márquez et al., 2004; Cambardella és Elliott, 1993). Mások automatizált készülékbe építve (Yoder, 1936; Haynes

és Swift, 1990; Haynes és Beare, 1997; Jiao et al., 2003; Pagliai et al., 2004; Whalen et al., 2003; Beare et al., 1994). Az aggregátumok vízállóságának automatizált szitarázó géppel való vizsgálata a kézi szítással szemben az azonos rombolóerő alkalmazása miatt valóban összehasonlítható eredményeket ad, ezért nagyobb számú minták sorozatvizsgálatára inkább ez javasolható. Ilyen készüléket először Yoder (1936) fejlesztett ki, melyben a több szitából összeépített szitaoszlopot egy motoros szerkezet egy vízzel teli tartályban mozgatott fel-le. Ez a készülék harminc percig percnként harmincszor emelgette a szitaoszlopot. Később más szerzők (Kemper és Koch, 1966) egy függőleges tengely körül több kisebb átmérőjű szitát egyszerre fel-le mozgó szerkezetet készítettek, melyben a szitaoszlop emelésekor alkalmazott kitérés mértékét, a szítálás idejét és a percnkénti emelgetésszámot változtatni lehetett, hogy a vizsgálat pontosabb és reprodukálhatóbb legyen. A Meyer – Rennenkamp (Ballenegger és di Gléria, 1962) szerzőpáros több szitából álló szitaoszlopot épített össze, mely mozdulatlanul állt, és benne pumpálással fel-le mozgatott vízárám különítette el az aggregátum frakciókat. Ezt a készüléket hazánkban Klimes-Szmik és Dvoracek (di Gléria et al., 1957; Ballenegger és di Gléria, 1962) kisebb részleteiben módosította.

Aggregátum-stabilitási mutatók

A közepes mért átmérő

A talaj aggregátum stabilitását gyakran egy önkényesen kiválasztott aggregátum frakción keresztül mutatják be, ami nem a teljes talajt jellemzi. A teljes talajszerkezetet az összes aggregátum frakciót egyesítve a van Bavel (1953, in Kemper és Rosenau, 1986) által bevezetett közepes mért átmérő (KMÁ) jellemzi egy számértékben. A KMÁ-t gyakran használják a talajművelési módok hatásainak összehasonlítására. Angers et al. (1993b) szerint például két egymást követő évben végzett szántás jelentősen csökkentette a vízálló aggregátumok KMÁ-jét a csökkentett műveléshez képest. Haynes és Francis (1993) pedig a KMÁ jelentős növekedéséről számolt be 3 éves rozs > egyéves rozs > 3éves here > árpa termesztéses kísérletében.

Azonban Stirk (1958) szerint a KMÁ alkalmazása kérdéses olyan esetekben, amikor az aggregátum frakciók tömege nem normál eloszlást mutat. Ezen kívül gyakran okoz problémát a különböző mintavételi területek, vagy talajművelési módok okozta talajszerkezet-változások összehasonlítása a KMÁ átlagainak felhasználásával. Ezt három zavaró körülmény okozza: a talajminták (1) eltérő, önkényes előkészítési módja (Beare és Bruce, 1993; Gollany et al., 1991), (2) eltérő előzetes nedvességtartalma (Angers et al., 1993a; Perfect et al., 1990) és (3) különböző homok-tartalma (Angers et al., 1993b; Caron et al., 1992; Elliott, 1986; Gollany et al., 1991; Perfect et al., 1990).

Minta-előkészítés. A talajminták előkészítési módjáról annyit szükséges megjegyezni, hogy mivel célunk a talajszerkezet természetes változásainak kimutatása, törekednünk kell annak lehető legnagyobb mértékű megóvására a mintavételkor, majd később annak kezelésekor. A mintavételre a talajmunkák végzésére legalkalmasabb időszakok a megfelelőek, amikor a talaj nedvességtartalma a talajművelés számára optimális. Az ekkor végzett mintavétel nem okozza a túl nedves talajmorzsák kenődését, illetve a mintavétel a talaj kisebb ellenállása miatt könnyebben elvégezhető. A mintavételt lehetőleg ásóval végezzük, mivel a kisebb átmérőjű talajfűrők tömörödést okoznak. A 6cm-es vagy annál nagyobb talajfűrők alkalmazásakor a minta 2-3 cm-es átmérőjű belső magját használjuk az aggregátumok vizsgálatára, mert a külső részek a tömörödés miatt nem az eredeti talajszerkezetet reprezentálják. Számos szerző (henger vagy kocka alakú) bolygatatlan talajminta vételét javasolja. A talajszerkezet minőségének nedves szítással való vizsgálatához az eredeti szerkezeti állapotú talajtömeget kisebb, kezelhetőbb egységekre kell bontanunk úgy, hogy azok megtartsák természetes szerkezeti állapotukat. A mintavétel után a még nedves talajmintákat kézzel óvatosan diónyínnál kisebb részekre bontjuk úgy, hogy közben próbáljuk elkerülni a talaj szerkezeti elemeinek tömörítését. Ezután a mintákat az összerázódástól és nyomódástól védő, lehetőleg jól szellőző kartondobozokba téve a laboratóriumba szállítjuk. Ott nagyobb tálcákra szétterítve a nagyobb rögöket kézzel óvatosan kisebb egységekre bontjuk szét, majd szobahőmérsékleten hagyjuk megszáradni. A talajmintákat légszáraz állapotban a vizsgálandó aggregátum frakciók felső mérethatára által indokolt lyukméretű szitán előrostáljuk, és az azt meghaladó nagyságú darabokat kézi mozsár segítségével a megfelelő méretűre törjük. Erre a kezdeti aggregátum-méret kialakítása miatt van szükség (Beare et al., 1994; Ballenegger és di Gléria, 1962; Kemper és Rosneau, 1986).

Nedvesség-tartalom. Di Gléria et al. (1957) szerint a talajmorzsák vízállóságát a fizikai-kémiai ragasztókötések, a biológiai védőréteg pillanatnyi aggregátum-stabilizáló hatása és a talaj pillanatnyi nedvességtartalma alakítja ki. Mivel e három tényező közül a két utóbbi időben nagyon gyorsan változik, a talaj-aggregátumok vízállósága az időben is állandóan változó tulajdonság (a szezonidínamikától függetlenül is). A mintavétel után azonnal, eredeti nedvességi állapotban végzett nedves szítással a talaj-aggregátumok pillanatnyi vízállóságát lehet meghatározni. Ezt a fizikai-kémiai kötések, a biológiai védőréteg és a nedvességtartalom közösen alakítják ki. A mintavételt követő szárítás utáni nedves szítással pedig az időben állandó, a talajszerkezet okozta stabilitást lehet meghatározni, melyet a fizikai-kémiai kötések mennyisége és minősége szabja meg (Ballenegger és di Gléria, 1962). Ennek következményeként az aktuális nedvességtartalomban vagy abból szabadföldi

vízkapacitásig kapillárisan nedvesített minták vizsgálata nagy szezonális variabilitást mutatott, melyet részben a talajnedvesség időszaki változásaival összefüggő fizikai hatások okoznak. Mivel ez a változás nincs összefüggésben a talajszerkezet minőségével, hatását szeretnénk kizárni annak vizsgálatokor.

A vizsgálandó talajminta előzetes nedvességi állapota alapvetően meghatározza a kapott aggregátumok stabilitását. Vízzel egyre nagyobb mértékben telített állapotú aggregátum gyors nedvesítésekor a távozó levegő aggregátum-szerkezetet romboló nyomása fokozatosan csökken. Emiatt az előzetes nedvesítés módszerét egységesíteni szükséges (Kemper és Rosneau, 1986). Ennek optimális mértékét, módját számos szerző vizsgálta. Beare és Bruce (1993) négy minta-előkészítési módszer hatását vizsgálta a vízálló aggregátumokra: (1) légszáraz minta kapilláris (lassú) nedvesítését, (2) légszáraz minta túlnyomás alatti nedvesítését, (3) légszáraz minta gyors nedvesítését és áztatását és (4) eredeti nedvességi állapotú minta további nedvesítését kapilláris (lassú) módszerrel. Eredményeik azt mutatták, hogy a (4.) módszerrel előkészített minták tértek el egymástól a legkisebb mértékben, ám ezek az értékek nem alkalmasak a valódi talajszerkezet-változások kimutatására, mivel ez a módszer az aktuális nedvességtartalom által okozott pillanatnyi aggregátum-vízállóság mértékét mutatja (Perfect et al., 1990; Gollany et al., 1991; Angers et al., 1993a). Gollany et al. (1991) az előzetes nedvességtartalom és az aggregátum-stabilitás között fordított összefüggést talált abban az esetben, amikor a talajmintákat aktuális nedvességi állapotban vizsgálták, de ez a két tényező pozitív összefüggést mutatott abban az esetben, amikor a mintákat szabadföldi vízkapacitás értékig nedvesítették. Caron et al. (1992) szintén a talajminta növekvő nedvességtartalmával csökkenő aggregátum-stabilitást mutatott ki, amikor a talajmintákat aktuális nedvességi állapotból fokozatosan a szabadföldi vízkapacitás értékig nedvesítették.

Ezzel szemben a talajminta eredeti nedvességi állapotból szabadföldi vízkapacitás értékig való nedvesítésekor az aggregátum-stabilitást az előzetes mintaszárítási idő befolyásolja, mivel a szervesanyagok száraz körülmények között egyre nagyobb mértékben cementálódnak (Kemper és Rosneau, 1986).

Homoktartalom. A homok-tartalom azért zavarja az aggregátum-stabilitás becslését, mert az aggregátum-méretű ásványi részek nem, csak az azoknál kisebbek képezik részét az aggregátumoknak. A nedves szítálás azonban a két frakció keverékét eredményezi, így az aggregátum-méretű homok frakció tömege hozzáadódik a vízálló aggregátum frakció tömegéhez. Ez a vízálló aggregátum frakció mennyiségének felülértékelését okozza. Továbbá a különböző mintavételi helyszínek eltérő ásványi részecske megoszlása miatt eredményeik nem összehasonlíthatóak. Emiatt szükséges korrigálni az

első nedves szítálás során kapott aggregátum frakció mennyiségeket: ki kell vonnunk ezekből az adatokból az aggregátumokkal azonos méretű homok frakciók tömegét. (Ezt a módszert először di Gléria et al. (1957) említi, de csak Six et al. (2000) használja következetesen számításai során. Six et al. (2000) és jelen dolgozattal ellentétben van Steenberg et al. (1991) az aggregátumok teljes homok-tömegét vonja ki a vízálló aggregátum-tömegekből, de ezzel alulértékeli a valódi aggregátum frakciók tömegét.)

Az egységes aggregátum-stabilitási mutató

Az egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) a van Steenberg et al. (1991) által kifejett aggregátsági index (Aggregation Index, AI) továbbfejlesztett változata. Az EASM számításához kifejlesztett vizsgálati módszer a minták kezdeti, azonos nagyságú szerkezeti egységekre való törésével lehetővé teszi a különböző talajtípusok eltérő nagyságú egységekből álló szerkezetének összehasonlítását, a minták előzetes légszárításával kiegyenlíti a mintavételkor mért pillanatnyi nedvesség-tartalom okozta aggregátum-vízállóság különbségeket, majd a nedves szítáláskor azonos víztartalmú állapotra való nedvesítéssel pedig összehasonlíthatóvá teszi aggregátum-vízállóságukat.

Az EASM az aggregátumok stabilitását úgy számítja, hogy összehasonlíttja azok megoszlását azonos nagyságú rombolóerő alkalmazása előtt és után. Az aggregátumokra ható nagyobb mértékű rombolóerőt gyors nedvesítési módszerrel vizsgáljuk: a légszáraz mintát vízbe öntjük, és ezután 5 percig vízben áztatjuk. A gyors nedvesítéses minta-előkészítési módszer rombolja az aggregátumokat, mert ennek során az aggregátumból túl gyorsan távozó levegő az aggregátumot szétrobbantja, még a nedves szítálás előtt.

Az aggregátumokra ható kisebb mértékű rombolóerőt azok szabadföldi vízkapacitás értékéig történő lassú nedvesítésével vizsgáljuk: a légszáraz mintát filter papíron és nylon filteren keresztül kapillárisan annak szabadföldi vízkapacitás értékéig telítjük. A talaj nedves szítálást 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 nagyobb vízálló aggregátum-mennyiségeket eredményez (Kemper és Rosneau, 1984, 1986). Ezt a nedvesítési módszert javasolja Tyulin (in Di Gléria et al., 1957) is.

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

A lassú nedvesítéssel előkészített minták aggregátum-megoszlását tekintjük a kezdeti értéknek, mert a legnagyobb aggregátum-mennyiséget a talaj szabadföldi vízkapacitásig (g/kg) való kapilláris nedvesítésekor kapták (Hofman és de Leenheer, 1975). A gyors nedvesítéses minta-előkészítési módszert tekintjük a szétrombolódás utáni

aggregációs szintnek. A talajminta szobahőmérsékleten való légszárításával a kezdeti talajnedvesség hatása szinte elhanyagolható (Perfect et al., 1990; Gollany et al., 1991; Angers et al., 1993a; Caron et al., 1992). Bár a szervesen kötött anyagok a szárítás során és az idő előrehaladtával fokozatosan egyre erősebben hatnak (Kemper és Rosneau, 1984), és az ásványi és a szerves részecskék közötti kötések a szárítás során szintén erősödnek (Caron et al., 1992); mindezeket a hatásokat kiküszöböljük azzal, hogy a lassú minta-előkészítési módszerrel kapott eredményekből kivonjuk a gyors nedvesítéssel kapott eredményeket. Számos szerző kimutatta, hogy még 24 órás desztillált vízben történő áztatás sem befolyásolja a szárításnak az aggregátum-képzésre való hatását (Caron et al., 1992; Kemper és Koch, 1966). Így a talajminta légszárítása és nedvesítése nem befolyásolja egymást, és a lassú nedvesítéssel kapott eredményekből kivonva az áztatásos kezelés eredményeit, a légszárítás okozta változásokat teljes mértékben kiküszöböljük.

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.

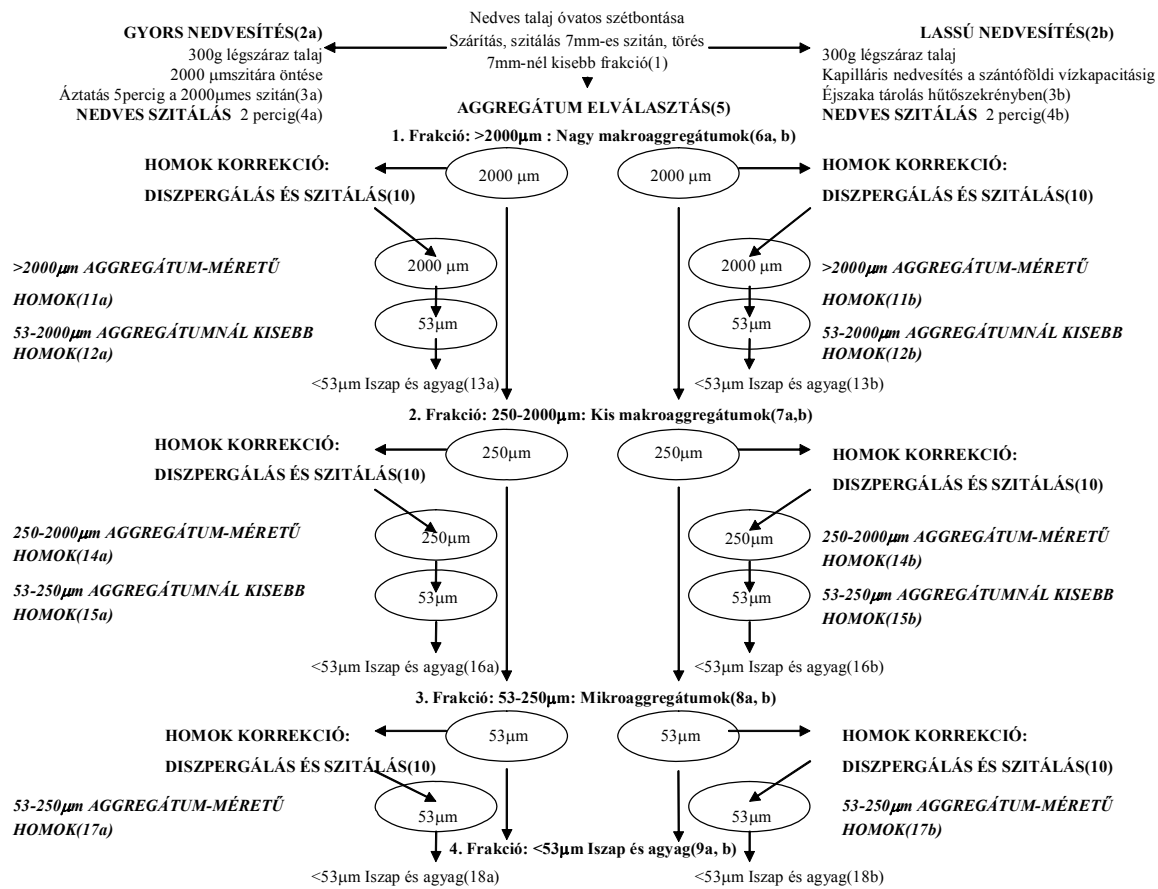
A JAVASOLT MÓDSZER LEÍRÁSA

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

Kétféle minta-előkészítési módszert alkalmaztunk: a gyors nedvesítéssel a legnagyobb pórusméretű szitát (2 mm) egy tálba helyeztük, és azt a szita felszíne felett 1 cm-rel feltöltöttük csapvízzel, erre szórtuk az előre kimért 300 g-os légszáraz részmintát, majd 5 percig áztattuk. 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. A vizet lassan, óvatosan adagoltuk a filter papírra, 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 kétféle minta

előkészítési mód után a részmintákat Retsch AS 200 BASIC típusú laboratóriumi szitázó géppel folyamatos vízáram alatt leszitáltuk. A rázógépet 70-es frekvenciára állítva minden részmintát 2 percig szitáltunk. 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. (Six et al., 1999, 2000; Márquez et al., 2004; Cambardella és Elliott, 1993 a nedves szitálást frakciónként külön-külön végzi: a nagyobb sziták felületéről összegyűjtött frakciókat a következő szitával újra szitálja. Ezáltal az 1. frakciót 2, a 2. frakciót 2+2, a 3. és 4. frakciót pedig 2+2+2 percig szitálja. Így azonban nem teljesül a KMÁ számításának alapfeltétele, az azonos szitálási idő. A kisebb szemcseméretű frakciók fokozatosan egyre növekvő romboló erőnek vannak kitéve, amely véleményem szerint szintén nem teljesíti azt az elvi feltételt, hogy a talajmintát azonos nagyságú rombolóerőnek kitéve vizsgáljuk. A mikroaggregátum frakció alsó határát azért 53 µm-ben állapítottuk meg, mert számos szerző az 53-250 µm tartományt tekinti a nagyméretű mikroaggregátum frakciónak, és mert az USDA rendszere szerint ez az iszap frakció felső határa.) A rázást követően a szitákon maradt frakciókat alaposan átöblítettük, hogy az esetlegesen az aggregátumok között maradt iszapszemcsék tömegét ne a nagyobb aggregátum frakciókhoz számítsuk. A sziták felszínén levő vízálló aggregátum frakciókat (1-3. frakciót) előre lemért alumínium tálkába mostuk, majd ülepedni hagytuk. Egy napos ülepedés után a letisztult felülúszó folyadékot vízlégszivattyúval leszívtuk, majd a frakciókat 60 °C-on megszártottuk és lemértük. A 4., agyag frakciót részmintánként egy-egy vödörbe gyűjtöttük, majd több napos ülepedés után, amikor a felülúszó folyadék már teljesen kitisztult, azt szivattyúval leszívtuk, egy előre lemért alumínium tálkába mostuk, egy napot újra ülepedtettük, a letisztult felülúszó folyadékot vízlégszivattyúval leszívtuk, majd a kapott ásványi frakciót 60 °C-on megszártottuk 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 leszírtuk, 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 megszártottuk és lemértük (1. ábra).

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



Forrás: Saját adat

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

Wet clods were gently broken apart, air-drying, dry sieving on 7mm 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 egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) számítása

1.) Az egyes frakciók szétiszapolódásának mértéke

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

ahol

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

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

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

S_{i0} = az aggregátum-méretű homok frakció tömege az I aggregátum frakcióban a lassú

nedvesítéses előkezelés után (11b, 14b, 17b/ 1. ábra)

Si = az aggregátum-méretű homok frakció tömege az I aggregátum frakcióban a gyors nedvesítéses előkezelés után (11a, 14a, 17a /1. ábra)

Minden „frakciótömeg g/g talaj” egységben.

A frakciók (1. ábra):

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

I=2=2. Frakció = 250-2000µm kis makroaggregátum frakció (7a, b/1. ábra)

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

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

2.) A teljes talaj szétiszapolódásának mértéke

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

ahol

DL = a teljes talaj szétiszapolódásának mértéke

n = aggregátum frakciók száma

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

3.) A legnagyobb mértékű szétiszapolódás

$$DLSi(max) = \frac{[(Pi0 - Pp) + |(Pi0 - Pp)|]}{2} \times \frac{1}{(Pi0 - Si0)}$$

DLSi (max) = a legnagyobb mértékű szétiszapolódás ahol

Pi0 = az I aggregátum frakció teljes mintatömege a lassú nedvesítéses előkezelés után (6b, 7b, 8b/1. ábra)

Pp = az I aggregátum frakció teljes homok frakció-tömege a gyors nedvesítéses 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)

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

ahol

$$DL(max) = \frac{1}{n} \sum [(n + 1) - i] DLSi(max)$$

n = 1, 2, 3

Közepes mért átmérő

$$KMA = (\sum X_i \times S_{int}) / W$$

ahol

KMÁ = közepes mért átmérő mm-ben

X_i = azonos ideig végzett nedves szitálás után kapott, aggregátum-méretű homok frakció tömegével korrigált frakciótömegek az egyes szitákon

S_{int} = a kapott aggregátum frakciót átengedő és felfogó szita pórusméretének átlaga

W = az aggregátum-méretű homok frakció tömeggel korrigált kiindulási talajminta tömege

EREDMÉNYEK

Mindkét vizsgált kezelésből négy-négy parcellából vettünk mintát, ezekből pedig három-három párhuzamos mérést végeztünk. Ezek eredményét akkor fogadtuk 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 gyors nedvesítéses módszerrel végzett nedves szitálással kapott eredményeket ismertetjük, a homok-korrekció előtt (7. táblázat). Eredményeinket az SPSS programmal, F-, majd két mintás T-próbával értékeltük ki (8. táblázat). A statisztikai vizsgálat alapján 95%-os megbízhatósági szinten lényegesen eltérő értékeket különböző indexszel, a lényegesen nem különböző értékeket azonos indexszel jelöltük. A szervestrágyázás hatására történt változások mértékét a 9. táblázat mutatja (a kontroll minta %-ában). Ezek az értékek azonban a szórások nagy mértéke miatt kevésbé megbízhatóak.

Az istállótrágyás kezelés statisztikailag bizonyítottan csak a felső réteg mikroaggregátum és iszap, agyag frakciójának mennyiségét változtatta meg, az első esetben 20,87%-os növekedést, a második esetben 39,02%-os csökkentést okozva. Az alsó réteg változásai statisztikailag nem voltak számottevőek. A nagy makroaggregátum frakció mennyisége mindkét kezelésben elhanyagolható volt. A kis makroaggregátum frakció mennyisége ugyan a szervestrágyázás hatására a művelés alatti rétegben látszólag lényegesen nőtt (50,36%-kal), de ez az adat a nagy szórás miatt nem megbízható.

7. táblázat

A gyors nedvesítéses módszerrel kapott frakciók szárazanyag-mennyisége a homok-korrekció előtt (g * g⁻¹ minta mennyiségre vonatkoztatva)

Kezelés(1)	Réteg(2)/Frakció(3)	>2000 µm frakció(4)	250-2000 µm frakció(5)	53-250 µm frakció(6)	<53 µm frakció(7)
Kontroll(8)	Alsó(9)	0,000 ^a	0,111±0,079 ^a	0,633±0,103 ^a	0,237±0,120 ^a
	Felső(10)	0,000 ^a	0,080±0,045 ^a	0,589±0,095 ^a	0,316±0,096 ^a
Istállótrágya(11)	Alsó(9)	0,000 ^a	0,166±0,073 ^a	0,657±0,064 ^a	0,157±0,046 ^a
	Felső(10)	0,000 ^a	0,078±0,043 ^a	0,713±0,048 ^b	0,193±0,035 ^b

Forrás: Saját mérési adatok

^{a, b}: A statisztikai vizsgálat alapján 95%-os megbízhatósági szinten lényegesen eltérő értékeket különböző indexszel, a lényegesen nem különböző értékeket azonos indexszel jelöltük(12)

Table 7: Amount of dry matter of fractions in g * g⁻¹ obtained by the slaking pre-treatment wet sieving (average± standard deviation) Treatment(1), depth layer(2), fraction(3), fraction >2000µm(4), fraction 250-2000µm(5), fraction 53-250µm(6), fraction <53µm(7), control treatment(8), lower layer(9), upper layer(10), farmyard manure treatment(11), values followed by the same lowercase letter within the different treatments, within a depth layer, and within a fraction are not significantly different at P>0.05 according to 2 sample T-probe or the Welch probe(12)

A gyors nedvesítéses módszerrel kapott frakciók szárazanyag-mennyiségének statisztikai értékelése

Az alsó réteg(1)	250-2000 µm frakció(2)	53-250 µm frakció(3)	<53 µm frakció(4)
F próba(5)	F = 0,806 F >> 0,05 A varianciák nem azonosak(9)	F = 0,122 F >> 0,05 A varianciák nem azonosak(9)	F = 0,003 F << 0,05 A varianciák azonosak(10)
	d (Welch) próba(11) d = 0,101	d (Welch) próba(11) d = 0,523	2 mintás T próba(12) t = 0,051
A varianciák(6)	0,101 >> 0,05 Azonosak(13)	0,523 >> 0,05 Azonosak(13)	0,051 = 0,05 Azonosak(13)
A KEZELÉSEK(7)	NEM KÜLÖNBÖZNEK(14)	NEM KÜLÖNBÖZNEK(14)	NEM KÜLÖNBÖZNEK(14)
A felső réteg(8)			
F próba(5)	F = 0,883 A varianciák nem azonosak(9)	F = 0,034 A varianciák nem azonosak(9)	F = 0,002 A varianciák azonosak(10)
	d (Welch) próba(11) d = 0,939	d (Welch) próba(11) d = 0,001	2 mintás T próba(12) t = 0,001
A varianciák(6)	Azonosak(13)	Nem azonosak(15)	Nem azonosak(15)
A KEZELÉSEK(7)	NEM KÜLÖNBÖZNEK(14)	KÜLÖNBÖZNEK(16)	KÜLÖNBÖZNEK(16)

Forrás: Saját mérési adatok

Table 8: Values of statistical trials

Lower layer(1), fraction 250-2000µm(2), fraction 53-250µm(3), fraction <53µm(4), F probe(5), values of variances(6), the treatments(7), upper layer(8), variances are not equal(9), variances are equal(10), d (Welch) probe(11), 2 sampled T probe(12), they are equal(13), they are not different(14), they are not equal(15), they are different(16)

A frakciók mennyiségének változása az istállótrágyázás hatására (a kontroll kezelés %-ában)

Kezelés(1)	Réteg(2)/Frakció(3)	>2000 µm frakció(4)	250-2000 µm frakció(5)	53-250 µm frakció(6)	<53 µm frakció(7)
Istállótrágya(8)	Alsó(9)	0	50,36	3,76	-33,80
	Felső(10)	0	-1,84	20,87	-39,02

Forrás: Saját mérési adatok

Table 9: Changes in amount of dry matter of fractions obtained by the farmyard manure treatment (in % of the control treatment)

Treatment(1), depth layer(2), fraction(3), fraction >2000µm(4), fraction 250-2000µm(5), fraction 53-250µm(6), fraction <53µm(7), farmyard manure treatment(8), lower layer(9), upper layer(10)

Kiszámítottuk továbbá a közepes mért átmérőt a gyors nedvesítéses módszerrel kapott, de a homoktartalommal még nem korrigált értékekből (10. táblázat).

10. táblázat

A gyors nedvesítéses módszerrel kapott közepes mért átmérő értékek (mm)

Kezelés(1)	Réteg(2)	KMÁ (mm)(3)
Kontroll(4)	Alsó(6)	0,863
	Felső(7)	0,541
Istállótrágya(5)	Alsó(6)	1,621
	Felső(7)	0,938

Forrás: Saját mérési adatok

Table 10: MWD (mean weight diameter) values obtained by the slaking pre-treatment wet sieving (in mm)

Treatment(1), depth layer(2), MWD(3), control treatment(4), farmyard manure treatment(5), lower layer(6), upper layer(7)

A szerves trágyázás hatására mind az alsó, mind a felső talajrétegben az aggregátumok KMÁ értéke növekedett. A művelt réteg KMÁ értéke 0,863 mm-ről 1,621 mm-re, a művelés alatti réteg KMÁ értéke 0,541 mm-ről 0,938 mm-re nőtt.

AZ EREDMÉNYEK ÉRTÉKELÉSE

A szerves trágyázás talajszerkezetre való hatásának megítélése ellentmondásos (di Gléria et al., 1957). Vizsgálataink alapján a szerves trágyázás a felső talajrétegben a mikroaggregátum frakció lényeges, 20,87%-os növekedését, ezen felül mindkét vizsgált rétegben az iszap, agyag frakció lényeges (a művelt rétegben 39,02%-os, a művelés alatti rétegben 33,80%-os) csökkenését okozta. Ennek oka az, hogy a szerves trágyázás élénkíti a talaj mikroorganizmusainak élettevékenységét, melyek ragasztóanyagokat képeznek. Mindezek hatására az ásványi részek aggregátumokká kapcsolódnak össze, illetve az aggregátumok stabilitása, vízállósága is növekszik. A szerves anyagok művelt talajrétegbe való juttatása javította a szerkezetességet. A

mikroaggregátum frakcióval ellentétben a nagy makroaggregátum frakció mennyisége egyik vizsgált rétegben sem volt számottevő. Ennek oka egyrészt az, hogy ez a frakció nagyobb mértékben vízzoldható kötőanyagok és gyengébb kötő mechanizmusai miatt kevésbé vízálló. Másrészt ez a frakció a gyors nedvesítés és az 5 perces áztatás hatására teljesen szétiszapolódott. A kis makroaggregátum frakció növekedése a szervesanyag hatására az alsóbb rétegben szintén látványos (50,36%), de a szórás nagy mértéke miatt kérdéses. Ennek a frakciónak a növekedését a minta előkészítési módszer is okozta, mivel a nagyobb, kevésbé vízálló makroaggregátumok kisebb, vízállóbb mikroaggregátumokká iszapolódtak szét.

KÖVETKEZTETÉSEK

A talajszerkezet lényegesen befolyásolja a talajban lejátszódó fizikai, kémiai és biológiai folyamatokat, minősége az optimális növénytermesztés szempontjából nagyon fontos. A talaj szerkezetét nem bizonyos szerkezeti elemek véletlenszerű elrendeződése, hanem talajrészecskék csoportjai hozzák létre, melyeket aggregátumoknak nevezünk. Az aggregátumok nedvesedése nagymértékben romboló lehet, ezért a talajszerkezet minősége, állandósága elsősorban a talajmorzsák vízállóságának mértékétől függ. A különböző talajtípusok, mintavételi helyszínek, a növénytermesztés, erózió okozta talajszerkezeti különbségeket és változásokat már a múlt század elején sok országban, köztük hazánkban is nagy intenzitással, számos módszerrel vizsgálták, és teszik ezt napjainkban is. Ezen vizsgálatok eredményeinek értékelhetősége azonban a vizsgálati módszerek tudományos indokokat nélkülöző, nagyon gyakran önkényes, nem a természetes folyamatokat leíró volta miatt kétséges. Kutatásunk célja emiatt egy standardizált és tudományosan megalapozott módszer keresése és hazai viszonyok közötti alkalmazhatóságának vizsgálata volt.

A Six et al. (2000) által javasolt egységes aggregátum-stabilitási mutató (EASM) az általa javasolt vizsgálati módszer során kiküszöböli a talaj-aggregátumok vízállóságának vizsgálatát zavaró körülményeket. (1) A különböző talajtípusok eltérő nagyságú egységekből álló szerkezetének zavaró hatását a minták kezdeti, azonos nagyságú szerkezeti egységekre való törésével, (2) a minták eltérő pillanatnyi nedvesség-tartalma okozta aggregátum-vízállósági különbségeket azok előzetes légszártásával történő kiegyenlítésével, (3) a nedves szítással az aggregátum-vízállóságot azonos víztartalmú állapotúra való nedvesítéssel teszi összehasonlíthatóvá, majd (4) a különböző mintavételi helyszínek eltérő ásványi részecske megoszlásának zavaró hatását az aggregátum-méretű ásványi frakció kizárásával szünteti meg. Az EASM az aggregátumok stabilitását úgy számítja, hogy összehasonlíttja azok megoszlását azonos nagyságú rombolóerő alkalmazása előtt és után.

Számos szerző, így Six et al. (2000) is a nedves szítást frakciónként külön-külön végzi. Így a különböző frakciókat eltérő ideig szítja, vagyis a vizsgált frakciók eltérő nagyságú rombolóerőnek vannak kitéve, amely a kapott eredmények összehasonlíthatóságát megkérdőjelezi. Mi ezzel szemben a nedves szítást egyetlen lépésben, azonos ideig és azonos nagyságú rombolóerő alkalmazásával végeztük, így eredményeink valóban megbízhatóak.

Six et al. (2000) négy különböző típusú talajon végzett három-három eltérő talajművelési mód alól két mintavételi mélységből vett mintáit a van Bavel (1953) által leírt KMÁ és a van Steenberg et al. (1991) által bevezetett, Six et al. (2000) által továbbfejlesztett EASM értékekkel jellemezve a következőkre jutott. A KMÁ értékek változása a lassú nedvesítéses előkezelés után sem a talajművelés intenzitásának növekedésével, sem mintavételi mélységgel nem mutattak összefüggést. A minták gyors nedvesítése a KMÁ értékek drasztikus csökkenését okozta, de ezek az értékek szoros összefüggést mutattak a talajművelés intenzitásának változásával: mindkét mintavételi mélységben a természetes vegetáció > csökkentett talajművelés > hagyományos művelés sorrendben csökkentek. Az EASM értékei a hagyományos művelés esetében lényegesen alacsonyabbak voltak a csökkentett műveléshez képest. A csökkentett és a hagyományos művelés közötti különbség csak a homok-korrektívó után volt számottevő. Ez igazolja Six et al. (2000) feltételezését, hogy az aggregátum-méretű homok frakció tömegével való korrekció növeli az EASM érzékenységet a talajszerkezetbeli változásokra. A talajművelés intenzitásának növekedésével az EASM csökkent a természetes vegetáció > csökkentett talajművelés > hagyományos művelés sorrendben. Ezek alapján az EASM megfelelő jelzőszámnak látszik a talajművelés okozta talajszerkezet-változás nagyságának megbízható és pontos összehasonlítására.

A hazánkban korábban szintén nedves szítással végzett számos talajszerkezet minőségi vizsgálat ellenére standardizált vizsgálatok eddig még nem történtek. Jelen tanulmányban célunk az volt, hogy a Six et al. (2000) által javasolt, egységesített módszert hazai körülmények között is vizsgáljuk. Szervestrágyázás hatását vizsgáltuk a talaj szerkezetességére és a szerkezeti elemek vízállóságára. Ebben a dolgozatban a gyors nedvesítéses minta előkészítési módszerrel kapott eredményeket mutattuk be, még a homok-korrektívó előtt.

A szervestrágyázás talajszerkezetre és annak minőségére gyakorolt hatásának megítélése ellentmondásos. Di Gléria et al. (1957) szerint csak azok a szervesanyagok képesek serkenteni az aggregátumok kialakulását és növelni azok vízállóságát, melyek lebomlása teljes egészében a talajban zajlott. A szervestrágya érlelése során annak ragasztó kötési széttöredező, így ásványi részecskéket összeragasztó funkcióját már nem képesek ellátni. Emiatt a szervestrágyázás közvetlenül csak kismértékben serkenti az aggregátumok képződését.

Összességében elmondható, hogy előzetes várakozásainknak megfelelően, di Gléria et al. (1957) eredményeivel ellentétben a műveléssel talajba juttatott szervesanyagok a művelt réteg szerkezetességét javították. Vizsgálatainkban a szervesanyagok a művelt rétegben a mikroaggregátum frakció lényeges (20,87%-os) növekedését, illetve a művelt és a művelés alatti rétegben az iszap, agyag frakció lényeges csökkenését (a művelt rétegben 39,02%-os, a művelés alatti rétegben 33,8%-os) okozta. A vizsgálati módszer erőteljes szétiszapoló hatása miatt a nagy makroaggregátum frakció mennyisége nem volt számottevő. A kis makroaggregátum frakció növekedése a szervesanyag hatására az alsóbb rétegben szintén látványos (50,36%), de statisztikailag nem bizonyítható. Ennek a frakciónak a növekedését a minta előkészítési módszer is okozta, mivel a nagyobb, kevésbé vízálló makroaggregátumok kisebb, vízálló mikroaggregátumokká iszapolódtak szét.

Eredményeink még csak az egyik minta előkészítési módszerre vonatkoznak ugyan, de mindenképpen biztatóak: számos különbség

statisztikailag is bizonyítható. Vizsgálatainkat a fentiek szerint folytatjuk, hogy ezt az ígéretes vizsgálati módszert hazai talajainkon is teszteljük.

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 Növénytermesztési és Talajtani Tanszék vezetőinek, Dr. Kismányoky Tamás és Dr. Hoffmann Sándor uraknak, hogy a mintavételezést lehetővé tették számunkra, Dr. Tóth Zoltán és Szittyán Tamás uraknak pedig a mintavételezésor nyújtott segítségét. Köszönjük Dr. Németh Tamás és Dr. Tóth Tibor uraknak a kísérlettervezésor és az eredmények kiértékelésor, Radimsky László és Ködöböcz László uraknak pedig a mintavételezésor és a minták feldolgozásor nyújtott nélkülözhetetlen segítségét.

IRODALOM

- Angers, D.A.-Bissonnette, N.-Légère, A.-Samson, N. (1993a): Microbial and biochemical changes induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73. 39-50.
- Angers, D.A.-Samson, N.-Légère, A. (1993b): Early changes in water-stable aggregation induced by rotation and tillage in a soil under barley production. *Can. J. Soil Sci.* 73. 51-59
- Ballenegger, R.-di Gléria, J. (szerk.) (1962): Talaj- és trágyavizsgáló módszerek. Mezőgazdasági Kiadó, 83-106.
- Beare, M.H.-Bruce, R.R. (1993): A comparison of methods for measuring water-stable aggregates: Implications for determining environmental effects on soil structure. *Geoderma* 56. 87-104.
- Beare, M.H.-Cabra, M.L.-Hendrix, P.F.-Coleman, D.C. (1994): Aggregate-protected and unprotected organic matter pools in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* 58. 787-95.
- Brady, N.C. (1990): The nature and properties of soils. 10th ed. Macmillan, New York.
- Bronick, C.J.-Lal, R. (2005): Soil structure and management: a review. *Geoderma* 124. 1-2: 3-22.
- Cambardella, C.A.-Elliott, E.T. (1993): Carbon and nitrogen distribution in aggregates from cultivated and grassland soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 57. 1071-1076.
- Caron, J.-Kay, B.D.-Stone, J.A. (1992): Improvement of structural stability of a clay loam with drying. *Soil Science Society of America Journal* 56. 1583-1590.
- 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.
- Christopher, T.B.S.-Mokhtaruddin, A.M.-Husni, M.H.A.-Abdullah, M.Y. (1998): A simple equation to determine the breakdown of individual aggregate size fractions in the wet-sieving method. *Soil and Tillage Research* 45. 3: 287-297.
- Dexter, A.R. (1988): Advances in characterization of soil structure. *Soil Tillage Res.* 11. 199-238.
- di Gléria J.-Gáti F.-Pataki B. (1957): Talajfizika és talajkolloidika. Akadémiai Kiadó. 340-475, 665-692.
- Duiker, S.W.-Rhoton, F.E.-Torrent, J.-Smeck, N.E.-Lal, R. (2003): Iron (hydr)oxide crystallinity effects on soil aggregation. *Soil Science Society of America Journal* 67. 606-611.
- Edwards, A.P.-Bremner, J.M. (1967): Microaggregates in soils. *J. Soil Sci.* 18. 64-73.
- Elliott, E.T. (1986): Aggregate structure and carbon, nitrogen, and phosphorus in native and cultivated soils. *Soil Science Society of America Journal* 50. 627-633.
- Emerson, W.W. (1959): The structure of soil crumbs. *J. Soil Sci.* 10. 235-44.
- Emerson, W.W. (1977): Physical properties and structure. In: Russel J.S.-Greacen E.L. (eds.) *Soil factors and crop production in semi-arid environment*. Univ. of Queensland Press. 78-104.
- Gale, W.J.-Cambardella, C.A.-Bailey, T.B. (2000): Root-Derived Carbon and the Formation and Stabilization of Aggregates. *Soil Sci. Society of America Journal* 64. 201-207.
- Gollany, H.T.-Schumacher, T.E.-Evenson, P.D.-Lindstrom, M.J.-Lemme, G.D. (1991): Aggregate stability of an eroded and desurfaced Typic Argiustoll. *Soil Science Society of America Journal* 55. 811-816.
- Hadas, A. (1987): Long-term tillage practice effects on soil aggregation modes and strength. *Soil Science Society of America Journal* 51. 191-197.
- 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. 11-12: 1647-1653.
- Haynes, R.J.-Francis, G.S. (1993): Changes in microbial biomass C, soil carbohydrate composition and aggregate stability induced by growth of selected crop and forage species under field conditions. *J. Soil Sci.* 44. 665-675.
- Haynes, R.J.-Swift, R.S. (1990): Stability of Soil Aggregates in Relation to Organic Constituents and Soil Water Content. *Journal of Soil Science*. 41. 1: 73-83.

- Hofman, G.-de Leenheer, L. (1975): Influence of soil pre-wetting on aggregate instability. *Pedologie*. 25. 190-198.
- Jastrow, J.D.-Miller, R.M.-Lussenhop, J. (1998): Contributions of interacting biological mechanisms to soil aggregate stabilization in restored prairie. *Soil Biol. Biochem.* 30. 905-916.
- Jiao, Y.-Whalen, J.K.-Hendershot, W.H. (2003): No-tillage and manure applications increase aggregation and improve nutrient retention in a sandy-loam soil. *Soil Science Society of America Journal*. 67. 1842-1847.
- Kay, B.D. (1998): Soil structure and organic carbon: a review. In: Lal, R.-Kimble, J.M.-Follett, R.F.-Stewart, B.A. (eds.) *Soil Processes and the Carbon Cycle*, CRC Press. Boca Raton, FL, 169-197.
- Kemper, W.D.-Koch, E.J. (1966): Aggregate stability of soils from western United States and Canada. *Colorado Agric. Exp. Stn. Bull.* 1. 52: 1355.
- Kemper, W.D.-Rosenau, R. (1984): Soil cohesion as affected by time and water content. *Soil Science Society of America Journal*. 48. 1001-1006.
- Kemper, W.D.-Rosneau, R.C. (1986): Aggregate Stability and Size Distribution In: Klute, A. (ed.) *Methods of Soil Analysis Agronomy*. 9. 1.
- Krishna Murthi, G.S.R.-Singh, G.-Rengasamy, P. (1977): The nature of soil clays and the stability of microaggregates. *Aust. J. Soil Res.* 15. 115-119.
- Lal, R. (1991): Soil structure and sustainability. *J. Sustain. Agric.* 1. 67-92.
- Lyles, L.J.D. (1974): Soil detachment from clods by rainfall: effects of wind, mulch cover and essential soil moisture. *Trans. ASAE* 17. 697-700.
- Márquez, C.O.-García, V.J.-Cambardella, C.A.-Schultz, R.C.-Isenhardt, T.M. (2004): Aggregate-size stability distribution and Soil Stability. *Soil Science Society of America Journal*. 68. 725-735.
- Miller, R.M.-Jastrow, J.D. (1990): Hierarchy of root and mycorrhizal fungal interactions with soil aggregation. *Soil Biol. Biochem.* 22. 579-84.
- Nikiforoff, C. (1941): Hardpan and microrelief in certain soil complexes of California. *Technical Bulletin*. 745. US. Department of Agriculture, Washington, Washington D. C.
- Oades, J.M.-Waters, A.G. (1991): Aggregate hierarchy in soils. *Aust. J. Soil Res.* 29. 815-28.
- Pagliai, M.-Vignozzi, N.-Pellegrini, S. (2004): Soil structure and the effect of management practices. *Soil and Till Research*. 79. 131-143.
- Perfect, E.-Kay, B.D.-van Loon, W.K.P.-Sheard, R.W.-Pojasok, T. (1990): Factors influencing soil structural stability within a growing season. *Soil Science Society of America Journal*. 54. 173-179.
- Santos, D.-Murphy, S.L.S.-Taubner, H.-Smucker, A.J.M.-Horn, R. (1997): Uniform separation of concentric surface layers from soil aggregates. *Soil Science Society of America Journal*. 61. 720-724.
- Six, J.-Elliott, E.T.-Paustian, K. (1999): Aggregate and soil organic matter dynamics under conventional and no-tillage systems. *Soil Science Society of America Journal*. 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.
- Stefanovits P.-Filep Gy.-Füleky Gy. (1999): Talajtan. *Mezőgazda Kiadó*, 131-150.
- Stirk, G.B. (1958): Expression of soil aggregate distributions. *Soil Sci.* 86. 133-135.
- Synder, V.A.-Vázquez, M.A. (2005): Structure. In: Hillel (ed.) *Encyclopedia of Soils in the Environment*. Elsevier Academic Press. Amsterdam, Boston, 4. 54-68.
- Tisdall, J.M. (1996): Formation of soil aggregates and accumulation of soil organic matter. In: Carter, M. R., Stewart, B. A. (eds.) *Structure and Organic Matter Storage in Agricultural Soils*, CRC Press. Boca Raton, FL, 57-96.
- Tisdall, J.M.-Oades, J.M. (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. *J. Soil Sci.* 33. 141-163.
- van Bavel, C.H.M. (1953): Report on the committee on physical analyses 1951-1953. *Soil Sci. Soc. Amer. Proc.*, 17. 416-418.
- van Steenberg, M.-Cambardella, C.A.-Elliott, E.T.-Merckx, R. (1991): Two simple indexes for distribution of soil components among size classes. *Agric. Ecosyst. Environ.* 34. 335-340.
- Várallyay Gy. (2002): *A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai*. Budapest (egyetemi jegyzet).
- Voronin, A.D.-Sereda, N.A. (1976): Composition and structure of the microaggregate fractions of certain type of soils. *Moscow Univ. Soil Sci. Bull.*, 31. 100-107.
- Whalen, K.J.-Hub, Q.-Liua, A. (2003): Compost applications increase water-stable aggregates in conventional and No-Tillage Systems. *Soil Science Society of America Journal*. 67. 1842-1847.
- Yoder, R.E. (1936): A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *J. Am. Soc. Agron.*