NÖVÉNYTERMESZTÉSI RENDSZEREK HATÁSA A TALAJ SZERVES SZÉN MENNYISÉGÉRE, VALAMINT EGYES TALAJTULAJDONSÁGOKRA

Doktori értekezés

Gál Anita

Gödöllő

2006

A doktori iskola

megnevezése: Környezettudományi

tudományága: Talajtan, agrokémia, környezeti kémia

vezetője: Prof. Menyhért Zoltán
egyetemi tanár
Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Környezetgazdálkodási Intézet, Ökológiai Mezőgazdasági Tanszék

témavezető: Prof. Michéli Erika
egyetemi tanár
Szent István Egyetem, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar
Talajtani és Agrokémiai Tanszék

társ-témavezető: Prof. Tony J. Vyn
egyetemi tanár
Purdue University, School of Agriculture, Department of Agronomy
West Lafayette, Indiana, USA

.....	.....
Az iskolavezető jóváhagyása	A témavezető jóváhagyása

TARTALOMJEGYZÉK

1. BEVEZETÉS.....5
2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS.....7
2.1. A talaj szervesanyaga és hatása a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira..... 7
2.1.1. Térfogattömeg..... 8
2.1.2. Aggregátumstabilitás.....9
2.1.3. Víztartó-képesség..... 10
2.2. A humuszanyagok molekuláris összetételének jellemzése..... .11
2.3. A különböző talajművelési rendszerek és a vetésváltás hatásainak jellemzése..... .16
2.4. A szántóföldi művelés hatása a talaj szénmegkötésére..... .18
2.5. Növénytermesztési tartamkísérletek.....21
3. ANYAG ÉS MÓDSZER.....24
3.1. Mintavételi helyszínek.....24
3.1.1. A Purdue - Talajművelési Tartamkísérlet leírása.....25
3.1.2. A Purdue - Integrált Növényvédelmi Kísérlet leírása.....26
3.2. Mintavétel.....28
3.2.1. Purdue - Talajművelési Tartamkísérlet.....28
3.2.2. Purdue - Integrált Növényvédelmi Kísérlet.....30
3.3. Laboratóriumi vizsgálatok.....31
3.3.1. Szerves szén, összes nitrogén, szervesanyag koncentráció és C/N arány.....31
3.3.2. Szerves szén és összes nitrogén tartalom.....32
3.3.3. Térfogattömeg.....33
3.3.4. A talaj foszfor, kálium, kálcium koncentrációja és pH-ja.....33
3.3.5. Aggregátumstabilitás.....34
3.3.5.1. Makroaggregátumstabilitás.....34
3.3.5.2. Mikroaggregátumstabilitás.....34
3.3.6. Víztartó-képesség.....35
3.3.7. A humuszanyagok vizsgálata.....36
3.3.7.1. A humuszanyagok kivonása és frakcionálása.....36
3.3.7.2. A humuszanyagok elemi összetétele.....37
3.3.7.3. A humuszanyagok spektroszkópiai jellemzése.....37

3.4. Statisztikai elemzés....38
4. EREDMÉNYEK....39
4.1. Szerves szén, összes nitrogén, C/N arány és térfogattömeg....39
4.1.1. Purdue - Talajművelési Tartamkísérlet....39
4.1.1.1. A művelés hatása....39
4.1.1.2. A vetésváltás hatása....44
4.1.1.3. A művelőgépek okozta tömörödés hatása....47
4.1.2. Purdue - Integrált Növényvédelmi Kísérlet....49
4.1.2.1. A művelés hatása....49
4.2. A talaj foszfor, kálium, kálcium koncentrációja és pH-ja....55
4.2.1. Purdue - Talajművelési Tartamkísérlet....55
4.2.2. Purdue - Integrált Növényvédelmi Kísérlet....57
4.3. Aggregátumstabilitás....59
4.3.1. Makroaggregátumstabilitás....59
4.3.2. Mikroaggregátumstabilitás....61
4.4. Víztartó-képesség....63
4.5. A humuszanyagok elemi összetétele....65
4.6. A humuszanyagok molekuláris összetétele....68
5. KÖVETKEZTETÉSEK....71
5.1. Új tudományos eredmények....71
5.2. Hatás a mezőgazdasági gyakorlatra....73
5.3. Javaslatok további kutatáshoz....74
6. ÖSSZEFOGLALÁS....76
7. SUMMARY....77
8. MELLÉKLETEK....78
A melléklet– Irodalomjegyzék....78
B melléklet– Purdue - Talajművelési Tartamkísérlet....93
C melléklet– Purdue - Integrált Növényvédelmi Kísérlet....137
9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS....141

1. BEVEZETÉS

A szén (C) körforgalmának egyensúlyát a Földön az óceánok, az atmoszféra és a szárazföldi ökoszisztémák közötti kölcsönhatások szabályozzák. A légkör széntartalma körülbelül 280 ppm volt az ipari forradalmat megelőzően; értéke 2000-re 370 ppm koncentrációt ért el (Lal, 2001). Az elmúlt 150 év alatt a légkör széntartalma az üvegházhatást okozó gázok - szén-dioxid (CO_2) és metán (CH_4) - koncentrációjának növekedése révén mintegy 30 %-kal megemelkedett. Ezeknek a gázoknak - különösen a szén-dioxidnak - a nagyobb légköri koncentrációja főként a fosszilis energiahordozók nagymértékű égetésének, az erdőirtásnak, erdőtüzeknek és kisebb mértékben a földművelésnek köszönhető. A szén-dioxid, a metán és a dinitrogén-oxid (N_2O) légköri koncentrációja szoros összefüggésben áll a globális klímaváltozással. A nitrogén-oxidok és a metán alacsonyabb koncentrációban vannak jelen az atmoszférában mint a szén-dioxid, de az infravörös sugárzásnak abban a tartományában abszorbeálják a hőt, ahol a CO_2 nem, és évtizedekkel tovább maradnak a légkörben (CASMGS, 2002).

Az üvegházhatású gázok légköri növekedése és a globális klímaváltozás által okozott problémákkal mind a világ fejlett ipari, mind fejlődő országai szembesülnek. Az éghajlatváltozás hazai veszélyeivel és az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésével, valamint a hazánkban egyre gyakoribbá váló szélsőséges vízháztartási helyzetek talajokra gyakorolt lehetséges hatásaival, a talajszerkezet leromlásával és a szervesanyag-készlet csökkenésével többek között Bartalos et al. (1995), Németh et al. (1998, 2002), Faragó és Kerényi (2003), Faragó et al. (2004), Várallyay (2004), illetve a Változás–Hatás-Válasz Program (VAHAVA, 2006) foglalkoztak és hívták fel a figyelmet a negatív következmények megelőzésének fontosságára.

A légköri szén-dioxid szint csökkentésének számos módja lehetséges. Többek között kevesebb energia felhasználása és a nem szén-alapú energiaforrások, mint például a nap, szél, víz és nukleáris energia használata. A légköri szén-dioxid koncentráció csökkentésének másik módja a szén megkötése a légkörből. A szénmegkötés a szén hosszútávú raktározását jelenti az óceánokban, a talajban, a növényzetben (főként erdőkben) és a geológiai képződményekben (Sparks, 2003). A talajban raktározott szén mennyisége közel háromszorosa a talajfelszín feletti biomassza és körülbelül kétszerese az atmoszféra széntartalmának (Eswaran et al., 1993).

A földhasználat, a talajművelés és növénytermesztés jelentős hatást gyakorol a talaj szerves szén készletére és szénmegkötésére (Sparks, 2003), hiszen a talajok az üvegházhatású gázokat elnyelhetik (adszorbeálják) vagy kibocsáthatják (emittálják) a talajhasználattól függően. Egyes

kutatók becslései szerint a talaj a fosszilis tüzelőanyagok égetéséből származó megnövekedett szén-dioxid mennyiség 10 %-át el tudná nyelni talajkímélő művelési rendszerek alkalmazása esetén (Allmaras et al., 2000). A légkör dinitrogén-oxid és metán koncentrációját szintén befolyásolja a szántóföldi művelés. Mezőgazdasági művelés alatt álló talajaink N_2O kibocsátását például csökkenteni lehetne a nitrogén műtrágyák körültekintőbb használatával, megfelelő fedőnövények és művelés kiválasztásával (Venterea et al., 2005).

A megnövekedett szén-dioxid koncentráció miatti aggályok számos olyan kutatási projektet eredményeztek szerte a világon, melyek a talaj szén megkötését vizsgálják. A hagyományos művelést gyakran a szerves széntartalomban bekövetkező veszteség kíséri, míg kevésbé intenzív művelési rendszerek (például művelés nélküli direktvetés) alkalmazásakor a talaj szenet köthet meg. A legtöbb szén megkötést vizsgáló tanulmány a szántott réteget vizsgálta és nem számolt a mélyebb rétegekben esetleg végbemenő változásokkal (West és Post, 2002).

A talaj szén megkötését vizsgáló tanulmányok többsége az utóbbi években a globális klímaváltozáshoz kapcsolódott, azonban a talajművelés okozta változások megértése több szempontból is fontos. A fenntartható mezőgazdasági termelésben a talaj szervesanyag minőségének és mennyiségének megőrzése kulcsfontosságú, hiszen a szervesanyag tartalom újbóli növelése hosszú és bonyolult folyamat.

Mindezek alapján célkitűzéseim a következők voltak:

- meghatározni a hagyományos művelés (szántás), csökkentett művelési rendszer (nehézkultivátorozás), művelési és vetési mód váltás valamint talajkímélő művelés (művelés nélküli direktvetés) hatását a talaj szerves szén és összes nitrogén tartalmára és mélységbeli eloszlására kukorica monokultúrában és szója-kukorica vetésváltásban 1 m mélységig,

- vizsgálni a különböző talajművelési rendszerek és a vetésváltás hatását egyes talajfizikai tulajdonságokra (térfogattömeg, aggregátumstabilitás és víztartó-képesség), melyeket a talaj szervesanyag tartalma befolyásol,

- vizsgálni a különböző talajművelési rendszerek és a vetésváltás hatását a talaj tápanyagellátottságára és a talaj pH-ra,

- meghatározni hasonlóságokat és különbségeket a különböző talajművelési rendszereket és növényi sorrendet reprezentáló kevert talajmintákból kivont huminsav és fulvosav frakciók elemi és molekuláris összetételében.

2. IRODALMI ÁTTEKINTÉS

2.1. A talaj szervesanyaga és hatása a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira

Becslések szerint az óceánok 38000 Pg (petagram = 1×10^{15} g = 1 billió tonna), a geológiai képződmények 5000 Pg, az atmoszféra 750 Pg és az élőlények (pl. növények) 560 Pg szenet tartalmaznak. A talaj szerves szén tartalmát – ami főként szervesanyag formájában van jelen a talajban – többen, például Bohn (1976) is megbecsülték. Batjes (1996) és Lal (2001) mennyiségét 1 m mélységig 1500 Pg-ra becsülték. A légkör széntartalma a geológiai tartalékok rovására növekszik a fosszilis tüzelőanyagok kibocsátása révén, a növényzetben tárolt szén rovására az erdőirtások és erdőtüzek révén, valamint a talaj rovására a művelés és más emberi beavatkozások révén (Batjes, 1996; Lal, 2001). A talajban tárolt szervetlen szén mennyisége körülbelül 700 Pg CO_3^{2-} és a száraz, félszáraz területek felszín alatti szintjeiban van fontos szerepe (Batjes, 1996). A szervetlen szén elsődleges (litogén) és másodlagos (pedogén) karbonátokból származik, melyek közül az utóbbi a fontosabb a szénmegkötés szempontjából. A másodlagos karbonátok úgy képződnek, hogy a H_2CO_3 a talajszelvény felső szintjeiben kémiai reakcióba lép Ca^{2+} és/vagy Mg^{2+} ionokkal a talajoldatban, majd a lefelé irányuló nedvességmozgással az alsó szintekbe mosódik és kicsapódik. E folyamat révén mintegy 0,25 - 1 t/ha szén kötődik meg évente (Wilding, 1999).

A talajban tárolt összes nitrogén (N) mennyiségét 1 m mélységig 133-140 Pg –ra becsülik. Összehasonlításképpen, mintegy 10 Pg N tározódik a növényi biomasszában és körülbelül 2 Pg N a mikrobiális biomasszában (Batjes, 1996).

A talaj szervesanyagához (SZA) tartozik a talajban megtalálható összes szerves alkotórész, kivéve a még le nem bomlott növényi és állati szövetet és az élő talajfaunát (mikróbák és magasabb rendű szervezetek). A talajok szervesanyag tartalma nagyon változó. Lösz területek talajai akár 5-6%, a homokos szövetű talajok általában kevesebb, mint 1% szervesanyagot tartalmaznak (Szabó, 1986; Stevenson, 1994). A talaj nitrogén tartalma a szervesanyag tartalommal jellemzően párhuzamosan alakul, gyakran a szén tartalom 10 %-a körüli érték. Az ásványi talajok felső szintjeinek nitrogén tartalma általában 0,02-0,5% között van, a művelt talajok esetében ez az érték 0,15% körüli (Brady és Weil, 2002; Németh, 1996).

A talaj szervesanyaga humusz és nem humuszanyagokból áll. A nem humuszanyagok közé soroljuk a meghatározott szerkezettel rendelkező szervesanyagokat, mint például a poliszacharidokat, fehérjéket és egyszerűbb felépítésű anyagokat (cukrok, aminosavak) (Szabó,

1986; McCarty et al., 1998). A humuszanyagok biogén eredetű, komplex, heterogén szerves makromolekulákból másodlagos szintézis során keletkeznek, színük a sárgától feketéig változik. Nem rendelkeznek meghatározott kémiai szerkezettel, kolloid természetűek és gyengén savas karakterűek. A talajban a humuszanyagok általában szerves-ásványi komplexeket alkotnak, így jobban ellenállnak a lebomlásnak (Stevenson, 1994).

Mezőgazdasági szempontból a szervesanyag két fő formáját különböztetjük meg: az aktív (labilis) és a stabil frakciót. Az aktív frakcióhoz tartozik a könnyű frakció, amely az elhalt növényi és állati szövetek részleges lebomlásának a terméke és nagy sűrűségű folyadékból felülúszóként elválasztható; valamint ide tartoznak a nem humuszanyagok, melyek nem kötődnek a talaj ásványi részéhez. Az aktív rész szolgáltatja a tápanyagokat (nitrogén, foszfor, kén) a növények növekedéséhez. A stabil frakció humifikálódott anyagokból áll és a talaj tápanyagtartalékait szolgáltatja, így fontos a talaj tulajdonságainak és hosszútávú szervesanyag mérlegének a fenntartásában is (Stevenson, 1994).

A C/N arány fontos mutató, mely jól jelzi a szervesanyag minőségét és lebomlottságának fokát (Batjes, 1996). Értéke akkor a legnagyobb, ha a talajba évente juttatott szervesanyag kevés nitrogént tartalmaz (nagy arány). Erdőtalajok A szintjének C/N aránya körülbelül 20:1, míg füves vegetáció alatt kialakult talajok esetében ez az arány mintegy 12:1 a fűfélék kisebb C/N aránya miatt (Brady és Weil, 2002).

A talaj szervesanyagának jelentős hatása van a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaira (Németh, 1996). Ezek közül a térfogattömegre, az aggregátumstabilitásra és a víztartó-képességre gyakorolt hatását jellemzem röviden a következő alfejezetekben.

2.1.1. Térfogattömeg

A térfogattömeg fontos talajfizikai tulajdonság, melynek értéke függ a talaj szervesanyag tartalmától. A térfogattömeg a talaj száraz tömegének és bolygatatlan térfogatának (a talaj térfogata és a pórustér) hányadosa (Blake és Hartge, 1986). Pontos meghatározása nagyon fontos ahhoz, hogy a százalékban kifejezett szerves szén tartalmat át tudjuk számolni egységnyi térfogatban lévő szerves szén mennyiségre. Davidson et al. (1967) kimutatta, hogy a térfogattömeg fordítottan arányos a talaj szervesanyag tartalmával. A szervesanyag tartalom növekedésével több aggregátum alakul ki, így a porozitás nő, a térfogattömeg pedig csökken. A talajművelés hatásaival foglalkozó tanulmányában Lal et al. (1994) azt állapította meg, hogy művelés nélküli direktvetés esetében a térfogattömeg csökken. Gantzer és Blake (1978), Rátonyi et al. (2003) és László és Gyuricza (2004) azonban azt állapították meg, hogy a térfogattömeg művelés nélküli direktvetés esetén a felszín közelében szignifikánsan nagyobb a szántással összehasonlítva, bár a több éves művelés nélküli

periódus ellenére sem éri el a feltalaj tömörödöttsége azt a fokot, amely megkérdőjelezhetné a direktvetéses termesztés technológiai alkalmazhatóságát (Rátonyi et al., 2003). Voorhees et al. (1978) szerint a nagyobb térfogattömeg annak a következménye, hogy amikor a talajt nem művelik, idővel tömődöttebbé válik a leülepedés következtében. Az évente ismétlődő fagyás és olvadás, valamint a talajlakó élőlények lazító hatása nem elég a térfogattömeg növekedésének kompenzálására. Egyéb tényezők, például a nehéz talajművelő gépek okozta tömörödés is befolyásolja a térfogattömeget (Kladivko és Larney, 1989). Más kutatók azonban nem találtak különbséget a térfogattömegben a felszínhez közel (Hill és Cruse, 1985). Ezek az ellentétes következtetések abból adódhatnak, hogy nem ugyanazt a mélységet mintázták meg a különböző tanulmányokban, a direktvetéses művelés időtartama eltérő volt, vagy a mintákat a legfelső szintből szedték, így a talajanyag keveredett a felszíni szerves maradványokkal.

2.1.2. Aggregátumstabilitás

Az aggregátumstabilitás szoros kapcsolatban van a szervesanyag tartalommal. Az aggregátumok olyan talajalkotók, melyek az ásványi alkotórészek szerves és szervetlen ragasztóanyagokkal történő összatapadása során keletkeznek (DiGleria et al., 1957; Bronick és Lal, 2005). Először a mikroaggregátumok alakulnak ki (< 250 μm), melyek makroaggregátumokat (> 250 μm) hoznak létre (Tisdall és Oades, 1982). Az aggregátumok szétiszapolódással és a víz diszperzív hatásával szembeni ellenállása (aggregátum stabilitás) fontos szerepet játszik a talaj porózus szerkezetének fenntartásában. A növények növekedéséhez szükséges jó szerkezet a vízálló aggregátumok jelenlétének függvénye. Mivel a szerves maradványok a felszínen halmozódnak fel, az aggregátumok kialakulása a talaj felső szintjeiben erőteljesebb. Rendszeres talajművelés következtében az aggregátumok ki vannak téve a gyors nedvesedés és az esőcseppek romboló hatására bekövetkező fizikai szétesésnek valamint a talajművelő eszközök nyíró hatásának. Mindezek eredménye, hogy az addig védett szervesanyag hozzáférhetővé válik a mikroorganizmusok számára, nagyobb része oxidálódik és ezáltal növekszik a szervesanyag mennyiségében bekövetkező veszteség (Waters és Oades, 1991). A szervesanyag tartalom csökkenése rendszerint együtt jár a vízálló aggregátumok számának csökkenésével (Tisdall és Oades, 1982; Chaney és Swift, 1984).

Tisdall és Oades (1982) a szerves ragasztó anyagokat három csoportba sorolta a szervesanyag kora és lebomlottsága alapján: átmeneti, időleges és állandó.

Amikor a szervesanyag tartalom a művelés következtében csökken, a tápanyagok elsődleges forrásai a makroaggregátumok, hiszen a makroaggregátumokban lévő szervesanyag labilisabb, kevésbé átalakult és gyorsabban mineralizálható, mint a mikroaggregátumokban lévő. A

makroaggregátumok stabilitását főleg az átmeneti és időleges ragasztóanyagok és ezek lebomlásának mértéke határozza meg, melyet a mezőgazdasági művelés befolyásol. Az átmeneti ragasztóanyagok legfontosabb csoportja a poliszacharidok, beleértve azokat a mikrobák által termelt poliszacharidokat is, melyek különböző szervesanyagok talajba juttatását követően képződnek, valamint a gyökerek és a gyökérzóna mikrobiális közössége által előállított poliszacharidokat. A poliszacharidok a nagy, átmenetileg stabil aggregátumokat ragasztják össze és képződésük valamint lebomlásuk is gyors. Az időleges ragasztó anyagok, mint például a gyökerek és gombafonalak a fiatalabb makroaggregátumok képződésében játszanak szerepet és a talajművelés függvényei. Az állandó ragasztó anyagok – a lebomlott, aromás humuszanyagok amorf vassal, alumíniummal és alumíniumszilikátokkal alkotott szerves-ásványi komplexei – nagy mennyiségben találhatók a talajban és domináns szerepet játszanak a mikroaggregátum stabilitás kialakításában (Tisdall és Oades, 1982).

2.1.3. Víztartó-képesség

A talaj vízkapacitása (víztartó-képessége) nagyban függ a talaj fizikai féleségétől, szerkezetétől és szervesanyag tartalmától (Várallyay, 2003). A szervesanyag jelentős víztartó-képességgel rendelkezik. Közvetlen hatása van hidrofil természete miatt és indirekt hatása, mivel befolyásolja a talaj szerkezetét (Klute, 1986).

A vízkapacitás 50 vízoszlop-cm-ben kifejezett szívóerőnél mért értékének (pF 1,7) segítségével számoljuk ki a levegővel telt pórusok százalékos értékét, amelynek alapján megbecsüljük a nagy pórusok mennyiségét olyan talajok esetében, amelyek gyakran nedvesek és tavaszi heves esőzések után levegőzöttségi problémáik lehetnek. Ez az érték gyakran azon pórusok index-szerű jellemzésére szolgál, melyekből a víz elég gyorsan eltávozik ahhoz, hogy megfelelő levegőzöttséget biztosítsanak a talaj vízzel telítődése után (Klute, 1986; Stefanovits et al., 1999). Az 1/3 bar kötőerő értéknél (pF 2,5) mért vízkapacitás érték a közepes és finom textúrájú talajok szabadföldi vízkapacitás értékének indexe, bár a 100 vízoszlop-cm-ben kifejezett szívóerőnél mért vízkapacitás (pF 2) jobban jellemzi azon talajok szabadföldi vízkapacitásást, ahol tavasszal hosszabb ideig magas a talajvízszint (Kladivko, személyes közlés). A 15 bar mátrix potenciálnál mért vízkapacitás (pF 4,2) a hervadáspontot jelzi (Várallyay, 2003; Warrick, 2002). Korsunskaya (1995) szerint a művelés hatása a pF-görbére a pF 0 – pF 2,5 szívóerőtartományban mutatható ki.

A talajművelés víztartó-képességre gyakorolt hatását sok kutató vizsgálta mind hazánkban (Gyuricza et al., 1998; Gyuricza et al., 1999; Rátonyi et al., 2003; Birkás és Gyuricza, 2004; Farkas et al., 2004), mind külföldön (Kovar et al., 1992; Dorado et al., 2003). Gyuricza et al. (1999) egy ausztriai művelési kísérlet talaját vizsgálva azt állapították meg, hogy direktvetésben a 0-10 cm-es

talajrétegben 3,5-5,6 %-kal nagyobb volt a nedvességtartalom a hagyományos műveléshez (szántáshoz) képest. Rátonyi et al. (2003) a Debreceni Agrártudományi Egyetem kísérletében, Csárdaszálláson jutott hasonló eredményre, miszerint a hagyományos technológia (szántás) alkalmazása esetében mérték a legalacsonyabb, és direktvetésben a legnagyobb talajnedvesség értéket. Eredményeik egyértelműen igazolták a forgatás nélküli csökkentett menetszámú talajművelés nedvességmegőrző hatását, a hagyományos ekére alapozott műveléssel szemben.

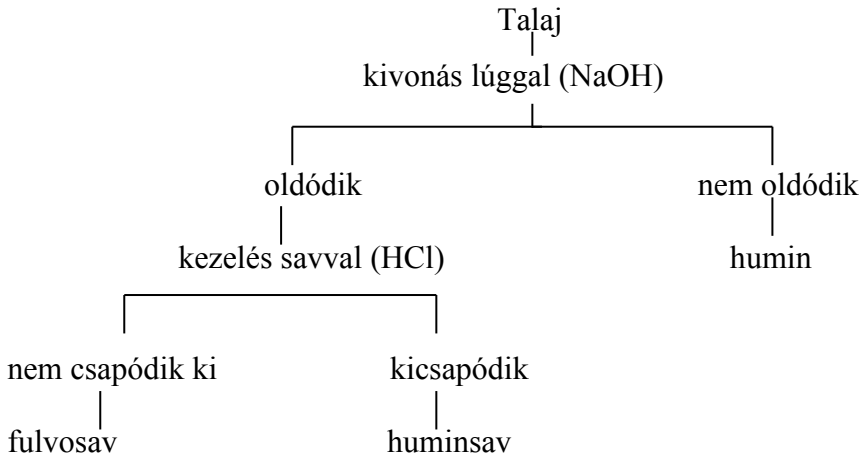
A talajban tárolt többlet nedvesség előnye száraz évjáratokban jelenik meg igazán, mivel a termesztett növény számára több felvehető víz áll rendelkezésre a fejlődés szempontjából kritikus időszakban. A nedvesebb talajállapot emellett kedvez a nagyobb biológiai aktivitásnak, amely többek között segíti a vízálló, jobb aggregátumstabilitással rendelkező talajszerkezet kialakulását (Rátonyi et al., 2003).

2.2. A humuszanyagok molekuláris összetételének jellemzése

A talaj szervesanyagának szétválasztása a lebomlás gyorsaságában tapasztalt különbségek alapján kis mennyiségű aktív frakciót eredményez, amely viszonylag gyorsan lebomlik és ismereteink szerint érzékeny a környezeti és a mezőgazdasági művelés okozta változásokra; valamint egyéb ellenállóbb frakciókat (pl. humusz) (Stevenson, 1994; Wander és Traina, 1996). A humuszanyagok a talaj fontos komponensei, hiszen sok stabil formában lévő szenet tartalmaznak, így részt vesznek a szén ciklus és a tápanyagok (nitrogén, foszfor és kén) felszabadulásának szabályozásában. Továbbá, növelik a kationcsere kapacitást, víztartó képességet és javítják a talaj szerkezetét (Stevenson, 1994). A talaj humuszanyagai nagyrészt oldhatatlanok és hosszú ideig fennmaradhatnak a talajban mielőtt lebomlanak viszonylag lassú kémiai és biológiai oxidatív lebomlási folyamatokban (Swift, 1996). A humuszanyagok mennyisége és minősége a talajtípustól és számos élettelen tényezőtől (például a csapadéktól, hőmérséklettől és talaj pH-tól) függően változik (Skjemstad et al., 1998); valamint különböző földhasználati rendszerek is befolyásolják a talaj humuszanyagainak tulajdonságait (Condron és Newman, 1998; Madari, 1998) a humifikációra gyakorolt hatásuknak köszönhetően (Gonzalez et al., 2003).

A humuszanyagok Parsons (1988) szerint a természetben előforduló biogén és heterogén szervesanyagok, amelyeket hagyományosan huminsav (HS), fulvosav (FS) és humin frakcióra lehet szétválasztani. Többféle anyaggal (víz, vizes só oldatok, lúgos oldatok és szerves oldószerek) próbálták kivonni a szervesanyagokat, de a leginkább használt módszer, amit a Nemzetközi Humuszanyag Társaság (International Humic Substances Society) is ajánl, a lúgos közegben való kivonás (Stevenson, 1994).

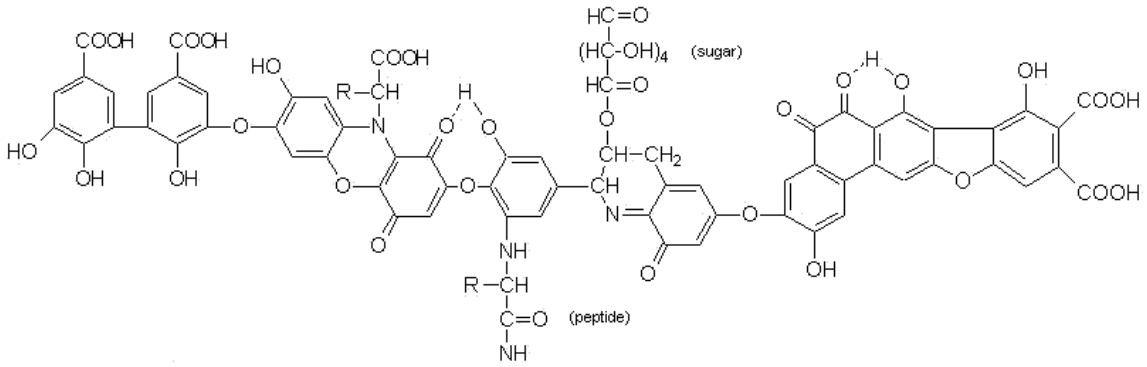
A humin frakció nem oldható vizes oldószerekben semmilyen pH értéken. A humuszanyagok lúgos kivonása után a humin frakció az ásványi részhez kapcsolódva marad. A huminsav az a frakció, amely a lúgos kémhatású vizes oldatból a pH 1-re való beállítása után kicsapódik. A fulvosav pedig oldatban marad mind savas, mind lúgos pH esetén (Aiken et al., 1985). A humuszanyagok kivonásának és szétválasztásának folyamatát az 1. ábra mutatja be.



1. ábra A humuszanyagok kivonásának és szétválasztásának folyamata (Stevenson, 1994)

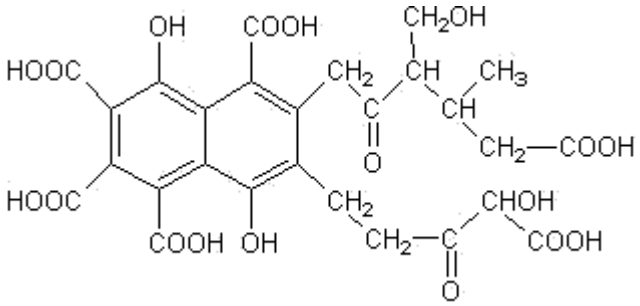
Ezek a frakciók kémiailag nem homogének, de tulajdonságaik bizonyos trendet követnek. A fulvosavtól a huminsavon keresztül a humin felé haladva, a szín intenzitása, a polimerizáltság foka, a molekulatömeg és molekulanagyság és a szén koncentráció nő, míg az oxigén koncentráció, a kicserélődési kapacitás és az oldhatóság foka csökken. A huminsavak és fulvosavak közötti fő különbségek azzal magyarázhatók, hogy különböző ezeknek az anyagoknak a molekulatömege, a funkciós csoportok száma és a polimerizáltság mértéke. A fulvosavak több savas karakterű funkciós csoportot tartalmaznak (főleg COOH), ezáltal összaciditásuk jelentősen nagyobb, mint a huminsavaké. Míg az oxigén a fulvosavakban főleg az ismert funkciós csoportokban található (COOH, OH, C=O), az oxigén nagy része a huminsavakban valószínűleg az aromás mag szerkezeti eleme (Stevenson, 1994).

A humuszanyagok aromás vegyületeket (pl. kinon) tartalmaznak, ezek alkotják a humuszanyagok magját. A humuszanyagok reaktív komponensei a funkciós csoportok, melyek a molekula felszínén az aromás és alifás részekhez kapcsolódva találhatók. A huminsavak feltételezett szerkezete a 2. ábrán látható.



2. ábra Huminsavak feltételezett szerkezete (Stevenson, 1994)

A legfontosabb funkciós csoportok a karboxil (COOH) csoport vagy karboxilát (COO^-) gyökök és a fenolos –OH csoportok. Ezek a funkciós csoportok savas karakterűek és ezek szolgáltatják a humuszanyagok nettó negatív felületi töltését, amely sok talajbeli funkciójukért felelős. Egyéb funkciós csoportjaik az alkohol ($R\text{-}CH_2OH$), amino (NH_2), amin ($R\text{-}CH_2\text{-}NH_2$), amid ($R\text{-}CO\text{-}NH_2$), aldehid (R-CHO), enol (R-CH=CH-OH), keton (R-CO-R'), ketosav (R-CO-COOH), imin (R-CHNH) és imino (=NH) csoportok. A kisebb méretű fulvosavak specifikus felülete nagyobb, így több savas karakterű funkciós csoporttal rendelkeznek. A funkciós csoportokat és deriváltjaikat viszonylag jól lehet vizsgálni infravörös spektroszkópiával (MacCarthy és Rice, 1985). A fulvosavak feltételezett szerkezete a 3. ábrán látható.



3. ábra Fulvosavak feltételezett szerkezete (Stevenson, 1994)

Sok kutató vizsgálta a mezőgazdasági művelés humuszanyagokra gyakorolt hatását. Művelt talajokban a szervesanyag reaktivitásának növekedéséről számoltak be, amire abból következtettek, hogy a művelt talajokban a huminsavak összaciditása magasabb volt, mint direktvetéses talajokban (Stearman et al., 1989). A művelés általában növeli a kisebb molekulasúlyú és reaktívabb frakciók (pl. fulvosavak) mineralizációjának sebességét, ami a stabil huminsavak relatív felhalmozódásához vezet (Machado és Gerzabek, 1993). Arshad et al. szerint (1990) a direktvetéses talaj ill. a direktvetéses talaj szénben gazdag frakciója több szénhidrátot, aminosavat, alifás szenet és kevesebb aromás szenet tartalmazott. Capriel et al. (1990) és Capriel (1997) egy 1953-ban elkezdett

hosszútávú kísérletet vizsgálva azt állapították meg, hogy a mezőgazdasági művelés egyértelműen befolyásolja a hidrofób alifás C-H egységek mennyiségét. Úgy találták, hogy hagyományos műveléskor csökken a szervesanyag hidrofób karaktere (a szervesanyag tartalom csökkenése mellett), a mikrobiális aktivitás és az aggregátum stabilitás. Nagy volt a korrelációs koefficiens az alifás frakció és a talaj aggregátum stabilitása között (r = 0,91).

Mivel a humuszanyagok komplex, heterogén anyagok, jellemzésük olyan módszerek használatát igényli, amely összetételükről mennyiségi és minőségi információval is szolgál. Mennyiségi adatot szolgáltat, ha meghatározzuk az elemi összetételt, míg a spektroszkópiai elemzés a molekuláris összetételről szolgáltat információt.

A Fourier transzformációs infravörös spektroszkópia (FTIR) hasznos eszköz a talaj szervesanyagának vizsgálatára (White és Roth, 1986; Baes és Bloom, 1989; Johnston et al., 1994). Segítségével értékes információt kaphatunk a humuszanyagok összetételéről, az oxigén tartalmú funkciós csoportok természetéről és szerkezeti felépítéséről, a szénhidrátok, fehérjék és szervetlen szennyeződések jelenlétéről (MacCarthy és Rice, 1985; Stevenson, 1994). Használják a fémek és peszticidek szervesanyaggal való kölcsönhatásának tanulmányozására, valamint a talajművelés (Madari et al., 1998; Liang et al., 1998), szervestrágya kiadagolás (Dorado et al., 2003), vetésforgó (Wander és Traina, 1996) és fedőnövények (Canellas et al., 2004) humuszanyagokra gyakorolt hatásának vizsgálatára is.

Az infravörös tartományban történő fényelnyelés (abszorpció) a molekulacsoportok és molekulák közötti kötések forgási és rezgési mozgásának eredménye. Egy molekula teljes energiája transzlációs, forgási, rezgési és elektromos energiából áll (Johnston et al., 1996). Az anyaggal való érintkezés során az infravörös sugárzás különböző hullámhosszúságai nyelődnek el a forgási és rezgési energia szintekben. Két fő rezgést különböztetünk meg: a nyújtást (szimmetrikus, asszimmertikus), ahol az atom kötéstengelye nem változik, viszont növekszik vagy csökken az atomok közötti távolság; illetve a hajlítást (vagy deformációt), ahol az atomok eredeti kötéstengelye változik meg. A hajlításos rezgések általában alacsonyabb frekvencián találhatók és kevesebb energiát igényelnek, mint a nyújtásos rezgések (Stevenson, 1994; Kékedy, 1995).

Az infravörös színkép a vegyületek különböző kötéseire, atomcsoportjaira jellemző abszorpciós sávokból áll. Ezek a diagnosztikus sávok arra használhatók, hogy megállapítsuk, hogy egy adott komponens vagy funkciós csoport jelen van-e. A spektrum felvételénél az abszorbeált fényintenzitást ábrázoljuk a gerjesztő sugárzás energiájának a függvényében, így nyerjük a megfelelő színképet. A spektrum abszorpciós maximumainak megfelelő hullámhosszak vagy hullámszámok (a centiméterben kifejezett hullámhossz reciproka) az anyagi minőségre jellemzőek, míg az elnyelés során jelentkező intenzitásváltozás a mennyiségre. Az X tengelyen a hullámszámot, az Y tengelyen pedig az abszorbanciát ábrázoljuk, ezzel jelezve a minta által abszorbeált energia

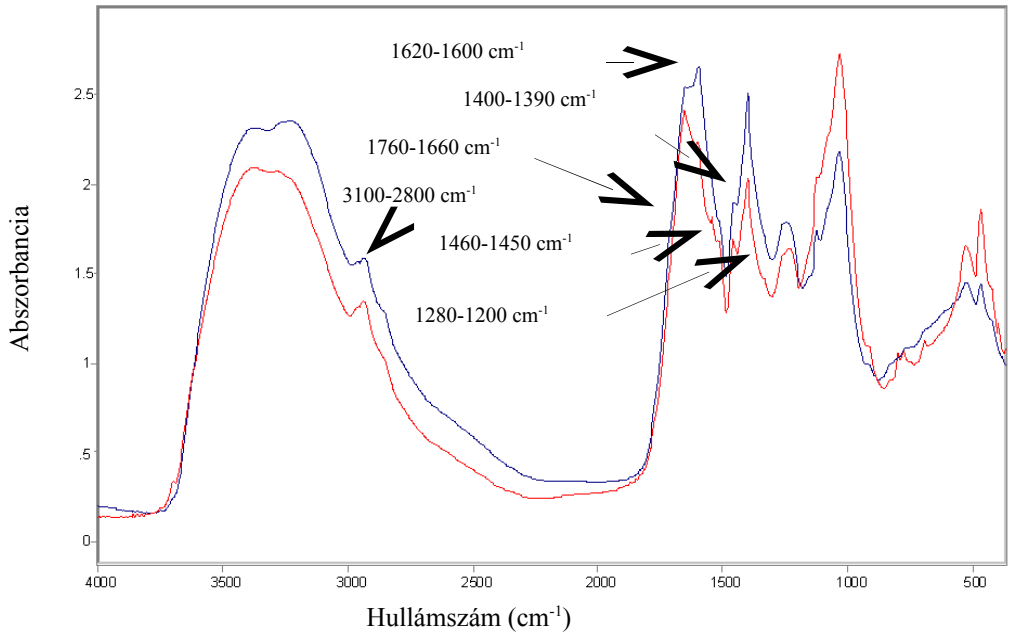
mennyiségét. A spektrum energiatengelye adja a kvalitatív analitikai információt, míg az intenzitástengely a kvantitatív jellemzőkről tájékoztat.

A humuszanyagok számos diagnosztikus abszorpciós sávval jellemezhetők az elektromágneses sugárzás közepes infravörös régiójában (~ 4000 – 400 cm^{-1}). Mivel a humuszanyagok komplex molekulák, funkciós csoportjaik mindegyike széles skálán fordul elő, aminek eredményeképpen az egyes összetevők abszorpciós sávjai átfedhetik egymást, ami más kémiai anyagok spektrumaihoz képest egyszerűbbé teszi a humuszanyagok spektrumait, de egyben meg is nehezíti értékelésüket (MacCarthy és Rice, 1985). Emellett különböző kutatók kismértékben eltérő frekvenciákhoz kötik az egyes abszorpciós sávokat.

A humuszanyagok fő, tipikus abszorpciós csoportjai a következők (MacCarthy és Rice, 1985; Stevenson, 1994; Madari et al., 1998; Johnston et al., 1994):

3700 – 3550 cm^{-1} OH nyújtás ásványokban
3400 - 3300 cm^{-1} H-kötött OH csoport, szorbciós víz
3100 - 2800 cm^{-1} alifás C-H nyújtás
1760 - 1660 cm^{-1} COOH csoportok C=O nyújtása
1660 - 1630 cm^{-1} amid csoportok C=O nyújtása, quinine C=O és / vagy C=O H-kötött konjugált ketonok
1620 - 1600 cm^{-1} aromás C=C nyújtás
1590 - 1517 cm^{-1} COO^- szimmetrikus nyújtás, N-H deformáció, C=N nyújtás
1460 – 1450 cm^{-1} alifás C-H nyújtás
1400 - 1390 cm^{-1} O-H deformáció és C-O nyújtás fenolos OH-ban és COO^- nyújtás
1280 – 1200 cm^{-1} C-O nyújtás és COOH csoport OH deformációja
1170 – 950 cm^{-1} poliszaccharidok vagy poliszaccharidszerű anyagok C-O nyújtása, Si-O szilikát szennyeződésben.

A huminsavak és fulvosavak spektrumában számos jellemző sáv van, de a legtöbb abszorpciós sáv nem csak egy típusú molekuláris rezgésre jellemző, így az abszorpciós sávok egyértelmű elkülönítése nehéz. Néhányat az előbbiekben említett jellemző sávok közül a 4. ábrán mutatok be.



4. ábra Jellemző FTIR abszorpciós csúcsok a különböző művelési rendszerek, vetésváltások és mélység összehasonlítására

A különböző művelési rendszerek, vetésváltások és mintavételi mélységek közötti eltérések összehasonlítására célszerű viszonylag jól elkülöníthető abszorpciós sávokat választani.

2.3. A különböző talajművelési rendszerek és a vetésváltás hatásainak jellemzése

Természetes körülmények között a talaj szervesanyagának mennyiségét a talajképző tényezők (klíma, domborzat, vegetáció, talajképző kőzet és idő) határozzák meg (Stevenson, 1994), és a szervesanyag mennyisége a humifikáció és mineralizáció közötti egyensúly függvénye (Campbell, 1978). Az emberi tevékenység is drasztikusan befolyásolja a talajképződést; az egyik fő tényező a talajművelés (Brady és Weil, 2002).

Az őszi szántással (SZ) és az azt követő tavaszi talajmunkákkal laza, morzsalékos magágyat készítünk elő a talaj felső 10 cm-ében (Phillips et al., 1980; Birkás et al., 1993). Szántáskor a barázdaszelet 20-25 cm-es mélységbe fordul át. A növekedésszabályozó és szelektív gyomirtó szerek bevezetése előtt szántás és tárcsázás nélkül nem lehetett volna a gyomokat visszaszorítani és megfelelő termésátlagot elérni ahhoz, hogy a termelés jövedelmező legyen (Phillips et al., 1980). A nehézkultivátoros művelés (NK) szintén lazítja a talajt, de nem fordítja át a barázdaszeletet, és a szántásnál egyenletesebben oszlatja el a növényi maradványokat.

A művelés nélküli direktvetés (DV) olyan növénytermesztési rendszer, amelyben a talaj bolygatása egy keskeny vetőárok nyitására korlátozódik, amibe a mag és műtrágya kerül, és a gyomirtás teljes mértékben gyomirtószerekkel történik. A talaj felszínét vetéskor az előző növény elhalt maradványai borítják. A talajt ezután már nem művelik, és a talajjavító anyagokat, mint például a meszet és műtrágyát, általában a felszínre szórják. A műtrágyát mechanikailag nem keverik be a szántott rétegnek megfelelő szintbe és a talaj alsóbb rétegeiből a növényi gyökerek által felvett tápanyagok nagy része (ami a szemtermés betakarításával nem kerül le a területről, illetve ami az elhalt növényi gyökerekben maradt) a talajfelszínen rakódik le növényi maradványok formájában (Phillips et al., 1980; Dick, 1983).

Különböző művelési rendszerek hatása a talaj szénmegkötő képességére nagymértékben függ a területen termelt növényektől. A vetésváltás azt jelenti, hogy ugyanazon a területen két különböző növényt termesztünk egymást követő években, szemben a monokultúrával, amikor egy növény termesztése ismétlődik ugyanazon a területen (Bullock, 1992). Vetésváltás alkalmazásakor gyakran magasabb a termésátlag (Mitchell et al., 1991), hiszen a vetésváltás kedvezően befolyásolja a tápanyag és vízellátottságot, a kártevők, gyomok és betegségek előfordulását, a növekedést gátló, vagy növekedést serkentő anyagok előfordulását és a talaj állapotát (Russelle et al., 1987; Bullock, 1992; Birkás et al., 1993). Nagyon fontos lehet a hüvelyesek nitrogénmegkötő képessége, különösen, ha nem alkalmazunk nitrogén műtrágyát. Arról, hogy a vetésváltás a nitrogénen kívül a többi tápanyag hozzáférhetőségére milyen hatást gyakorol, nincsen közvetlen információnk, de ismert, hogy a vetésváltás növeli a talaj mikrobiális aktivitását, ami közvetlen hatást gyakorol a szervesanyag mikróbák általi lebontására és így azon tápanyagok felszabadítására, amelyet a mikroszervezetek maguk nem használnak fel. Ezen kívül, a mikrobiális biomasszában tárolt tápanyagok is hozzáférhetővé válnak, amikor a mikroorganizmusok elpusztulnak (King, 1990).

Az Egyesült Államokban a kukoricának körülbelül 20 %-át termesztik monokultúrában (Power és Follett, 1987), a maradék kukorica nagy részét pedig két éves vetésváltásban szójával (Bullock, 1992). Studdert és Echeverria (2000) monokultúrában termesztett szója esetén mérte a legkisebb szerves szén tartalmat, de amikor kukorica is szerepelt a vetésváltásban, a szerves szén tartalom nőtt. A nitrogén műtrágyázás segít szinten tartani a talaj szerves szén tartalmát az eredeti szinthez képest, mivel kedvező hatást gyakorol a növények növekedésére, így több növényi maradvány keletkezik (Barber, 1979). Különböző növényi sorrendek között megfigyelt különbségek azt mutatják, hogy az egyik, a talaj szerves széntartalmát meghatározó faktor a maradványok mennyisége, de ennek hatását egyéb tényezők is befolyásolják. A szervesanyag mennyiségét lényegében az elsődleges nettó produkció, a fotoszintézis termékeinek eloszlása a gyökérzetbe és föld feletti részekbe, és ezen szervesanyagok lebomlásának üteme szabályozza (Batjes, 1996).

2.4. A szántóföldi művelés hatása a talaj szénmegkötésére

A szervesanyag tartalom rendszerint csökken, amikor egy talajt először művelés alá vesznek, majd egy új egyensúlyi állapot felé halad, amit a meghatározó növénytermesztési rendszer és a klíma befolyásol. A nagyon kevés szenet tartalmazó talajok széntartalma a művelésbe vételt követően emelkedhet (ha a művelés több szervesanyagot szolgáltat, mint az eredeti vegetáció), de egy, a talaj szénveszteségét globális méretekben vizsgáló tanulmányban azt állapították meg, hogy erdők és füves területek művelésbe vételét követően a sok szenet tartalmazó talajok eredeti széntartalma a talaj felső, 30 cm-es szintjében mintegy 20 %-kal csökken (Mann, 1986). A szervesanyag-tartalom legjobban a művelés első 20 évében csökken (Mann, 1986). A Rothamsted-i Kísérleti Állomás tartamkísérleteiben azt állapították meg, hogy alacsony szervesanyag tartalmú művelt talajok szerves szén szintje nem csökkent 30 év művelés után (Jenkinson, 1991). Illinois államban (USA) a Morrow parcellák talajaiban a szervesanyag tartalom 69 év alatt fokozatosan csökkent (Odell et al., 1984); míg Groffman (1984) gyors ütemű csökkenést tapasztalt 6-12 év alatt egy agyagos talajon Georgia államban (USA). Lucas et al. (1977) szerint hagyományos növénytermesztési gyakorlat esetén több, mint 60 évig tart, mire a talaj szervesanyag-tartalma elér egy állandó szintet. Az új állandó szint elérésének ideje a kezdeti szervesanyag-tartalom függvénye. A talaj szerves szén tartalmában bekövetkező csökkenés oka, hogy csökken a növényi maradványok mennyisége a humusz szintézis számára, a szervesanyag mineralizálódik, eltávozik erózióval, lemosódik a talaj alsóbb rétegeibe vagy a talajvízbe, valamint a jobb levegőzöttség a mikrobiális aktivitás növekedéséhez vezet. A művelés leginkább azzal stimulálja a mikrobiális lebontást, hogy az addig védett szervesanyagot hozzáférhetővé teszi a mikroorganizmusok számára (Sparks, 2003).

A művelési rendszer folytonossága fontos tényező, hiszen több év vagy évtized szükséges ahhoz, hogy a szervesanyag-tartalomban a művelési rendszerek között kialakuló különbségeket ki tudjuk mutatni (Birkás és Gyuricza, 2004). Különböző művelési rendszerek talajra gyakorolt hatása részben attól is függ, hogy mennyi ideje alkalmazzuk (Potter et al., 2001).

Az Egyesült Államokban a talaj szerves szén tartalma átlagosan mintegy 40 %-kal csökkent a füves területekből kialakított szántókon és egy közel állandó, alacsony szintet ért el 1940 körül (Allmaras et al., 2000). Míg a hagyományos művelés a szerves szén tartalom nagymértékű csökkenését eredményezheti, kevésbé intenzív művelés a növényi maradványok megfelelő kezelésével, hosszabb idő elteltével növeli a felső talajszintek szerves szén és nitrogén tartalmát, összehasonlítva a sok éves hagyományos művelés utáni alacsony szinttel (Dick, 1983; Eghball et al., 1994; Madari et al., 1998; Allmaras et al., 2000). Karlen et al. (1994) azt tapasztalta, hogy 12 év elteltével kukorica monokultúra esetén művelés nélküli direktvetésben a talaj felső 30 cm-es rétegében megnövekedett a szerves szén mennyisége a hagyományos szántáshoz képest.

Hosszútávú művelési kísérletekben Ohioban (USA) erdőtalajon szintén magasabb szerves szén tartalmat mértek a 0-30 cm-es rétegben direktvetés esetén szántással összehasonlítva kukorica monokultúrában és kukorica-szója vetésváltásban (Lal et al., 1994). Balesdent et al. (1990) azt tapasztalta, hogy a művelés nélküli direktvetés legalább 30 %-kal több szerves szenet (kg/m^2) tárolt a 0-30 cm-es rétegben kukorica monokultúrában a forgatásos műveléssel szemben. Potter et al. (1998) szerint a talaj felső 30 cm-es rétegének szerves szén koncentrációja következetesen nagyobb volt direktvetés esetén, mint szántáskor, három különböző, 10 éves tartamkísérletben, melyeket egy hőmérsékleti és nedvességgrádiens mentén állítottak be Texasban (USA). A szerves szén tartalom legnagyobb mérvű növekedését direktvetéssel az Amerikai Egyesült Államok hidegebb, északi részében tapasztalták (Potter et al., 2001).

Néhány kutató azonban más következtetésre jutott különböző művelési rendszereknek a talaj szénmegkötő képességére gyakorolt hosszútávú hatását illetően. Powlson és Jenkinson (1981) nem talált különbséget a nitrogén és szerves szén tartalomban direktvetés és szántás között azonos mélységet vizsgálva 5-10 éves kísérletekben Angliában. Kern és Johnson (1993) 30 cm mélységig végzett vizsgálatok eredményeit összegezve azt állapították meg, hogy a hagyományos művelésről művelés nélküli direktvetésre való áttérés a talaj felső 15 cm-es rétegében köti meg a legnagyobb mennyiségű szenet, de a szerves széntartalom 15 cm-es mélység alatt ugyanakkora hagyományos művelés és direktvetés esetén is. Campbell et al. (1999) 11-12 éves kanadai kísérletek alapján azt állapította meg, hogy a széntartalom növekedése (0-3 t/ha) a 0-15 cm-es mélységben csekély volt a hagyományos művelésről direktvetésre való áttérés után.

Néhány tanulmányban azonban (Angers et al., 1997; VandenBygaart et al., 2002) a szerves szén és nitrogén tartalom változását a szántás mélysége alatt is vizsgálták. Angers et al. (1997) Kelet-Kanadában, hűvös és nedves éghajlaton, nem talált szignifikáns eltérést a talaj szerves szén és nitrogén tartalmában különböző kezelések között 60 cm mélységig 3-11 éves kísérletekben. A direktvetéses parcellák nem tartalmaztak több szenet és nitrogént, mint a hagyományosan szántott parcellák, azonban a szén és nitrogén mélységbeli eloszlása változott a műveléstől függően. A felszíni 0-10 cm-ben a szén és nitrogén tartalom nagyobb volt a direktvetéses parcellákban, mint a szántottban, míg a 20-40 cm-es mélységben fordított trendet figyeltek meg.

Mivel a legtöbb vizsgálatot 30 cm mélységig végezték el (West és Post, 2002), keveset tudunk a művelés hatásáról nagyobb mélységben. A talaj széntartalmának lehetséges növekedése a szántott réteg alatt ezért további, alapos vizsgálatokat igényel. Továbbá, ha figyelembe vesszük a növények gyökerezési mélységét, akkor a talaj mintázását és vizsgálatát 100 cm mélységig, esetleg a C szintig kellene elvégezni, hiszen így megbízhatóbban tudnánk megítélni a különböző művelési rendszerek szénmegkötésre gyakorolt hatását. Fontos megemlíteni azt is, hogy az üvegházhatású gázokkal való kereskedés irányelveit szintén a felső 30 cm-es réteg vizsgálati eredményei alapján

határozzák meg, ami azonban téves következtetéseket eredményezhet (Johnson et al., 1995; Eve et al., 2001).

Számos szántóföldi tartamkísérlet bizonyította tehát, hogy a talaj szervesanyag-tartalma a mélységgel változik (nagyobb a felszínhez közel) direktvetéses talajok esetében (Blevins, 1984). A talaj minimális bolygatása csökkenti a szervesanyag mineralizációját, és a hagyományos műveléshez képest nagyobb mértékű szerves szén tárolást eredményez (West és Post, 2002). A szerves szén és nitrogén talajban való eloszlását nagymértékben befolyásolja, ha szántás helyett direktvetésre térünk át hosszútávon, de keveset tudunk a rövidtávon bekövetkező változásokról művelési rendszer váltáskor, valamint a szerves szén sorsáról abban az esetben, amikor direktvetéses területeket időszakosan megszántanak (McCarty et al., 1998; VandenBygaart és Kay, 2004).

Habár a direktvetést széleskörben alkalmazzák az USA "Eastern Corn Belt" kukoricatermesztő régiójában, a gyakorlatban kevés szántóterületen folytatnak folyamatosan direktvetést (Hill, 1998). Sok gazda gyakran megszántja vetésváltásban a direktvetéses parcellákat bizonyos növények vetése előtt, így javítva a kórokozók miatti és a talajművelés okozta problémákon (Pierce et al., 1994). A hosszútávú direktvetés a növények növekedése szempontjából kedvezőtlen állapotot (talajtömörödés, gyomosodás) idézhet elő, amely esetleg csak talajművelés időnkénti beillesztésével szüntethető meg (Birkás et al., 2002). Ezenkívül, a gazdák egyéni döntését nagymértékben befolyásolják gazdasági tényezők, így a talajművelési és növénytermesztési gyakorlat évenként változhat (VandenBygaart és Kay, 2004). Indiana államban például a mezőgazdasági területek mintegy 40 %-án szója-kukorica vetésváltás esetén a direktvetésben termesztett szója betakarítása után, a kukorica vetése előtt megszántják a talajt. A művelési rendszerek váltogatása a hagyományos műveléssel összehasonlítva több védelmet nyújt az erózió ellen, azonban ha a folyamatos direktvetéssel hasonlítjuk össze, késleltetheti néhány talajfizikai és talajkémiai tulajdonság javulását, így például a szerves szén tartalom növekedését (Hill, 2001).

Folyamatos direktvetéses művelés esetén a szerves szén, a nitrogén, az egyéb tápanyagok és a pH rétegződnek, és a térfogattömeg a felszínhez közel nagyobb, mint szántott talajok esetében (Dick, 1983, Gantzer és Blake, 1978). Pierce et al. (1994) tanulmánya szerint a direktvetéses talajok megszántása a folyamatos szántáshoz hasonló talajfizikai állapotot idéz elő a művelést követő első évben. Direktvetéshez való visszatérés után a talaj leülepedik, és a fizikai talajtulajdonságok a hagyományos művelés és direktvetés közötti állapotot mutatnak legalább még egy évig. Négy-öt éven belül a szántás hatása már nem mutatkozik, a talajtulajdonságok hasonlóak a direktvetésre jellemző tulajdonságokhoz, mert a szántás utóhatásai már nem figyelhetők meg. Direktvetéssel művelt talajok megszántása után a szántott rétegben átrendeződik a tápanyagok vertikális eloszlása, ami stimulálja a nitrogén mineralizációját. A direktvetés esetén kialakuló felszíni rétegződés nem

tűnik el teljesen a talaj megszántása után, és idővel újra erősödik. Míg a foszfor és kálium rétegzettségének átrendeződése a talaj megszántása után 4-5 évvel is megfigyelhető volt, nem voltak különbségek a szerves szén tartalomban és pH-ban a folyamatos direktvetéssel művelt és direktvetés után egyszer megszántott talajban, miután azt 4-5 évig újra direktvetéssel hasznosították. VandenBygaart és Kay (2004) azt állapította meg agyagos vályog talajon, hogy a szerves szén tartalomban bekövetkezett veszteség nem volt jelentős 18 hónappal azután, hogy egy 22 éve direktvetéssel művelt területet Dél-Ontarióban, Kanadában egyszer megszántottak.

Különböző művelési rendszerek szervesanyag tartalomra gyakorolt hatását a talaj szén és nitrogén tartalmának meghatározása mellett az egyes szervesanyag frakciók szétválasztásával és vizsgálatával is jellemezhetjük, mely másfajta, de szintén értékes információt nyújt a művelés szén dinamikára gyakorolt hatásáról.

2.5. Növénytermesztési tartamkísérletek

Minden mezőgazdasági beavatkozás (műtrágyázás, művelés, peszticidek használata, stb.) befolyásolja környezetünket. A legtöbb kiváltott hatás lassan érvényesül, és rövid időn belül általában nem is mutatható ki. Ez különösen igaz a talajra gyakorolt hatások esetében. A tartamkísérletek lehetővé teszik, hogy adatokat gyűjtsünk, melyek segítségével nyomon követhetjük ezeket a változásokat és kumulatív hatásaikat mérni és vizsgálni tudjuk. A talajművelés révén eddig bekövetkezett változások vizsgálata mellett nagyon fontos az is, hogy előre tudjuk jelezni a beavatkozások hosszútávú hatásait, valamint alternatívákat tudjunk kínálni a felmerülő problémák megoldására (Németh, 1997).

A tartamkísérletek célja általában egyrészt a talaj termőképessége javításának felmérése, másrészt annak megállapítása, hogy a termőtalaj mennyi ideig képes az intenzív és folyamatos művelést nagyobb mértékű károsodás nélkül tolerálni. Vannak olyan klasszikus tartamkísérletek, amelyeket eredetileg speciális talajtermékenységi illetve növénytermesztési problémák megoldására terveztek.

Az első szántóföldi tartamkísérletet Nagy-Britanniában (Rothamstedben) állították be 1843-ban, a szántóföldi növények számára optimális nitrogén, kálium, foszfor, magnézium, és nátrium szint megállapítására. A parcellákon sok jelentős megfigyelést tettek a tartamhatásokra vonatkozóan, többek között azt, hogy a megművelt talajokban a szervesanyag-tartalom a művelés első éveiben csökken, majd egy új egyensúlyi állapot áll be (Powlson és Jenkinson, 1981).

Egy másik jól ismert hosszútávú kísérlet (Morrow Plot) Illinoisban, az USA-ban található. Az 1876-ban megkezdett kísérletekben a monokultúrás kukoricát, kukorica-zab vetésváltással, illetve kukorica-zab-here vetésforgóval hasonlították össze. A későbbiekben további kezeléseket vezettek be, például mész és NPK műtrágya adagolását. A vizsgálat eredeti célja annak megállapítása volt, hogy kimeríthető-e a termékeny préri talaj monokultúrás kukoricatermesztéssel. Az adatok egyebek mellett azt mutatták, hogy a művelés hatására lecsökkent humusztartalom a különböző kezelésekben különböző szinteken stabilizálódott, a legmagasabb értéket (3,7 %) a kukorica-zab-here rotációban kapták (Odell et al., 1984).

Azóta sok más hosszútávú szabadföldi kísérletet kezdtek el szerte a világban. A 40-50 éve beállított kísérletek főleg három témával foglalkoznak: a vetésforgóval, a trágyahasználattal és a művelési rendszerekkel. Elemezve ezeknek a kísérleteknek az eredményét, az egyik legfontosabb megfigyelés az volt, hogy a művelésbe vont talajok szerkezeti szilárdsága kisebb, szervesanyag tartalmuk pedig alacsonyabb, mint a természetes vegetációval borított talajoké (Michéli et al., 1993).

Magyarországon jelenleg több kutatóhelyen és egyetemen, például a Pannon Egyetem Georgikon Mezőgazdaságtudományi Karán Keszthelyen (Kismányoky és Balázs, 1996; Tóth, 2001; Tóth és Kismányoky, 2001; Beke et al., 2005), a Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrumában (Huzsvai et al., 2005; Megyes et al., 2006; Sulyok et al., 2006), és a Szent István Egyetem Mezőgazdasági- és Környezettudományi Karán Gödöllőn (Birkás et al., 1998, 2002; 2004; Farkas et al., 1999; Birkás és Gyuricza, 2000, 2001; Percze et al., 2002; László et al., 2004) is folynak tartamkísérletek, melyek a műtrágyázás, vetésforgó és művelés hatásával foglalkoznak. A legrégebbi hazai tartamkísérletet Westsik Vilmos állította be 1929-ben, a Nyírségben. A kísérletben szerves trágyák és műtrágyák hatását vizsgálják különböző vetésforgókban (Lazányi, 1994). Az Országos Műtrágyázási Tartamkísérleteket (OMTK) 1967 és 1969 között állították be, kilenc helyszínen, melyek Magyarország talajadottságait reprezentálják. Ezekben a kísérletekben a szerves- és műtrágyák a talaj szervesanyagára, a termésátlagra, a talajtermékenységre és a tápanyagellátásra gyakorolt hatását vizsgálják (Németh, 1996; Debreczeni és Debreczeni, 1994; Michéli et al., 1993). A magyarországi tartamkísérletek főleg a trágyázás és a vetésforgók hatását vizsgálják, a művelés hatásairól kevesebb adat áll rendelkezésünkre (Madari et al., 1996; Madari, 1998).

Direktvetéses kísérletek Magyarországon 1962-ben kezdődtek és időben négy szakaszra különíthetők el. Az első szakaszban (1962-1974) a korábban nem ismert, új módszert hasonlították össze a hagyományos és a csökkentett (minimális) művelési rendszerekkel. A kísérletek öt kutatási körzetben (Martonvásár, Keszthely, Karcag, Szeged, Nyíregyháza) folytak változatos éghajlati és talajviszonyok között, öt növényfajjal (őszi búza, őszi árpa, rozs, tavaszi árpa, kukorica és napraforgó). A direktvetéses kísérletek második szakasza az 1982-1990-es évekre esik, amikor

Martonvásár, Keszthely és Gödöllő mellett Kompolton kezdődtek meg kísérletek. Ez időben fordult a figyelem a direktvetés technológiai kimunkálására (pl. Bábolnán és Bajnán). A harmadik szakasz 1991-ben kezdődött, amikor a vizsgálatok a direktvetés szárazgazdálkodásban való alkalmazhatóságának, és a talajkímélő rendszerek közé sorolhatóságának elbírálásával gazdagodtak. A negyedik időszak kezdete 1998-1999, amikor a kísérletek táblaméretűvé szélesedve a szántóföldi termesztéssel párhuzamosan különböző talajokon folytatódtak (pl. Bicsérd, Harta, Kisújszállás, Szorosad). A termésen kívül a talaj állapotára, a gyomosodásra, a gyomflóra változásaira gyakorolt hatás és a gazdaságosság volt a kutatások kiemelt témája (Birkás et al., 2002).

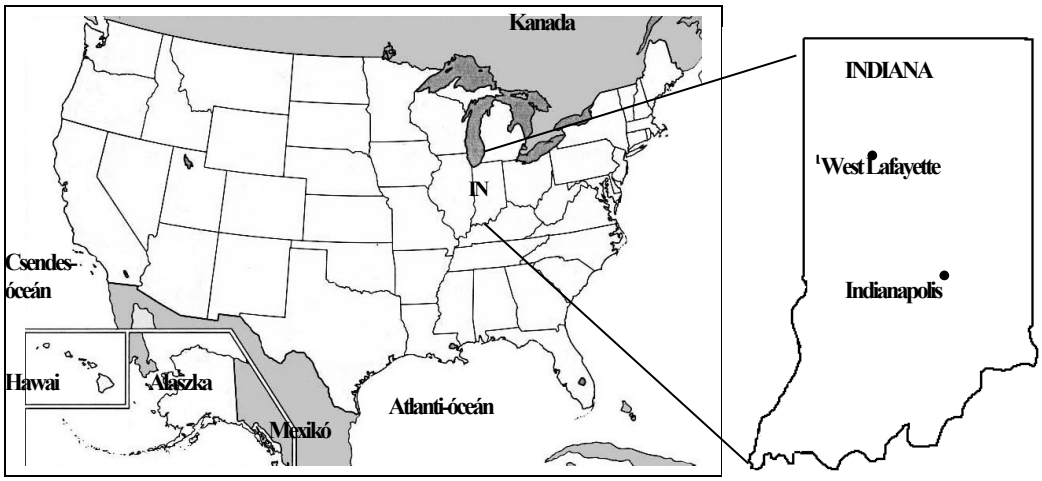
Magyarországon az 1962 óta eltelt idő ellenére még mindig sokak számára kevéssé ismert rendszer a direktvetés, habár néhány hazai kutatás (pl. Debrecenben) már bizonyította a direktvetésre alapozott kukoricatermesztési technológiák üzemi méretű alkalmazhatóságát hazai termesztési körülmények között is (Rátonyi et al., 2003). A direktvetés terjedését azonban akadályozza, hogy a talajok állapota a szántóterület 75%-án tömörödött, a gyomosodás mértéke a szántó- és ruderális területeken környezeti kárrá súlyosbodott, a hazai gyakorlatban más talaj- és környezetkímélő módszerek használata sem vált természetes igénnyé, a környezetkímélő vegyszerek ára nagyobb, a hiányos tápanyag-ellátás növeli a termesztés kockázatát és továbbképzés, szakértelem szükséges a szokatlan technológia bevezetéséhez (Birkás et al., 2002).

A Purdue Egyetemen (Indiana, USA) több tartamkísérletet indítottak el az 1970-es években, melyekben különböző művelési rendszereket és növényi sorrendet alkalmaznak (Madari, 1998). Doktori tanulmányaim során lehetőségem nyílt arra, hogy bekapcsolódjak a Purdue Egyetemen folyó kutatásokba, és mivel Magyarországon a direktvetés még nem elterjedt gyakorlat, illetve nincsenek több évtizedes direktvetést vizsgáló tartamkísérletek, vizsgálataim céljára a Purdue Egyetem művelési tartamkísérleteit mintáztam meg.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. Mintavételi helyszínek

Kutatásomhoz két mintavételi helyszínt választottam ki: a Purdue Egyetem Talajművelési Tartamkísérletét és Integrált Növényvédelmi Kísérletét. Mindkét kísérleti terület a Purdue Egyetem Mezőgazdasági Kutatási és Oktatási Központjának (Agronomy Center for Research and Education) területén, West Lafayette közelében (USA, Indiana állam; nyugati hosszúság 86° 56'; északi szélesség 40° 28'; tengerszint feletti magasság 215 m) található (5.ábra).



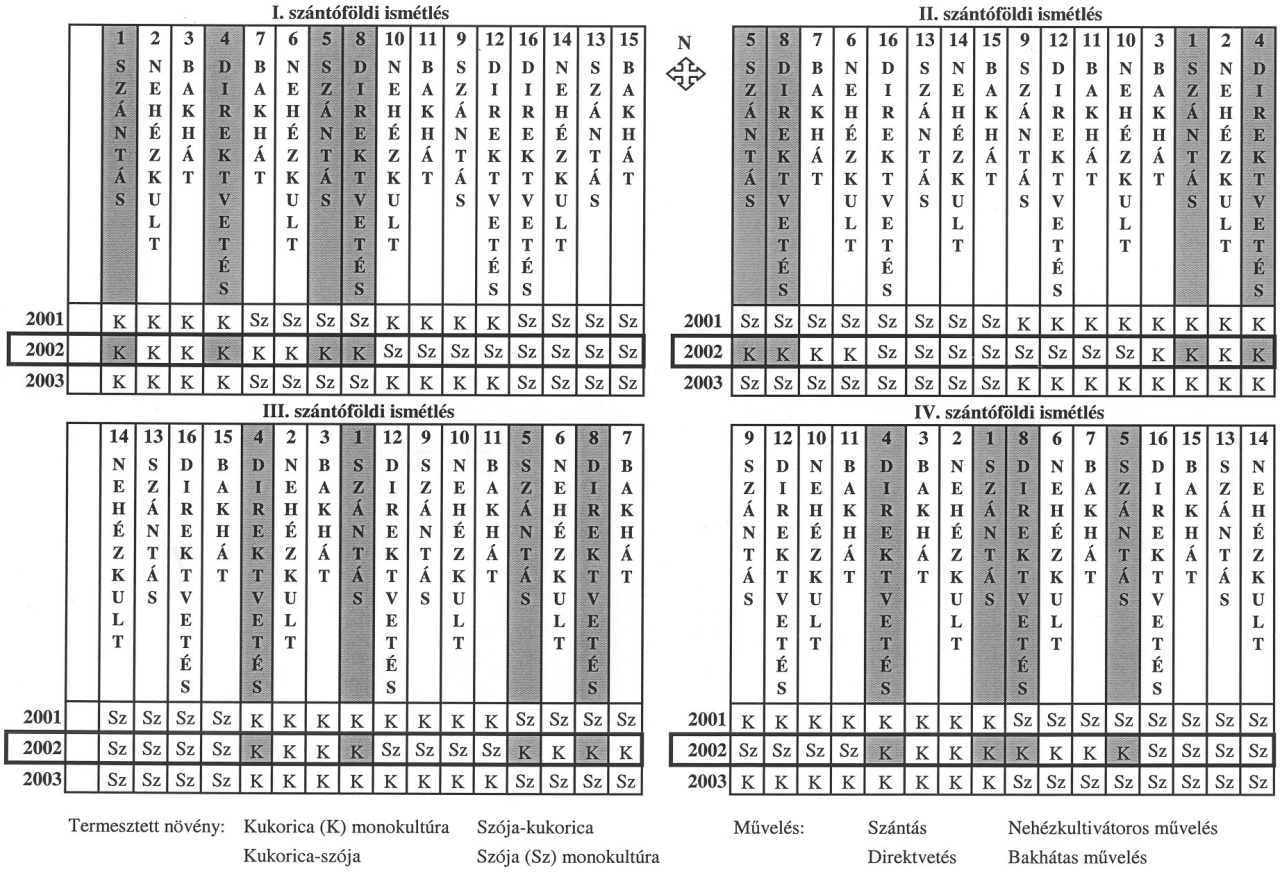
5.ábra A tartamkísérletek (West Lafayette) elhelyezkedése az Amerikai Egyesült Államokban, Indiana államban (IN)

Indiana állam területe 92 896 km^2, nagy része a Wabash folyó vízgyűjtő területéhez tartozik. Éghajlata kontinentális, melyet északról sarkvidéki, a keleti és nyugati oldalról óceáni és dél felől trópusi áramlatok befolyásolnak. Az évi középhőmérséklet 10,5 °C. Az év leghidegebb hónapja január (maximum napi középhőmérséklet $^-$0,5 - 3 °C, a minimum napi középhőmérséklet $^-$6 - $^-$9 °C), legmelegebb hónapja július (maximum napi középhőmérséklet 26-28 °C, a minimum napi középhőmérséklet 17-18 °C). Az utolsó fagy időpontja sokévi átlagban április 22., az első fagy időpontja október 16.. Magas a relatív páratartalom, az evaporáció 80-100 mm április és október között. A napfénytartam évi összege a lehetséges 55 %-a. Az évi átlagos csapadék mennyiség 940-1200 mm, ami összességében elegendő a növénytermesztés számára, azonban az aránytalan nyári

eloszlás enyhe aszálykárokat okozhat. A legcsapadékosabb hónap május (100-130 mm), az év folyamán átlagban minden harmadik nap esik csapadék (Indiana Állam Meteorológiai Szolgálat - Indiana State Climate Office, 2006).

3.1.1. A Purdue - Talajművelési Tartamkísérlet leírása

A Talajművelési Tartamkísérletet 1975-ben kezdték el. A kísérlet eredeti célja az volt, hogy hosszútávon vizsgálják különböző művelési rendszerek és vetésváltások termésmennyiségre gyakorolt hatását, valamint azokat a talajtulajdonságokban bekövetkező változásokat, amelyek a termésátlaggal összefüggésben állhatnak. Szántást, nehézkultivátoros művelést, bakhátas művelést és művelés nélküli direktvetést hasonlítottak össze kukorica (*Zea mays* L.) monokultúrában, szója (*Glycine max* (L.) Merr.)-kukorica bikultúrában valamint szója monokultúrában. A négy különböző művelési rendszer közül kettőt (szántást és direktvetést) mintáztam meg. A terület lejtése 1 % körüli, és 20 méterenként dréncsöveket fektettek le (Vyn et al., 2000). Az elrendezés típusa kéttényezős osztott parcellás kísérlet négy szántóföldi ismétlésben (Sváb, 1981) (6. ábra).



6. ábra A Talajművelési Tartamkísérlet térképe 2001-2003-ban

A kísérleti tér talaja sötét színű, nagy agyagtartalmú, a felszíni 30 cm-es rétegben körülbelül 4 % szervesanyagot tartalmaz, fizikai félesége agyagos vályog. Típusa csernozjom réti talaj a magyar osztályozás (Stefanovits et al., 1999) szerint; "Fine-silty, mixed, superactive, mesic Typic Endoaquolls" az USA Talajosztályozás (Keys to Soil Taxonomy) (Soil Survey Staff, 2006) szerint, és "Gleyic Chernozem" a Világ Talaj Referencia Rendszer (World reference base for soil resources) (IUSS working group, 2006) szerint.

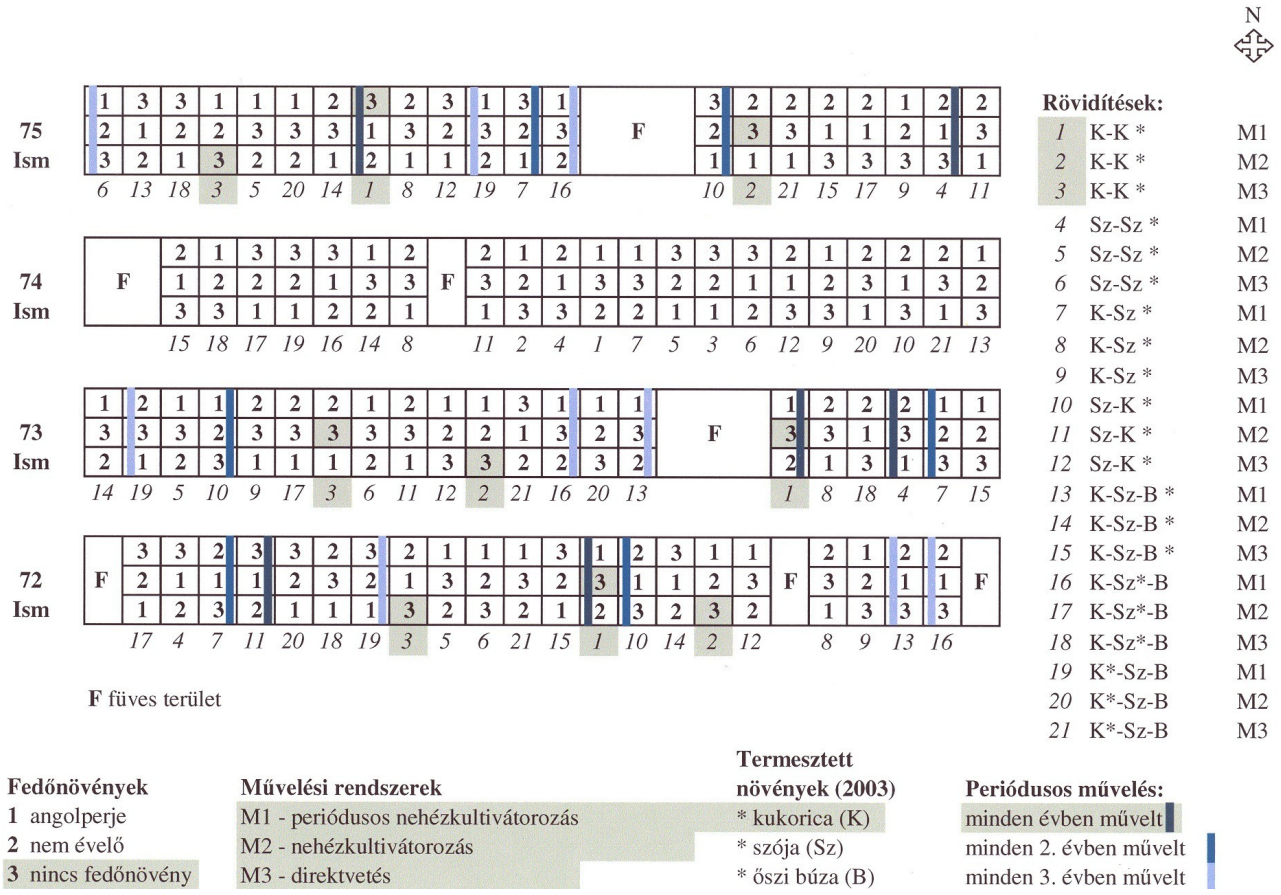
Mind a négy blokk 16 parcellából áll. Az egyes parcellák (0,04 ha) 9 m szélesek, 45 m hosszúak és 12 sorból állnak. A kukorica sortáv 76 cm volt. A művelés azonos módon folyt a kísérlet megkezdése óta. Az őszi szántás (2002. november 18-án) mélysége 20-25 cm, melyet tavasszal, vetés előtt egyszeri tárcsázás és kultivátorozás követett 10 cm mélyen, valamint kultivátorozás 2003. június 25-én. A direktvetést egy menetben végezték megmunkálatlan talajba, speciális nyitócsoroszlyás vetőgéppel. A kukoricát az előző évi kukorica illetve szója sorától 15 cm távolságra vetették. Direktvetésben kukorica monokultúrában az előző évi növények maradványai a talajfelszín 93 %-át, szója-kukorica vetésváltásban 84 %-át, míg a szántott parcellákban mindkét növény esetében 3 %-át borították. Időnként meszezték a területet, hogy a talaj pH-ja kedvező szinten maradjon. A legutolsó talajmintavétel előtti meszezés (2 t/ha szénsavas mész a talajfelszínre kiszórva) az őszi talajművelés előtt történt 2002. november 18-án. A nitrogén műtrágya egy részét a kukorica vetésekor (2003. május 23-án) juttatták ki (108 kg/ha). Majd 222 kg/ha nitrogént juttattak ki 28% N-tartalmú Karbamid-ammónium-nitrát (UAN) formájában a talajba injektálva 10-15 cm mélyen 2003. június 4-én. Abban az évben, amikor a szója-kukorica vetésváltásban szóját termesztettek, nem jutattak ki N-műtrágyát. A foszfor és kálium műtrágyát a felszínre szórták ki az őszi talajmunkák elvégzése előtt 2002. november 14-én (224 kg/ha P_2O_5 és 336 kg/ha K_2O műtrágya hatóanyag) (West et al., 2002; West et al., 2003).

A 28 éves kísérlet tapasztalatai alapján azt állapították meg, hogy a termésátlag nagyobb volt vetésváltásban, mint monokultúrában; valamint nagyobb volt a szántott parcellákban, mint a direktvetéssel hasznosított parcellákban. A 28 év átlagában a termésátlag kukorica monokultúrában 10,5 t/ha a szántott parcellákban, míg 9,2 t/ha direktvetés esetén. A szója-kukorica vetésváltásban a szántott talajon elért termésátlag 11,4 t/ha, míg direktvetésben 11,2 t/ha (West et al., 2003).

3.1.2. A Purdue - Integrált Növényvédelmi Kísérlet leírása

Az Integrált Növényvédelmi Kísérletet 1980-ban kezdték különböző művelési, vetésváltási, gyomszabályozási és fedőnövény kezelésekkel. A talaj típusa megegyezik a Talajművelési Tartamkísérlet talajának típusával. A területet szintén drénezték, 30 méterenként. Ezen a területen

véletlen blokk elrendezésben állították be a kísérletet négy szántóföldi ismétléssel (Sváb, 1981; Martin et al., 1991; Schreiber, 1992). Vizsgálataim céljára ezek közül csak hármat mintáztam meg. A termesztett növények monokultúrás kukorica, monokultúrás szója, kukorica és szója két éves váltása és kukorica-szója-búza 3 éves vetésforgója (Diack, 1997). Az egyes parcellák szélessége változó (9 és 15 m között), hosszúságuk 90 m és minden egyes parcellát 1,5 m széles füves sáv választ el egymástól (Diack, 1997). A kísérlet elrendezését a 7. ábra mutatja.



7. ábra Az Integrált Növényvédelmi Kísérlet térképe 2003-ban

A kísérlet megkezdése előtt az egész területet rendszeresen szántották. Az 1980-as évtől kezdve viszont három különböző művelési rendszert alkalmaztak: őszi szántást, nehézkultivátoros művelést és művelés nélküli direktvetést. Majd a szántott parcellákat 1996 őszén két részre osztották. Az 1997-es idénytől kezdve a kukorica vetése előtt nehézkultivátoros művelést végeznek a ketté osztott parcella egyik oldalán (minden évben, minden második vagy minden harmadik évben a termesztett növénytől függően), míg a másik oldalon direktvetést alkalmaznak minden növény esetében (Diack, 1997).

Az őszi nehézkultivátoros művelést – amely a talajbolygatás intenzitását tekintve közepes mértékű – egyenes kapatesttel ellátott nehézkultivátorral végzik, amit tavasszal kultivátorozás követ

a magágy végső előkészítésére. Nehézkultivátoros műveléskor a talajfelszín körülbelül 30 %-a fedett marad növényi maradványokkal. Művelés nélküli direktvetésnél a mag közvetlenül az előző évi növény maradványaival fedett talajba kerül talajelőkészítés nélkül. A direktvetés az előző évi növények maradványainak 90-95 %-át a talajfelszínen hagyja (Diack, 1997).

A termésátlagokról, valamint a kiadott NPK műtrágya mennyiségéről, kijuttatásának idejéről és módjáról sajnos csak annyi információval rendelkezem, hogy kukorica vetése előtt ősszel nitrogén műtrágyát adagolnak cseppfolyós ammónia (NH_3) formájában.

3.2. Mintavétel

3.2.1. Purdue - Talajművelési Tartamkísérlet

A Talajművelési Tartamkísérletben a hagyományosan művelt (minden évben szántott -SZ) és művelés nélküli direktvetéssel művelt (DV) parcellákon mintáztam meg a monokultúrás kukoricát (KK), és a szója-kukorica vetésváltást (SzK).

A kémiai laborvizsgálatok számára a minták nagy részét 2003 tavaszán szedtem a 2002-es őszi talajművelés után, de a tavaszi talajelőkészítés (tárcsázás 2003. május 14-én és kultivátorozás 2003. május 22-én) és vetés (2003. május 23-án) előtt azokból a parcellákból, ahol 2002-ben kukoricát termesztettek. Néhány talajmintát azonban 2003 őszén a betakarítás után (október 23.) és az őszi szántás elvégzése (november 3.) előtt kellett begyűjtenem, mivel azokon a mintavételi foltokon a talaj túl nedves volt tavasszal. A talajmintákat a direktvetéses parcellákban a nyugati oldaltól számított negyedik sor két oldaláról vettem (3 mintát oldalanként, vagyis 6 mintát parcellánként) mintegy 20 cm távolságban az előző évi kukoricasortól, és a két oldal a keréknyomot illetve a gépekkel nem járt területet jellemezte. A szántott parcellákban a keréknyom elkülönítése mintázáskor már nem volt lehetséges, hiszen a területet 2002 őszén megszántották. Annak ellenére, hogy az őszi talajművelés megszüntette a keréknyom hatását a szántott parcellákban (legalábbis a szántás mélységéig), 6 mintát gyűjtöttem parcellánként és úgy jelöltem őket, mintha keréknyomból és nem keréknyomból származó minták lennének, hogy a statisztikai elemzéshez kiegyensúlyozott adatbázisom legyen. A szántott parcellákban megmértem a mintavételi pontok távolságát a parcella szélétől, így körülbelül ugyanarról a pontról vettem a mintákat a parcellán belül, mint a direktvetéses parcellákban. A talajmintákat 1 m mélységig vettem és hat mintavételi mélységre osztottam fel őket (0-5, 5-15, 15-30, 30-50, 50-75 és 75-100 cm). A 0-5 cm és 5-15 cm mélységből ású segítségével szedtem a mintákat; 15 cm mélység alatt pedig egy kisteherautóra szerelt hidraulikus mintavevő hengerrel. Amikor a szántott parcellákat mintáztam a hidraulikus

mintavevővel, kis mértékben tömörödött a minta felső része, mivel a nagyon laza feltalajt taposással tömörebbé kellett tenni, hogy a mintát ki lehessen húzni. Emiatt a minta felső részét (0-5 és 5-15 cm mélységben) nem tartottam meg, hanem ásóval újra mintáztam. A talajmintákat szobahőmérsékleten szárítottam, a növényi maradványokat (gyökér, szár és levél) eltávolítottam, majd a talajt megdaráltam és 2 mm-es szitán átszitáltam.

A bolygatatlan mintákat a térfogattömeg meghatározásához 0-5, 5-15 és 15-30 cm-es mélységből vettem (kettő-kettő, vagyis összesen négy mintát parcellánként a mintázott sor két oldaláról) 2003 tavaszán a magágykészítés előtt. Az őszi időjárás nem volt alkalmas a térfogattömeg minták begyűjtésére ezen a típusú talajon nagy duzzadó agyagtartalma miatt. Az őszi csapadék általában nem elég ahhoz, hogy az agyagásványokat újra hidratált állapotba hozza nyár után; ami azt eredményezi, hogy a térfogattömeg meghatározása pontatlan lesz, hiszen a térfogattömeg minták térfogata a mintázáskori nedvességtartalomtól függ. A talaj mélyebb rétegei térfogattömegének meghatározására (30-50, 50-75 és 75-100 cm) a hidraulikus mintavevő hengerrel vett mintákat használtam. Az 1 m hosszú mintákat a megfelelő mélységeknél feldaraboltam, az egyes mélységekből az összes talajt papírzacskóba gyűjtöttem és szobahőmérsékleten szárítottam. Ezután a minta egy részét 105 ºC-on is megszárítottam, hogy tömegmérés után ki tudjam számolni a szobahőmérsékleten szárított teljes minta nedvességtartalmát. Ennek a nedvességtartalomnak a segítségével kiszámoltam az egyes mélységekből vett talajminta 105 ºC-hoz tartozó tömegét és ennek segítségével meghatároztam a térfogattömeget.

A víztartó-képesség mérését a térfogattömeg mintákon végeztem el (0-5, 5-15 és 15-30 cm mélységben). A bolygatatlan mintákat két végükön lezártam, hogy a mintavételkori nedvességtartalmukat megőrizzék, és hűtve tartottam a víztartó-képesség mérésig. A 15 bar mátrix potenciál értéken (pF 4,2) történő vízkapacitás méréshez ásóval vettem mintákat a bolygatatlan mintavétellel egy időben. Utóbbi mintákat szobahőmérsékleten szárítottam és kézzel törtem meg egy henger segítségével.

A mintákat a makroaggregátumstabilitás méréshez 2004. júniusában, a kukorica vetése után vettem. Három egyedi mintából álló kevert mintát szedtem a negyedik sor keleti oldalán (a művelőgépek által nem tömörített területen), 0-5, 5-15 és 15-30 cm mélységből. Az ásóval megszedett nedves talajt kézzel átmorzsoltam egy 8 mm-es szitán, a növényi maradványokat eltávolítottam, majd a mintákat szobahőmérsékleten hagytam megszáradni, átszitáltam 2 mm-es szitán és a 2-8 mm közötti frakciót tartottam meg a vizsgálathoz.

A mikroaggregátumstabilitás méréséhez használt kevert mintákat szintén 2004. júniusában szedtem a 0-5, 5-15 és 15-30 cm-es mélységből a II. szántóföldi ismétlésből.

A humuszanyagok kivonását a parcellánként hat pontból kémiai analízisre vett mintákból kevert mintákon végeztem el. Időkorlát miatt csak a II. szántóföldi ismétlésből vett mintákon

végeztem el a humuszanyagok kivonását, amelyek a művelési rendszereket (direktvetés – DV és szántás – SZ) valamint a termesztett növényeket (kukorica monokultúra – KK és szója-kukorica vetésváltás – SzK) reprezentálják. A szervesanyagok kivonására kevert mintákat használtam, mert egy előző tanulmányban ugyanezen a kísérleti területen nem találtak szignifikáns területi variabilitást a szerves szén tartalomban a szántott parcellák között valamint a négy szántóföldi ismétlés között (Madari et al., 1998). A szakirodalomban megjelent tanulmányok legtöbbjében is kevert talajmintát használtak az elemi összetétel vizsgálatára és spektroszkópiai analízisre. A humuszanyagokat a 0-5, 15-30 és 30-50 cm mintavételi mélységből származó talajmintákból vontam ki. Ezeket a mintavételi mélységeket (B17. melléklet) a szerves szén koncentrációra elvégzett statisztikai elemzés alapján választottam ki, ugyanis ezekben a mintavételi mélységekben tapasztaltam jelentős különbségeket a szerves szén vertikális eloszlásában a vizsgált művelési rendszerek között.

3.2.2. Purdue - Integrált Növényvédelmi Kísérlet

Az Integrált Növényvédelmi Kísérletben a következő kezeléseket mintáztam meg kukorica monokultúrában azokból a parcellákból, ahol nem volt fedőnövény a 2000-2002-es években és a gyomirtó szereket 1980 és 1999 között a legnagyobb mennyiségben alkalmazták.

- Művelés nélküli direktvetés (DV) –direktvetés 1980-2003 között (24 évig)
- Rövidtávú direktvetés (RT-DV) –szántás 1980-1996 között (17 évig)
  nehézkultivátoros művelés 1997-ben (1 évben)
  művelés nélküli direktvetés 1998-2003 között (6 évig)
- Rövidtávú nehézkultivátoros művelés (RT-NK) – szántás 1980-1996 között (17 évig)
  nehézkultivátoros művelés 1997-2003 között (7 évig)
- Nehézkultivátoros művelés (NK) –nehézkultivátoros művelés 1980-2003 között (24 évig).

A mintákat a kémiai vizsgálatok céljára főleg 2003 őszén szedtem a kukorica betakarítása után, de az alapművelés elvégzése előtt. Néhány mintát (RT-DV) 2004 tavaszán kellett begyűjtenem, mert a talaj azokon a mintavételi foltokon túl nedves volt az őszi mintázás idején. Parcellánként három mintát vettem, melyek mindegyike két ugyanazon mintavételi pontból származó mintából összekevert minta. A mintákat hat mintavételi mélységben vettem 1 m-ig (0-5, 5-15, 15-30, 30-50, 50-75 és 75-100 cm) egy kisteherautóra szerelt hidraulikus mintavevő hengerrel. Amikor a nehézkultivátorral művelt parcellákat mintáztam, a mintákat tömörödés nélkül ki tudtuk húzni a talajból, így az összes mintavételi mélységet megtartottam. A mintákat

szobahőmérsékleten szárítottam, és a növényi maradványokat eltávolítottam. Majd a talajt megdaráltam, 2 mm-es szitán átszitáltam és finomra törtem.

A bolygatatlan talajmintákat térfogattömeg meghatározásához 0-5, 5-15 és 15-30 cm-es mélységből vettem (három mintát parcellánként) 2004 tavaszán a 2003-as őszi talajművelés után (NK és RT-NK kezelések), de a tavaszi magágykészítés előtt. A talaj mélyebb rétegei térfogattömegének meghatározására (30-50, 50-75 és 75-100 cm) a hidraulikus mintavevő hengerrel vett mintákat használtam. Az 1 m hosszú mintákat a mintavételi mélységeknek megfelelően feldaraboltam, és az összes talajt megtartottam, majd szobahőmérsékleten száradni hagytam. Ezután a minta egy részét 105 ºC-on is megszárítottam, hogy tömegmérés után ki tudjam számolni a szobahőmérsékleten szárított teljes minta nedvességtartalmát. Ennek a nedvességtartalomnak a segítségével kiszámoltam az egyes mélységekből vett talajminta 105 ºC-hoz tartozó tömegét és ennek segítségével meghatároztam a térfogattömeget.

A mintavétel módja a két kísérleti területen megegyező volt, de a víztartó-képesség és az aggregátumstabilitás meghatározását, valamint a humuszanyagok vizsgálatát nem végeztem el az Integrált Növényvédelmi Kísérletből vett mintákon.

3.3. Laboratóriumi vizsgálatok

3.3.1. Szerves szén, összes nitrogén, szervesanyag koncentráció és C/N arány

A szerves szén és összes nitrogén koncentrációt száraz égetéses eljárással LECO® CHN 2000 típusú elemanalizátorral (Leco Corporation, St. Joseph, MI) határoztam meg két ismétlésben az Amerikai Mezőgazdasági Kutatóintézet (United States Department of Agriculture – USDA) Talajeróziós Laboratóriumában (Soil Erosion Laboratory, West Lafayette, IN, USA).

A szervetlen szenet tartalmazó mintákat 1 M sósavval (HCl) kezeltem a pezsgés megszűnéséig, majd átmostam desztillált vízzel, szobahőmérsékleten szárítottam és újból megtörtem. Mivel az alapkőzet karbonátos, az összes 50-75 és 75-100 cm mélységből származó mintát kezeltem. A Talajművelési Tartamkísérletből származó direktvetéses minták közül a 0-5 cm mélyből vett mintákat szintén kezeltem sósavval, egy előzetes karbonátmeghatározás alapján. Csak a direktvetésből származó mintákat kellett sósavval kezelni, a szántott mintákat nem, hiszen a direktvetés esetében a kiszórt meszet nem dolgozzák be a talajba, hanem a felszínen hagyják. Az Integrált Növényvédelmi Kísérlet parcelláit nem meszezték a közelmúltban, így ott csak az 50-100 cm mélységből vett mintákat kellett kezelni.

A talajmintát (0,15-0,20 g) ón kapszulába mértem be és a mintatartóba helyeztem. A mérés során a minta az izzítókemencébe esik, ahol a magas hőmérséklet (951 °C) és az áramló oxigén gáz hatására elég. Az égés folyamán az összes elemi szén, hidrogén és nitrogén CO_2, H_2O, N_2 és NO_x gázzá alakul át. Ezeknek a gázoknak szén és hidrogén tartalmát az infravörös cellák, nitrogén tartalmát pedig a hővezetőképességet érzékelő cella határozza meg (CHN-2000 Elemental Analyzer Instruction Manual, 1998).

A szervesanyag tartalmat közvetlenül számítottam ki a szerves szén koncentrációból 1,724-el való szorzással. Ez a tényező a szervesanyag és szerves szén talajban általános arányából származik, és azon alapszik, hogy a szervesanyag átlagos szerves szén tartalma 58 %. Ez a szorzó azonban talajonként változó lehet (Nelson és Sommers, 1996), és a talaj alsóbb szintjeire nem alkalmazható biztosan, hiszen ezt az értéket felszín közeli szintekre határozták meg (Combs és Nathan, 1998).

A C/N arányt a szerves szén és összes nitrogén tartalom alapján számoltam.

3.3.2. Szerves szén és összes nitrogén tartalom

A talaj szerves szén és összes nitrogén tartalmát adott mintavételi mélységben koncentráció (g/kg) és tömeg (t/ha) formájában adtam meg, valamint tömeg (t/ha) formájában 1 m mélységre és egyenlő talajtömegre vonatkoztatva.

A szén és nitrogén tartalmat, valamint a talaj tömegét (t/ha) egységnyi területen adott mintavételi mélységben a következő egyenlet segítségével számoltam ki (Ellert és Bettany, 1995).

$$T_{elem} = \text{Konc.} \times \text{Tf} \times \text{Tréteg} \times 10.000\ m^2/ha \times 0{,}001\ t/kg$$

$$T_{talaj} = \text{Tf} \times \text{Tréteg} \times 10.000\ m^2/ha$$

ahol:

T_{elem} = szén és nitrogén tartalom egységnyi területen (t/ha)

T_{talaj} = talaj tömege egységnyi területen (t/ha)

Konc. = szén és nitrogén koncentráció (kg/t (= g/kg))

Tf = térfogattömeg (t/m^3 (= g/cm^3))

Tréteg = mintázott talajréteg vastagsága (m)

A művelés megváltoztathatja a talaj térfogattömegét és ezáltal a talaj tömegét a felszíni szintekben, például a talajművelő eszközök tömörítő hatásának következtében. A fentiekben leírt

számítás azonban nem veszi figyelembe a talaj tömegét a szerves szén és összes nitrogén tartalom kiszámításánál. Annak érdekében, hogy a különböző talajtömegeket is figyelembe vegyem, a szerves szén és összes nitrogén tartalmat egyenlő talajtömegre vonatkoztatva is kiszámoltam. Azt a művelési rendszert vettem kiindulási alapul, amelyikben 1 m-es mélységben a talaj tömege kisebb volt, és a másik művelési rendszer esetében, ahol a talajtömeg nagyobb volt, a 75-100 cm mélységben 25 cm-nél kisebb mintavételi mélységgel számoltam (Ellert és Bettany, 1995). Az egységnyi talajtömeggel történő számolásnak az a hátránya, hogy ha erodálódott a talaj, akkor nem tudjuk, hol volt az eredeti talajfelszín, ahonnan a mintavételt kezdhettük volna, így a számolás nem lesz teljesen pontos.

A szerves szén és összes nitrogén tartalmat (t/ha) egységnyi területen 1 m mélységig és egyenlő talajtömegre vonatkoztatva úgy számoltam, hogy összeadtam az egyes mintavételi mélységekben kiszámolt elemtartalmat.

3.3.3. Térfogattömeg

A 0-30 cm-es mintavételi mélységből vett bolygatatlan talajmintákat szárítószekrényben 105 ºC-on 48 órán keresztül (súlyállandóságig) szárítottam, tömegüket lemértem és kiszámítottam a térfogattömeget, mely a száraz bolygatatlan talaj tömegének és térfogatának hányadosa (Blake és Hartge, 1986). A térfogattömeget a 30-100 cm-es mélységben a következőképpen határoztam meg. A szobahőmérsékleten szárított bolygatott minták tömegét lemértem, a minta egy részét szárítószekrényben 105°C-on 48 órán keresztül szárítottam és kiszámítottam ennek a részmintának a nedvességtartalmát. Így a minta többi része megmaradt a kémiai vizsgálatok számára. A részminta nedvességtartalma alapján kiszámítottam a teljes minta nedvességtartalmát, majd a minta tömegéből kivontam, így megkaptam a teljes mintamennyiség abszolút száraz tömegét, melyet osztva a teljes minta eredeti térfogatával megkapható a minta térfogattömege.

3.3.4. A talaj foszfor, kálium, kálcium koncentrációja és pH-ja

A talaj pH-jának, foszfor, kálium és kálcium tartalmának meghatározását az A&L Great Lakes Laboratories Inc. (Fort Wayne, IN, USA) végezte három mintavételi pontból parcellánként, minden mintavételi mélységben. A talaj pH-ját vizes közegben határozták meg potenciometriásan (Watson és Brown, 1998). A felvehető foszfor (Frank et al., 1998), a felvehető kálium és a kicserélhető kálcium koncentráció meghatározása a “Mehlich 3” módszer alapján történt (Warncke és Brown, 1998).

3.3.5. Aggregátumstabilitás

3.3.5.1. Makroaggregátumstabilitás

A makroaggregátumstabilitást a módosított Yoder-féle (1936) nedves szitálás módszerével határoztam meg (Kemper és Rosenau, 1986). A 2-8 mm-es frakcióból részmintát vettem, amit 105 ˚C-on szárítószekrényben megszárítottam és a légszáraz állapotban illetve a szárítószekrényben történő szárítás után mért tömegek különbsége alapján kiszámoltam a szobahőmérsékleten szárított minták nedvességtartalmát. Huszonöt gramm szobahőmérsékleten szárított talajaggregátumot négy szitából álló szitasorozat (4,76 mm, 2,00 mm, 1 mm, 0,21 mm) legfelső szitájára helyeztem. A vízszintet úgy állítottam be, hogy a legfelső szitán lévő aggregátumok épphogy elmerüljenek az oszcilláció legfelső pontján. Az oszcilláció gyakorisága 35/perc volt, amplitúdója 38 mm és 10 percig tartott (Kemper és Rosenau, 1986). Az egyes szitákon visszamaradt talaj mennyiségét szárítószekrényben 105 ˚C-on való szárítás után lemértem. Az eredményt közepes mért átmérőben (KMÁ) kaptam meg, melynek kiszámításakor egy-egy frakció átlagos átmérőjét megszoroztam a mennyiségét kifejező százalékos értékkel, majd a frakcióra vonatkozó szorzatokat összeadtam és az eredményt osztottam százzal (Van Bavel, 1949; Youker és McGuinness, 1957, Stefanovits et al., 1999). A KMÁ érték felső és alsó határa 6,4 és 0,1; ahol a magasabb értékek nagyobb makroaggregátumstabilitást jeleznek. Az egyes mintákban lévő homokfrakció tömegét levontam az egyes szitákon maradó talaj tömegéből. A nedves szitálást két ismétlésben végeztem, de abban az esetben, ha a különbség az első két ismétlés között több, mint 20 % volt, még két ismétlést csináltam. A mérést hat héttel a mintavétel után végeztem, mert hosszabb idejű (több hónapos) tárolás során az aggregátumok stabilizálódnak és a kezelések közötti különbségek már nem mérhetők (Haynes, 2000).

3.3.5.2. Mikroaggregátumstabilitás

A mikroaggregátumstabilitást a talajszuszpenziók reológiai vizsgálatával jellemeztem. A reológia az anyagok folyással, áramlással együtt járó deformációjával foglalkozó tudomány (Szántó, 1987, Steffe, 1996). A klasszikus mechanikából fejlődött ki, és míg például a kerámiaiparban, szuszpenziók jellemzésében széleskörűen elterjedt módszer, a talajtanban kevés ehhez a témához kapcsolódó irodalom áll rendelkezésünkre (Babarczy és Sárosi, 1952; Kocsis et al., 1996; 1999; 2003; Babák et al., 2001; Micheli et al., 2002; Soós et al., 2002; Szegi et al., 2004).

A méréseket a Szegedi Tudományegyetem Kolloidkémia Tanszékén végeztem HAAKE RS150 típusú reométerrel, Vane típusú FL22 mérőfejjel. A mérések azonos körülmények között,

25°C-on történtek a desztillált vízben szuszpendált talajokból önként kialakuló egyensúlyi üledékekben. Az abszolút folyáshatár meghatározása a következő paraméterek mellett történt: 5 mm rés a mérőfej és a mintatartó edény alja között, sebesség kontrol (CR) 0,1 $^1/_s$ sebességgradiensnél, 100 mérési pont a 120 másodperces mérési idő alatt.

Az egyensúlyi üledékek készítése a talajszuszpenziókból a következőképpen történt. A légszáraz talajmintákat megtörtem, 2 mm-es szitán átszitáltam, majd 20 g mennyiséget bemértem műanyag tárolóedénybe és desztillált víz hozzáadásával szuszpenziót készítettem üvegbotos keveréssel és többszöri rövid idejű ultrahangozással. A szuszpenziókat hagytam ülepedni 7 napon át az egyensúlyi szediment kialakulása érdekében, majd az üledékek tetejéről eltávolítottam a vízréteget és megmértem az üledékben maradó víz tömegét. Mivel az ülepedés során a talajrészecskék méret szerint frakcionálódnak az üledékben, az egyensúlyi üledékeket homogenizálni kell, hogy egyenletes részecske térhálót tudjunk mérni. Ezért az üledékeket üvegbottal alaposan összekevertem és háromszor 10 másodperces ultrahangozás után - ami a buborékok eltávolítására szolgál - 24 órát állni hagytam a mintákat, majd elvégeztem a mérést. A mért nyírófeszültség [Pa] értékeket az idő [s] függvényében ábrázolva meghatároztam a függvények maximumait, ami az abszolút folyáshatár értékekkel azonosítható (Dzuy és Boger, 1983).

3.3.6. Víztartó-képesség

A víztartó-képességet (az egyes mátrixpotenciál értékeknél megtartott víz mennyiségét) pF 1,7; pF 2; pF 2,5 és pF 4,2 értékeknél határoztam meg. A 0 és -1 bar mátrix potenciál közötti (pF 1,7; pF 2 és pF 2,5) értékekkel kötött víz a pórusokban (kapillárisokban) és az agyag és szervesanyag felületén található, ezért bolygatatlan talajmintákat használtam a méréshez. A -1 bar-nál nagyobb erővel kötött (pF 4,2) víz esetében a pórusok már kiürülnek és a víz az agyag és a szervesanyag felületén adszorpciós erőkkel kötött formában található meg. Ennél a magas nyomásnál (alacsony mátrix potenciál) olyan talajmintát használtam, amelyet szobahőmérsékleten szárítottam, megtörtem és átszitáltam 2 mm-es szitán.

A bolygatatlan mintákat külön edényben először alulról telítettem (Klute, 1986), majd lefedett homokágyra helyeztem és 50 cm-es függőleges vízoszlop szívóerejének tettem ki egy hétig, majd lemértem a minták tömegét. Ezt a mérést megismételtem 100 cm-es vízoszloppal is. Majd a mintákat vízzel telített porózus kerámialapokra helyeztem extraktorban és 1/3 bar nyomást alkalmaztam egy hétig. A minták tömegét lemértem, 105 °C-on kiszárítottam és újból lemértem őket, majd kiszámoltam a %-os nedvességtartalmat térfogat- és tömegszázalékban. A külön megtört talajmintát szintén porózus kerámialapra helyeztem az extraktorban, vízzel telítettem, és 15 bar nyomást alkalmaztam egy hétig. A nagy nyomás hatására összetapadt talajminták tömegét is

lemértem, 105 °C-on kiszárítottam őket és újból megmértem a tömegüket, majd kiszámoltam a %-os nedvességtartalmat (Klute, 1986). Utóbbi nyomásértéknél csak tömegszázalékot számoltam, mivel a talajminta bolygatott volt.

3.3.7. A humuszanyagok vizsgálata

3.3.7.1. A humuszanyagok kivonása és frakcionálása

Stevenson (1994) szerint az ideális kivonási módszernek a következő feltételeknek kell megfelelni: módosulatlan anyag izolálása (emiatt a kivonást levegő helyett N_2 gáz jelenlétében végeztem, hogy csökkentsem a humuszanyagok autooxidációját bázis jelenlétében); a kivont humuszanyagok ne tartalmazzanak szervetlen szennyeződéseket, például agyagásványokat és többértékű kationokat; a kivonás teljes legyen, így biztosítva, hogy minden molekulatömeg tartomány képviselve legyen; a módszert minden talajon lehessen alkalmazni. Sajnos, egyik kivonási módszer sem teljesíti az összes követelményt maradéktalanul (Schnitzer és Schuppli, 1989b).

Az általam alkalmazott kivonás a Swift (1996) által leírt frakcionált kivonás módosított változata, amelyet sokan alkalmaznak (Posner et al., 1968; Chaney és Swift 1986b; Schnitzer és Schuppli 1989a; Clapp és Hayes, 1999). A humuszanyagokat két ismétlésben vontam ki. A talajmintából 15 gr-ot mértem be 250 ml-es műanyag palackba. Kivonás előtt a talajhoz 0,1 M sósavat (HCl) adtam (talaj:folyadék arány 1:5) és 24 órán keresztül állni hagytam. Majd ezt a mintát összekevertem 0,1 M pirofoszfáttal ($Na_4P_2O_7 \times 10\ H_2O$), a pH-t 7-re állítottam be (talaj:folyadék arány 1:5) és így állt 24 órán keresztül N_2 légkörben 20°C-on. A sósavas és nátrium-pirofoszfátos előkezelés célja az volt, hogy a humuszanyagok szabaddá váljanak a karbonátoktól és a két- és többértékű kationokkal alkotott komplexektől, így növelve a szervesanyag lúggal történő kivonásának hatékonyságát. Annak érdekében, hogy a humuszanyagok kémiai módosulását csökkentsem, a nátrium-pirofoszfát pH-ját 7-re állítottam be. A felülúszót 15 perces 2000 rpm fordulatszámon történő centrifugálással távolítottam el. Majd a mintákat kétszer átmostam 150 ml desztillált vízzel, és 3000 rpm fordulatszámon 30 percig centrifugáltam. A kivonást 75 ml 0,5 M NaOH-val (1:5 talaj:folyadék arány) végeztem N_2 légkörben 20 °C-on 24 órán keresztül. A felülúszót ismét 30 perces centrifugálással távolítottam el 3000 rpm fordulatszámon.

A huminsav frakciót a fulvosav frakciótól úgy választottam el, hogy a lúgos oldatot pH = 1-re savanyítottam 5 M sósavval (HCl). Majd 24 óra elteltével a mintát desztillált vízzel körülbelül 225 ml-re higítottam és a pH-t 5 M NaOH-val pH = 7-re állítottam be, hogy a huminsavak újból

feloldódjanak. A mintát aztán újból megsavanyítottam 5 M sósavval 1-es pH-ra; az oldat 24 órán keresztül állt és a kicsapódott huminsavakat 45 perces centrifugálással 5000 rpm fordulatszámon, 2-5 ^{0}C-on választottam el. A kicsapás majd visszaoldás célja az volt, hogy a huminsav frakciótól minél jobban elválasszuk a fulvosav frakciót (Ouatmane et el., 2000). Az elválasztott és vízben szuszpendált huminsav illetve fulvosav frakciót kloridmentes állapotig dializáltam Spectra/Por molekulaáteresztő membránnal (MWCO = 12000 – 14000 Dalton) desztillált víz ellenében. A desztillált vizet naponta többször cseréltem, amíg a víz már nem mutatta az ezüst-nitrátos kloridpróbát. A huminsav és fulvosav frakciót ezután folyékony nitrogénnel fagyasztottam, majd fagyasztva szárítottam -60 °C-on, 3-5 napig. A minták víz és hamuanyag tartalmát nem határoztam meg.

A kinyert huminsav és fulvosav frakciókat Fourier transzformációs infravörös spektroszkópiával vizsgáltam és meghatároztam a frakciók elemi összetételét is.

3.3.7.2. A humuszanyagok elemi összetétele

Az elemi összetételt (szén (C), hidrogén (H) és nitrogén (N) tartalom) száraz égetéses eljárással LECO CHN 2000 típusú elemanalizátorral határoztam meg. Az oxigén (O) tartalmat becsléssel adtam meg a következő egyenlet szerint, melyben nem vettem figyelembe a humuszanyagok foszfor és kén tartalmát: 100- C% - H% - N% = O% (Reintam et al., 2000). Ezen kívül kiszámoltam a huminsavak és fulvosavak C/N és H/C arányát is. A HS/FS arányt a kivont huminsav és fulvosav frakciók tömege alapján számoltam ki.

3.3.7.3. A humuszanyagok spektroszkópiai jellemzése

A fagyasztva szárított (szilárd állapotú) huminsav és fulvosav minták FTIR spektrumát Perkin Elmer Spectrum GX FTIR spektrofotométerrel vettem fel (Perkin-Elmer Ltd., Beaconsfield Bucks., Anglia). Az eredményeket a GRAMS/32 szoftver csomag segítségével dolgoztam fel (Galactic Corp., Salem, NH, USA). A huminsav és fulvosav mintát (0,002 g) 0,248 g szárított és finomra tort KBr kristállyal kevertem össze, és 13 mm átmérőjű pelletté alakítottam 10 tonna nyomás alatt 10 perces vákuum segítségével. Miután a pelletet a mintatartóba helyeztem, 64-szer pásztázta az FTIR műszer infravörös sugara. Háttérként tiszta KBr-ból készült pelletet használtam. A spektrumot 4000 és 370 cm^{-1} hullámszámon vettem fel 4 cm^{-1} felbontással, 1 cm^{-1} intervallumnál.

3.4. Statisztikai elemzés

A statisztikai elemzést a SAS statisztikai programmal végeztem (SAS Institute, Inc., 2002). Varianciaanalízist (ANOVA) végeztem a mintavételi mélységeken belül, és a középértékek közötti különbségeket a legkisebb szignifikáns differencia meghatározásával teszteltem P=0,05 szinten. A 8-15. ábrákon a standard hibát (SE-standard error) tüntettem fel.

A Talajművelési Tartamkísérletben a termesztett növény, a művelés és a mintázási oldal voltak a kísérleti tényezők és ezek kölcsönhatásait is elemeztem (B melléklet). Az Integrált Növényvédelmi Kísérletben a varianciaanalízis elvégzésekor a művelés mellett a termesztett növényt is figyelembe vettem mint kísérleti tényezőt (a szója-kukorica vetésváltást is megmintáztuk egy több egyetemet magába foglaló kutatási projekt - Consortium for Agricultural Soil Mitigation of Greenhouse Gases - keretében), de csak a kukorica monokultúrára vonatkozó eredményeket ismertetem a disszertációban (C melléklet). A foszfor koncentráció értékeket ebben a kísérletben log transzformáció után elemeztem a varianciaanalízis elvégzésekor.

A humuszanyagok esetében a középértékek átlagos négyzetes eltérését számoltam ki.

4. EREDMÉNYEK

4.1. Szerves szén, összes nitrogén, C/N arány és térfogattömeg

4.1.1. Purdue - Talajművelési Tartamkísérlet

A művelésnek nagyobb hatása volt a talaj szén és nitrogén tárolására és térfogattömegére, mint a vetésváltásnak. A vetésváltás × művelés kölcsönhatás következetesen nem volt szignifikáns a vizsgált kémiai és fizikai tulajdonságokra. A keréknyom hatása többnyire nem volt szignifikáns, de a művelés × keréknyom kölcsönhatás jobban kifejezett a felsőbb szintekben. Részletes eredmények a következő alfejezetekben találhatók.

4.1.1.1. A művelés hatása

A 0-5 cm-es mélységben a szerves szén (OC), a szervesanyag (SZA) és az összes nitrogén (N) koncentrációban mutatkozó különbségek a direktvetés és szántás között szignifikánsak voltak P=0,01 szinten; a direktvetés szerves szén és szervesanyag koncentrációja 49%-kal, összes nitrogén koncentrációja 47%-kal volt nagyobb, mint szántásnál (1. táblázat). A szerves szén és összes nitrogén koncentráció közötti szoros összefüggés révén logikus, hogy a N koncentráció változása a mélységgel hasonló a szerves szén koncentráció változásához. A direktvetéses talajnak az 5-15 cm-es mélységben is szignifikánsan nagyobb volt a szerves szén, szervesanyag és összes nitrogén koncentrációja P=0,05 szinten (10%-kal több OC, SZA és N). A 15-30 cm-es mélységben ez a trend változott és a szántás eredményezett valamennyivel nagyobb koncentráció értékeket (7%-kal több OC, SZA és 5%-kal több N), habár ezek a különbségek nem voltak igazolhatóak P=0,05 szinten. A szántás esetében tapasztalt enyhe növekedés ebben a mélységben annak a következménye lehet, hogy a növényi maradványokat évente 20-25 cm-es mélységbe forgatják alá szántás során, míg folyamatos direktvetés esetén a növényi maradványok a felszínen maradnak. A 30-50 cm-es mélységben a szántott parcellák 31%-kal nagyobb OC, SZA és N koncentrációval rendelkeztek a direktvetéshez képest. A szén és nitrogén tartalomban bekövetkező növekedéshez ebben a mélységben valószínűleg a gyökerek, gyökérváladékok, és a mikrobiális körforgás járultak hozzá, valamint a szervesanyag összetevőinek lehetséges kimosódása a szántott réteg alsó, leforgatott maradványokban gazdag részéből. Részben magyarázatot adhat a szántott réteg alatt esetleg

megtalálható eketalp réteg és az emiatt kialakult anaerob körülmények is, hiszen vízzel telített talajrétegek a szántott talajokban korlátozhatják a levegőzést és a szervesanyag lebomlását a 30-50 cm-es mélységben. Holanda et al. (1998) a gyökérjellemzőket vizsgálták ugyanezen a kísérleti területen és azt tapasztalták, hogy a direktvetésben nagyobb volt a gyökérsűrűség a talaj felsőbb rétegeiben, mint a szántott parcellákban. Dwyer et al. (1996) szintén különbségeket találtak a gyökerezési mélységben különböző művelési rendszerek hatására egy másik kísérletben. Azt tapasztalták, hogy annak ellenére, hogy az összgyökértömeg nem volt szignifikánsan különböző a különböző művelési rendszerekben, a gyökerezés sekélyebb volt direktvetésben, mint hagyományos művelésben. Hasonló eredményekre jutott Cox et al. (1990), akik azt tapasztalták, hogy direktvetés esetén nagyobb volt a talaj nedvességtartalma, mint hagyományos művelés esetén a felső 0-30 cm-es rétegben, ami véleményük szerint csökkentette a gyökerek mélyebb rétegekbe hatolását.

A művelés okozta különbségek a szerves szén koncentrációban szintén szignifikánsak voltak a 75-100 cm-es mélységben, de általában a koncentráció értékek nagyon alacsonyak voltak. A két művelési rendszer közötti különbségek a szerves szén, szervesanyag és összes nitrogén koncentrációban 50 cm-nél mélyebben nagyon csekélyek és következetlenek voltak az egész szelvény szén és nitrogén koncentrációjához képest.

1. táblázat A művelés hatása (a két vetésváltás átlagolva) a szerves szén, szervesanyag, és összes nitrogén koncentrációra, C/N arányra és térfogattömegre az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység (cm)	OC (g/kg)			SZA (%)			N (g/kg)			C/N arány		Tf (g/cm^3)		
	DV		SZ	DV		SZ	DV		SZ	DV	SZ	DV		SZ
0-5	35,7	**	23,9	6,2	**	4,1	2,8	**	1,9	14,9	15,1	1,26	**	1,13
5-15	26,6	*	24,1	4,6	*	4,1	2,1	*	1,9	14,8	15,4	1,37	**	1,16
15-30	22,9		24,5	3,9		4,2	1,8		1,9	14,9	15,4	1,40	**	1,16
30-50	11,6	*	15,2	2,0	*	2,6	1,0	*	1,3	13,8	14,5	1,44		1,45
50-75	4,7		5,1	0,8		0,9	0,6		0,6	14,1	14,9	1,42		1,44
75-100	3,1	*	3,5	0,5		0,6	0,4		0,3	12,4	13,3	1,55		1,50

* Szignifikáns különbségek a két művelési rendszer között P=0,05 szinten

** Szignifikáns különbségek a két művelési rendszer között P=0,01 szinten

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

Nem találtam szignifikáns különbséget a művelési rendszerek között a C/N arányban (1. táblázat). Azonban 1-7%-kal nagyobb értékeket mértem a szántott parcellákban minden mélységben a direktvetéssel összehasonlítva. A C/N arány általában csökkent a mélységgel lefelé haladva.

A térfogattömeg értékekben a felső 30 cm-ben mutatkoztak különbségek a művelés hatására. Szignifikánsan nagyobb értékeket mértem a direktvetéses parcellákban a szántáshoz képest (12%-kal nagyobb a 0-5 cm-es, 18%-kal nagyobb az 5-15 cm-es és 20%-kal nagyobb a 15-30 cm-es mélységben) (1. táblázat). A szántott parcellákban az 5-15 és 15-30 cm-es mélységben a térfogattömeg értékek megegyeznek. Lehetséges azonban, hogy a 15-30 cm-es mélységben kialakult az eketalp réteg, de a tömődött réteg hatása a térfogattömeg értékekben nem mutatkozik meg, mivel ezt a 15 cm vastag réteget 6 cm magas mintavevő hengerrel mintáztuk meg körülbelül a 15 cm-es réteg közepén. Így a minták jobban reprezentálják a tömődött talajréteg feletti részt. A 30-100 cm-es mintavételi mélységben nem voltak statisztikailag igazolható különbségek a térfogattömeg értékekben.

A t/ha-ban kifejezett szerves szén és összes nitrogén tartalom a felső szintekben (0-5, 5-15 és 15-30 cm) nagyobb volt direktvetésnél, mint szántásnál, de a 30-50 cm-es mélységben a szántott talaj tárolt több szerves szenet és nitrogént (2. táblázat).

2. táblázat A művelés hatása (a két vetésváltás átlagolva) a szerves szén és összes nitrogén tartalomra az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység (cm)	OC (t/ha)			N (t/ha)		
	DV		SZ	DV		SZ
0-5	22,5	**	13,6	1,8	**	1,1
5-15	36,4	**	27,9	2,9	**	2,2
15-30	48,2	*	42,8	3,8	*	3,3
30-50	33,3	*	43,9	3,0	*	3,7
50-75	16,7		18,2	1,9		2,0
75-100	12,2		12,8	1,6		1,3

* Szignifikáns különbségek a két művelési rendszer között P=0,05 szinten

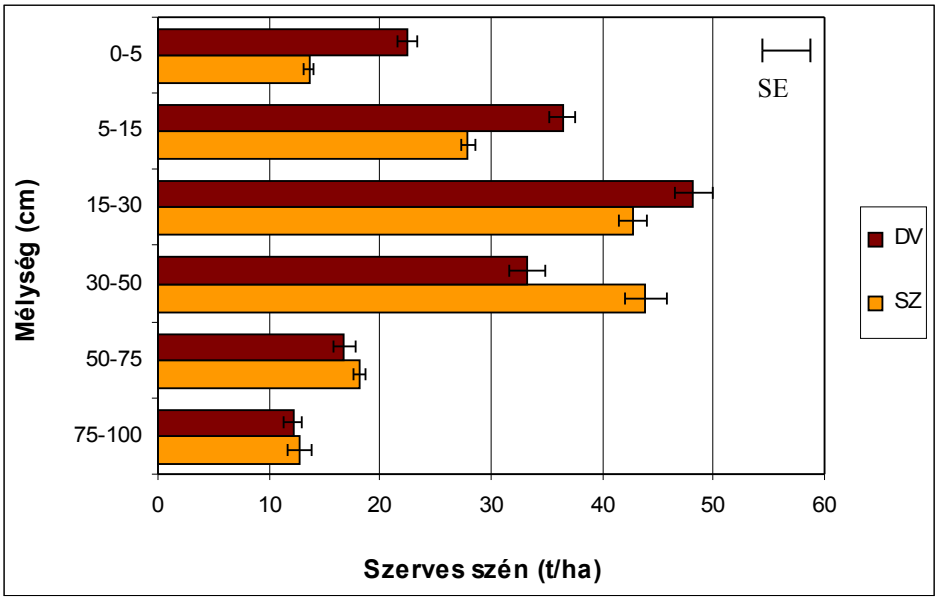
** Szignifikáns különbségek a két művelési rendszer között P=0,01 szinten

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

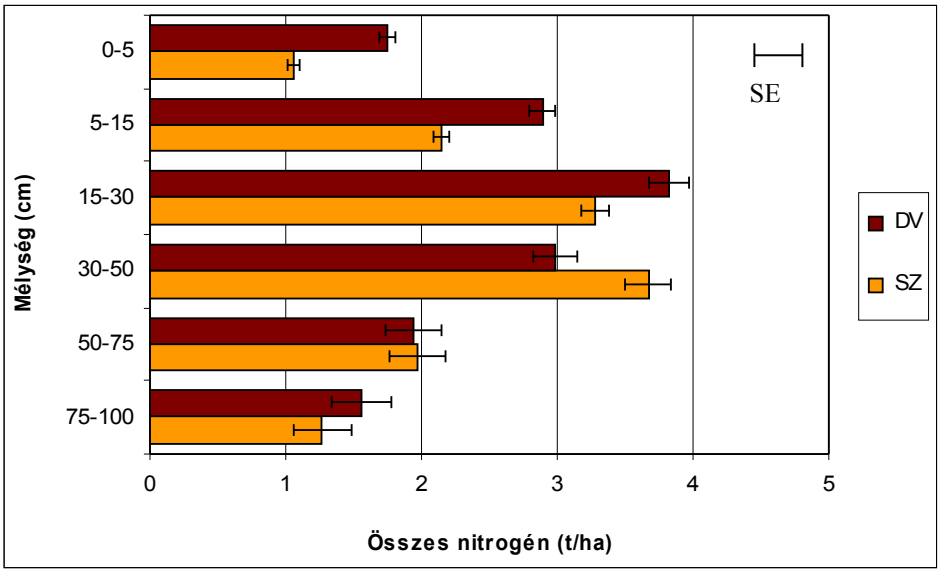
Mintegy 65%-kal több szerves szén és 64%-kal több nitrogén halmozódott fel a direktvetés 0-5 cm-es mélységében a szántással összehasonlítva. A művelés hatása szignifikáns volt P=0,05 szinten az 5-15 cm-es mintavételi mélységben mind a szerves szén (30%-kal több direktvetésben), mind az összes nitrogén tartalom (t/ha) (32%-kal több direktvetésben) tekintetében. A 15-30 cm-es mélységben, habár a művelés hatása nem volt igazolható a koncentrációt tekintve (1. táblázat), a szántott kezelésből származó talaj nagyobb szerves szén és összes nitrogén koncentrációval rendelkezett, mint a direktvetéses talaj. A művelés hatása t/ha-ban kifejezett szén és nitrogén tartalom esetén azonban már statisztikailag igazolhatóvá vált P = 0,05 szinten. Az OC tartalom

13%-kal volt nagyobb, míg az összes N tartalom 15%-kal volt nagyobb a direktvetéses parcellákban a szántotthoz képest. A 30-50 cm-es mélységben a szántott talaj 32%-kal több szerves szenet és 23%-kal több összes nitrogént tartalmazott a direktvetéses kezeléshez képest.

A t/ha-ban kifejezett szerves szén és összes nitrogén értékek (2. táblázat, 8-9. ábra) mutatják annak a fontosságát, hogy a talaj szén és nitrogén tárolását a térfogattömeg értékeket felhasználva egységnyi területre vonatkoztatott tömegben adjuk meg. A tárolt szerves szén és összes nitrogén tartalmat a talaj térfogattömeg értékei, valamint a szén és nitrogén koncentráció értékek felhasználásával számoltam. Így, a direktvetés és szántás közötti különbségek még nagyobbak voltak egységnyi területre vonatkoztatott tömegben (t/ha) (2. táblázat), mintha csak a koncentráció értékeket vettem volna figyelembe. A 0-5 és 5-15 cm-es mélységben a különbségek statisztikailag igazolhatóak lettek P=0,01 szinten, amikor a tárolt mennyiséget tömegben számoltam és nem koncentrációban adtam meg, amikor is a különbségek csak P=0,05 szinten voltak szignifikánsak. A 15-30 cm-es mélységben a koncentráció értékeket összehasonlítva a különbségek nem voltak statisztikailag igazolhatóak, de mivel a különböző művelési rendszerek esetében mért térfogattömeg értékek eltérése szignifikáns volt P=0,01 szinten, a direktvetéses és szántott parcellák szerves szén és összes nitrogén tartalmának tömegben kifejezett értékei közötti különbségek is szignifikánssá váltak. A csupán koncentráció értékekre alapozott következtetések félrevezethetnek a direktvetéses talajok szénmegkötésben játszott szerepének becslésében.



8. ábra Szerves szén tartalom egységnyi területen a két művelési rendszer esetén az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig



9. ábra Összes nitrogén tartalom egységnyi területen a két művelési rendszer esetén az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Különböző művelési rendszerek szénmegkötésre gyakorolt hatását vizsgáló tanulmányok egyik hiányossága, hogy csak a szántás mélységéig vettek talajmintákat, azonban ez a megközelítés nagyon kevés információt szolgáltat a talaj mélyebb rétegeinek szén tartalmáról. Eredményeim azt mutatják, hogy a művelés megváltoztatja a szerves szén és összes nitrogén vertikális eloszlását a talajban legalább 50 cm mélységig, és a 30-50 cm-es mélységben tárolt szerves szén és összes nitrogén tartalom más következtetésekre vezet a direktvetéssel történő szénmegkötés mértékét illetően, mint azok a megfigyelések, amelyek 20 vagy 30 cm-es mintavételi mélységre alapozottak.

A direktvetéses rendszerrel hasznosított talaj 10,3 t/ha-ral (6%) több szerves szenet tárolt, mint a szántott talaj 1 m-es mélységig, és 8,02 t/ha-ral (5%) több szerves szenet egyenlő talajtömegre vonatkoztatva (3. táblázat). Ami az összes nitrogén tartalmat illeti, a direktvetéses talaj 1,54 t/ha-ral (11%) több összes nitrogént tárolt, mint a szántott talaj 1 m mélységig, és 1,25 t/ha-ral (10%) több összes nitrogént egyenlő talajtömegre vonatkoztatva (3. táblázat).

3. táblázat A művelés hatása a szerves szén és összes nitrogén tartalomra egységnyi területen 1 m mélységig és egyenlő talajtömegekkel számolva

Becslés módja	OC (t/ha)		N (t/ha)	
	DV	SZ	DV	SZ
1 m mélységig	169,4	159,1	14,9	13,4
Egyenlő talajtömegben	167,1	159,1	14,7	13,4

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

Habár a szerves szén és összes nitrogén tartalom növekedése a direktvetés felső 30 cm-ében összességében nagyobb szerves szén tartalmat eredményezett 1 m mélységig ezen a típusú talajon, túlbecsültem volna a tárolt szerves szén mennyiségét a direktvetéssel művelt talajban a szántáshoz képest, ha nem veszem figyelembe a művelés okozta változásokat a művelt réteg mélysége alatt.

Direktvetéssel hasznosított és szántott talajok felszíni szintjeinek becsült szén és nitrogén tartalma függ a módszertől is, amivel ezeknek az elemeknek a mennyiségét számoljuk. A direktvetéses talajok térfogattömege gyakran nagyobb, mint a szántott talajoké a felső 30 cm-es rétegben. Ennek következtében, a becsült szervesanyag felhalmozódás direktvetéses talajokban kisebb, amikor egyenlő talajtömeggel számolunk, mint amikor meghatározott mintavételi mélységig. A talaj tömegében 1 m-es mélységig tapasztalható variabilitás a felszíni szintek tömörödéséből és a talajerózió és újbóli lerakódás miatti oldalirányú talajmozgásból származik. Azonban amikor egyenlő talajtömegekkel számolunk, a vizsgált elemek tömegében mérhető variabilitás már a különböző művelési rendszerek hatásának eredménye (Ellert és Bettany, 1985). Egy angliai tanulmányban szintén azt olvashatjuk, hogy direktvetéses és szántott talajok összehasonlításakor nem találtak szignifikáns különbséget a talaj szén és nitrogén tartalmában amikor figyelembe vették a talajok tömegében mutatkozó különbségeket (Powlson és Jenkinson, 1981).

A talaj relatív tömegének összehasonlításakor azt az eredményt kaptam, hogy a direktvetéses talaj tömege 1 m-es mélységig (14405 t/ha) nagyobb volt, mint a szántott talaj tömege (13715 t/ha) az általam vizsgált területen.

Összességében elmondható, hogy a direktvetéses talaj szerves szén tartalma statisztikailag igazolhatóan növekedett a szántott talajéhoz képest. Azonban ez a növekedés kisebb volt, mint amit a szakirodalomban hasonló környezetben található kísérletekből jelentettek (Dick, 1983; Lal et al., 1994), részben a szántásnál a 30-50 cm-es mélységben tapasztalt nem várt szerves szén tartalom növekedés miatt.

4.1.1.2. A vetésváltás hatása

A vetésváltás hatása kevésbé volt kifejezett, mint a művelés hatása. A szerves szén, szervesanyag és összes nitrogén koncentrációban mutatkozó különbségek a kukorica monokultúra és szója-kukorica vetésváltás között nem voltak statisztikailag igazolhatóak (4. táblázat). Az eredmények azt mutatják, hogy a kukorica monokultúra valamivel nagyobb szerves szén és szervesanyag koncentrációval rendelkezett, de az összes nitrogén koncentráció kisebb volt, mint a szója-kukorica vetésváltásban. A kukorica monokultúra kisebb nitrogén tartalma valószínűleg annak a következménye, hogy nagyobb mennyiségű szénben gazdag növényi maradvány került a

területre, ami később a maradványok lebomlása során a nitrogén immobilizációját eredményezte, valamint a szója-kukorica vetésváltás minden második évében a szója nitrogént kötött meg a talajban. A kukorica monokultúra C/N aránya következetesen tágabb volt minden mintavételi mélységben, de a különbségek a vetésváltások között nem voltak szignifikánsak az egyes mintavételi mélységekben. A térfogattömeg alakulását a vetésváltás igazolhatóan egyik mintavételi mélységben sem befolyásolta.

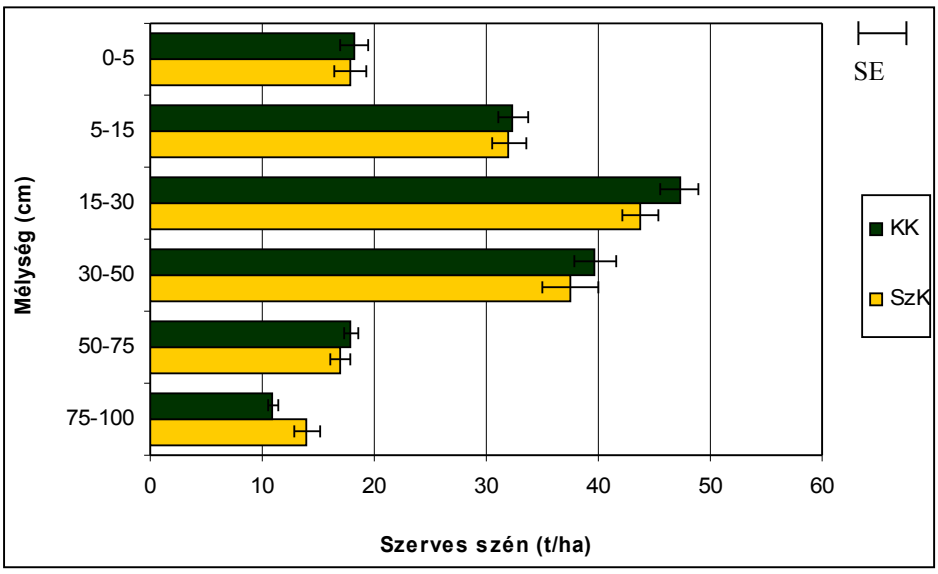
4. táblázat Vetésváltás hatása (a két művelési rendszer átlagolva) a szerves szén, szervesanyag, és összes nitrogén koncentrációra, C/N arányra és térfogattömegre az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység (cm)	OC (g/kg)		SZA (%)		N (g/kg)		C/N arány		Tf (g/cm^3)	
	KK	SzK	KK	SzK	KK	SzK	KK	SzK	KK	SzK
0-5	30,7	29,0	5,3	5,0	2,3	2,3	15,4	14,6	1,18	1,21
5-15	25,7	24,9	4,4	4,3	1,9	2,0	15,8	14,4	1,24	1,28
15-30	24,4	23,1	4,2	4,0	1,8	1,9	15,9	14,4	1,30	1,27
30-50	13,8	13,0	2,4	2,2	1,1	1,2	15,3	13,0	1,44	1,45
50-75	5,0	4,8	0,9	0,8	0,5	0,6	17,2	11,9	1,43	1,43
75-100	2,9 *	3,8	0,5	0,7	0,3	0,4	15,7	10,5	1,53	1,52

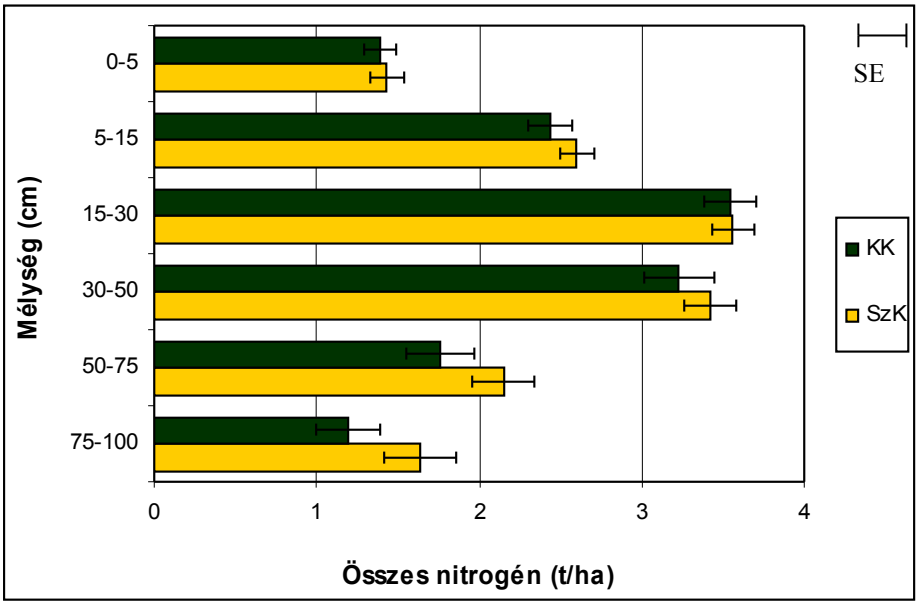
* Szignifikáns különbségek a két vetésváltás között P=0,05 szinten

KK – kukorica monokultúra SzK – szója-kukorica vetésváltás

A szerves szén tartalom (t/ha) nagyobb értéket mutatott a kukorica monokultúrában, mint a szója-kukorica vetésváltásban 75 cm mélységig, de az összes nitrogén tartalom a szója-kukorica vetésváltásban volt némileg nagyobb a monokultúrás kukoricával szemben (10-11. ábra). A szerves szén és összes nitrogén tartalomban mutatkozó különbségek a vetésváltások között azonban nem voltak szignifikánsak egyik mélységben sem, kivéve a 75-100 cm-t.



10. ábra Szerves szén tartalom egységnyi területen a két vetésváltás esetén az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig



11. ábra Összes nitrogén tartalom egységnyi területen a két vetésváltás esetén az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Habár a szerves szén és összes nitrogén tartalomban mért különbségek statisztikailag nem voltak igazolhatóak a monokultúrás kukorica és a szója-kukorica vetésváltás között, a monokultúrás kukorica talaja 4,31 t/ha-ral (3%) több szerves szenet tartalmazott, mint a szója-kukorica vetésváltásé (166,38 t/ha monokultúrás kukoricában és 162,07 t/ha a szója-kukorica vetésváltásban), míg a szója-kukorica vetésváltás talaja 1,25 t/ha-ral (9%) több összes nitrogént tartalmazott a monokultúrás kukoricával összehasonlítva (13,55 t/ha monokultúrás kukoricában és 14,80 t/ha a szója-kukorica vetésváltásban) 1 m mélységig. Ez azt mutatja, hogy annak ellenére,

hogy monokultúrás kukorica termesztésekor a felszínen hagyott összes növényi maradvány több, mint szója-kukorica vetésváltás esetén, a szója-kukorica rendszer hasonló mennyiségű szenet és nitrogént tárolhat, mint a monokultúrában termesztett kukorica. Mivel a különböző vetésváltások nem változtatták meg a talaj térfogattömegét és ezáltal relatív tömegét sem, az egyenlő talajtömegre vonatkozó számítások nem voltak szükségesek.

4.1.1.3. A művelőgépek okozta tömörödés hatása

A művelőgépek tömörítő hatása (NKO – nem keréknyom oldal, KO – keréknyom oldal) nem befolyásolta szignifikánsan a mért paramétereket; bár a direktvetéses parcellákban megfigyelhettünk olyan tendenciát, ami a tömörödés szerves szén és összes nitrogén tartalomra gyakorolt hatását mutatta. A szerves szén és összes nitrogén koncentráció és mennyiség a direktvetéses parcellákban nagyobb volt a sor KO oldalán a sor NKO oldalával összehasonlítva. A keréknyom hatása kifejezettebb volt direktvetésben, mint a szántás esetén. Ez tulajdonképpen várható volt, hiszen mind a direktvetéses, mind a szántott parcellákat tavasszal mintáztuk az őszi talajmunkák elvégzése után. Azt vártuk, hogy a térfogattömeg a direktvetéses és szántott talajok esetében is nagyobb lesz a keréknyom alatt, de a szántás lazító és keverő hatása valószínűleg csökkentette a szántott parcellákban a keréknyom hatására a térfogattömegben jelentkező különbségeket.

A művelés × oldal és a vetésváltás × oldal kölcsönhatás a varianciaanalízis alapján azonban szignifikáns volt a szerves szén és összes nitrogén tartalomra nézve a talaj felső mintavételi szintjeiben.

A legkisebb szignifikáns különbség (SzD) megállapításakor a művelés × oldal kölcsönhatás szignifikáns volt a 0-5 cm-es mélységben az összes nitrogén koncentrációra (5. táblázat). A “direktvetés NKO” és “szántás NKO” különbsége szignifikáns volt, és a “direktvetés KO” és “szántás NKO” valamint a “direktvetés KO” és a “szántás KO” különbsége szintén szignifikáns volt P = 0,05 szinten. Az összes nitrogén mennyiségében 5-15 cm-ben mért különbségek azonban nem voltak szignifikánsak.

Hasonló trendet figyeltem meg a szerves szén koncentrációban és mennyiségben is; bár a művelés × oldal illetve a vetésváltás × oldal kölcsönhatása nem volt szignifikáns a szerves szén koncentrációban egyik mélységben sem. A művelés × oldal kölcsönhatás (6. táblázat) vizsgálatakor azt figyeltem meg, hogy a szerves szén mennyiség az 5-15 cm-es mélységben a keréknyom oldalon direktvetésben nagyobb volt, de a szántott talajban ezt a trendet nem tapasztaltam.

5. táblázat A művelés × oldal kölcsönhatás hatása a talaj összes nitrogén koncentrációjára és mennyiségére az egyes mintavételi szintekben 50 cm mélységig

Mélység (cm)	összes N (g/kg)				összes N (t/ha)			
	DV		SZ		DV		SZ	
	NKO	KO	NKO	KO	NKO	KO	NKO	KO
0-5	2,64a	2,92a	1,94b	1,82b	1,70	1,81	1,08	1,05
5-15	2,08	2,13	1,91	1,81	2,87	2,91	2,26	2,05
15-30	1,81	1,83	1,88	1,88	3,74	3,91	3,26	3,30
30-50	0,99	1,08	1,29	1,25	2,87	3,09	3,72	3,61

A művelés × oldal kölcsönhatás különböző betűvel jelölt középértékei egy mélységen belül szignifikánsan különböznek P=0,05 szinten az SzD alapján

NKO – nem keréknyom oldal KO – keréknyom oldal

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

6. táblázat A művelés × oldal kölcsönhatás hatása a talaj szerves szén koncentrációjára és mennyiségére az egyes mintavételi szintekben 50 cm mélységig

Mélység (cm)	OC (g/kg)				OC (t/ha)			
	DV		SZ		DV		SZ	
	NKO	KO	NKO	KO	NKO	KO	NKO	KO
0-5	34,34	37,13	24,60	23,35	22,0	23,0	13,7	13,4
5-15	26,06	27,12	24,24	23,87	35,8	37,1	28,8	27,1
15-30	22,90	22,97	24,67	24,35	47,3	49,1	42,8	42,7
30-50	11,04	12,07	15,36	14,96	31,9	34,7	44,4	43,4

NKO – nem keréknyom oldal KO – keréknyom oldal

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

Eredményeimet, melyek azt mutatták, hogy a keréknyom hatására nem alakulnak ki lényeges különbségek a vizsgált talajtulajdonságokban, alátámasztják Voorhees et al. (1978) eredményei, akik ellenőrzött körülmények között végeztek tanulmányt agyagos vályog talajon az USA "Corn Belt" kukoricatermesztő régiójában. Azt állapították meg, hogy az őszi talajművelés és a téli fagyás hatása annyira csökkentette a talaj térfogattömegét a felszíni szintekben, hogy nem találtak szignifikáns különbségeket a keréknyom oldal és a művelőgépek által nem tömörített talaj között következő tavasszal a felső 0-15 cm-ben. Eredményeik azt is mutatták azonban, hogy a művelt réteg alsó részének tömörödése megmaradt a tél elmúltával és az áprilisban mért térfogattömeg értékek a 15-30 cm-es és 30-45 cm-es mintavételi mélységben a keréknyom oldalon szignifikánsan nagyobbak voltak, mint a művelőgépek által nem tömörített oldalon.

A keréknyom hatása az általam vizsgált kísérletben kisebb volt más tanulmányokban leírtakhoz képest (Bauder et al., 1985), aminek oka az lehet, hogy a szántott parcellákból a sekély (0-30 cm) mintákat a kémiai vizsgálatra, valamint a bolygatatlan mintákat térfogattömeg meghatározásra tavasszal vettem.

4.1.2. Purdue – Integrált Növényvédelmi Kísérlet

4.1.2.1. A művelés hatása

A szerves szén, szervesanyag és összes nitrogén koncentráció csökkent a mélységgel mindegyik művelési rendszer esetén (7. táblázat). A művelés hatása szignifikáns volt P = 0,01 szinten a 0-5 cm-es mélységben, és szignifikáns P= 0,05 szinten a 15-30 és 30-50 cm-es mintavételi mélységekben szerves szén és összes nitrogén koncentráció esetében az ANOVA alapján.

7. táblázat A művelés hatása a talaj szerves szén és összes nitrogén koncentrációjára az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység (cm)	OC (g/kg)				N (g/kg)			
	DV	RT-DV	RT-NK	NK	DV	RT-DV	RT-NK	NK
0-5	36,3a	31,0ab	26,7ab	24,3b	2,7	2,2	2,1	1,7
5-15	20,7	24,8	24,1	20,9	1,5	1,8	2,0	1,5
15-30	15,3	17,6	16,6	12,2	1,0	1,0	1,3	0,7
30-50	9,1	7,1	6,9	6,1	0,5	0,2	0,6	0,3
50-75	4,2	3,8	3,8	3,1	0,5	0,6	0,4	0,4
75-100	2,9	3,5	2,2	2,4	0,2	0,1	0,1	0,1

A különböző betűvel jelölt középértékek egy mélységen belül szignifikánsan különböznek P=0,05 szinten az SzD alapján

DV – művelés nélküli direktvetés RT-DV – szántás 17 évig, művelés nélküli direktvetés 6 évig

NK – nehézkultivátoros művelés RT-NK - szántás 17 évig, nehézkultivátoros művelés 7 évig

Azonban a legkisebb szignifikáns differencia meghatározásakor kapott eredmény alapján a művelés csak az OC és SZA koncentráció értékeket befolyásolta szignifikánsan a 0-5 cm-es mélységben (7-8. táblázat). E koncentráció értékek szignifikánsan nagyobbak voltak a direktvetéses talaj 0-5 cm-es rétegében mint a nehézkultivátorral művelt parcellákban. Az összes N koncentrációban megfigyelt trend a nehézkultivátorral művelt és direktvetéses kezelések között a 0-5 cm-es mélységben és az RT-DV és RT-NK kezelések között a 30-50 cm-es mélységben nem volt

statisztikailag igazolható. A különböző művelési rendszerek nem befolyásolták szignifikánsan a C/N arányt (8. táblázat).

8. táblázat A művelés hatása a talaj szervesanyag koncentrációjára és C/N arányára az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység (cm)	SZA (%)				C/N arány			
	DV	RT-DV	RT-NK	NK	DV	RT-DV	RT-NK	NK
0-5	6,3a	5,3a	4,6ab	4,2b	15,6	16,8	15,3	16,4
5-15	3,6	4,3	4,1	3,6	16,3	16,0	14,5	16,1
15-30	2,6	3,0	2,9	2,1	18,1	21,3	15,3	18,5
30-50	1,6	1,2	1,2	1,1	28,2	54,7	25,0	34,8
50-75	0,7	0,7	0,7	0,5	nsz	nsz	nsz	nsz
75-100	0,5	0,6	0,4	0,4	nsz	nsz	nsz	nsz

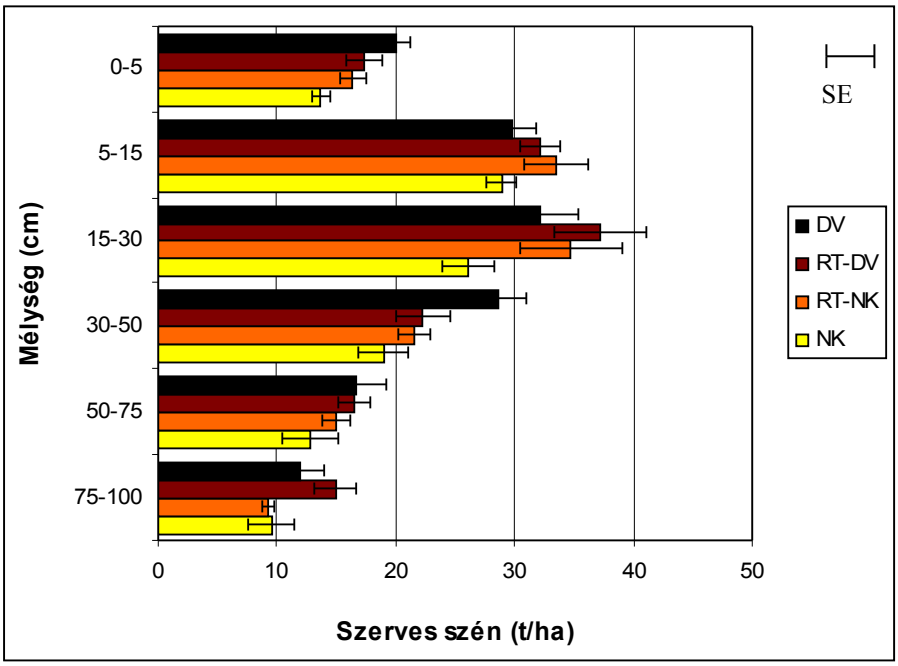
A különböző betűvel jelölt középértékek egy mélységen belül szignifikánsan különböznek P=0,05 szinten az SzD alapján

DV – művelés nélküli direktvetés RT-DV – szántás 17 évig, művelés nélküli direktvetés 6 évig

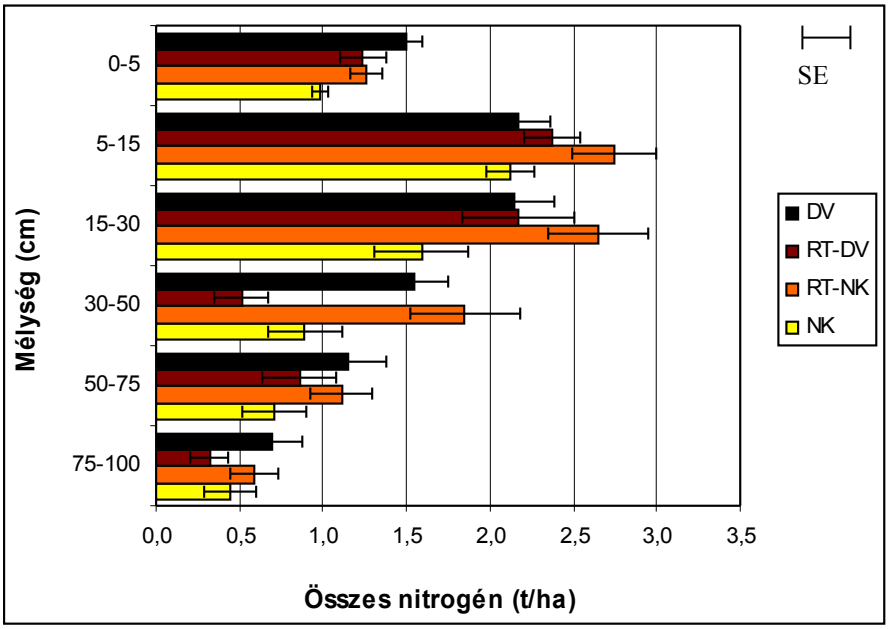
NK – nehézkultivátoros művelés RT-NK - szántás 17 évig, nehézkultivátoros művelés 7 évig

nsz – nem számolt érték

Mind az OC mind az összes N tartalom (t/ha) értékét szignifikánsan befolyásolta a művelés a 0-5 cm-es, 15-30 cm-es és 30-50 cm-es mélységekben (12-13. ábra) a varianciaanalízis szerint.



12. ábra A művelés hatása a talaj szerves szén tartalmára (t/ha) kukorica monokultúrában az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig



13. ábra A művelés hatása a talaj összes nitrogén tartalmára (t/ha) kukorica monokultúrában az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

A legkisebb szignifikáns differencia meghatározásakor kapott eredmény szerint azonban csak az RT-DV és az RT-NK kezelés 30-50 cm-es mélységében volt az összes N tartalom (t/ha) szignifikánsan eltérő.

A négy, különböző művelési rendszer között kialakult trendet (varianciaanalízis alapján) röviden a következő összefoglaló mutatja be mintázási mélységenként:

Szerves szén koncentráció és tömeg

0-5 cm-es mélység: DV > RT-DV > RT-NK > NK

5-15 cm-es mélység: RT-DV = RT-NK > NK = DV

15-30 cm-es mélység: RT-DV > RT-NK > DV > NK

30-50 cm-es mélység: DV > RT-DV > RT-NK > NK.

Összes nitrogén koncentráció és tömeg

0-5 cm-es mélység: DV > RT-NK = RT-DV > NK

5-15 cm-es mélység: RT-NK > RT-DV > DV = NK

15-30 cm-es mélység: RT-NK > RT-DV = DV > NK

30-50 cm-es mélység: RT-NK = DV > NK = RT-DV.

A folyamatos direktvetés szerves szén és összes nitrogén koncentrációja nagyobb volt, mint a folyamatos nehézkultivátoros művelésé az 5-15 cm-es mélység kivételével mindegyik mintavételi szintben. Mindkettő rövidtávú művelés több szerves szenet és összes nitrogént tárolt, mint a folyamatos nehézkultivátoros művelés mindegyik mintavételi mélységben, és többet, mint a folyamatos direktvetés az 5-30 cm-es szintekben. Utóbbi valószínűleg a korábbi folyamatos szántásnak köszönhető, aminek hatása a két rövidtávú művelés parcelláiban továbbra is mérhető annak ellenére, hogy már 6-7 éve direktvetés, illetve nehézkultivátoros művelés folyik ezeken a parcellákon.

A térfogattömeg növekedett a mélységgel, de a különböző művelési rendszerek nem befolyásolták szignifikánsan egyik mintavételi mélységben sem (9. táblázat).

9. táblázat A művelés hatása a talaj térfogattömegére az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység (cm)	Tf (g/cm^3)			
	DV	RT-DV	RT-NK	NK
0-5	1,10	1,11	1,22	1,13
5-15	1,45	1,33	1,41	1,40
15-30	1,41	1,43	1,41	1,42
30-50	1,57	1,57	1,55	1,55
50-75	1,57	1,76	1,57	1,65
75-100	1,65	1,67	1,66	1,56

DV – művelés nélküli direktvetés RT-DV – szántás 17 évig, művelés nélküli direktvetés 6 évig

NK – nehézkultivátoros művelés RT-NK - szántás 17 évig, nehézkultivátoros művelés 7 évig

Mivel magának a talajnak a tömege 1 m-es mélységig egységnyi területen kicsi eltérést mutatott a különböző művelési rendszerek között, a szerves szén és összes nitrogén mennyiségére 1 m-es mélységben megállapított trend alig változott meg, amikor egyenlő talajtömeggel számoltam. A különbözőképpen művelt talajok tömegének 1 m-es mélységben történő összehasonlítása a következő csökkenő sorrendet eredményezte: RT-DV talaj (15 745 t/ha) > RT-NK talaj (15 310 t/ha) > DV talaj (15 305 t/ha) > NK talaj (15 220 t/ha).

Ezek a különbségek a talaj tömegében a különböző művelés alatt álló parcellák esetében csak kis mértékben változtatták meg az egyenlő talajtömegre számolt OC és összes N mennyiséget (10. táblázat).

10. táblázat A művelés hatása a talajban tárolt szerves szén és összes nitrogén mennyiségére (1 m mélységben és egyenlő talajtömeggel számolva)

Becslés módja	OC (t/ha)				N (t/ha)			
	DV	RT-DV	RT-NK	NK	DV	RT-DV	RT-NK	NK
1 m mélységben	139,1	140,5	130,4	109,9	9,2	7,5	10,2	6,7
Egyenlő talajtömegben	138,9	138,5	130,2	109,9	9,2	7,4	10,2	6,7

DV – művelés nélküli direktvetés RT-DV – szántás 17 évig, művelés nélküli direktvetés 6 évig

NK – nehézkultivátoros művelés RT-NK - szántás 17 évig, nehézkultivátoros művelés 7 évig

A szerves szén és összes nitrogén tartalomra megállapított trendet 1 m mélységig és egységnyi talajtömegre kiszámolva az alábbiakban összegzem:

Az 1 m mélységig megállapított trend a következő.

Szerves szén mennyiség (t/ha): RT-DV = DV > RT-NK > NK

Összes nitrogén mennyiség (t/ha): RT-NK > DV > RT-DV > NK

Az egységnyi talajtömegre megállapított trend a következő.

Szerves szén mennyiség (t/ha): DV = RT-DV > RT-NK > NK

Összes nitrogén mennyiség (t/ha): RT-NK > DV > RT-DV > NK

A talaj szerves szén és összes nitrogén tartalma általában hasonló mértékben nő, vagy csökken művelés hatására, így érdekes eredmény kísérletünkben, hogy a DV és RT-DV talaj több szerves szenet tartalmazott, mint RT-NK, de RT-NK-nak nagyobb volt az összes nitrogén tartalma (t/ha) mint RT-DV-nek. Az RT-NK nagyobb összes nitrogén tartalma azt eredményezte, hogy ebben a kezelésben volt a C/N arány a legszűkebb (8. táblázat).

Vizsgálataim hasonló következtetést eredményeztek, mint korábbi tanulmányok, melyekben olyan talajokat vizsgáltak, melyeket időnként megszántottak változó idejű direktvetést követően. Kettler et al. (2000) azt tapasztalta Nebraskában (USA), hogy egy hosszú ideig direktvetés alatt álló vályog talaj egyszeri megszántása a felső 30 cm-ben a talaj szerves szén tartalmának mélységbeli átrendeződéséhez vezetett, bár a talaj szerves szén tartalmában nem találtak jelentős változást 5 évvel azután, hogy a direktvetéses talajt megszántották. Ez megegyezik Pierce et al. (1994) eredményeivel, akik azt írták le, hogy a talaj szerves szén tartalma átrendeződött a felső 15 cm-ben, miután megszántottak egy vályog talajt, amelyet 6-7 éven keresztül direktvetéssel műveltek Michigan-ben. Azonban, az éves variabilitás a talaj szerves szén tartalmában 4 évvel később már mindegyik kezelésben felülmúlta az egyszeri szántás hatását. VandenBygaart és Kay (2004) is arról számoltak be egy 22 éve direktvetés alatt álló agyagos vályog talaj (Dél-Ontarió, Kanada) egyszeri

megszántása után, hogy a művelés homogenizálta a talaj szerves szén tartalmát a talajszelvényben és csökkentette a rétegződést. Azonban, amikor egyenlő talajtömeggel számoltak a szántás mélységét túllépve, nem találtak szignifikáns különbséget a szerves szén tartalomban 18 hónappal a szántás után.

A 24 éves folyamatos direktvetés nagy előnye a talaj szén tárolásában (30 t/ha-ral több szerves szén és 2,5 t/ha-ral több összes nitrogén) a nehézkultivátoros műveléssel szemben 1 m-es mélységig azt mutatja, hogy a talaj lazítása és a felszínen lévő növényi maradványok bekeverése legalább a talaj felső 10 cm-es rétegébe nehézkultivátorral nagy szerves szén veszteséget eredményez; így több figyelmet kellene szentelni ennek a művelési rendszernek a szénmegkötésre gyakorolt hatására. Továbbá az az eredmény, hogy az RT-DV kezelés (6 év direktvetés 17 év szántás után) ugyanannyi szenet kötött meg, mint a 24 éves folyamatos direktvetés, azt sugallja, hogy a direktvetés időnkénti megszakítása és művelés beiktatása nem biztos, hogy kedvezőtlenebb, mint a folyamatos direktvetés a talaj szerves szén megkötése szempontjából. Az RT-NK kezelés (17 év szántás és 7 év nehézkultivátoros művelés) nagyobb szerves szén tartalmat eredményezett, mint a 24 éves folyamatos nehézkultivátoros művelés. Azoknak a parcelláknak a szénmegkötésben mutatkozó előnyét, amelyeken 7 évig folytattak nehézkultivátoros művelést, az okozhatja a 24 éve nehézkultivátorral művelt parcellákkal szemben, hogy előzőleg szántották őket. A szántás a növényi maradványokat leforgatja a szántás mélységéig, míg a nehézkultivátoros művelés a növényi maradványokat egyenletesebben oszlatja el a bolygatás mélységében. A növényi maradványok így a nehézkultivátorral művelt talajban jobban ki vannak téve egy olyan környezetnek, ami elősegíti oxidációjukat. Az RT-DV kezelés átlagban nagyobb szerves szén tartalmat eredményezett, de kevesebb nitrogént tárolt, mint az RT-NK kezelés. A folyamatos direktvetés nagyobb szerves szén és összes nitrogén tartalmat eredményezett, mint a nehézkultivátoros művelés a 0-5 cm-es, 15-30 cm-es és 30-50 cm-es mintavételi mélységben. Mind az RT-DV és RT-NK parcellák több szerves szenet tartalmaztak az összes mintavételi mélységben, mint a folyamatosan nehézkultivátorral művelt parcellák, és ugyanezt a trendet figyeltem meg az összes nitrogén tartalmat illetően is a 30-50 cm-es mélységet kivéve. Azt a következtetést vonhatjuk le tehát, hogy a hosszútávú nehézkultivátoros művelés kedvezőtlenebb hatású a talaj széntárolása szempontjából, mint a több évi szántás után elkezdett nehézkultivátoros művelés vagy a több évi szántás után elkezdett direktvetés.

4.2. A talaj foszfor, kálium, kálcium koncentrációja és pH-ja

4.2.1. Purdue – Talajművelési Tartamkísérlet

A talaj pH-jának és tápanyagtartalmának vizsgálata részben magyarázatot adhat a növény- és gyökérfejlődésben a művelés és vetésváltás hatására kialakuló lehetséges különbségekre, így információt szolgáltat a talajba visszajuttatott növényi maradványok mennyiségéről, a gyökérrendszer növekedéséről és vertikális rétegződéséről.

Általában elmondható, hogy a művelés hatása jobban kifejezésre jutott, mint a vetésváltás hatása. A művelés és vetésváltás kölcsönhatása nem volt szignifikáns egyik tápanyagra sem. A művelés hatását a 11. táblázat mutatja.

11. táblázat A művelés hatása (a két vetésváltás átlagolva) a talaj pH-jára, foszfor, kálium és kálcium koncentrációjára az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység	pH			P			K			Ca		
	(H_2O)			(ppm)			(ppm)			(ppm)		
(cm)	DV		SZ	DV		SZ	DV		SZ	DV		SZ
0.5	7,05	**	6,65	161,7	**	52,5	527,4	**	153,9	2949		3122
5-15	5,94	**	6,74	100,8	**	47,7	225,9	**	146,7	2603	**	3138
15-30	5,39	**	6,78	59,1		54,6	115,5	**	181,3	2236	**	3176
30-50	6,38		6,61	12,6	*	22,4	100,6	**	121,5	3239		3224
50-75	6,99		7,02	5,5	*	4,8	96,4		97,1	3056		3092
75-100	7,51		7,48	6,0	*	4,9	90,1		89,5	2676		2787

* Szignifikáns különbségek a két művelési rendszer között P=0,05 szinten

** Szignifikáns különbségek a két művelési rendszer között P=0,01 szinten

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

A művelés pH-ra gyakorolt hatása szignifikáns volt P=0,01 szinten a felső 30 cm-ben (11. táblázat). A 0-5 cm-es mélységben a direktvetéses talaj pH-ja nagyobb volt, mint a szántott talajé, míg az 5-15 és 15-30 cm-es mélységben a szántott talaj rendelkezett nagyobb pH értékekkel. Ez az eloszlás annak köszönhető, hogy a felszínre kiszórt mész a szántás során belekeveredett a talajba, míg direktvetés esetében a talaj keverése nem következett be. A szántott talajban a szántott rétegben elkeveredik, és így egyenletesen oszlik el a mész, de direktvetés esetében lassan mosódik a talaj felszínéről mélyebbre a csapadékkal. Hussain et al. (1999) szerint a felszínre kiadagolt mész hatásos a talajsavanyúság semlegesítésére direktvetés esetén a talaj felső szintjében, akkor, ha a nitrogén műtrágyát a felszínre szórják ki, hiszen azzal a talajszinttel kerül a mész közvetlen kapcsolatba, ahol

a legtöbb savanyúság keletkezik. A talajszelvény mélyebb rétegeiben képződő savanyúságot azonban nem lehet olyan hatékonyan semlegesíteni direktvetés esetén. Moschler et al. (1973) és Dick (1983) szintén azt tapasztalták, hogy direktvetéses kezelésben a pH jelentősen csökken a hagyományos műveléshez képest; bár kísérleteikben alacsonyabb pH értékeket mértek a direktvetés felszíni rétegében is, a N műtrágya felszíni kiadagolásának és az ehhez kapcsolódó nitrifikációnak a következményeként. Míg a Dick (1983) által leírt kísérletben a N, P, K műtrágyát és a meszet a felszínre szórták ki, addig a Talajművelési Tartamkísérletben a N műtrágyát mindig 10-15 cm mélyre juttatták és soha nem a felszínre adagolták. Ez a kijuttatási mód kísérletünkben megmagyarázhatja a magasabb pH értékeket a 0-5 cm-es mélységben a direktvetéses parcellákon.

A vetésváltás pH-ra gyakorolt hatása csak a 0-5 cm-es mélységben volt szignifikáns; ahol a szója-kukorica vetésváltás nagyobb értékekkel rendelkezett (pH = 6,98) mint a kukorica monokultúra (pH = 6,72). A kukorica monokultúrában mért alacsonyabb pH annak lehet a következménye, hogy a N műtrágya adagok itt kétszeresek voltak, hiszen a N műtrágyát csak minden második évben adták ki a szója-kukorica vetésváltásban kukorica termesztésekor.

A pH skála logaritmus értékeket mutat, ami azt jelenti, hogy a pH kis mértékű megváltozásának is jelentős hatása lehet a tápanyag hozzáférhetőségére és a növényi növekedésre (Thomas, 1996; Brady és Weil, 2002). A kukorica számára az 5,6 és 7,5 közötti pH a legkedvezőbb, ebben a tartományban lehet a legnagyobb termésátlagokat elérni (Tisdale et al., 1993; Hoeft et al., 2000).

A talaj foszfor és kálium koncentrációját a művelés jelentősen befolyásolta (11. táblázat). Ezen tápanyagok vertikális eloszlása jellemző volt a direktvetéses és szántott rendszerekre. Direktvetésben nagyobbak voltak az értékek a felszínen (0-5 cm), de hirtelen csökkenést lehetett megfigyelni a mélységgel lefelé haladva, a sokkal egyenletesebb vertikális eloszlást mutató szántott parcellákkal szemben.

A vetésváltás hatása csak a 15-30 cm-es mélységben volt szignifikáns a kálium értékek esetében. A szója-kukorica vetésváltás jelentősen kevesebb káliumot tartalmazott a 15-30 cm-es mélységben (128,2 ppm) mint a kukorica monokultúra (168,5 ppm), ami valószínűleg annak a következménye, hogy a szója magok sokkal több káliumot vesznek fel mint a kukoricaszemek (a szójamagok K koncentrációja ötször magasabb mint a kukoricaszemeké) (Hoeft et al., 2000).

A kálcium egyenletesen oszlott el a szántott rétegben, de a direktvetéses parcellákban csökkent a mélységgel 30 cm-ig (11. táblázat). A különbségek a művelési rendszerek között statisztikailag igazolhatóak voltak P=0,01 szinten az 5-30 cm-es mélységben, valószínűleg azért, mert a mész nem lett bekeverve ebbe a mélységbe a direktvetéses parcellákban. A mélyebb mintázási szintekben a Ca koncentráció növekedett a karbonátos alapkőzet miatt, de a művelési rendszerek között nem voltak különbségek.

Eredményeimet alátámasztják más kutatók, Mackay et al. (1987) Holanda et al. (1998) és Hussain et al. (1999) eredményei. Mackay et al. (1987) ugyanezen a kísérleti területen azt tapasztalta, hogy hagyományos művelés esetén a P és kicserélhető K egyenletesen oszlott el a feltalajban (0-27,5 cm), de 9 év direktvetés után rétegződtek ezek a tápanyagok. Holanda et al. (1998) szintén az általam is vizsgált Talajművelési Tartamkísérletnek egy korábbi mintázása és vizsgálata során azt tapasztalta, hogy a P koncentráció direktvetésben a 0-5 cm-es mélységben volt a legnagyobb, hiszen a foszfor viszonylag immobil a talajban és többnyire a kijuttatás helyén marad; valamint szintén nagyobb K koncentrációt mért direktvetésben a felszín közelében, ami pedig a növények kálium felvételének, majd a növényi maradványok felszíni felhalmozódásának a következménye.

A P és K koncentrációk minden esetben az USA-ban használt műtrágyázási ajánlások (Tri-State Fertilizer Recommendations) (Vitosh et al., 1995) elfogadott kritikus értékei felett voltak és valószínűleg nem befolyásolták kedvezőtlenül a növényi biomassza produkciót egyik művelési rendszer esetén sem. Azonban a magasabb P és K szint a direktvetéssel hasznosított talaj felső szintjében valószínűleg elősegítette az oldalirányú gyökérnövekedést direktvetésben a szántott talajjal szemben, ami részben azt eredményezte, hogy a nagyobb tömegű felszín alatti szerves maradvány nagyobb szerves szén és összes nitrogén koncentrációt eredményezett a direktvetéses talaj felső szintjében, de a mélyebb rétegekben a szántott talajban volt nagyobb a koncentráció.

4.2.2. Purdue – Integrált Növényvédelmi Kísérlet

A talaj foszfor és kálium koncentrációja mindegyik művelési rendszer esetén csökkent a mélységgel. A varianciaanalízis azt mutatta, hogy a művelés a foszfor koncentrációt szignifikánsan befolyásolta P = 0,01 szinten a 0-5 cm-es mélységben; és a különbségek szintén szignifikánsak voltak P = 0,05 szinten a kezelések között a 15-30 cm-es mélységben (12. táblázat). A legkisebb szignifikáns differencia meghatározása alapján azonban csak a nehézkultivátoros művelés és direktvetés közötti különbség volt szignifikáns a 0-5 cm-es mélységben. A direktvetéses talaj foszfor tartalma kétszerese a nehézkultivátorral művelt parcellák felső szintjei foszfor tartalmának. A művelés hatása a kálium tartalomra egyik művelési rendszer esetében sem volt szignifikáns, ami arra utal, hogy a kálium rétegződése a direktvetés és nehézkultivátoros művelés esetében hasonló 24 év elteltével. Az évenkénti szántás tipikusan azt eredményezi, hogy a talaj kicserélhető kálium tartalma a művelés mélységéig viszonylag egyenletesen oszlik el (lásd 11. táblázat), míg a nehézkultivátoros művelés nem keveri meg eléggé a talajt ahhoz, hogy a kiszórt kálium műtrágya vagy a növényi maradványok kálium tartalma bekeveredjenek a talajba. A foszfor és kálium koncentrációban direktvetésben tapasztaltam a legnagyobb különbséget a 0-5 és 5-15 cm-es

mintavételi mélységek között (12. táblázat). A kálium koncentráció hasonló mélységbeli eloszlást mutatott mind a négy művelési rendszerben, de az RT-DV kezelésben a kálium koncentráció viszonylag kicsi volt a 30-100 cm-es mélységben a másik három műveléshez képest, ami egyszerűen a mintavétel eltérő időpontjának lehet a következménye, hiszen az RT-DV mintákat ebből a mélységből 2004 tavaszán szedtük, míg a többi kezelést 2003 őszén mintáztuk.

12. táblázat A művelés hatása a talaj foszfor és kálium koncentrációjára kukorica monokultúrában az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység (cm)	visszatranszformált P (ppm)				K (ppm)			
	DV	RT-DV	RT-NK	NK	DV	RT-DV	RT-NK	NK
0-5	72,9a	63,2ab	39,1ab	32,5b	258	226	251	222
5-15	40,7	46,8	39,2	25,1	149	152	166	157
15-30	20,0ab	24,0a	21,1ab	8,3b	122	107	147	139
30-50	7,2	6,1	6,2	4,9	127	94	155	137
50-75	5,7	5,3	6,1	4,6	126	99	164	126
75-100	6,0	9,6	9,5	5,4	115	92	145	118

A különböző betűvel jelölt középértékek egy mélységen belül szignifikánsan különböznek P=0,05 szinten az SzD alapján

DV – művelés nélküli direktvetés RT-DV – szántás 17 évig, művelés nélküli direktvetés 6 évig

NK – nehézkultivátoros művelés RT-NK - szántás 17 évig, nehézkultivátoros művelés 7 évig

Habár a direktvetésben valamivel alacsonyabb volt a pH, mint a többi kezelésben, a művelés pH-ra gyakorolt hatása nem volt statisztikailag kimutatható (13. táblázat). Érdekes, hogy a pH mindegyik kezelésben csökkent az 5-15 cm-es mélységben, de azután ismét emelkedett a 15-30 cm-es mélységben. Utóbbi annak a következménye lehet, hogy a N műtrágyát minden évben 10-15 cm-es mélységbe juttatták kukorica monokultúrában. A varianciaanalízis szerint a kálcium koncentrációt a művelés szignifikánsan befolyásolta P=0,01 szinten a 0-5 cm-es mélységben, valamint a művelés hatása szignifikáns volt P= 0,05 szinten a 15-30 és 30-50 cm-es mélységben, azonban a középértékek összehasonlításakor csak a direktvetés és az RT-DV kezelés közötti különbségek voltak szignifikánsak (P = 0,05 szinten) a 0-5 és a 15-30 cm-es mélységben is. A direktvetés és az RT-NK kezelés különbsége csak a 0-5 cm-es mintavételi mélységben volt szignifikáns.

13. táblázat A művelés hatása a talaj pH-jára és kálcium koncentrációjára kukorica monokultúrában az egyes mintavételi szintekben 1 m mélységig

Mélység (cm)	pH				Ca (ppm)			
	DV	RT-DV	RT-NK	NK	DV	RT-DV	RT-NK	NK
0-5	6,3	6,7	7,0	6,9	1852c	2622a	2286ab	2032bc
5-15	5,9	6,1	6,4	6,4	1970	2526	2144	2073
15-30	6,4	6,7	6,6	6,7	2326b	3035a	2508ab	2436ab
30-50	6,9	7,4	7,3	7,3	2439	2868	2646	2517
50-75	7,2	7,5	7,6	7,6	2402	2681	2301	1987
75-100	7,6	7,8	7,8	7,9	2347	2196	1888	2314

A különböző betűvel jelölt középértékek egy mélységen belül szignifikánsan különböznek P=0,05 szinten az SzD alapján

DV – művelés nélküli direktvetés RT-DV – szántás 17 évig, művelés nélküli direktvetés 6 évig

NK – nehézkultivátoros művelés RT-NK - szántás 17 évig, nehézkultivátoros művelés 7 évig

A talaj foszfor és kálium koncentrációja az USA-ban használt műtrágyázási ajánlások (Tri-State Fertilizer Recommendations) (Vitosh et al., 1995) által elfogadott kritikus értékek fölött volt és valószínűleg nem csökkentette a növényi biomassza produkciót egyik művelési rendszer esetén sem. A talaj pH-ja és kálcium koncentrációja mindig az ajánlott tartományban volt.

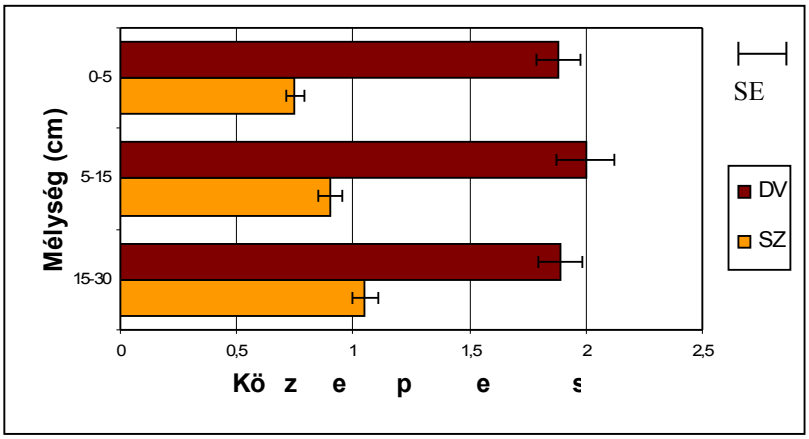
4.3. Aggregátumstabilitás

4.3.1. Makroaggregátumstabilitás

A makroaggregátum stabilitást statisztikailag igazolhatóan befolyásolta a művelés (14. ábra), vetésváltás (15.ábra) és bizonyos mélységekben ezek kölcsönhatása is (14. táblázat).

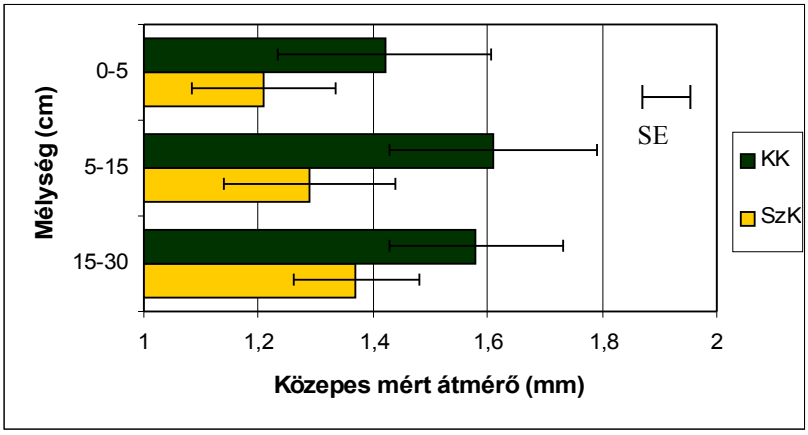
A makroaggregátum stabilitás következetesen nagyobb volt a direktvetéses talajban, mint a szántott parcellákban minden vizsgált mélységben (14. ábra). A közepes mért átmérő (KMÁ) értékek direktvetésben 150%-kal voltak nagyobbak a 0-5 cm-es mélységben, 122%-kal a 5-15 cm-es mélységben és 80%-kal a 15-30 cm-es mélységben a szántott talajokhoz képest. A nagyobb közepes mért átmérő értékek direktvetésben a nagyobb szervesanyag-tartalom aggregátum stabilitásra gyakorolt kedvező hatását mutatják, míg a szántott talajban az aggregátumok szervesanyag-tartalma jobban oxidálódik a talaj keverése miatt, továbbá a művelő eszközök nyíró hatása is a makroaggregátumok szerkezetének romlásához vezet. Eredményeim hasonlóak más kutatók eredményeihez, akik szerint a vízálló aggregátumok mennyisége növekszik a művelés

intenzitásának csökkenésével (Kladivko et al., 1986; Beare és Bruce, 1993; Lal et al., 1994; Gehring, 1999).



14. ábra A művelés hatása (a két vetésváltás átlagolva) a makroaggregátumstabilitásra (KMÁ) az egyes mintavételi szintekben 30 cm mélységig

Ami a vetésváltás hatását illeti, a kukorica monokultúrában nagyobb volt a KMÁ, mint a szója-kukorica vetésváltásban, minden mintavételi mélységben. A monokultúrás kukoricában 17%-kal volt nagyobb a KMÁ a 0-5 cm-es mélységben, 25%-kal nagyobb az 5-15 cm-es mélységben és 15%-kal nagyobb a 15-30 cm-es mélységben a szója-kukorica vetésváltáshoz képest (15. ábra). Ez részben megmagyarázható a kukorica és szója biomassza minőségében és mennyiségében lévő különbségekkel.



15. ábra A vetésváltás hatása (a két művelési rendszer átlagolva) a makroaggregátumstabilitásra (KMÁ) az egyes mintavételi szintekben 30 cm-es mélységig

A vetésváltás × művelés kölcsönhatás szignifikáns volt a 0-5 és 15-30 cm-es mintavételi mélységben, de nem az 5-15 cm-es mélységben (14. táblázat).

14. táblázat A vetésváltás × művelés kölcsönhatás makroaggregátumstabilitásra (KMÁ) gyakorolt hatása az egyes mintavételi szintekben 30 cm mélységig

Mélység	Közepes Mért Átmérő (mm)			
	Direktvetés		Szántás	
	KK	SzK	KK	SzK
0-5	2,13a	1,62ab	0,71bc	0,79bc
5-15	2,28	1,73	0,94	0,85
15-30	2,08a	1,69ab	1,07bc	1,04bc

A vetésváltás × művelés kölcsönhatás különböző betűvel jelölt középértékei egy mélységen belül szignifikánsan különböznek P=0,05 szinten az SzD alapján

KK – kukorica monokultúra SzK – szója-kukorica vetésváltás

Amikor a szerves szén és a közepes mért átmérő adatokat együtt elemezzük, azt látjuk, hogy a szerves szén koncentráció és tömeg (1-2. táblázat) gyorsabban csökken a mélységgel a direktvetésben, mint az aggregátum stabilitás (14. táblázat). Ezt részben megmagyarázhatja Puget et al. (1995) megállapítása, miszerint a szervesanyag típusa fontosabb a szerkezeti stabilitás kialakításában mint a szervesanyag összes mennyisége. Különböző típusú szervesanyagok más és más funkciót látnak el az aggregátumképződés és stabilizálódás egyes lépéseiben (Kay és Angers, 1999).

4.3.2. Mikroaggregátumstabilitás

A mikroaggregátum stabilitást reológiai mérések alapján az abszolút folyáshatár értékekkel jellemezve úgy tűnik, hogy a mikroaggregátum stabilitást a művelés és a vetésváltás is befolyásolta, bár a különbségek statisztikai igazolására nem történt elemzés, hiszen a kis számú ismétlés miatt (egyesített minták csak a II. szántóföldi ismétlésből) a statisztikai elemzés nem lenne megbízható. A mérés ismételhetőségét azonban ellenőriztem a minták kétszeri lemérésével. A kapott eredményeket a 15. táblázatban illetve a B1-B16. mellékletben mutatom be.

15. táblázat A művelés és vetésváltás hatása a mikroaggregátumstabilitásra az egyes mintavételi szintekben 30 cm mélységig

Mélység (cm)	Abszolút folyáshatár (Pa)			
	Direktvetés		Szántás	
	KK	SzK	KK	SzK
0-5	755	826	170	393
5-15	462	636	183	471
15-30	331	372	385	408

KK – kukorica monokultúra SzK – szója-kukorica vetésváltás

Az abszolút folyáshatár azt a nyírófeszültség értéket adja meg, amelyet a mikroaggregátumokban a részecske-részecske közötti kapcsolatok már nem tudnak tolerálni, a kötések megszakadnak és a talajszuszpenzió elfolyósodik.

A direktvetés a 0-5 és 5-15 cm-es mélységben nagyobb mikroaggregátum stabilitást eredményezett, mint a szántás (a kukorica monokultúrában és szója-kukorica vetésváltásban kapott értékeket átlagolva 180%-kal illetve 67%-kal nagyobb értékek direktvetésben). Azonban a 15-30 cm-es mélységben a szántott parcellák mikroaggregátum stabilitás értékei nagyobbak (a kukorica monokultúrában és szója-kukorica vetésváltásban kapott értékeket átlagolva 12%-kal nagyobb érték a szántott talajban), bár statisztikailag ez a különbség valószínűleg nem igazolható (B1-B6. melléklet).

A szója-kukorica vetésváltás mindhárom mintavételi mélységben nagyobb mikroaggregátum stabilitást eredményezett, mint a kukorica monokultúra. A direktvetésben és szántott talaj esetében kapott értékeket átlagolva 32%-kal, 71%-kal illetve 9%-kal nagyobb értékeket mértem szója-kukorica vetésváltásban kukorica monokultúrával összehasonlítva a 0-5, 5-15 és 15-30 cm-es mélységben (B7-B12. melléklet).

Míg direktvetésben a mikroaggregátumstabilitás a mélységgel csökken (a megfigyelt trend hasonló ahhoz, amit a szerves szén tartalom esetében tapasztaltam), szántás esetében a mikroaggregátum stabilitást jellemző értékek hasonló nagyságrendűek, bár kis mértékben nőnek, kivéve a szója-kukorica vetésváltásban a 15-30 cm-es mélységben (B13-B16. melléklet).

A kapott értékeket a makroaggregátum stabilitással összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy míg a makroaggregátum stabilitás a mikroaggregátum stabilitáshoz hasonlóan nagyobb volt a direktvetéses parcellákban a szántott talajhoz képest, addig a termeszett növények hatása ellenkező módon érvényesült. Míg a kukorica monokultúra, ha kis mértékben is, de nagyobb makroaggregátum stabilitást eredményezett, mint a szója-kukorica vetésváltás, addig a mikroaggregátum stabilitás értékek a kukorica monokultúrában kisebbek, mint a szója-kukorica vetésváltásban. Ez a tapasztalat egybevág azzal a megfigyeléssel, hogy a kukorica monokultúra által

a felszínen hagyott nagyobb mennyiségű növényi maradvány miért nem eredményezett szignifikánsan nagyobb szerves szén és összes nitrogén tartalmat. Azt a következtetést vonhatjuk le, hogy a kukorica és szója növények maradványai más típusú humuszanyagok képződésében vesznek részt, így az aggregátumstabilitás kialakulásának is más-más szakaszában és szintjén játszanak fontos szerepet.

4.4. Víztartó-képesség

A víztartó-képességet a művelés befolyásolta, de a vetésváltás nem; a vetésváltás × művelés kölcsönhatása sem volt statisztikailag igazolható. A művelés hatása a talaj térfogatszázalékban (tf %) kifejezett nedvességtartalmára szignifikáns volt P=0,01 szinten minden mintavételi mélységben, minden mért vízkapacitás értéknél (pF 1,7; pF 2 és pF 2,5) (16. táblázat).

16. táblázat A művelés hatása (a két vetésváltás átlagolva) a talaj térfogatszázalékban kifejezett nedvességtartalmára pF 1,7; pF 2 és pF 2,5 vízkapacitás értékeknél az egyes mintavételi szintekben 30 cm-es mélységig

Mélység (cm)	Nedvességtartalom térfogatszázalékban (cm^3/cm^3)					
	pF 1,7		pF 2		pF 2,5	
	DV	SZ	DV	SZ	DV	SZ
0-5	41 **	35	40 **	33	38 **	30
5-15	40 **	34	39 **	33	38 **	32
15-30	38 **	35	37 **	34	36 **	33

** Szignifikáns különbségek a két művelési rendszer között P=0,01 szinten

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

A visszatartott víztartalom direktvetésben mindegyik mért értéken enyhén csökkent a mélységgel, de a szántott talajban egyenletesebb volt a szántás keverő hatásának következtében. A direktvetés 17%-kal, 21%-kal és 26%-kal nagyobb térfogatszázalékban kifejezett nedvességet tartalmazott pF 1,7 illetve pF 2 és pF 2,5 értéknél, mint a szántott talaj a 0-5 cm-es mélységben. Az 5-15 cm-es mélységben a direktvetéses talajnak 17%-kal, 18%-kal és 19%-kal volt nagyobb a térfogatszázalékban kifejezett nedvességtartalma pF 1,7 illetve pF 2 és pF 2,5 értéknél, mint a szántott talajnak. A 15-30 cm-es mélységben pedig a direktvetéses talaj rendelkezett 9%-kal nagyobb térfogatszázalékban kifejezett nedvességtartalommal mindegyik értéken.

A művelés hatása a tömegszázalékban (t %) kifejezett víztartó-képességre kevésbé volt kifejezett, hiszen a térfogattömeg ezt az értéket nem befolyásolja (17. táblázat). A művelés hatása

pF 1,7 értéknél szignifikáns volt P=0,01 szinten a 15-30 cm-es mélységben, de nem volt az a 0-5 cm-es és 5-15 cm-es mintavételi mélységben. A tenzió növekedésével a művelés kiváltotta különbségek statisztikailag igazolhatóak lettek P=0,01 szinten a 0-5 cm-es mélységben, ami valószínűleg a direktvetéses talaj megnövekedett szervesanyag-tartalmának következménye ebben a mélységben a szántott talajjal szemben, hiszen a térfogattömeg kevésbé befolyásolja a víztartó képességet ebben a tartományban. A művelés hatása pF 4,2-nél szignifikáns volt P = 0,01 szinten a 0-5 cm-es mélységben (a direktvetéses talaj értékei 21%-kal nagyobbak, mint a szántott talajé), szintén szignifikáns volt P = 0,05 szinten az 5-15 cm-es mélységben (direktvetéses talaj értékei 7%-kal nagyobbak, mint a szántott talajé), de nem volt szignifikáns a 15-30 cm-es mélységben (17. táblázat).

17. táblázat A művelés hatása (a két vetésváltás átlagolva) a tömegszázalékban kifejezett nedvességtartalomra pF 1,7; pF 2; pF 2,5 és pF 4,2 vízkapacitás értékeknél az egyes mintavételi szintekben 30 cm-es mélységig

Mélység (cm)	Nedvességtartalom tömegszázalékban (g/g)											
	pF 1,7			pF 2			pF 2,5			pF 4,2		
	DV		SZ	DV		SZ	DV		SZ	DV		SZ
0-5	33		31	32	**	29	30	**	26	17	**	14
5-15	29		30	29		28	28		27	16	*	15
15-30	27	**	30	27	**	29	26	*	28	15		15

* Szignifikáns különbségek a két művelési mód között P=0,05-nél

** Szignifikáns különbségek a két művelési mód között P=0,01-nél

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

Dorado et al. (2003) arról számolt be, hogy a szervesanyag hozzáadásának jelentős pozitív hatása van a vízkapacitásra, és ez megmagyarázza a direktvetéses talajok nagyobb víztartó képességét. A vetésváltásnak azonban nem volt egyértelmű kedvező hatása a vízkapacitásra. Kovar et al. (1992) ugyanebben a hosszútávú kísérletben a Purdue Egyetemen jelentős különbségeket talált a talaj nedvességtartalma és a gyökérnövekedés között a szántást és direktvetést összehasonlítva, habár statisztikailag nehéz volt kimutatni az összefüggést a két mért paraméter között. Dwyer et al. (1996) azt tapasztalta, hogy a nagyobb gyökerezési mélység összefügg a művelés intenzitásának növekedésével és a talajfelszín víztartó képességének csökkenésével.

A direktvetéses talaj felső 30 cm-ének nagyobb vízkapacitása és a szántott talaj 30-50 cm-es rétegének nagyobb széntartalma kísérletünkben újabb bizonyítékot szolgáltatott arra, hogy a felszíni szintek nagyobb hasznosítható vízkészlete csökkentheti a gyökerek mélyebb talajrétegekbe hatolását direktvetésben, továbbá, hogy a szántott talajok 0-30 cm-es mélységének kisebb

hasznosítható nedvességtartalma miatt a gyökerek mélyebbre hatolnak és nagyobb mértékben járulnak hozzá a széntartalom növekedéséhez a mélyebb talajrétegekben a szántott parcellákban a direktvetéshez képest.

4.5. A humuszanyagok elemi összetétele

A huminsavak elemi összetétele a következő volt: szén 35,3-46,0 %, hidrogén 4,5-5,9 %, nitrogén 3,7-5,3 % és oxigén 44,1-56,0 % (18. táblázat). A fulvosav frakció 26,3-38,2 % szenet, 4,8-6,6 % hidrogént, 3,4-4,2 % nitrogént és 51,1-65,5 % oxigént tartalmazott (19. táblázat). Az átlagos négyzetes eltérés a legtöbb esetben kisebb volt, mint 1%.

18. táblázat A huminsavak elemi összetétele, C/N és H/C aránya

Minták	Mélység (cm)	Huminsav					
		C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	C/N	H/C
KK DV	0-5	41,7	4,5	5,3	48,5	9,3	1,3
	15-30	40,6	4,9	4,9	49,6	9,5	1,5
	30-50	38,8	5,1	4,4	51,8	10,4	1,6
KK SZ	0-5	43,1	5,5	5,2	46,2	9,6	1,5
	15-30	40,7	5,3	5,1	48,9	9,4	1,6
	30-50	41,6	5,3	4,0	49,1	12,1	1,5
SzK DV	0-5	46,0	5,9	4,1	44,1	13,2	1,5
	15-30	44,6	4,9	4,3	46,2	12,1	1,3
	30-50	35,3	4,6	4,1	56,0	10,0	1,6
SzK SZ	0-5	40,0	4,9	3,7	51,4	12,6	1,5
	15-30	45,2	5,2	4,4	45,3	12,1	1,4
	30-50	41,3	4,8	4,5	49,4	10,6	1,4

KK – kukorica monokultúra SzK – szója-kukorica vetésváltás

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

A huminsav és fulvosav frakciókban mért szén koncentrációk kisebbek voltak, mint a szakirodalomban a talaj szervesanyagában mért tipikus értékek (MacCarthy et al., 1990; Stevenson, 1994). Eredményeim azonban összhangban vannak Schnitzer és Schuppli (1989b) eredményeivel, akik saját mintáikon azt mérték, hogy a huminsavak százalékos szén tartalma kisebb volt, mint a mások által publikált értékek, mert nem használtak HCl-HF oldatot – ami a minták hamu tartalmának csökkentésére szolgál – hogy elkerüljék a túlzott szervesanyag veszteséget. A

százalékos széntartalom nedvesség- és hamumentes huminsav mintáikban azonban hasonló volt a szakirodalomban közölt értékekhez.

Saját mintáim kivonása során én sem tisztítottam a kivont huminsav és fulvosav frakciókat HCl-HF oldattal, hogy ily módon jobban reprezentálják a természetes állapotot.

A két művelésből és vetésváltásból származó huminsavak és fulvosavak elemi összetétele egymáshoz nagyon hasonló volt. Ezt az eredményt alátámasztják Madari (1998) eredményei, aki ugyanebből a hosszútávú kísérletből származó huminsavak szén és nitrogén tartalmát határozta meg. Wander és Traina (1996) valamint Ding et al. (2002) szintén nem tudta igazolni a kezelések hatását huminsav és fulvosav frakciók szén és nitrogén tartalmára talajvédő és hagyományos művelés, illetve organikus és hagyományos gazdálkodás között.

19. táblázat A fulvosavak elemi összetétele, C/N és H/C aránya

Minta	Mélység (cm)	Fulvosav					
		C (%)	H (%)	N (%)	O (%)	C/N	H/C
KK DV	0-5	36,9	6,3	3,8	53,0	11,3	2,1
	15-30	35,2	6,4	4,1	54,3	10,0	2,2
	30-50	30,1	5,7	3,8	60,4	9,1	2,3
KK SZ	0-5	35,4	6,3	3,9	54,4	10,6	2,1
	15-30	35,5	6,3	4,0	54,2	10,3	2,1
	30-50	31,7	5,9	3,8	58,5	9,6	2,2
SzK DV	0-5	32,5	6,1	3,6	57,8	10,5	2,3
	15-30	38,2	6,6	4,2	51,1	10,7	2,1
	30-50	31,2	5,5	4,0	59,2	9,0	2,1
SzK SZ	0-5	35,0	6,4	3,9	54,7	10,6	2,2
	15-30	36,4	6,0	4,0	53,7	10,7	2,0
	30-50	26,3	4,8	3,4	65,5	8,9	2,2

KK – kukorica monokultúra SzK – szója-kukorica vetésváltás

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

Eredményeim azt mutatják, hogy a humuszanyagok összetételében nyilvánvaló különbségek alakultak ki a kezelések hatására a mélységtől függően. Direktvetésben a huminsavak széntartalma csökkent a mélységgel, míg a szántott parcellákban ez a rétegződés nem volt megfigyelhető. A huminsavak nitrogen tartalma nagyobb volt a felszín közelében a kukorica monokultúrában mindegyik művelési rendszer esetén, de ellenkező trendet figyelhettünk meg a szója-kukorica vetésváltás esetén, ahol a nitrogén tartalom nőtt a mélységgel a szántott talajban.

A humin- és fulvosavakat összehasonlítva azt tapasztaltam, hogy a huminsavak általában nagyobb szén és nitrogén tartalommal rendelkeztek, míg a fulvosavak esetében a hidrogén és oxigén koncentrációja volt nagyobb. Reintam et al. (2000) szintén azt írta le, hogy a fulvosavak magasabb hidrogén koncentrációval rendelkeznek.

A kezelések közötti különbségek még nyilvánvalóbbak voltak a C/N arány értékekben (18-19. táblázat). A C/N arány huminsavak esetében 9,3 és 13,2 között, míg fulvosavakban 8,9-11,3 között volt.

A huminsavak C/N aránya a mélységgel csökkent a szója-kukorica vetésváltásban, de növekedett a mélységgel a kukorica monokultúrában. A kukorica monokultúra huminsav frakciója szűkebb C/N aránnyal rendelkezett, mint a szója-kukorica vetésváltásból kivont huminsavak. A fulvosavak C/N aránya csökkent a mélységgel mindkét vetésváltás esetében, de a fulvosavak esetében nem figyeltem meg különbségeket a vetésváltások között.

Direktvetésben, kukorica monokultúrában a huminsavak C/N aránya kisebb volt, mint a szántott parcellák esetében, bár nem lehetett jelentős különbségeket megfigyelni a két művelési rendszer között. Madari et al. (1998) hasonló eredményekre jutott, vagyis azt állapította meg, hogy a humuszanyagok C/N aránya a szántott parcellákban magasabb volt, mint a direktvetésben, ami a szántott talaj huminsav frakciójának szénben való gazdagodására vagy nitrogénben való szegényedésére utal a direktvetéssel összehasonlítva.

A H/C arány értéke 1,3 és 1,6 között volt a huminsavak esetében és 2,0 és 2,3 között fulvosavaknál (18-19. táblázat). Kisebb (0,8-0,9) H/C arányt írtak le huminsavak esetében hagyományos és talajvédő művelési rendszereknél (Ding et al., 2002), de az általunk mért nagyobb értékek abból származhatnak, hogy kisebb széntartalmat mértünk, mint a szakirodalomban fellelhető adatok. A huminsavak H/C aránya kisebb mint a fulvosavaké, ami hasonló Ding et al. (2002) eredményeihez; utóbbi arra utal, hogy a huminsavak több aromás komponenssel rendelkeznek, mint a fulvosavak.

20. táblázat A humuszanyagok HS/FS aránya

Minta	Mélység (cm)	DV	SZ
KK	0-5	1,21	1,19
	15-30	1,16	0,90
	30-50	0,84	0,86
SzK	0-5	1,08	0,83
	15-30	0,71	0,49
	30-50	0,66	0,43

KK – kukorica monokultúra SzK – szója-kukorica vetésváltás

DV – művelés nélküli direktvetés SZ – szántás

A huminsav-fulvosav arány (HS/FS arány) a huminsavak és fulvosavak egymáshoz viszonyított mennyisége. Értéke 1,21 és 0,43 között volt és a mélységgel csökkent, jelezve azt, hogy a huminsav frakció aránya csökken és a fulvosav frakció aránya nő mélységgel lefelé haladva (20. táblázat).

A HS/FS arány nagyobb volt kukorica monokultúrában, mint a szója-kukorica vetésváltásban mindkét művelési rendszer esetén, mindhárom mintázási mélységben. A HS/FS arány szintén nagyobb volt direktvetésben, mint a szántott parcellákban (különösen a szója-kukorica vetésváltás esetén). Dorado et al. (2003) szerint az alacsonyabb HS/FS arány kisebb molekulaméretű szerves kolloid frakcióra utal. Gonzalez et al. (2003) arra a következtetésre jutottak, hogy direktvetéssel hasznosított mezőségi talajok kevesebb fulvosavat tartalmaztak, mint egyéb, csökkentett intenzitású művelési rendszerek kukorica monokultúrában az argentin pampa területeken, valószínűleg azért, mivel a humifikációs folyamatnak kedvezett a növényi maradványok talajfelszínen hagyása direktvetés esetén, ami jelentősen megnövelte a stabil frakció arányát. Canellas et al. (2004) azt tapasztalták, hogy a HS/FS arány kísérletüknek azokban a parcelláiban, ahol hüvelyeseket termesztettek, mindig kisebb volt, mint 1, ami a fulvosavak domináns jelenlétére utalt. Kísérletünkben a HS/FS arány kisebb volt, mint 1 a szója-kukorica vetésváltás esetén – kivéve a 0-5 cm mélységet direktvetésben – ami mutatja a vetésváltás HS/FS arányra gyakorolt hatását és azt sugallja, hogy a fulvosavak aránya a szója-kukorica vetésváltásban nagyobb, mint a kukorica monokultúrában.

A HS/FS arány alakulása a kukorica monokultúrában és szója-kukorica vetésváltás esetén azt mutatja, hogy a szója jelenléte a vetésváltásban csökkenti a stabilabb huminsav frakció mennyiségét, viszont növeli a labilisabb fulvosav frakció mennyiségét a kukorica monokultúrával összehasonlítva. A kivont huminsav és fulvosav frakciók tömege azonban nagyon kicsi volt (0,02-0,1 g), ezért a HS/FS arány összehasonlítása a kivont humuszanyagok tömege alapján óvatosan kezelendő.

4.6. A humuszanyagok molekuláris összetétele

A humuszanyagok komplex, heterogén molekulák, ennek következtében FTIR spektrumuk is igen összetett. A spektrumokat egymást átfedő és széles csúcsok alkotják, ami értékelésüket nagyon megnehezíti. Az ugyanabból a típusú talajból, de különböző kezelésekből származó humuszanyagok infravörös spektruma rendszerint nagyon hasonló, és a fő különbségek a csúcsok relatív intenzitásából adódnak (Ding et al., 2002; Dorado et al., 2003). A humuszanyagok

infravörös spektrumát gyakran a spektrum általános kinézete alapján értékelik, hiszen a csúcsok intenzitása közötti különbségeket és a jellemző eltéréseket így lehet a legjobban kiértékelni.

A huminsavak és fulvosavak összehasonlítása nem szerepelt fő kutatási céljaim között, így arra helyeztem a hangsúlyt, hogy megállapítsam, kimutathatók-e a kezelésekhez vagy a mélységhez köthető különbségek. Az összehasonlítandó spektrumokat normalizáltam a Grams 32 szoftver segítségével és ugyanazon az ábrán mutatom be. Az abszorpció értéke arányos a mintában mért molekulavibráció erősségével. A különböző művelési rendszerek, termesztett növények, mintavételi mélységek és humuszfrakciók közötti összehasonlításokat a B17-B20. mellékletekben ismertetem. A huminsavak és fulvosavak spektrumai pedig a B21-B64. mellékletekben láthatók.

A művelési rendszerek összehasonlításakor azt tapasztaltam, hogy a huminsavak a direktvetésben, kukorica monokultúrában, a 0-5 cm-es mélységben több, jobban kifejezett alifás C-H nyújtással (3100-2800 cm^{-1} és 1460-1450 cm^{-1} hullámszámtartományban), és kevésbé kifejezett aromás C=C nyújtással (1620-1600 cm^{-1}), valamint fenolos OH csoporttal (1400-1390 cm^{-1}-nél) rendelkeznek, mint a szántott kezelésből származó huminsavak (B21. melléklet). A mélység növekedésével kevesebb különbséget tudtam megállapítani, kivéve azt, hogy a 30-50 cm-es mélységben az 1760-1660 cm^{-1} hullámszám tartományban a COOH csoportok C=O csúcsa nagyobb intenzitású, mint a felsőbb mintavételi mélységekben (B22. melléklet).

A szója-kukorica vetésváltásból származó huminsavak kevesebb művelés okozta változást mutattak (B23-B26. melléklet).

Kevesebb különbséget tudtam felfedezni a direktvetéses és szántott parcellák talajából kivont fulvosavak között, kivéve azt, hogy néhány esetben a fenolos OH csoport (1400-1390 cm^{-1}) jobban kifejezett volt a szántott parcellákban, utalva a reaktívabb savas funkciós csoportok nagyobb mennyiségére (B27-B29. melléklet).

A kukorica monokultúra és a szója-kukorica vetésváltás összehasonlításakor az alifás C-H nyújtás (3100-2800 cm^{-1}) intenzitása kifejezettebb, de a fenolos OH csoport (1400-1390 cm^{-1}) kevésbé kifejezett a kukorica monokultúrából származó huminsav mintákban (B33-B44. melléklet).

A 30-50 cm-es mintavételi mélységből származó spektrumok szinte azonos lefutásúak voltak mindkét művelési rendszer, és mindkét vetésváltás összehasonlításakor.

Amikor összehasonlítjuk az egy kezelésből, de különböző mintavételi mélységekből származó mintákat, azt figyelhetjük meg, hogy a direktvetéses parcellákból a különböző mintavételi mélységekből származó minták spektrumai változatosabbak, mint a szántott parcellákból származó talajok spektrumai, ami hasonló a szerves szén eloszlásánál tapasztalt trendhez, vagyis, hogy a szervesanyag egyenletesen bekeveredik a szántott rétegbe, de vertikálisan rétegzett direktvetésben (B45-B52. melléklet). Szintén több eltérést lehetett megfigyelni a felszíni szintből (0-5 cm) származó spektrumokon, mint a mélyebb 15-30 cm-es, és 30-50 cm-es mintavételi mélységekből

származókon. A huminsav spektrumok szintén nagyobb variabilitást mutattak, mint a fulvosavak spektrumai (B53-B64. melléklet).

A spektrumok értékelése lefutásuk alapján azonban nem ad számszerű információt a humuszanyagok molekuláris összetételében a művelés, vetésváltás és mélység hatására bekövetkezett lehetséges változásokról. Ezért ezeket az eredményeket alá kell támasztani bizonyos csoportok csúcs alatti integrált területének összehasonlításával. Utóbbi megközelítés információt szolgáltathat specifikus csoportok (pl. alifás csoportok) relatív mennyiségéről az összehasonlított kezelések, illetve mélységek esetében.

Számos más csúcsot is azonosítottam, például H-kötött OH csoportokat 3400-3300 cm^{-1}-nél, a poliszaccharidokra és szervetlen szennyezőkre jellemző csúcsokat 1170 – 950 cm^{-1}-nél és ismeretlen ásványi összetevőkre (szilikátok és oxidok) jellemző csúcsokat 800-400 cm^{-1}-nél.

Eredményeimhez hasonló eredményeket kapott Madari (1998), aki ugyanezeket a kezeléseket mintázta és vizsgálta a Purdue Talajművelési Tartamkísérletben. Az általa kapott spektrumok azonban kissé eltérnek, mely eltérések abból származhatnak, hogy más kivonási módszert alkalmazott és a kivont huminsavakat HCl-HF oldattal tisztította.

5. KÖVETKEZTETÉSEK

5.1. Új tudományos eredmények

A legtöbb eddigi kísérletben, ahol a művelés és vetésváltás szénmegkötésre gyakorolt hatását tanulmányozták, a művelés mélységéig (pl. szántás mélysége) történtek a mintavételek és vizsgálatok. Ez a megközelítés azt eredményezte, hogy lényegesen kevesebb információ áll rendelkezésre a művelés hatásáról a talaj szénmegkötésére mélyebb rétegekben. Mivel a művelés megváltoztathatja a talaj térfogattömegét és a talajtulajdonságok mélységbeli eloszlását a művelt réteg alatt is, a kutatók, akik ezeket a mélyebb rétegeket nem veszik figyelembe, túlbecsülhetik bizonyos talajvédő művelési rendszerek pozitív hatását a szénmegkötésre. Kutatásom bizonyította az 1 m mélységig történő talajmintavétel fontosságát az általam is vizsgált kémiai tulajdonságok tekintetében művelési rendszerek összehasonlításakor.

Vizsgálataim alapján új tudományos eredményeim a következők:

1. Megállapítottam, hogy a művelés nélküli direktvetés jelentősen több szerves szenet és összes nitrogént tartalmaz a 0-30 cm-es mélységben, de nagy mértékű csökkenés tapasztalható a szántott parcellákhoz képest direktvetés esetén a 30-50 cm-es mélységben. E két művelési rendszerben hasonló volt a talaj szerves szén és összes nitrogén tartalma az 50-100 cm-es mélységben.

2. Különböző művelési rendszerek szerves szén megkötő képességének összehasonlításakor a megállapítások pontosabbá tehetők, amennyiben a talajban a szerves szén felhalmozódását 1 m mélységig vizsgálják. Továbbá, pontosabban becsülhető a valós szerves szén és összes nitrogén tartalom az egyes mintázási mélységekben, ha a talaj szerves szén és összes nitrogén tartalmát nem koncentrációban (g/kg) adják meg, hanem - figyelembe véve a különböző művelési rendszerek között a térfogattömegben adódó különbségeket - egységnyi területre vonatkoztatott tömegben (t/ha) vagy a térfogattömeggel korrigált egységnyi talajtömegre vonatkoztatva (t/ha).

3. Kukorica monokultúra esetén a talaj több szerves szenet tárolt, mint szója-kukorica vetésváltás esetén, de ez a többlet nem volt jelentős annak ellenére, hogy a kukorica monokultúrában a talajba visszajutott növényi biomassza mintegy 30 %-kal több, mint szója-kukorica vetésváltás esetén. A két növényi sorrend esetén közel hasonló mennyiségben felhalmozódott szerves szén arra utal, hogy a maradványok mennyisége nem a legfontosabb tényező a talaj szénmegkötésében.

4. A direktvetés, a szántás és a nehézkultivátoros művelés szerves széntartalomra gyakorolt hatását összehasonlítva azt állapítottam meg, hogy ezeknek a művelési rendszereknek az alkalmazásával a talajban a szerves szén felhalmozódása a fenti sorrendben csökken.

5. Az aggregátumstabilitás vizsgálatok alapján azt a következtetést vontam le, hogy a kukorica és szója növények maradványai más típusú humuszanyagok képződésében vesznek részt, így az aggregátumstabilitás kialakulásának is más-más szakaszában és szintjén játszanak fontos szerepet.

6. Megállapítottam, hogy a 0-30 cm-es mélységig vizsgált mindhárom talajrétegben, a pF-görbe mindegyik mért pontján nagyobb volt a térfogatszázalékos nedvességtartalom a direktvetéses művelési rendszer alkalmazásakor, mint a szántás esetében. A vetésváltás víztartó-képességre gyakorolt hatása nem volt igazolható.

7. A talaj humuszanyagainak vizsgálata során igazolni tudtam a különböző művelési rendszerek, a vetésváltás és a talajmélység hatására kialakuló különbségeket a különböző kezelésekből és mélységekből vett minták spektrumain. A vetésváltással összefüggő eltéréseket tapasztaltam a talajok huminsav/fulvosav arányában.

8. A 6 év direktvetés a 17 év szántásos periódust követően ugyanakkora széntartalmat eredményezett, mint a 24 éven át tartó folyamatos direktvetés, ami azt mutatja, hogy ezen a talajtípuson, az adott termesztési körülmények mellett a szántott és direktvetéses talajok között 17 év alatt kialakuló különbségek a széntárolásban kiegyenlítődtek, tehát a talaj képes szénmegkötésre bizonyos művelési rendszerek alkalmazása esetén.

5.2. Hatás a mezőgazdasági gyakorlatra

A művelés nélküli direktvetés jelentősen nagyobb szén tárolása a nehézkultivátoros műveléssel szemben, a direktvetés nagyobb területen való alkalmazására hívja fel a figyelmet, még akkor is, ha ez rövid távon történik. A szénmegkötés növelése mellett egyben bizonyos talajfizikai tulajdonságok, mint például a víztartó-képesség, az aggregátumstabilitás és az erózióval szembeni ellenállás is javítható.

A direktvetés alkalmazásának elterjedését ösztönző intézkedésekkel lehet segíteni. A támogatás mértéke a direktvetésben levő terület nagyságától és a direktvetés alkalmazásának hosszától függhet, de szükséges a talaj mélyebb rétegeinek megmintázása is ahhoz, hogy adott területen és termesztési körülmények mellett bizonyítani tudjuk e művelési rendszer nagyobb szénmegkötő képességét.

A talaj nagyobb összes nitrogén tartalma a szója-kukorica vetésváltásban a kukorica monokultúrával szemben valószínűleg azt jelenti, hogy több a mineralizálható nitrogén, ami a tenyészidőszakban a növények számára felvehető ebben a vetésváltásban. Ebből kifolyólag alacsonyabb nitrogén műtrágya adagokat lehetne kijuttatni hosszútávú szója-kukorica vetésváltásban. Továbbá, direktvetés alkalmazásával a talajban több nitrogén halmozódik fel a hagyományos műveléshez képest, így a nitrogén műtrágya adagokat szintén csökkenteni lehetne ennek a művelési rendszernek az alkalmazásakor.

Mivel eredményeim azt mutatják, hogy a szerves szén tárolás szempontjából kisebb a különbség a direktvetés és a szántás között, mint a direktvetés és a nehézkultivátoros művelés között, ezért, ha néhány évnyi direktvetést követően szükségessé válik a talaj művelése, akkor a szántás előnyösebb lehet, mint a nehézkultivátoros művelés. Eltérő termesztési adottságokkal rendelkező területek és különböző talajtípusok megmintázása és vizsgálata szükséges azonban ennek a megállapításnak a széleskörű adaptálásához, mielőtt konkrét ajánlásokat teszünk.

A vetésváltás szerves szén tartalomra gyakorolt hatása (pl. a monokultúrás kukorica előnye a maradványok mennyiségében a szója-kukorica vetésváltással szemben), valamint a növényi maradványok relatív szén és nitrogén tartalma nem jelent mindig jelentős közvetlen hatást olyan esetekben, amikor a szervesanyag tartalom az adott talajban eredetileg már 3-4 % körül volt. Az általam vizsgált talaj esetében a szója folyamatos (két évenkénti) termesztése, nem tekinthető hátrányosnak a talaj szerves szén tárolása szempontjából a kukorica monokultúrával szemben, amely több növényi maradványt juttat a talajba.

5.3. Javaslatok a további kutatáshoz

Sajnos nem rendelkezem információkkal a talaj eredeti szerves szén és összes nitrogén koncentrációjáról, illetve a talaj térfogattömegéről abból az évből, amikor elkezdték a két vizsgálatba bevont kísérletet. Ha rendelkeznék ezekkel a hiányzó alapinformációkkal, akkor ki tudnám számolni a szerves szén és összes nitrogén tartalom nettó növekedését vagy csökkenését, és a változás sebességét időben a 23 és 28 éves kísérletek ideje alatt. Ezeknek az adatoknak a hiányában azonban csupán arra volt lehetőségem, hogy összehasonlítsam a különböző művelési rendszerek és vetésváltás hosszútávú hatását egy adott időpontban.

Kihívást jelentett az összes talajminta megszedése egy időben. A hidraulikus mintavevővel vett mintákat betakarítás után és a következő évi vetés előtt kellett megszedni olyan időpontban, amikor a talaj nedvességtartalma megfelelő volt. Az esős időjárás azonban arra kényszerített, hogy néhány minta megszedését a 28 éves kísérletből tavaszról őszre halasszunk és a 23 éves kísérletben őszről következő tavaszra. Azonban úgy gondolom, hogy ezek az időbeli különbségek kevéssé befolyásolták a talaj szerves szén és összes nitrogén koncentrációját ilyen hosszútávú kísérletekben.

A szervesanyag különböző, stabil összetevőinek kvalitatív és kvantitatív jellemzése nem szerepelt a tanulmány fő céljai között. Különböző mintákból származó humuszanyagok spektrumai habitusban gyakran sok hasonlóságot mutatnak. Azonban ez nem feltétlenül jelenti, hogy a minták hasonló szerkezetű molekulákból épülnek fel, hanem azt mutatja, hogy általában a funkciós csoport összetétel hasonló. A spektrumokból nyert információ sok esetben nem volt egyértelműen döntő, hiszen az egyes csúcsok funkciós csoportokhoz rendelése nem egyértelmű komplex összetételű anyagokban. Ebből az okból kifolyólag ezeket az eredményeket más módszerekkel alá kellene támasztani, például ^{13}C szilárdtest mágneses magrezonancia spektroszkópiával és az E_4/E_6 arány meghatározásával, ami nagyon sok információt szolgáltathat a művelés okozta szerkezeti változásokról a humuszanyagokban. Ezek hiányában óvatos következtetéseket lehet csak levonni.

Nem volt információm a felszín alatti növényi biomassza tömegéről, és a felszín feletti növényi biomassza tekintetében is csak szemtermés eredményekkel rendelkeztem. Sok tanulmányban vizsgálják a talajba visszajuttatott növényi maradványok hatását, de a művelés és vetésváltás szerves szén és összes nitrogén tartalomra gyakorolt hatását jobban meg lehetne érteni, ha több információ állna rendelkezésünkre a felszín alatt keletkező biomasszáról. A gyökerezési mélység vizsgálata a szántott réteg alatt jelentősen hozzájárulna a széntárolás pontosabb becsléséhez. A talaj pH-jának hatását a gyökérnövekedésre szintén alaposabban meg kellene vizsgálni, hiszen az alacsony pH bizonyos mélységekben a hosszútávú direktvetés esetén részben megmagyarázhatja, miért csökken a szerves szén tartalom a mélységgel és a csökkenő pH-val párhuzamosan direktvetésben, de nem a szántott parcellákban.

Folyamatos direktvetést az USA kukorica- és szójatermesztő régiójában a szántóterület kis százalékán alkalmaznak csak. A legtöbb gazda a direktvetést a hagyományos művelés valamely formájával váltogatja, hogy ki tudja javítani a direktvetés alatt jelentkező problémákat. Eredményeim azt sugallják, hogy direktvetéses területek időnkénti hagyományos megművelése nem kedvezőtlenebb a folyamatos direktvetésnél a szénmegkötés szempontjából. Több olyan területet kellene megmintázni, ahol időnként megszántják vagy nehézkultivátorral megművelik a talajt több évi direktvetés után, hogy több, a szaktanácsadásban is használható információval rendelkezzünk, amit a gazdáknak tovább lehet adni.

A hosszútávú nehézkultivátoros művelés egyértelműen hátrányosabb a szénmegkötés szempontjából, mint a hosszútávú szántás, de ezt a következtetést két külön kísérleti helyszínen kapott eredményekből vontam le, ezért nem általánosítható. Habár a két kísérlet talajtípusa ugyanaz és ugyanabban a kísérleti gazdaságban találhatók, ezt az előzetes megállapítást meg kell erősíteni a Talajművelési Tartamkísérlet nehézkultivátorral művelt parcelláinak megmintázásával és vizsgálatával, majd a szántás és művelés nélküli direktvetés esetén kapott eredményekkel történő összehasonlítással mindkét vetésváltás esetén.

Ahhoz, hogy különböző talajművelési rendszerek szénmegkötésre gyakorolt hatását jobban megértsük, szükséges, hogy nagyobb hangsúlyt fektessünk a művelés és vetésváltás különböző szervesanyag frakciókra (aktív és passzív) gyakorolt hatásának vizsgálatára.

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Kutatásom fő célja az volt, hogy összehasonlítsam különböző művelési rendszerek és növényi sorrendek hatását a talaj szerves szén és összes nitrogén tartalmára, hangsúlyt fektetve a vizsgált elemek mélységbeli eloszlására. Két művelési tartamkísérlet (24 és 28 éves) talaját mintáztam meg 1 m mélységig a Purdue Egyetemen (West Lafayette, Indiana, USA). A talaj sötét színű, nagy agyag- és szervesanyag tartalmú csernozjom réti talaj. A szerves szén és összes nitrogén tartalom meghatározása mellett vizsgáltam a talajtermékenységet (foszfor és kálium tartalom), a talaj pH-t és kálcium tartalmat, néhány talajfizikai tulajdonságot (térfogattömeg, aggregátumstabilitás és víztartó-képesség), valamint a talajból kivont humuszanyagok elemi és molekuláris összetételét.

A szerves szén és összes nitrogén mélységbeli eloszlása jelentősen különbözött a direktvetés és szántás között a 28 éves kísérletben. Míg direktvetésben egyértelműen a szerves szén és összes nitrogén felszín közeli (0-15 cm) felhalmozódását és mélységgel való éles csökkenését lehetett megfigyelni, a szántott parcellákban a vizsgált elemek egyenletesebben oszlottak el a művelt rétegben. A szántott talaj azonban szignifikánsan nagyobb szerves szén és összes nitrogén tartalommal rendelkezett, mint a direktvetéssel hasznosított talaj a 30-50 cm-es mélységben. A 24 éves kísérletben a szerves szén és összes nitrogén tartalom a direktvetés és a nehézkultivátoros művelés esetén is – bár különbözött egymástól a felszín közelében – hasonlóan csökkent a mélységgel.

Direktvetésben a talaj szerves szén tartalma összességében 10 t/ha-ral volt nagyobb a szántott talaj széntartalmához képest a 28 éves kísérletben, és 30 t/ha-ral volt nagyobb a nehézkultivátorral művelt talajhoz képest a 24 éves kísérletben. Az összes nitrogén tartalomban mért növekedés direktvetéssel 1,5 t/ha, illetve 2,6 t/ha volt. A 24 éves kísérletben a rövidtávú (6 év) direktvetés 17 év szántás után hasonló szerves szén és összes nitrogén tartalmat eredményezett, mint a 24 éves folyamatos direktvetés, ami azt mutatja, hogy adott termesztési körülmények mellett a talaj képes szénmegkötésre bizonyos művelési rendszerek alkalmazása esetén. A rövidtávú nehézkultivátoros művelés (7 év) 17 év szántás után szintén magasabb szerves szén és összes nitrogén tartalmat eredményezett, mint a folyamatos nehézkultivátoros művelés.

A direktvetés, a szántás és a nehézkultivátoros művelés szerves széntartalomra gyakorolt hatását összehasonlítva tehát azt állapítottam meg, hogy ezeknek a művelési rendszereknek az alkalmazásával a talajban a szerves szén felhalmozódása a fenti sorrendben csökken.

7. SUMMARY

The main purpose of the study was to compare the effect of different tillage and crop rotation systems on soil organic carbon and total nitrogen content with special emphasis on the depth distribution of the examined elements. Soil samples were taken in two long-term (24- and 28-year) tillage experiments to 1 m depth at Purdue University (West Lafayette, Indiana, USA). The soil is a dark colored meadow soil with high clay and organic matter content. Besides determining the organic carbon and total nitrogen content, I have examined soil fertility (phosphorus and potassium content), soil pH and calcium content, some soil physical properties (bulk density, aggregate stability and water-retention) and the elemental and molecular composition of extracted humic substances.

The distribution of organic carbon and total nitrogen with soil depth differed substantially under no-till and the plow system in the 28-year experiment. While no-till clearly resulted in accumulation of organic carbon and total nitrogen in the surface (0-15 cm) and element contents declined sharply with depth, plots under moldboard plow had a more evenl distribution in the plowed layer, and moldboard plowing resulted in substantially more organic carbon and total nitrogen, relative to no-till, in the 30-50 cm depth interval. In the 24-year experiment organic carbon and total nitrogen content with no-till and chisel plow– although different from each other near the surface - declined similarly with depth.

The total increase in organic carbon with no-till averaged 10 t/ha relative to moldboard plow in the 28-year experiment, and averaged 30 t/ha relative to chisel plow in the 24-year experiment. The increase in total nitrogen with no-till was 1.5 and 2.6 t/ha for the same studies. In the 24-year experiment short-term no-till (6 years) after 17 years of moldboard plowing resulted in similar organic carbon and total nitrogen storage as 24 years of continuous no-till, which shows, that under the given growing conditions soil may sequester carbon using no-till system. Short-term chisel (7 years) after 17 years of moldboard plowing also resulted in higher organic carbon and total nitrogen storage than continuous chisel plowing.

Comparing the effect of no-till, moldboard plowing and chisel plowing on soil organic carbon content, it can be concluded, that organic carbon sequestration under these tillage systems declines in the above mentioned order.

8. MELLÉKLETEK

A MELLÉKLET

IRODALOMJEGYZÉK

AIKEN, G.R., D.M. MCKNIGHT, R.L. WERSHAW, and P. MACCARTHY (1985): Humic substances in soil, sediment and water: geochemistry, isolation and characterization. John Wiley and Sons, New York.

ALLMARAS, R.R., H.H. SCHOMBERG, C.L.J. DOUGLAS, and T.H. DAO (2000): Soil organic carbon sequestration potential of adopting conservation tillage in U.S. croplands. *Journal of Soil and Water Conservation* 55:365-373.

ANGERS, D.A., M.A. BOLINDER, M.R. CARTER, E.G. GREGORICH, C.F. DRURY, B.C. LIANG, P.R. VORONEY, R.R. SIMARD, R.G. DONALD, R.P. BEYAERT, and J. MARTEL (1997): Impact of tillage practices on organic carbon and nitrogen storage in cool, humid soils of eastern Canada. *Soil and Tillage Research* 41:191-201.

ARSHAD, M.A., M. SCHNITZER, D.A. ANGERS, and J.A. RIPMEESTER (1990): Effects of till vs no-till on the quality of soil organic matter. *Soil Biology and Biochemistry* 22:595-599.

BABARCZY J., és D. SÁROSI (1952): Szőlőtalajok kötöttségének vizsgálata farinográffal. Agrokémia és Talajtan 1:511-520.

BABÁK, GY., I. KOCSIS és A. SOÓS (2001): Új fejlesztések a talajok nyírószilárdságának mérési technikájában. „Vidékfejlesztés – Környezetgazdálkodás – Mezőgazdaság” XLIII. Georgikon Napok, Keszthely. p. 1124-1128.

BAES, A.U., and P.R. BLOOM (1989): Diffuse Reflectance and Transmission Fourier Transform Infrared (DRIFT) spectroscopy of humic and fulvic acids. *Soil Science Society of America Journal* 53:695-700.

BALESDENT, J., A. MARIOTTI, and D. BOISGONTIER (1990): Effect of tillage on soil organic carbon mineralization estimated from 13 C abundance in maize fields. *Journal of Soil Science* 41:587-596.

BARBER, S.A. (1979): Corn residue management and soil organic matter. *Agronomy Journal* 71:625-627.

BARTALOS, T., R. LAL, T. NÉMETH (Eds.) (1995): Conservation tillage for sustaining soil and water quality. Akaprint Kiadó, Budapest. p. 1-293.

BATJES, N.H. (1996): Total carbon and nitrogen in the soils of the world. *European Journal of Soil Science* 47:151-163.

BAUDER, J.W., G.W. RANDALL, and R.T. SHULER (1985): Effects of tillage with controlled wheel traffic on soil properties and root growth of corn. *Journal of Soil and Water Conservation* 40:382-385.

BEARE, M.H., and R.R. BRUCE (1993): A comparison of methods for measuring water-stable aggregates: implications for determining environmental effects on soil structure. *Geoderma* 56:87-104.

BEKE, D., T. KISMÁNYOKY és Z. TÓTH (2005): Különböző művelési módok hatása a talajtömörödésre. *Növénytermelés.* 54:411-423.

BIRKÁS, M., T. KISMÁNYOKY, I. LÁNSZKI, J. NAGY és L. NYÍRI (1993): Földműveléstan. Mezőgazda Kiadó. Budapest. p. 129-144.

BIRKÁS, M., A. PERCZE, CS. GYURICZA, és T. SZALAI (1998): Őszi búza direktvetéses kísérletek eredményei barna erdőtalajon. *Növénytermelés.* 47:181-198.

BIRKÁS, M., und CS. GYURICZA (2000): Direktsaat-Dauerversuchsergebnisse mit Körnermais im pannonischen Produktionsgebiet Ungarns. *Die Bodenkultur.* 51:19-34.

BIRKÁS, M., és CS. GYURICZA (2001): A szélsőséges csapadékellátottság hatása az őszi búza néhány termesztési tényezőjére barna erdőtalajon. *Növénytermelés.* 50:333-344.

BIRKÁS, M., G. ANTOS, L. CSÍK, és A. SZEMŐK (2002): Környezetkímélő és energiatakarékos talajművelés. Birkás Márta és társai. Gödöllő. p. 233-245 és p. 322-327.

BIRKÁS, M., T. SZALAI, CS. GYURICZA, M. GECSE és K. BORDÁS (2002): Effects of disk tillage on soil condition, crop yield and weed infestation. *Plant Production (Rostlinná Vyroba).* 48:20-26.

BIRKÁS, M., és CS. GYURICZA (2004): Agroökoszisztéma elemek kölcsönhatásainak vizsgálata művelési kísérletben. *„AGRO-21" füzetek.* 37:97-110.

BIRKÁS, M., K. BENCSIK, A. UJJ, CS. GYURICZA és A. PERCZE (2004): A talajtömörödés értékelése összefüggésben az aszálykárokkal. *A Talajtani Vándorgyűlés Kiadványa,* Sopron. p. 45-55.

BLAKE, G.R., and K.H. HARTGE (1986): Bulk density. In: A. Klute (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Chapter 13. 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison, WI. p. 363-367.

BLEVINS, R.L. (1984): Soil adaptability for no-tillage. In: S.H. Phillips and R.E. Phillips (Eds.) *No-tillage agriculture: Principles and practices.* Van Nostrand Reinhold, New York, NY. p. 42-65.

BOHN, H. (1976): Estimate of organic carbon in World soils. *Soil Science Society of America Proceedings* 40:468-469.

BRADY, N.C., and R.R. WEIL (2002): The nature and properties of soils. 13th ed. Pearson Education, New Jersey. p. 491-539.

BRONICK C.J., and R. LAL (2005): Soil structure and management: a review. *Geoderma.* 124:3-22.

BULLOCK, D.G. (1992): Crop rotation. *Critical reviews in Plant Sciences* 11:309-326.

CAMPBELL, C.A. (1978): Soil organic carbon, nitrogen and fertility, In: M. Schnitzer and S. U. Khan (Eds.) *Soil organic matter. Developments in soil science.* Elsevier Scientific Publ. Co., Amsterdam, The Netherlands. p. 173-271.

CAMPBELL, C.A., G.P. LAFOND, V.O. BIEDERBECK, G. WEN, J. SCHOENAU and D. HAHN (1999): Seasonal trends in soil biochemical attributes: Effects of crop management on a Black Chernozem. *Canadian Journal of Soil Science.* 79: 85-97.

CANELLAS, L.P., J.A.A. ESPINDOLA, C.E. REZENDE, P.B. DE CAMARGO, D.B. ZANDONADI, V.M. RUMJANEK, J.G.M. GUERRA, M.G. TEIXEIRA, and R. BRAZ-FILHO (2004): Organic matter quality in a soil cultivated with perennial herbaceous legumes. *Scientia Agricola* 61:53-61.

CAPRIEL, P. (1997): Hydrophobicity of organic matter in arable soils: influence of management. *European Journal of Soil Science* 48:457-462.

CAPRIEL, P., T. BECK, H. BORCHERT, and P. HARTER (1990): Relationship between soil aliphatic fraction extracted with supercritical hexane, soil microbial biomass, and soil aggregate stability. *Soil Science Society of America Journal* 54:415-420.

CHANEY, K., and R.S. SWIFT (1984): The influence of organic matter on aggregate stability in some British soils. *Journal of Soil science* 35:223-230.

CHANEY, K., and R.S. SWIFT (1986b): Studies on aggregate stability. II. The effect of humic substances. *Journal of Soil Science* 37:337-343.

CLAPP, C.E., and M.H.B. HAYES (1999): Characterization of humic substances isolated from clay- and silt-sized fractions of a corn residue-amended agricultural soil. *Soil Science* 164:899-913.

COMBS, S.M., and M.V. NATHAN (1998): Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region Missouri Agricultural Research Station SB 1001, Missouri. p. 13-33.

CONDRON, L.M., and R.H. NEWMAN (1998): Chemical nature of soil organic matter under grassland and recently established forest. *European Journal of Soil Science* 49:597-603.

CONSORTIUM FOR AGRICULTURAL SOIL MITIGATION OF GREENHOUSE GASES (CASMGS), http://www.casmgs.colostate.edu/about/prospectus_2002.pdf

COX, W.J., R.W. ZOBEL, H.M. VAN ES, and D.J. OTIS (1990): Tillage effects on some soil physical and corn physiological characteristics. *Agronomy Journal* 82:806-812.

DAVIDSON, J.M., F. GRAY, and D.I. PINSON (1967): Changes in organic matter and bulk density with depth under two cropping systems. *Agronomy Journal* 59:375-378.

DEBRECZENI, B. és DEBRECZENI B.-né (1994): Trágyázási kutatások 1960-1990. Akadémiai Kiadó.

DIACK, M. (1997): Relationships between soil biological and chemical characteristics and surface soil structural properties for use in soil quality. PhD dissertation, Purdue University, West Lafayette. p. 200.

DICK, W.A. (1983): Organic carbon, nitrogen, and phosphorus concentrations and pH in soil profiles as affected by tillage intensity. *Soil Science Society of America Journal* 47:102-107.

DI GLÉRIA, J., A. KLIMES-SZMIK, és M. DVORACSEK (1957): Talajfizika és talajkolloidika. Akadémiai Kiadó, Budapest. p. 98-156, p. 382-410 és p. 665-681.

DING, G., J.M. NOVAK, D. AMARASIRIWARDENA, P.G. HUNT, and B. XING (2002): Soil organic matter characteristics as affected by tillage management. *Soil Science Society of America Journal* 66:421-429.

DORADO, J., M.-C. ZANCADA, G. ALMENDROS, and C. LOPEZ-FANDO (2003): Changes in soil properties and humic substances after long-term amendments with manure and crop residues in dryland farming systems. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* 166:31-38.

DWYER, L.M., B.L. MA, D.W. STEWART, H.N. HAYHOE, D. BALCHIN, J.L.B. CULLEY, and M. MCGOVERN (1996): Root mass distribution under conventional and conservation tillage. *Canadian Journal of Soil Science* 76:23-28.

DZUY, N.Q., and D.V.BOGER (1983): Yield stress measurement for concentrated suspensions. *Journal of Rheology* 27:321-349.

EGHBALL, B., L.N. MIELKE, D.L. MCCALLISTER, and J.W. DORAN (1994): Distribution of organic carbon and inorganic nitrogen in a soil under various tillage and crop sequences. *Journal of Soil and Water Conservation* 49:201-205.

ELLERT, B.H., and J.R. BETTANY (1995): Calculation of organic matter and nutrients stored in soils under contrasting management regimes. *Canadian Journal of Soil Science* 75:529-538.

ESWARAN, H., E. VAN DEN BERG, and P. REICH (1993): Organic carbon in soils of the world. *Soil Science Society of America Journal* 57:192-194.

EVE, M.D., K. PAUSTIAN, R.F. FOLLETT, and E.T. ELLIOTT (2001): A national inventory of changes in soil carbon from national resources inventory data. In: R. Lal et al. (Eds.) *Assessment methods for soil carbon.* Lewis Publishers, New York. p. 593-610.

FARAGÓ, T., és A. KERÉNYI (2003): Nemzetközi együttműködés az éghajlatváltozás veszélyének, az üvegházhatású gázok kibocsátásának csökkentésére. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium és a Debreceni Egyetem, Budapest - Debrecen. p. 70.

FARAGÓ, T., A. KERÉNYI, P. CSÓKA, P. CSORBA, I. FAZEKAS, C. MÁTYÁS, és G. SZABÓ (2004): Globális környezeti problémák és a riói megállapodások végrehajtásának helyzete. Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium és a Debreceni Egyetem, Debrecen. p. 166.

FARKAS, CS., CS. GYURICZA, és P. LÁSZLÓ (1999): Egyes talajfizikai tulajdonságok vizsgálata talajművelési tartamkísérletekben gödöllői barna erdőtalajon. *Növénytermelés.* 48:323-336.

FARKAS, CS., E. TÓTH, és GY. VÁRALLYAY (2004): A talaj fizikai tulajdonságainak vizsgálata talajművelési kísérletekben. *„AGRO-21" füzetek.* 37:97-110.

FRANK, K., D. BEEGLE, and J. DENNING (1998): Phosphorus. In: S.M. Combs, M.V. Nathan (Eds.) *Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region*, Vol. North Central Regional Research Publication No. 221. Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001. p. 21-30.

GANTZER, C.J., and G.R. BLAKE (1978): Physical characteristics of LeSueur clay loam following no-till and conventional tillage. *Agronomy Journal* 70:853-857.

GEHRING, D.A. (1999): Comparison of soil physical properties developed by different tillage systems on a Chalmers silty clay loam. MSc. Thesis, Purdue University, West Lafayette. p. 114.

GLOBÁLIS KLÍMAVÁLTOZÁS PROGRAM. Változás—Hatás—Válasz-program (VAHAVA) (2006). Magyar Tudományos Akadémia. www.vahava.hu

GONZALEZ, M.G., M.E. CONTI, R.M. PALMA, and N.M. ARRIGO (2003): Dynamics of humic fractions and microbial activity under no-tillage or reduced tillage, as compared with native pasture (Pampa Argentina). *Biology and Fertility of Soils* 39:135-138.

GROFFMAN, P.M. (1984): Nitrification and denitrification in conventional and no-tillage soils. *Soil Science Society of America Journal* 49:329-334.

GYURICZA, CS., CS. FARKAS, CS.-NÉ BARÁTH, M. BIRKÁS, és A. MURÁNYI (1998): A penetrációs ellenállás vizsgálata talajművelési tartamkísérletben gödöllői barna erdőtalajon. *Növénytermelés* 47:199-212.

GYURICZA, CS., P. LIEBHARD, P. LÁSZLÓ, és M. BIRKÁS (1999): Bakhátas kukoricaművelési rendszer hatása a talaj fizikai állapotára és a termésre. *Növénytermelés* 48:631-645.

HAYNES, R.J. (2000): Interactions between soil organic matter status, cropping history, method of quantification and sample pretreatment and their effects on measured aggregate stability. *Biology and Fertility of Soils* 30:270-275.

HILL, P.R. (1998): Use of rotational tillage for corn and soybean production in the eastern cornbelt. *Journal Production Agriculture* 11:125-128.

HILL, P.R. (2001): Use of continuous no-till and rotational tillage systems in the central and northern Corn Belt. *Journal of Soil and Water Conservation* 56:286-290.

HILL, R.L., and R.M. CRUSE (1985): Tillage effects on bulk density and soil strength of two Mollisols. *Soil Science of America Journal* 49:1270-1273.

HOEFT, R.G., E.D. NAFZIGER, R.R. JOHNSON and S.R. ALDRICH (2000): Modern corn and soybean production. R.R. Donnelley and Sons, Champaign, IL. p. 119-151.

HOLANDA, F.S.R., D.B. MENGEL, M.B. PAULA, J.G. CARVAHO, and J.C. BERTONI (1998): Influence of crop rotations and tillage systems on phosphorus and potassium stratification and root distribution in the soil profile. *Communication Soil Science and Plant Analysis.* 29:2383-2394.

HUSSAIN, I., K.R. OLSON, and S.A. EBELHAR (1999): Long-term tillage effects on soil chemical properties and organic matter fractions. *Soil Science Society of America Journal* 63:1335-1341.

HUZSVAI, L., T. RÁTONYI, A. MEGYES and D. SULYOK (2005): The effect of reduced tillage methods on the physical characteristics of the soil and organic matter cycles. *Cereal Research Communications.* 33:399-402.

INDIANA STATE CLIMATE OFFICE (2006). Purdue University.
http://agmetx.agry.purdue.edu/sc.index.html
IUSS WORKING GROUP (2006): World reference base for soil resources (WRB). A framework for international classification, correlation and communication. 2nd ed. *World Soil Resources Report No. 103.* FAO, Rome. p. 145.

JENKINSON, D.S. (1991): The Rothamsted long-term experiments: Are they still of use? *Agronomy Journal* 83:2-10.

JOHNSON, M.G., E.R. LEVINE, and J.S. KERN (1995): Soil organic matter: distribution, genesis, and management to reduce greenhouse gas emissions. *Water, Air and Soil Pollution* 82:593-615.

JOHNSTON, C.T., W.M. DAVIS, C.L. ERICKSON, J.J. DELFINO, and W.T. COOPER (1994): Characterization of humic substances using Fourier Transform Infrared Spectroscopy. Elsevier Science.

JOHNSTON, C.T., W. FARMER, and Y. AOCHI (1996): Infrared Spectroscopy. In: D. Sparks (Ed.) *Methods of Soils Analysis Part 3. Chemical Methods.* Chapter 10. 3rd ed., Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, p. 269-321.

KARLEN, D.L., N.C. WOLLENHAUPT, D.C. ERBACH, E.C. BARRY, J.B. SWAN, N.S. NASH, and J.L. JORDAHL (1994): Long term tillage effects on soil quality. *Soil Tillage Research* 32:313-327.

KAY, B.D., and D.A. ANGERS (1999): Soil Structure. In: A. Sumner, M.E. (Ed.) *Handbook of Soil Science.* Boca Raton, CRC Press. p. 229-276.

KEMPER, W.D., and R.C. ROSENAU (1986): Aggregate stability and size distribution. In: A. Klute (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods*. Chapter 17. 2nd ed. Soil Science Society of America, Madison, WI. p. 425-442.

KERN, J.S., and M.G. JOHNSON (1993): Conservation tillage impacts on national soil and atmospheric carbon levels. *Soil Science Society of America Journal* 57:200-210.

KETTLER, T.A., D.J. LYON, J.W. DORAN, W.L. POWERS, and W.W. STROUP (2000): Soil quality assessment after weed-control tillage in a no-till wheat-fallow cropping system. *Soil Science Society of America Journal* 64:339-346.

KÉKEDY, L. (1995): Műszeres analitikai kémia. Az Erdélyi Múzeum Egyesület Kiadása. Kolozsvár.

KING, L. (1990): Sustainable soil fertility practices. In: C. A. Francis et al. (Eds.) *Sustainable agriculture in temperate zones*. Wiley, New York. p. 144.

KISMÁNYOKY, T. és J. BALÁZS (1996): Keszthely long-term field experiments. Press of Pannon University. p. 60.

KLADIVKO, E.J., D.R. GRIFFITH, and J.V. MANNERING (1986): Conservation tillage effects on soil properties and yield of corn and soya beans in Indiana. *Soil Tillage Research* 32:313-327.

KLADIVKO, E.J., and F.J. LARNEY (1989): Spatial distribution of soil structural properties under conservation tillage systems. International Soil Tillage Research Organization Meetings Proceedings, Edinburgh, Scotland. July 11-15., p. 1-3.

KLUTE, A. (1986): Water retention – Laboratory methods. In: A. Klute (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Chapter 26. 2nd ed. ASA-SSSA Inc., Madison, WI. p. 635-660.

KOCSIS, I., F. LIGETVÁRI, és S. DARÓCZI (1996): A valorigráffal mért reológiai paraméterek felhasználása a talajvédelemben. "A termőföld védelme" az OMÉK '96 Kísérőrendezvénye. Gödöllő. p. 104-111.

KOCSIS, I., F. LIGETVÁRI, GY. BABÁK és P. SIMÁNDI (1999): Talajreológiai mérések valorigráffal. Magyar Spektrokémiai Vándorgyűlés Kiadványa. Veszprém. p. 255-258.

KOCSIS, I., GY. BABÁK és A. SOÓS (2003): A hajtatóházak termesztő közegeinek fizikai tulajdonságai. SZAB Kertészeti Munkabizottságának Tudományos ülése, Tessedik Sámuel Főiskola, Szarvas.MVK FK Kiadványa. p. 159-163.

KORSUNSKAYA, L. P., Z., SOKOLOWSKA, M. HAJNOS and G. JOZEFACIUK (1995): Seasonal variation of some soil structure indicator. *Agrophysics.* 9:37-40.

KOVAR, J.L., S.A. BARBER, E.J. KLADIVKO, and D.R. GRIFFITH (1992): Characterization of soil temperature, water content, and maize root distribution in two tillage systems. *Soil and Tillage Research* 24:11-27.

LAL, R. (2001): World cropland soils as a source or sink for atmospheric carbon. *Advances in Agronomy* 71:145-191.

LAL, R., A.A. MAHBOUBI, and N.R. FAUSEY (1994): Long term tillage and rotation effects on properties of a central Ohio soil. *Soil Science Society of America Journal* 58:517-522.

LAZÁNYI J. (1994): Effect of crop rotation on the sustainability of yield and soil organic matter content. *Agrokémia és Talajtan* 43:305-318.

LÁSZLÓ, P., és CS. GYURICZA (2004): Effect of the ridge tillage system on some selected soil physical properties in a maize monoculture. *Acta Agronomica Hungarica* 52(3):211-220.

LÁSZLÓ, P., CS. GYURICZA és P. LIEBHARD (2004): Talajvédő gazdálkodás kukorica monokultúrában. A Magyar Talajtani Vándorgyűlés Kiadványa, Sopron. p.165-175.
LIANG, B.C., A.F. MACKENZIE, M. SCHNITZER, C.M. MONREAL, P.R. VORONEY, and R.P. BEYAERT (1998): Management-induced change in labile soil organic matter under continuous corn in Eastern Canadian soils. *Biology and Fertility of Soils* 26:88-94.

LUCAS, R.E., J.B. HOLTMAN, and L.J. CONNOR (1977): Soil carbon dynamics and cropping practices. In: W. Lockeretz (Ed.) *Agriculture and Energy*. Academic Press, New York. p. 333-351.

MacCARTHY, P., and J.A. RICE (1985): Spectroscopic methods (other than NMR) for determining functionality in humic substance. In: G. R. Aiken et al. (Eds.) *Humic substances in soil, sediment and water*. Chapter 21. John Wiley and Sons, New York. p. 527-559.

MacCARTHY, P., C.E. CLAPP, R.L. MALCOLM, and P.R. BLOOM (Eds.) (1990): Humic substances in soil and crop sciences: Selected readings. American Society of Agronomy, Inc., Soil Science Society of America, Inc., Madison, WI, USA. p. 1-23.

MACHADO, P.L.O.DE A., and M.H. GERZABEK (1993): Tillage and crop rotation interactions on humic substances of a Typic Haplorthox from Southern Brazil. *Soil and Tillage Research* 26:227-236.

MACKAY, A.D., E.J. KLADIVKO, S.A. BARBER, and D.R. GRIFFITH (1987): Phosphorus and potassium uptake by corn in conservation tillage systems. *Soil Science Society of America Journal* 51:970-974.

MADARI B., E. MICHÉLI, C.T. JOHNSTON, and J.G. GRAVEEL. (1996): Spectroscopic investigation of the effect of no-till and conventional tillage on soil organic matter. In: Drozd, J., Gonet, S.S. (Eds.) *Proc. of the 8th Meeting of the International Humic Substances Society.*

MADARI, B. (1998): The effect of tillage on the nature and properties of humic substances. PhD. Dissertation, University of Agricultural Sciences, Gödöllő. p. 164.

MADARI, B., E. MICHELI, I. CZINKOTA, C.T. JOHNSTON, and J.G. GRAVEEL (1998): Soil organic matter as indicator of changes in the environment. Anthropogenic influences: Tillage. *Agrokémia és Talajtan* 47:121-132.

MANN, L.K. (1986): Changes in soil carbon storage after cultivation. *Soil Science* 142:279-288.
MANUAL, C.-E.A.I. 1998. VERSION 2.0, pp. 7-3 Theory of Operation. Leco Corporation, St. Joseph, MI.

MARTIN, M.A., M.M. SCHREIBER, J.R. RIEPE, and J.R. BAHR (1991): The economics of alternative tillage systems, crop rotations, and herbicide use on three representative East-Central Corn Belt Farms. *Weed Science* 39:299-307.

McCARTY, G.W., N.N. LYSSENKO, and J.L. STARR (1998): Short-term changes in soil carbon and nitrogen pools during tillage management transition. *Soil Science Society of America Journal* 62:1564-1571.

MEGYES, A., T. RÁTONYI, L. HUZSVAI, D. SULYOK and R. NYIZSALOVSZKI (2006): Tillage impacts on soil water dynamics regarding physical properties, crop development and crop yield. *Cereal Research Communications.* 34:243-246.

MICHÉLI E., E. BARABÁS, and P. STEFANOVITS (1993): Mineral fertilization – soil organic matter quality. *Agrokémia és Talajtan.* Budapest. 42: 90-94.

MICHÉLI E., E. TOMBÁCZ, T. SZEGI and A. GÁL (2002): The relationship of rheological parameters and erodibility of soils. Proceedings of the 12th ISCO Conference, Beijing, China. p. 110-115.

MITCHELL, C.C., R.L. WESTERMAN, J.R. BROWN, and T.R. PECK (1991): Overview of long-term agronomic research. *Agronomy Journal* 83:24.

MOSCHLER, W.W., D.C. MARTENS, C.I. RICH, and G.M. SHEAR (1973): Comparative lime effects on continuous no-tillage and conventionally tilled corn. *Agronomy Journal* 65:781-783.

NELSON, D.W., and L.E. SOMMERS (1996): Total carbon, organic carbon, and organic matter. In: D. Sparks (Ed.) *Methods of Soil Analysis. Part 3. Chemical Methods*. Chapter 34. Soil Science Society of America, American Society of Agronomy, Madison, WI. p. 961-1010.

NÉMETH T. (1996): Talajaink szervesanyag-tartalma és nitrogénforgalma. MTA Talajtani és Agrokémiai Kutató Intézete, Budapest. p. 35-59.

NÉMETH T. (1997): The importance of long-term experimentation in sustainable agricultural development. *Agrokémia és Talajtan* 46:13-24.

NÉMETH, T., P. CSATHÓ, and A. ANTON (1998): Soil carbon dynamics in relation to cropping systems in principal ecoregions of Eastern Europe, with particular regard to Hungarian experiences. In: R. Lal, J.M. Kimble, R.F. Follett and B.A. Stewart (Eds.) *Management of carbon sequestration in soil. Advances in Soil Science.* Chapter 18. CRC Press, Boca Raton, FL. p. 255-283.

NÉMETH, T., E. MICHÉLI, and L. PÁSZTOR (2002): Carbon balances in Hungarian soils, In: J. M. Kimble, Lal, R., Follett, R.F. (Eds.) *Agricultural practices and policies for carbon sequestration in soil*, Chapter 43. Lewis Publishers, Boca Raton, FL. p. 449-457.

ODELL, R.T., S.W. MELSTED, and W.A. WALKER (1984): Changes in organic carbon and nitrogen of Morrow plot soils under different treatments, 1904-1973. *Soil Science* 137:160-171.
OUATMANE, A., V. DORAZIO, M. HAFIDI, J. REVEL, and N. SENESI (2000): Elemental and spectroscopic characterization of humic acids fractionated by gel permeation chromatography. *Agronomie* 20:491-504.

PARSONS, J.W. (1988): Isolation of humic substances from soils and sediments. In: F. H. Frimmel and R. F. Christman (Eds.) *Humic substances and their role in the environment*. John Wiley and Sons, Chichester, England. p. 3-14.

PERCZE, A., CS. GYURICZA, M. BIRKÁS, A. SZEMŐK, and A. UJJ (2002): Extension of the tillage-pan compaction and its impact on some crop production factors. *Agriculture.* 6:282-290.

PHILLIPS, R.E., R.L. BLEVINS, G.W. THOMAS, W.W. FRYE, and S.H. PHILLIPS (1980): No-tillage agriculture. *Science* 208:1108-1113.

PIERCE, F.J., M.-C. FORTIN, and M.J. STATON (1994): Periodic plowing effects on soil properties in a no-till farming system. *Soil Science Society of America Journal* 58:1782-1787.

POSNER, A.M., B.K.G. THENG, and J.R.H. WAKE (1968): The extraction of soil organic matter in relation to humification. *Transactions of the 9th International Congress of Soil Science* 3:153-162.

POTTER, K.N., H.A. TORBERT, O.R. JONES, J.E. MATOCHA, J.E. MORRISON, JR, and P.W. UNGER (1998): Distribution and amount of soil organic C in long term management systems in Texas. *Soil Tillage Research* 47:309-321.

POTTER, K.N., G. VELAZQUEZ, J. DE J., and H.A TORBERT (2001): No-Till And Residue Removal Effects On Soil Carbon Content. In: J. Stiegler (Ed.) *Proceedings of the 24th Annual Southern Conservation Tillage Conference for Sustainable Agriculture*. p. 28-33.

POWER, J.F., and R.F. FOLLETT (1987): Monoculture. *American Science.* 256:79.

POWLSON, D.S., and D.S. JENKINSON (1981): A comparison of the organic matter, biomass, adenosine triphosphate and mineralizable nitrogen contents of ploughed and direct-drilled soils. *Journal of Agricultural Science* 97:713-721.

PUGET, P., C. CHENU, and J. BALESDENT (1995): Total and young organic matter distributions in aggregates of silty cultivated soils. *European Journal of Soil Science* 46:449-459.

RÁTONYI, T., A. MEGYES, és D. SULYOK (2003): A talajállapot és a talajművelés összefüggései a kukoricatermesztésben. *50. éves a magyar hibridkukorica*, 2003. szeptember 30. *Konferencia kiadvány*, Martonvásár.

REINTAM, L., J. KANN, T. KAILAS, and R. KAHRIK (2000): Elemental composition of humic and fulvic acids in the epipedon of some Estonian soils. *Proceedings of Estonian Academy of Chemical Sciences.* 49:131-144.

RUSSELLE, M.P., O.B. HESTERMAN, C.C. SHEAFFER, and G.H. HEIDHEL (1987): Estimating nitrogen and rotation effects in legume-corn rotations. In: J. F. Power (Ed.) *The role of legumes in conservation tillage systems*. Soil Conservation Society, Washington DC. p. 41.

SAS INSTITUTE. 2002. The SAS system for Microsoft Windows. Release 8.2. SAS Inst., Cary, NC.

SCHNITZER, M., and P. SCHUPPLI (1989a): Method for the sequential extraction of organic matter from soils and soil fractions. *Soil Science Society of America Journal* 53:1418-1424.

SCHNITZER, M., and P. SCHUPPLI (1989b): The extraction of organic matter from selected soils and particle size fractions with 0.5 M NaOH and 0.1 M $Na_4P_2O_7$ solutions. *Canadian Journal of Soil Science* 69:253-262.

SCHREIBER, M.M. (1992): Influence of tillage, crop rotation, and weed management on giant foxtail population dynamics and corn yield. *Weed Science* 40:645-653.

SKJEMSTAD, J.O., L.J. JANIK, and J.A. TAYLOR (1998): Non-living soil organic matter: what do we know about it? *Australian Journal of Experimental Agriculture* 38:667-680.

SOIL SURVEY STAFF (2006): Keys to Soil Taxonomy. 10th edition. Natural Resources Conservation Service, United States Department of Agriculture, Washington DC, USA. p. 341.

SOÓS, A., GY. BABÁK és I. KOCSIS (2002): A nyírószilárdság laboratóriumi és helyszíni vizsgálata során nyert tapasztalatok. "Tartamkísérletek, tájtermesztés, vidékfejlesztés" Konferencia. Debrecen. p. 288-292.

SPARKS, D.L. (2003): Chemistry of soil organic matter. Environmental Soil Chemistry. 2nd ed. Academic Press. Elsevier Science p. 75-112.

STEARMAN, G.K., R.J. LEWIS, L.J. TORTORELLI, and D.D. TYLER (1989): Characterization of humic acid from no-tilled and tilled soils using Carbon-13 nuclear magnetic resonance. *Soil Science Society of America Journal* 53:744-749.

STEFANOVITS P., GY. FILEP, és GY. FÜLEKY (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó, Budapest, p. 71-229.

STEFFE, J. F. (1996): Rheological Methods in Food Process Engineering. Chapter 1. Introduction to rheology. 2nd ed. Freeman Press, East Lansing, MI. p. 1-93.
STEVENSON, F.J. (1994): Humus chemistry: Genesis, composition, reactions. 2nd ed. John Wiley and Sons, New York p. 1-489.

STUDDERT, G.A., and H.E. ECHEVERRIA (2000): Crop rotations and nitrogen fertilization to manage soil organic carbon dynamics. *Soil Science Society of America Journal* 64:1496-1503.

SULYOK, D., T. RÁTONYI and L. HUZSVAI (2006): Examining the effect of the nutrient supply and tillage on the yield of maize (Zea Mays L.) and economic questions of cultivation on the loess-plato of Hajdúság. *Cereal Research Communications.* 34:295-298.

SVÁB, J. (1981): Biometriai módszerek a kutatásban. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. p. 85-261.

SWIFT, R.S. (1996): Organic matter characterization. In: D. Sparks (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical methods*, Chapter 35. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. p. 1011-1048.

SZABÓ I.M. (1986): Az általános talajtan biológiai alapjai. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest, p.114-307.

SZÁNTÓ F. (1987): Kolloidkémia alapjai. Tömény szuszpenziók reológiai tulajdonságai. Gondolat Kiadó, Budapest. p. 309-323.

SZEGI, T., E. MICHÉLI, A. GÁL és E. TOMBÁCZ (2004): Művelt mezőségi talajok szerkezeti stabilitásának jellemzése a reológia módszerével. *Agrokémia és Talajtan.* 53:239-250.

THOMAS, G.W. (1996): Soil pH and soil acidity. In: D. Sparks (Ed.) *Methods of soil analysis. Part 3. Chemical Methods,* Chapter 16. Soil Science Society of America and American Society of Agronomy, Madison, WI, USA. p. 475-490.

TISDALE, S.L., W.L. NELSON, J.D. BEATON, and J.L. HAVLIN (1993): Soil fertility and fertilizers. 5th ed. MacMillan Publishing Company, New York.

TISDALL, J.M., and J.M. OADES (1982): Organic matter and water-stable aggregates in soils. *Journal of Soil Science* 33:141-163.

TÓTH, Z. (2001): A talajtermékenység vizsgálata vetésforgókban és monokultúrában. *Doktori (PhD) értekezés.* Veszprémi Egyetem, Georgikon Mezőgazdaságtudományi Kar. Keszthely p. 187.

TÓTH, Z. és T. KISMÁNYOKY (2001): A trágyázás hatása a talaj szervesanyag-tartalmára és agronómiai szerkezetére vetésforgókban és kukorica monokultúrában. *Agrokémia és Talajtan.* 50:207-225

VAN BAVEL, C.H.M. (1949): Mean weight-diameter of soil aggregates as a statistical index of aggregation. *Soil Science Society of America Proceedings* 14:20-23.

VANDENBYGAART, A.J., X.M. YANG, B.D. KAY, and J.D. ASPINALL (2002): Variability in carbon sequestration potential in no-till soil landscapes of southern Ontario. *Soil and Tillage Research* 65:231-241.

VANDENBYGAART, A.J., and B.D. KAY (2004): Persistence of soil organic carbon after plowing a long-term no-till field in Southern Ontario, Canada. *Soil Science Society of America Journal* 68:1394-1402.

VÁRALLYAY, GY. (2003): A mezőgazdasági vízgazdálkodás talajtani alapjai. Egyetemi jegyzet, Gödöllő. p. 66-73.

VÁRALLYAY, GY. (2004): Talajvédelmi stratégia az EU-ban és Magyarországon. *Talajvédelem, Különszám*. Talajtani Vándorgyűlés, Kecskemét. Talajvédelmi Alapítvány. p. 11-22.

VENTEREA, R.T., M. BURGER, and K.A. SPOKAS (2005): Nitrogen oxide and methane emissions under varying tillage and fertilizer management. *Journal of Environmental Quality* 34:1467-1477.

VITOSH, M.L., J.W. JOHNSON, and D.B. MENGEL (1995): Tri-state fertilizer recommendations for corn, soybeans, wheat, and alfalfa. Extension Bulletin E-2567. Michigan State Univ., East Lansing, MI.

VOORHEES, W.B., C.G. SENST, and W.W. NELSON (1978): Compaction and soil structure modification by wheel traffic in the northern Corn Belt. *Soil Science Society of America Journal* 42:344-349.

VYN, T.J., T.D. WEST, and G.C. STEINHARDT (2000): Corn and soybean response to tillage and rotation systems on a dark prairie soil: 25 year review. Purdue University, Agronomy Department, West Lafayette. p. 3-13.

WANDER, M.M., and S.J. TRAINA (1996): Organic matter fractions from organically and conventionally managed soils: II. Characterization of composition. *Soil Science Society of America Journal* 60:1087-1094.

WARNCKE, D., and J.R. BROWN (1998): Potassium and other basic cations. In: S.M. Combs, M.V. Nathan (Eds.) *Recommended soil test procedures for the North Central Region.* Chapter 7. Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001. p. 31-33.

WARRICK, A.W. (Ed.) (2002): Soil physics companion. CRC Press, Florida. p. 1-59.

WATERS, A.G. and J.M. OADES (1991): Organic matter in water-stable aggregates. In: W.S. Wilson (Ed.) *Advances in soil organic matter research: The impact on agriculture and the environment.* The proceedings of a joint symposium held at University of Essex, 3-4 September 1990. Special Publication no. 90. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, p. 163-174.

WATSON, M.E., and J.R. BROWN (1998): pH and lime requirement. In: S.M. Combs, M.V. Nathan (Eds.) *Recommended chemical soil test procedures for the North Central Region.* North Central Regional Research Publication No. 221. Missouri Agricultural Experiment Station SB 1001. p. 13-16.

WEST, T.D., T.J. VYN, and G.C. STEINHARDT (2002): Cropping systems research report. Purdue University, Agronomy Department, West Lafayette. p. 3-13.

WEST, T.D., T.J. VYN, and G.C. STEINHARDT (2003): Cropping systems research report. Purdue University, Agronomy Department, West Lafayette. p. 3-14.

WEST, T.O., and W.M. POST (2002): Soil organic carbon sequestration rates by tillage and crop rotation: a global data analysis. *Soil Science Society of America Journal* 66:1930-1946.

WHITE, J.L. and C.B. ROTH (1986): Infrared spectrometry. In: A. Klute (Ed.) *Methods of Soil Analysis Part 1. Physical and Mineralogical Methods.* Chapter 11. 2nd ed. ASA-SSSA Inc., Madison, WI. p. 291-326.

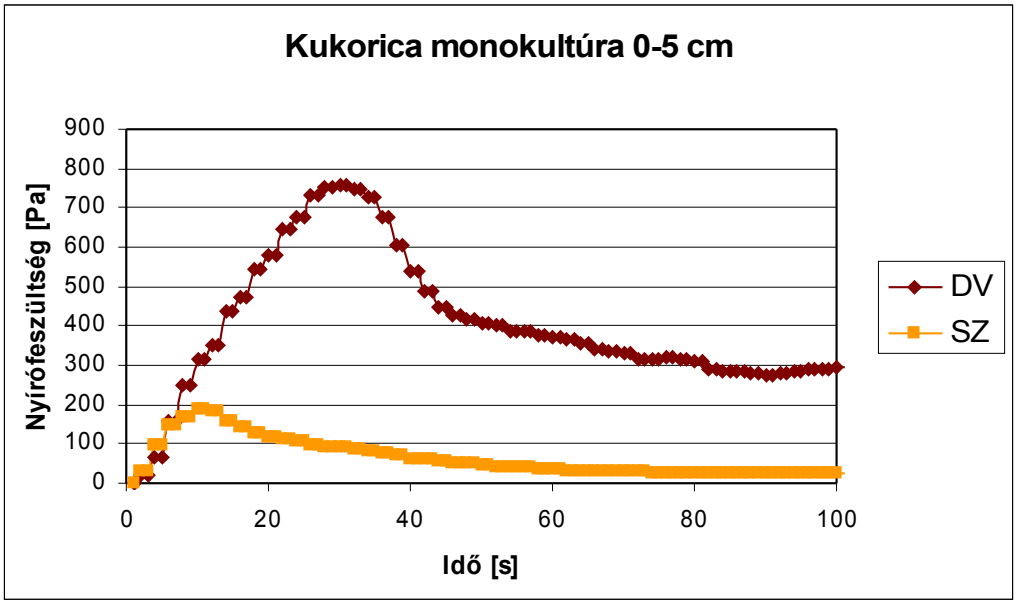
WILDING, L.P. (1999): Comments on paper by R. Lal, H.M. Hassan an J. Dumanski. In: N.J. Rosenberg, R.C. Izzauralde and E.L. Malone (Eds.) *Carbon Sequestration in Soils: Science, Monitoring and Beyond*. Batelle Press, Columbus, Ohio. p. 146-149.

YODER, R.E. (1936): A direct method of aggregate analysis of soils and a study of the physical nature of erosion losses. *Journal of the American Society of Agronomy* 28:337-351.

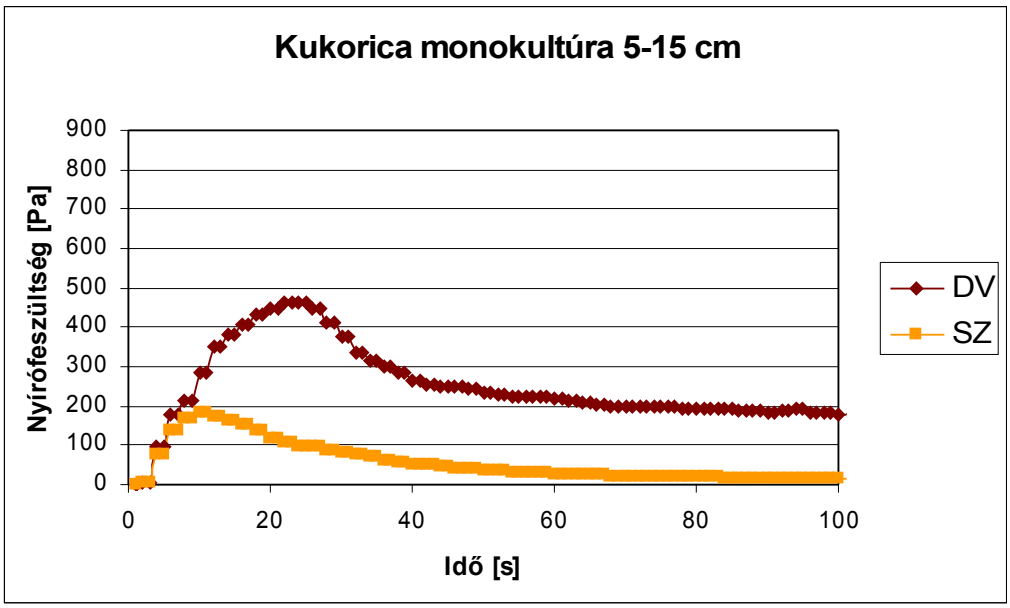
YOUKER, R.E., and J.L. MCGUINNESS (1957): A short method of obtaining mean weight-diameter values of aggregate analyses of soils. *Soil Science* 83:291-293.

B MELLÉKLET

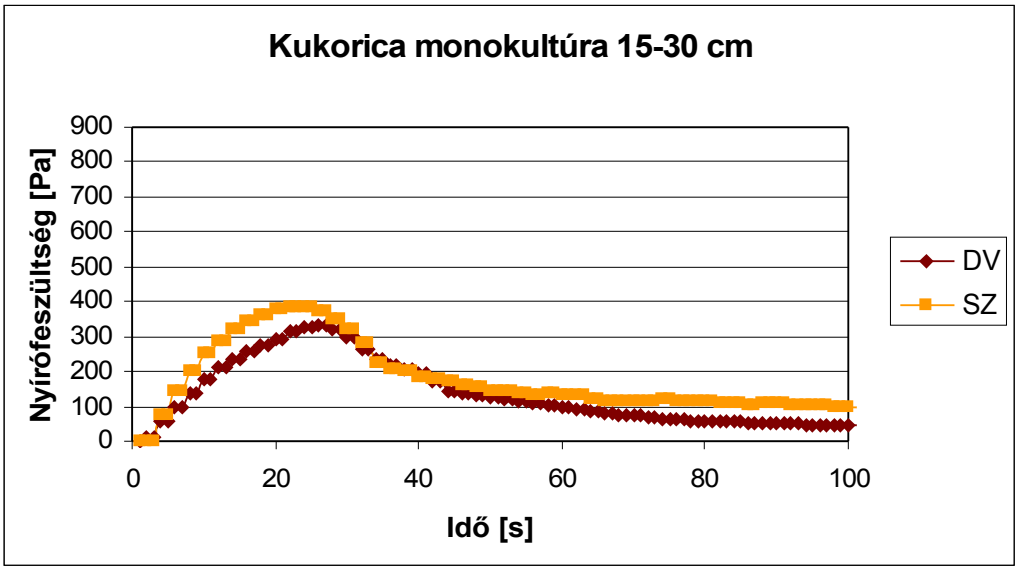
PURDUE - TALAJMŰVELÉSI TARTAMKÍSÉRLET



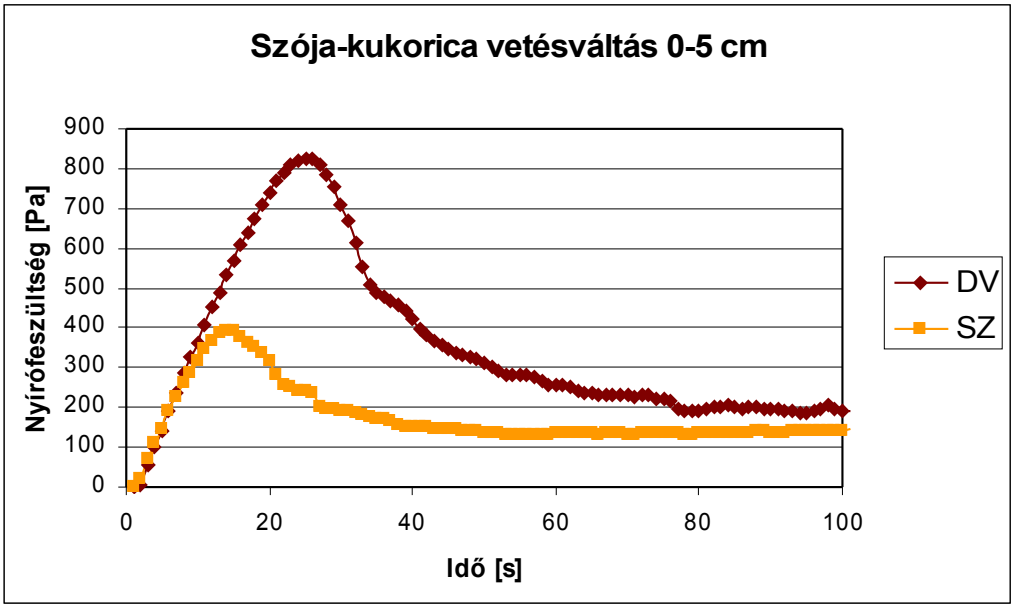
B1. melléklet A művelés (direktvetés-DV és szántás-SZ) hatása a mikroaggregátumstabilitásra a 0-5 cm-es mintavételi mélységben kukorica monokultúrában



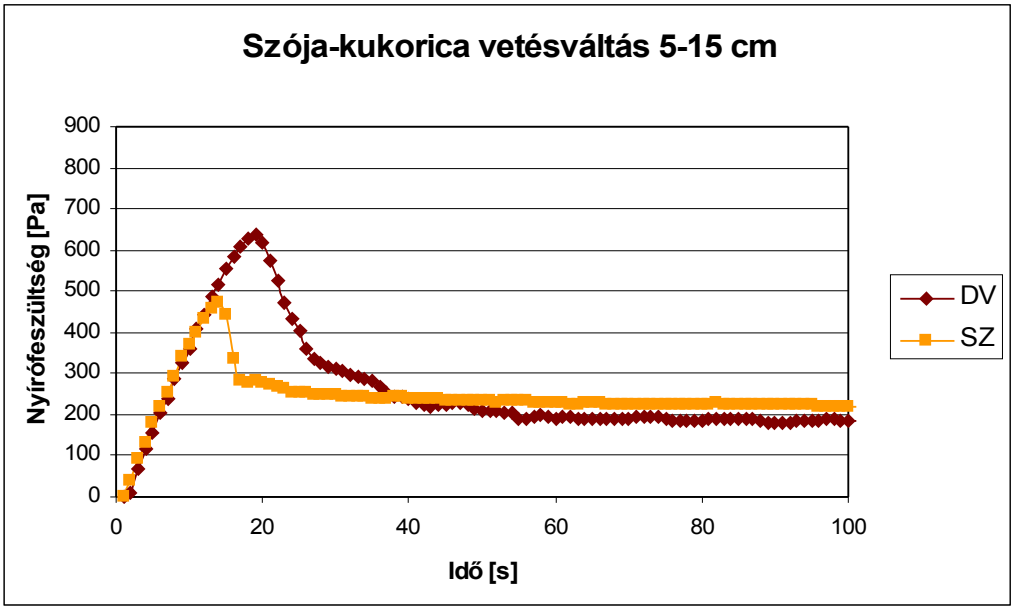
B2. melléklet A művelés (direktvetés-DV és szántás-SZ) hatása a mikroaggregátumstabilitásra az 5-15 cm-es mintavételi mélységben kukorica monokultúrában



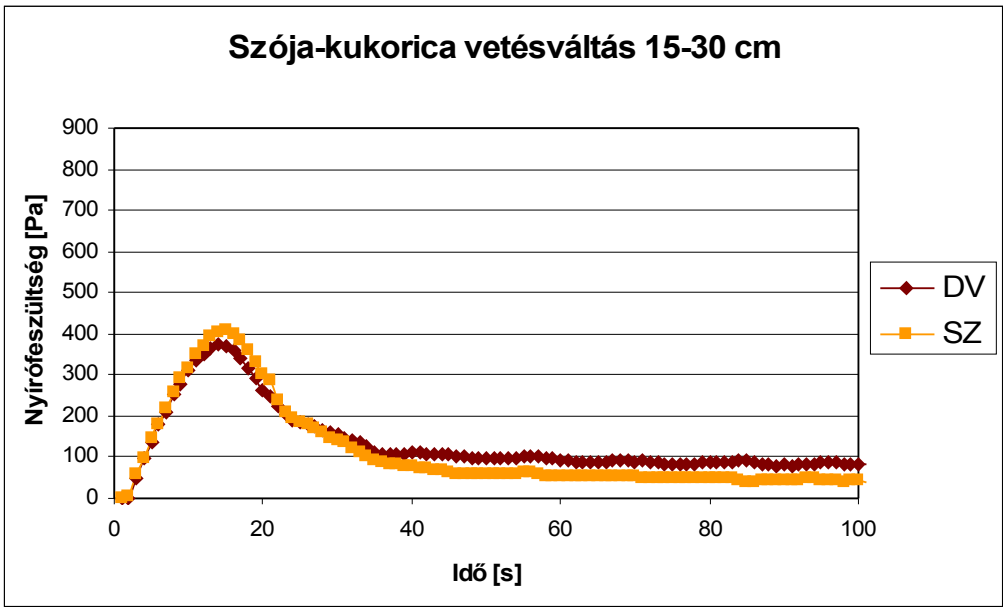
B3. melléklet A művelés (direktvetés-DV és szántás-SZ) hatása a mikroaggregátumstabilitásra a 15-30 cm-es mintavételi mélységben kukorica monokultúrában



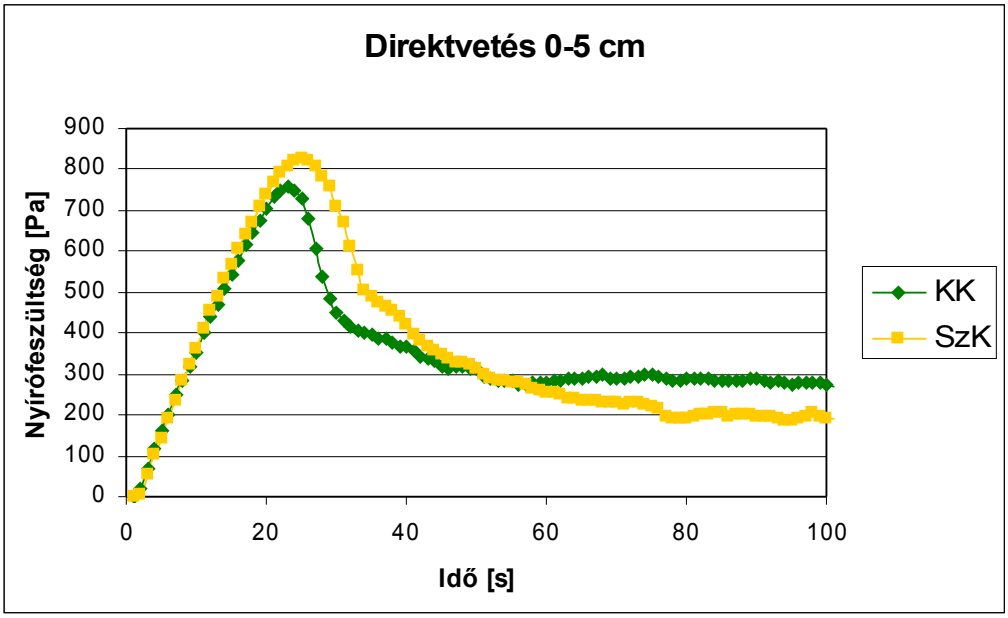
B4. melléklet A művelés (direktvetés-DV és szántás-SZ) hatása a mikroaggregátumstabilitásra a 0-5 cm-es mintavételi mélységben szója-kukorica vetésváltásban



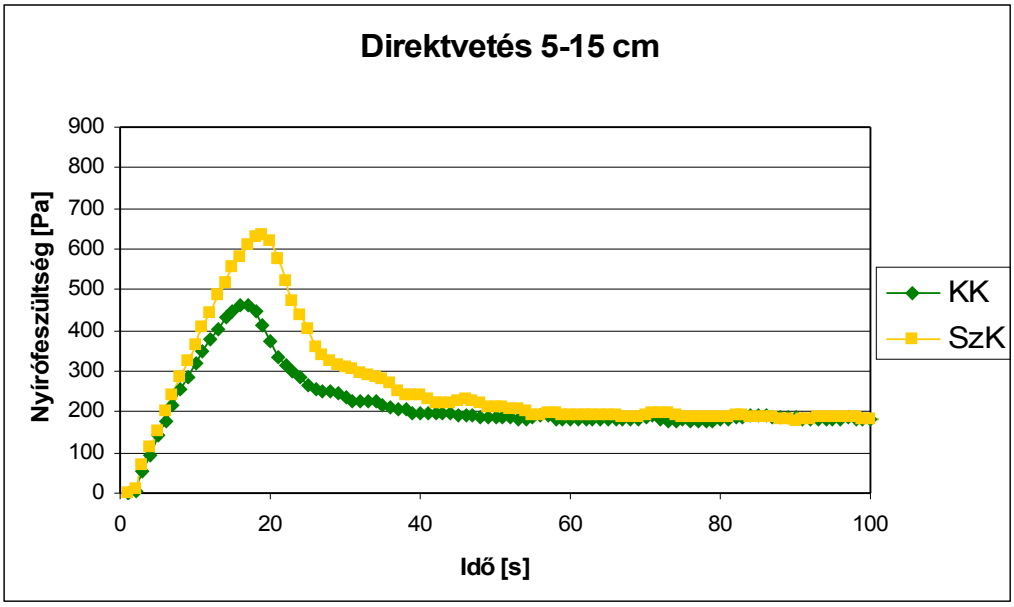
B5. melléklet A művelés (direktvetés-DV és szántás-SZ) hatása a mikroaggregátumstabilitásra az 5-15 cm-es mintavételi mélységben szója-kukorica vetésváltásban



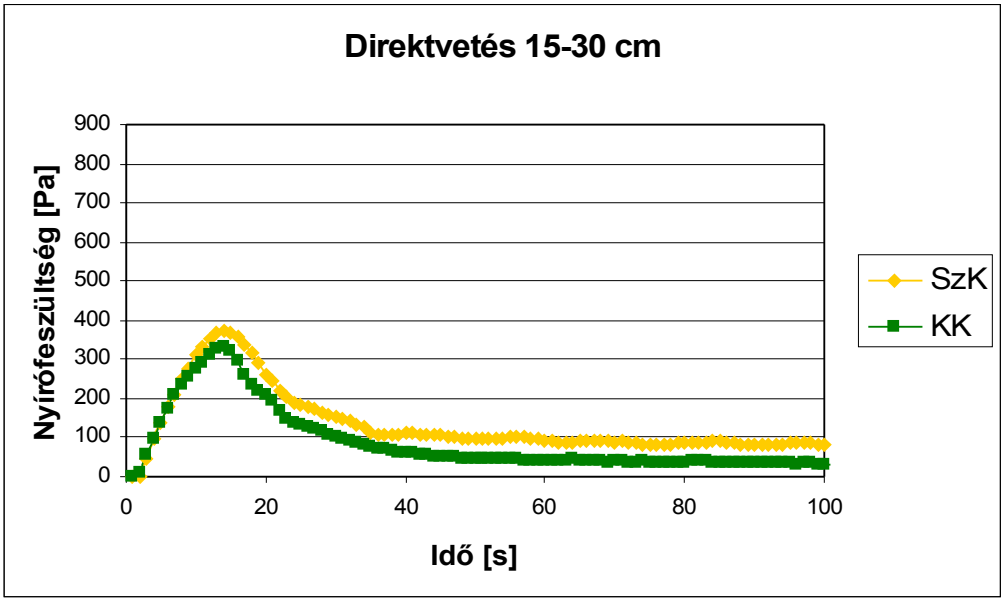
B6. melléklet A művelés (direktvetés-DV és szántás-SZ) hatása a mikroaggregátumstabilitásra a 15-30 cm-es mintavételi mélységben szója-kukorica vetésváltásban



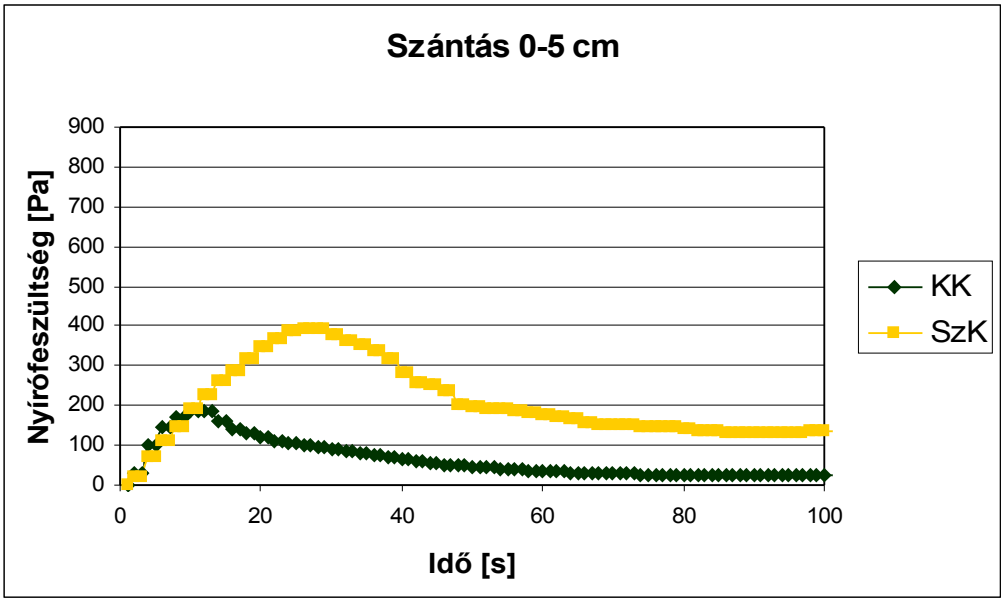
B7. melléklet A vetésváltás (kukorica monokultúra-KK és szója-kukorica vetésváltás-SzK) hatása a mikroaggregátumstabilitásra a 0-5 cm-es mintavételi mélységben direktvetésben



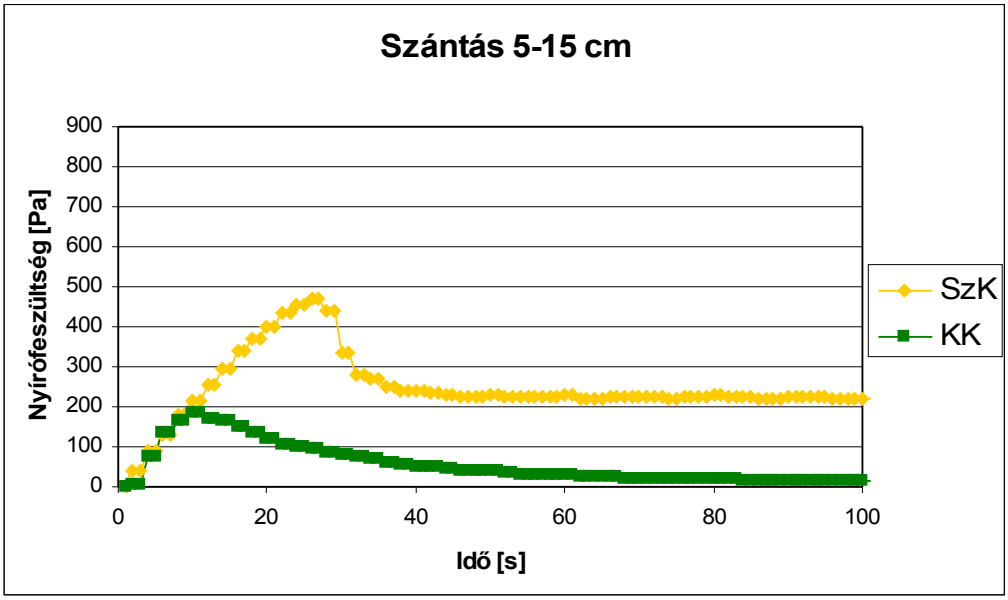
B8. melléklet A vetésváltás (kukorica monokultúra-KK és szója-kukorica vetésváltás-SzK) hatása a mikroaggregátumstabilitásra az 5-15 cm-es mintavételi mélységben direktvetésben



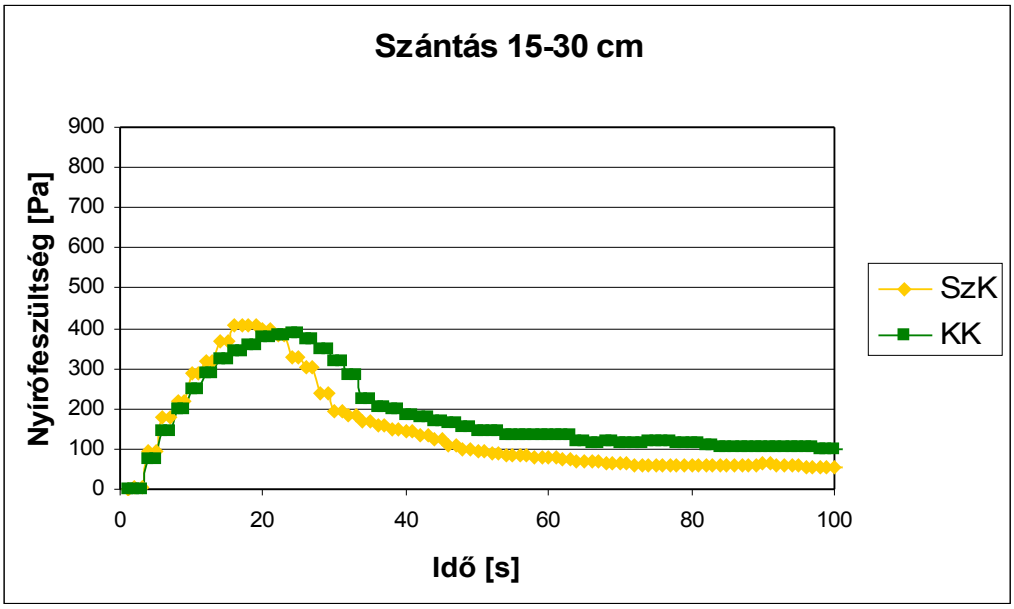
B9. melléklet A vetésváltás (kukorica monokultúra-KK és szója-kukorica vetésváltás-SzK) hatása a mikroaggregátumstabilitásra a 15-30 cm-es mintavételi mélységben direktvetésben



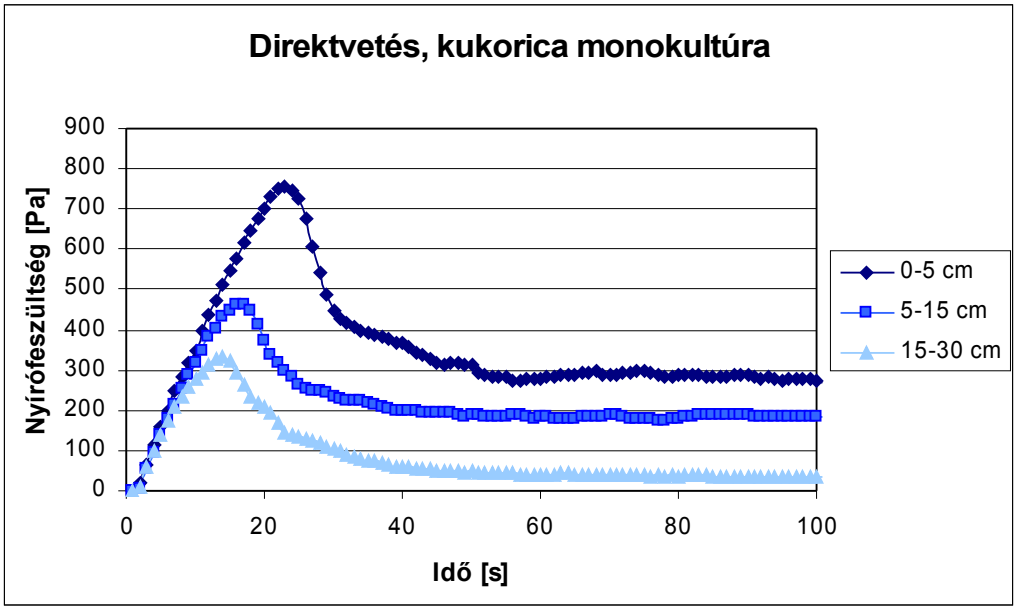
B10. melléklet A vetésváltás (kukorica monokultúra-KK és szója-kukorica vetésváltás-SzK) hatása a mikroaggregátumstabilitásra a 0-5 cm-es mintavételi mélységben szántás esetében



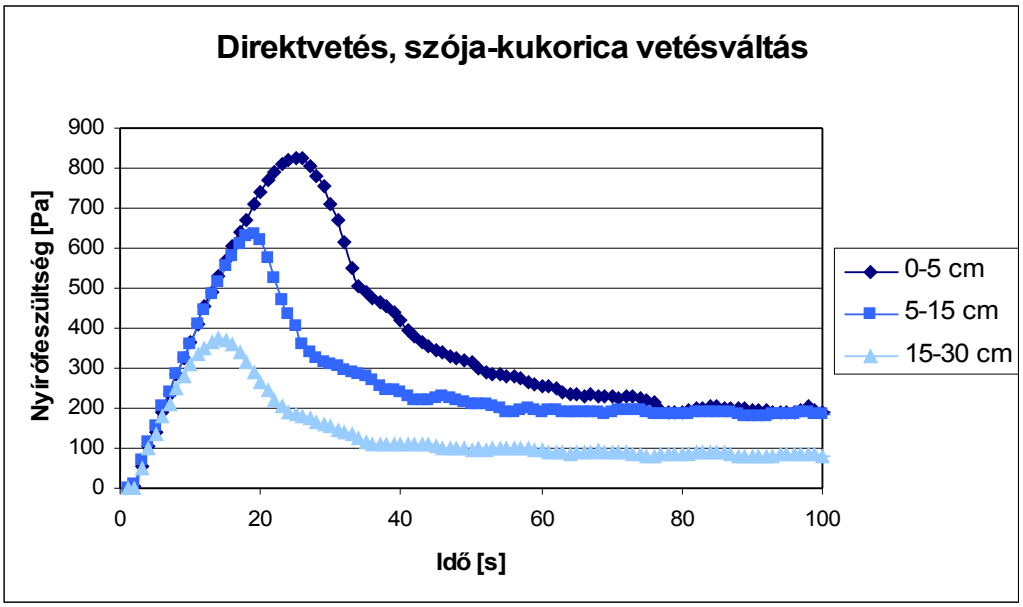
B11. melléklet A vetésváltás (kukorica monokultúra-KK és szója-kukorica vetésváltás-SzK) hatása a mikroaggregátumstabilitásra az 5-15 cm-es mintavételi mélységben szántás esetében



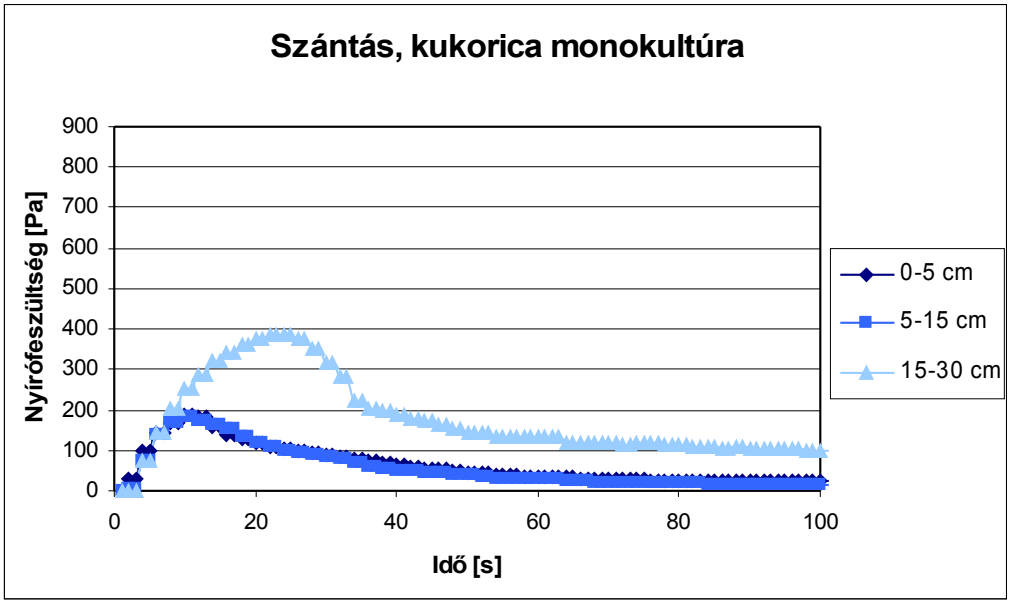
B12. melléklet A vetésváltás (kukorica monokultúra-KK és szója-kukorica vetésváltás-SzK) hatása a mikroaggregátumstabilitásra a 15-30 cm-es mintavételi mélységben szántás esetében



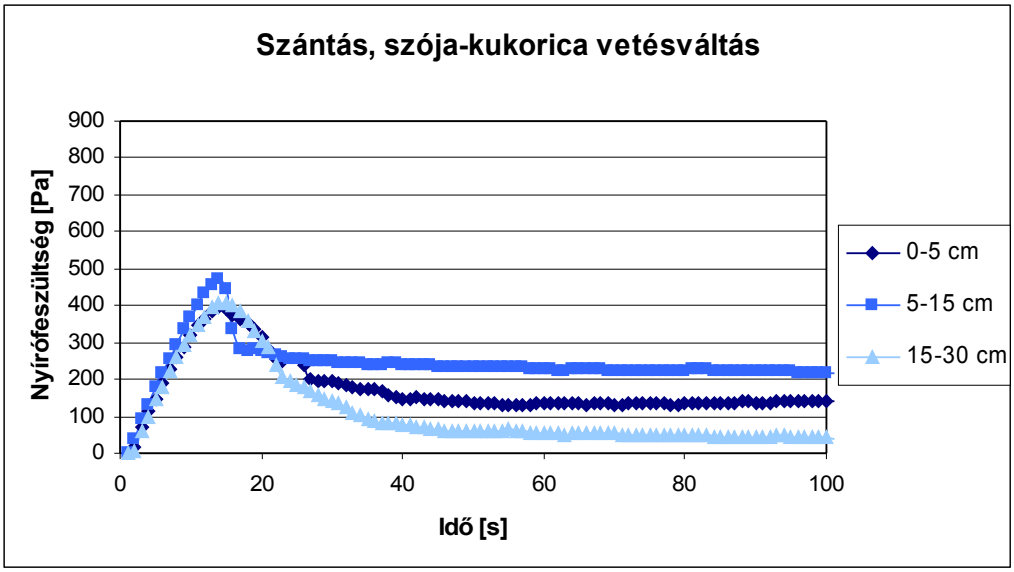
B13. melléklet Mélységtől függő különbségek a mikroaggregátumstabilitásban direktvetésben, kukorica monokultúrában



B14. melléklet Mélységtől függő különbségek a mikroaggregátumstabilitásban direktvetésben, szója-kukorica vetésváltásban



B15. melléklet Mélységtől függő különbségek a mikroaggregátumstabilitásban szántás esetén, kukorica monokultúrában



B16. melléklet Mélységtől függő különbségek a mikroaggregátumstabilitásban szántás esetén, szója-kukorica vetésváltásban

B17. melléklet A vizsgált huminsav és fulvosav minták felsorolása

KK				SzK			
DV		SZ		DV		SZ	
HS	FS	HS	FS	HS	FS	HS	FS
0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5	0-5
15-30	15-30	15-30	15-30	15-30	15-30	15-30	15-30
30-50	30-50	30-50	30-50	30-50	30-50	30-50	0-50

B18. melléklet A különböző mintavételi mélységekből származó, egymással összehasonlított huminsav illetve fulvosav minták felsorolása

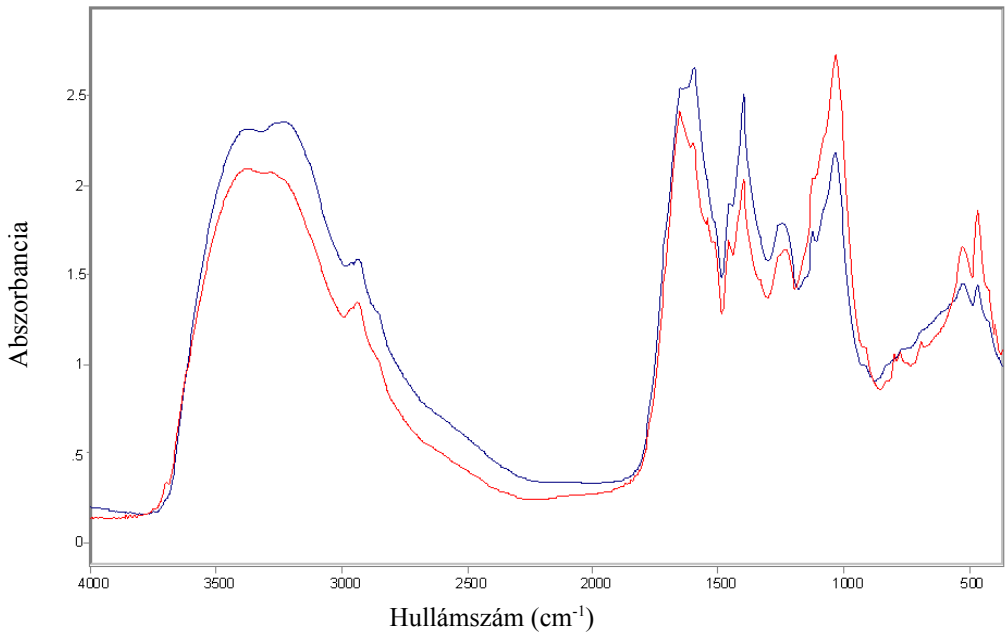
Összehasonlítás mintavételi mélységek között		
KK_DV_0-5_HS	KK_DV_15-30_HS	KK_DV_30-50_HS
KK_DV_0-5_FS	KK_DV_15-30_FS	KK_DV_30-50_FS
KK_SZ_0-5_HS	KK_SZ_15-30_HS	KK_SZ_30-50_HS
KK_SZ_0-5_FS	KK_SZ_15-30_FS	KK_SZ_30-50_FS
SzK_DV_0-5_HS	SzK_DV_15-30_HS	SzK_DV_30-50_HS
SzK_DV_0-5_FS	SzK_DV_15-30_FS	SzK_DV_30-50_FS
SzK_SZ_0-5_HS	SzK_SZ_15-30_HS	SzK_SZ_30-50_HS
SzK_SZ_0-5_FS	SzK_SZ_15-30_FS	SzK_SZ_30-50_FS

B19. melléklet A különböző művelési rendszerekből és vetésváltásból származó egymással összehasonlított huminsav és fulvosav minták felsorolása

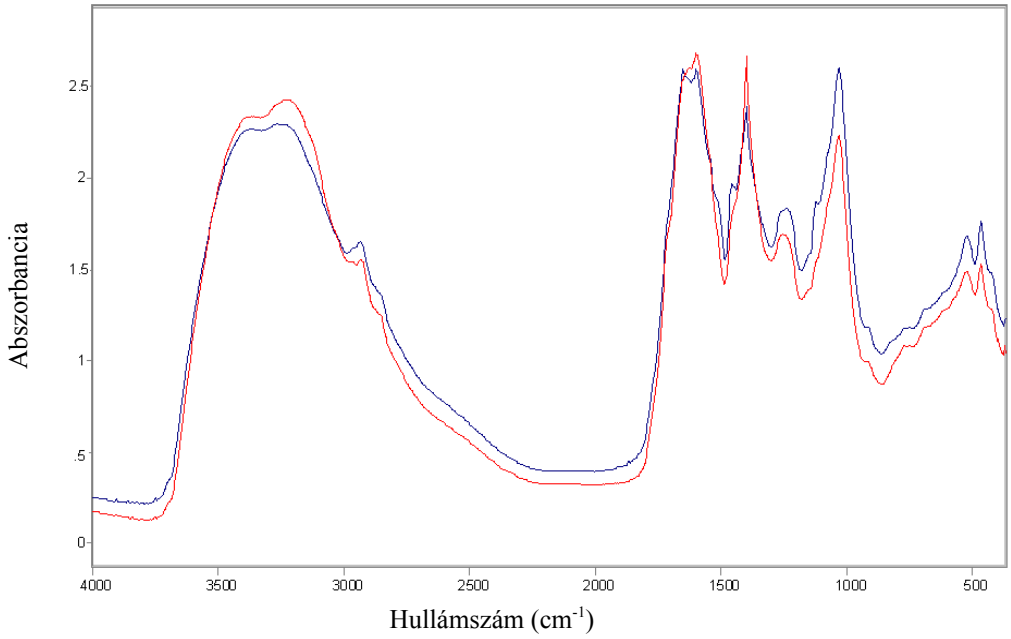
Összehasonlítás művelési rendszerek között		Összehasonlítás a termesztett növények között	
KK_DV_0-5_HS	KK_SZ_0-5_HS	KK_DV_0-5_HS	SzK_DV_0-5_HS
KK_DV_15-30_HS	KK_SZ_15-30_HS	KK_DV_15-30_HS	SzK_DV_15-30_HS
KK_DV_30-50_HS	KK_SZ_30-50_HS	KK_DV_30-50_HS	SzK_DV_30-50_HS
KK_DV_0-5_FS	KK_SZ_0-5_FS	KK_DV_0-5_FS	SzK_DV_0-5_FS
KK_DV_15-30_FS	KK_SZ_15-30_FS	KK_DV_15-30_FS	SzK_DV_15-30_FS
KK_DV_30-50_FS	KK_SZ_30-50_FS	KK_DV_30-50_FS	SzK_DV_30-50_FS
SzK_DV_0-5_HS	SzK_SZ_0-5_HS	KK_SZ_0-5_HS	SzK_SZ_0-5_HS
SzK_DV_15-30_HS	SzK_SZ_15-30_HS	KK_SZ_15-30_HS	SzK_SZ_15-30_HS
SzK_DV_30-50_HS	SzK_SZ_30-50_HS	KK_SZ_30-50_HS	SzK_SZ_30-50_HS
SzK_DV_0-5_FS	SzK_SZ_0-5_FS	KK_SZ_0-5_FS	SzK_SZ_0-5_FS
SzK_DV_15-30_FS	SzK_SZ_15-30_FS	KK_SZ_15-30_FS	SzK_SZ_15-30_FS
SzK_DV_30-50_FS	SzK_SZ_30-50_FS	KK_SZ_30-50_FS	SzK_SZ_30-50_FS

B20. melléklet A különböző művelési rendszerekből és vetésváltásból származó egymással összehasonlított huminsav és fulvosav minták felsorolása

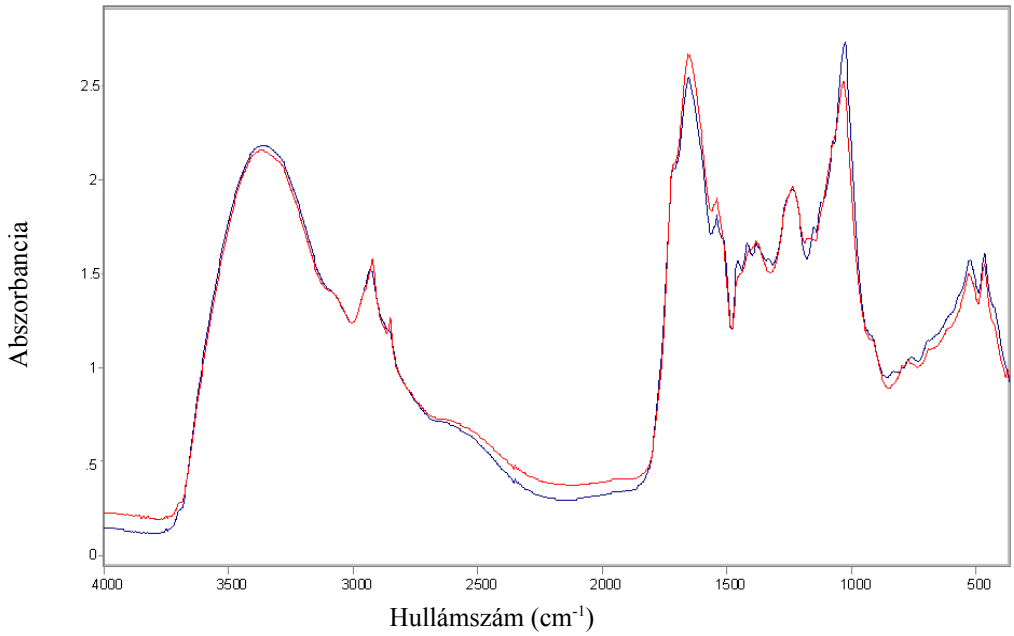
Összehasonlítás a huminsav és fulvosav minták között	
KK_DV_0-5_HS	KK_DV_0-5_FS
KK_DV_15-30_HS	KK_DV_15-30_FS
KK_DV_30-50_HS	KK_DV_30-50_FS
KK_SZ_0-5_HS	KK_SZ_0-5_FS
KK_SZ_15-30_HS	KK_SZ_15-30_FS
KK_SZ_30-50_HS	KK_SZ_30-50_FS
SzK_DV_0-5_HS	SzK_DV_0-5_FS
SzK_DV_15-30_HS	SzK_DV_15-30_FS
SzK_DV_30-50_HS	SzK_DV_30-50_FS
SzK_SZ_0-5_HS	SzK_SZ_0-5_FS
SzK_SZ_15-30_HS	SzK_SZ_15-30_FS
SzK_SZ_30-50_HS	SzK_SZ_30-50_FS



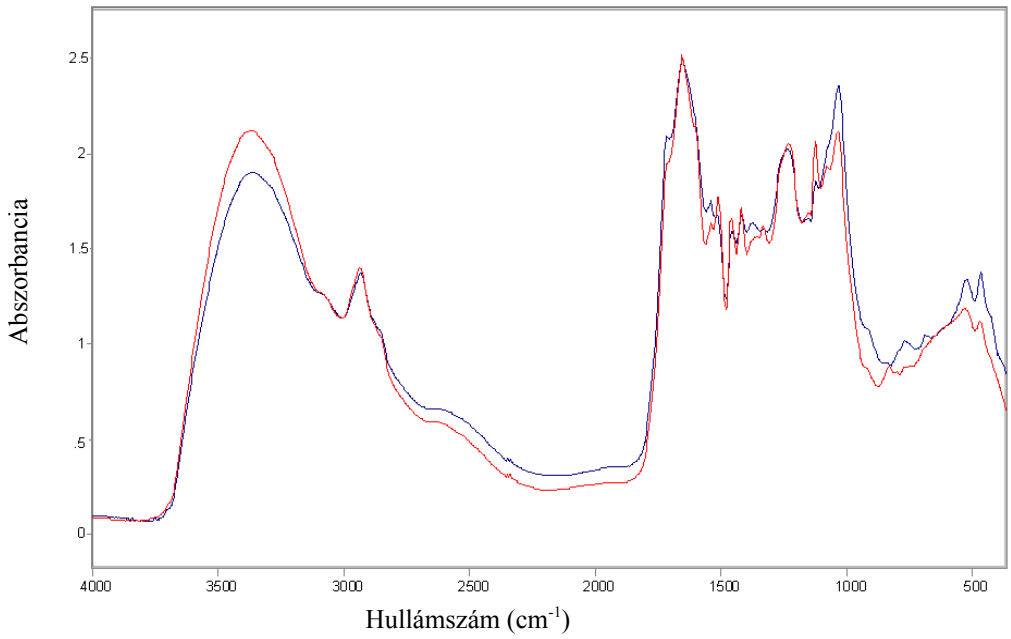
B21. melléklet A művelés hatása a huminsav spektrumokra kukorica monokultúrában 0-5 cm mélységben (KK_DV_0-5_HS; KK_SZ_0-5_HS)



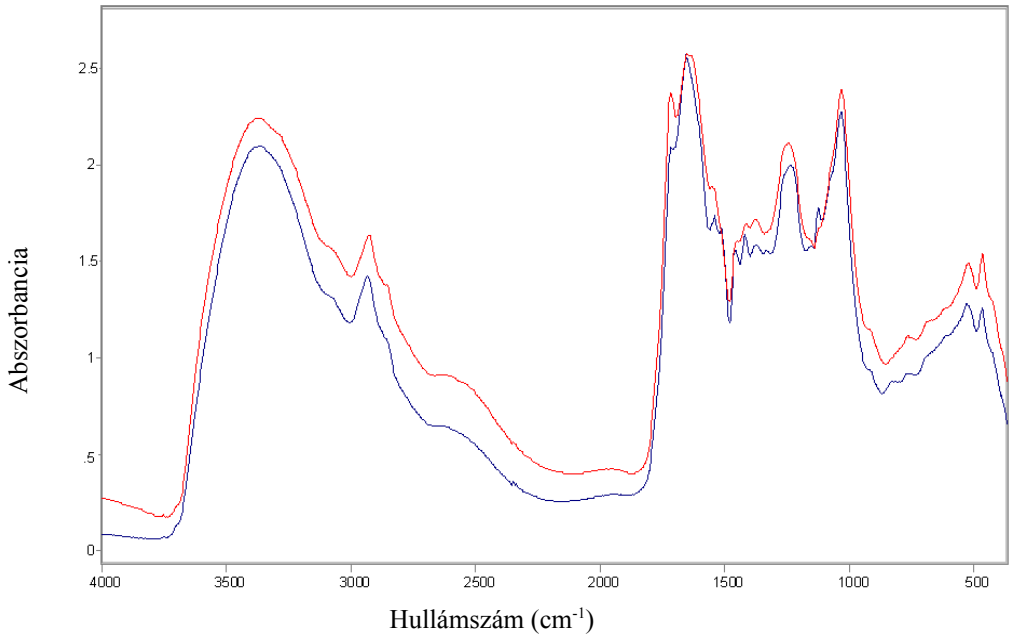
B22. melléklet A művelés hatása a huminsav spektrumokra kukorica monokultúrában 15-30 cm mélységben (KK_DV_15-30_HS; KK_SZ_15-30_HS)



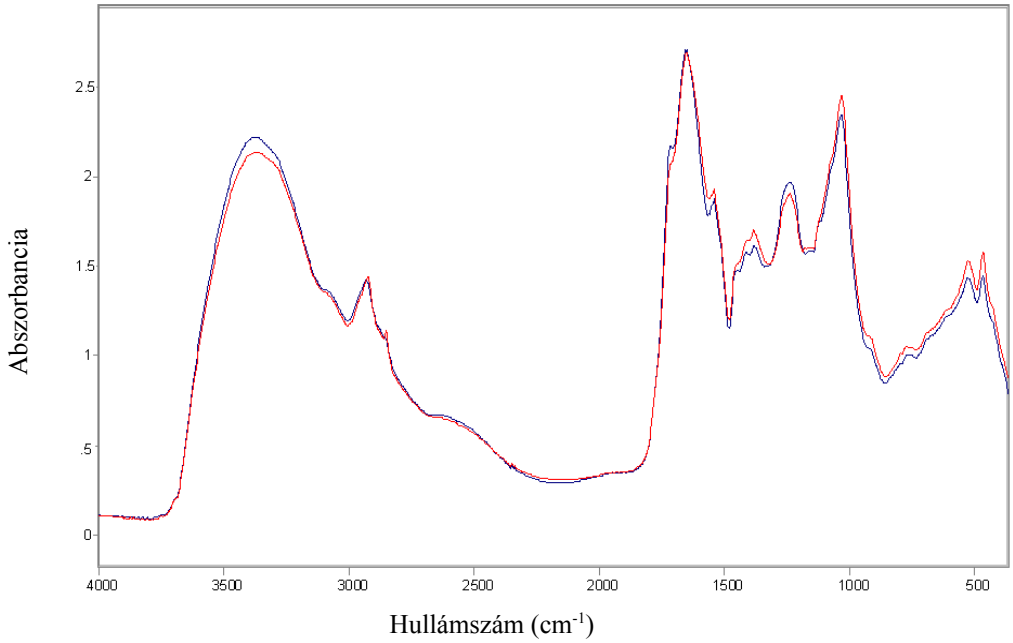
B23. melléklet A művelés hatása a huminsav spektrumokra kukorica monokultúrában 30-50 cm mélységben (KK_DV_30-50_HS; KK_SZ_30-50_HS)



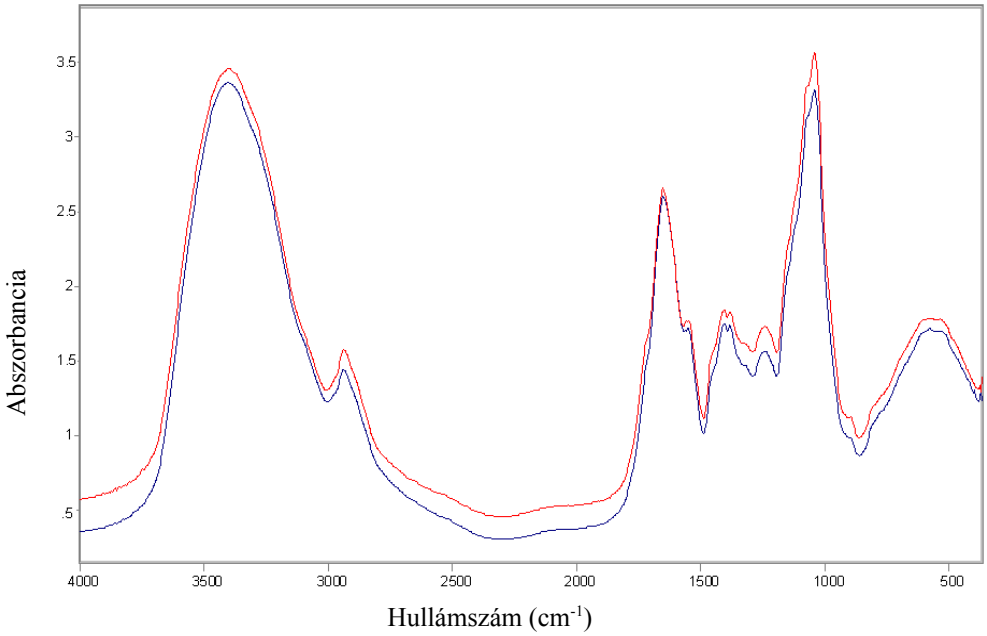
B24. melléklet A művelés hatása a huminsav spektrumokra szója-kukorica vetésváltásban 0-5 cm mélységben (SzK_DV_0-5_HS; SzK_SZ_0-5_HS)



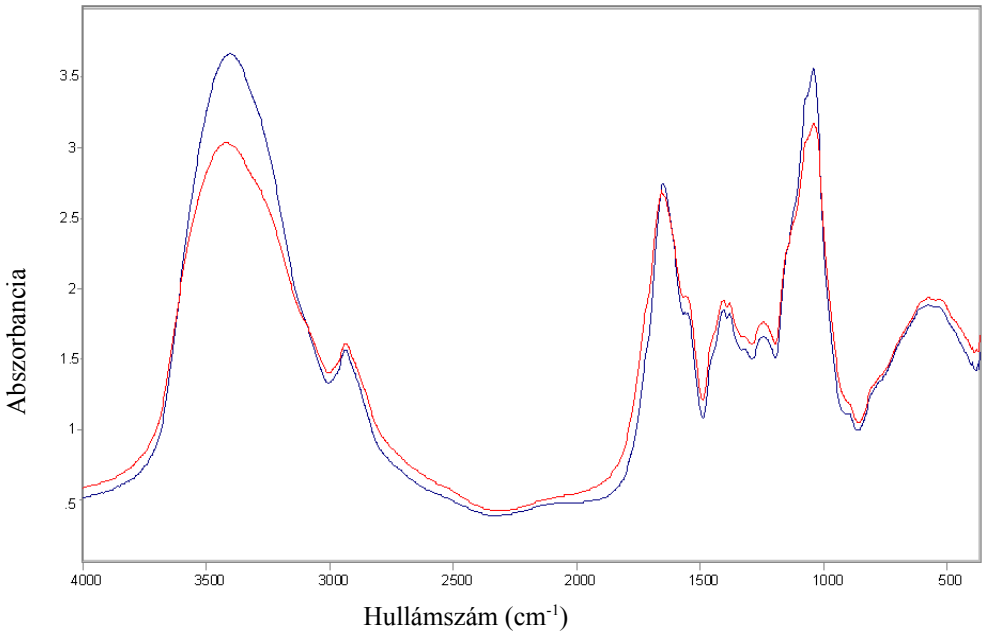
B25. melléklet A művelés hatása a huminsav spektrumokra szója-kukorica vetésváltásban 15-30 cm mélységben (SzK_DV_15-30_HS; SzK_SZ_15-30_HS)



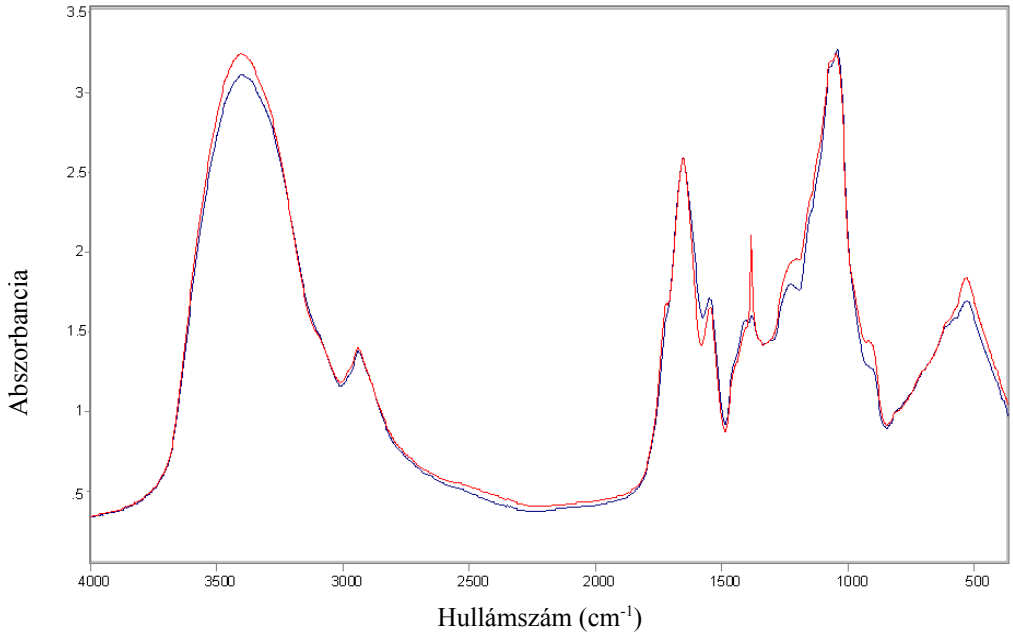
B26. melléklet A művelés hatása a huminsav spektrumokra szója-kukorica vetésváltásban 30-50 cm mélységben (SzK_DV_30-50_HS; SzK_SZ_30-50_HS)



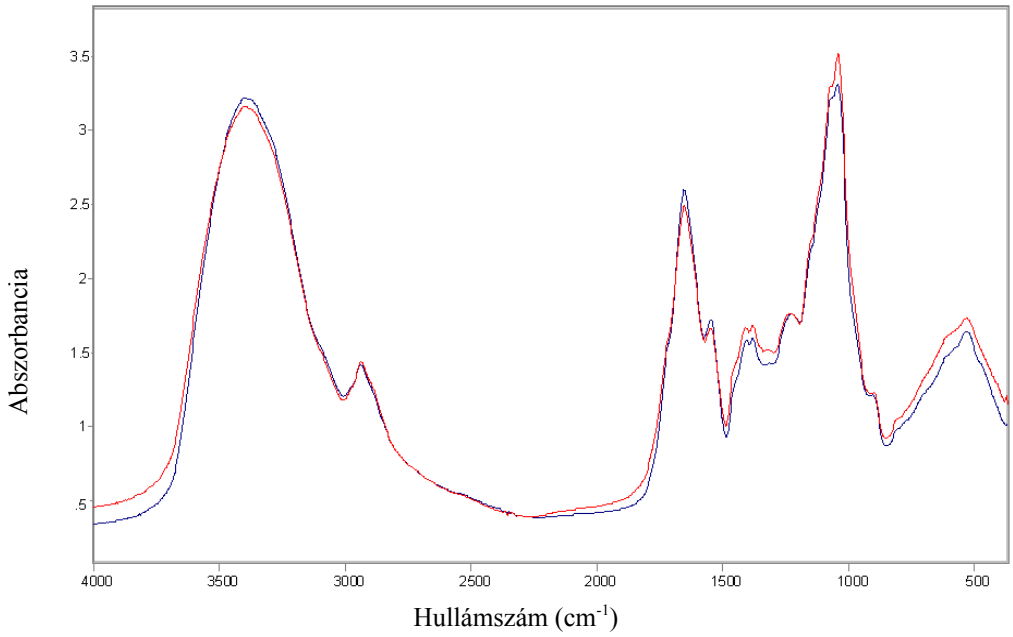
B27. melléklet A művelés hatása a fulvosav spektrumokra kukorica monokultúrában 0-5 cm mélységben (KK_DV_0-5_FS; KK_SZ_0-5_FS)



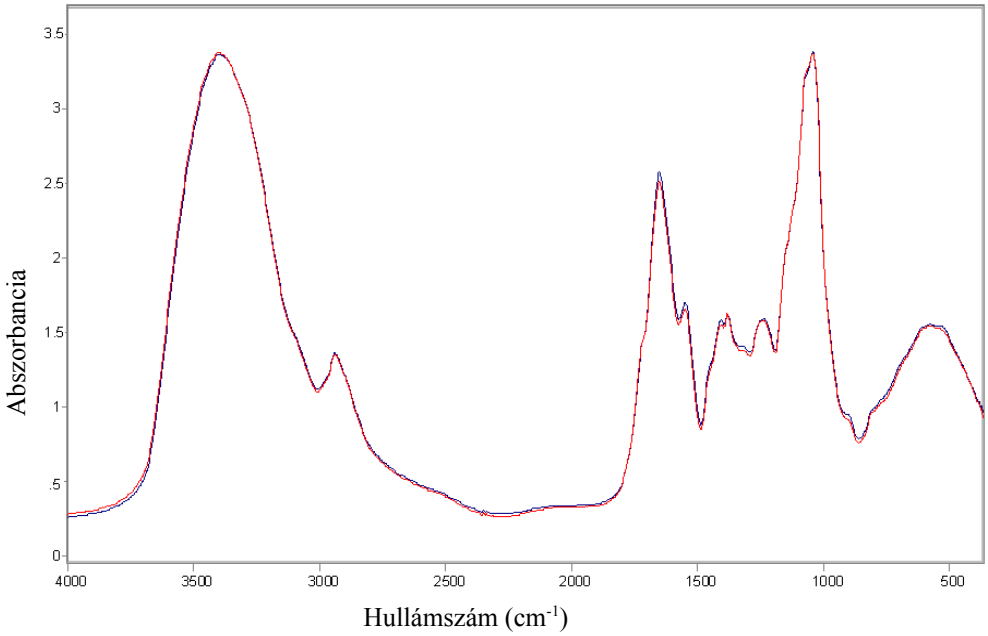
B28. melléklet A művelés hatása a fulvosav spektrumokra kukorica monokultúrában 15-30 cm mélységben (KK_DV_15-30_FS; KK_SZ_15-30_FS)



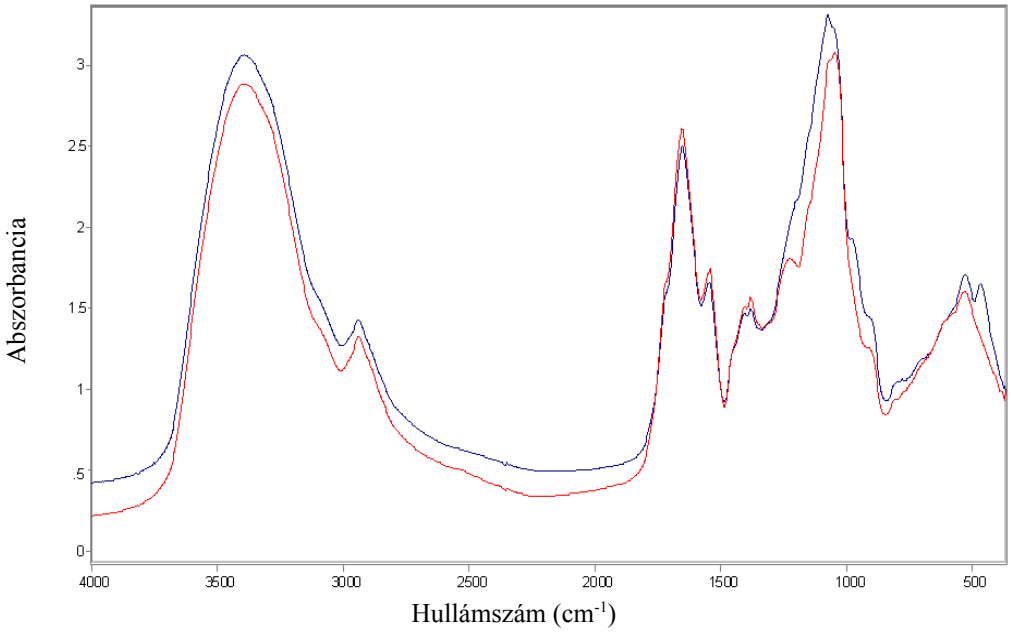
B29. melléklet A művelés hatása a fulvosav spektrumokra kukorica monokultúrában 30-50 cm mélységben (KK_DV_30-50_FS; KK_SZ_30-50_FS)



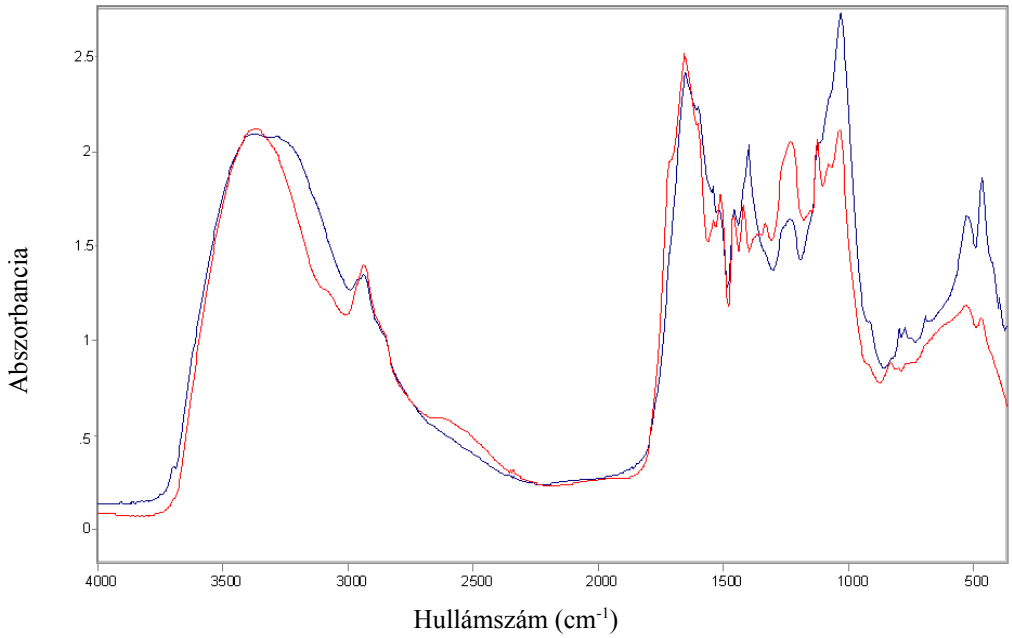
B30. melléklet A művelés hatása a fulvosav spektrumokra szója-kukorica vetésváltásban 0-5 cm mélységben (SzK_DV_0-5_FS; SzK_SZ_0-5_FS)



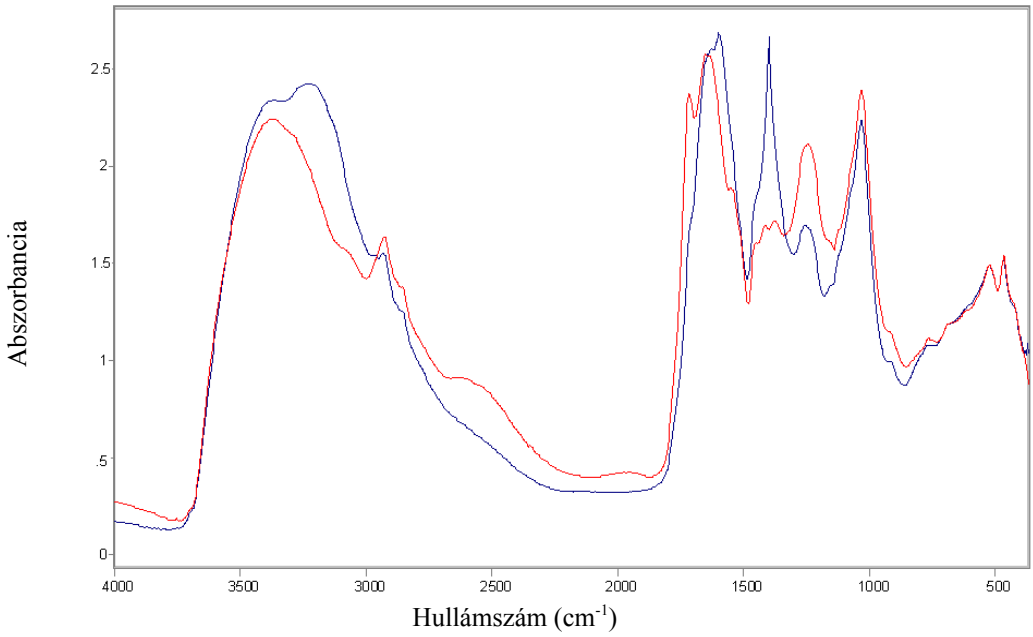
B31. melléklet A művelés hatása a fulvosav spektrumokra szója-kukorica vetésváltásban 15-30 cm mélységben (SzK_DV_15-30_FS; SzK_SZ_15-30_FS)



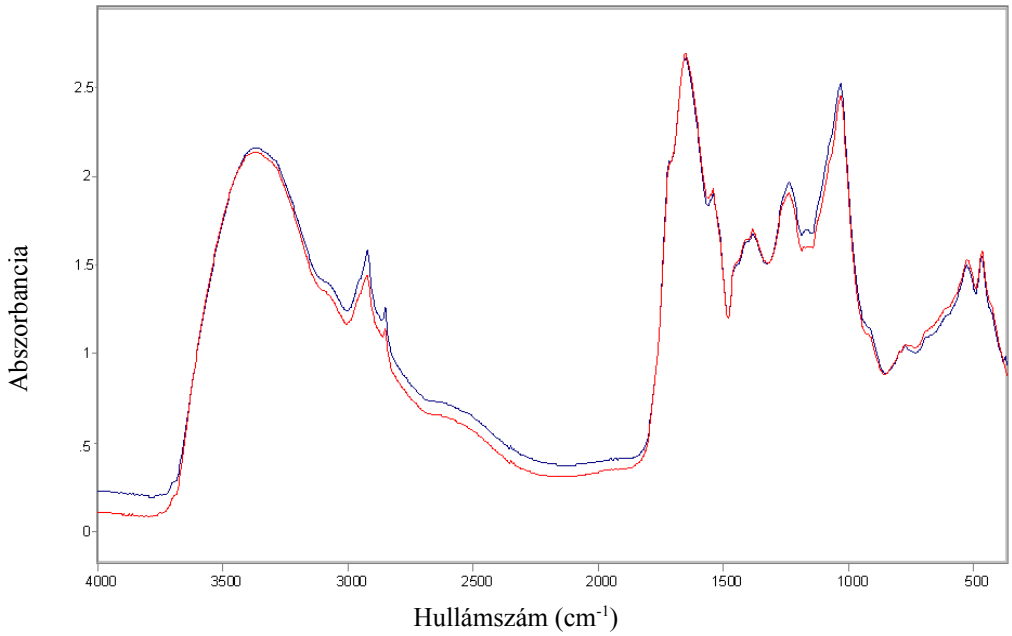
B32. melléklet A művelés hatása a fulvosav spektrumokra szója-kukorica vetésváltásban 30-50 cm mélységben (SzK_DV_30-50_FS; SzK_SZ_30-50_FS)



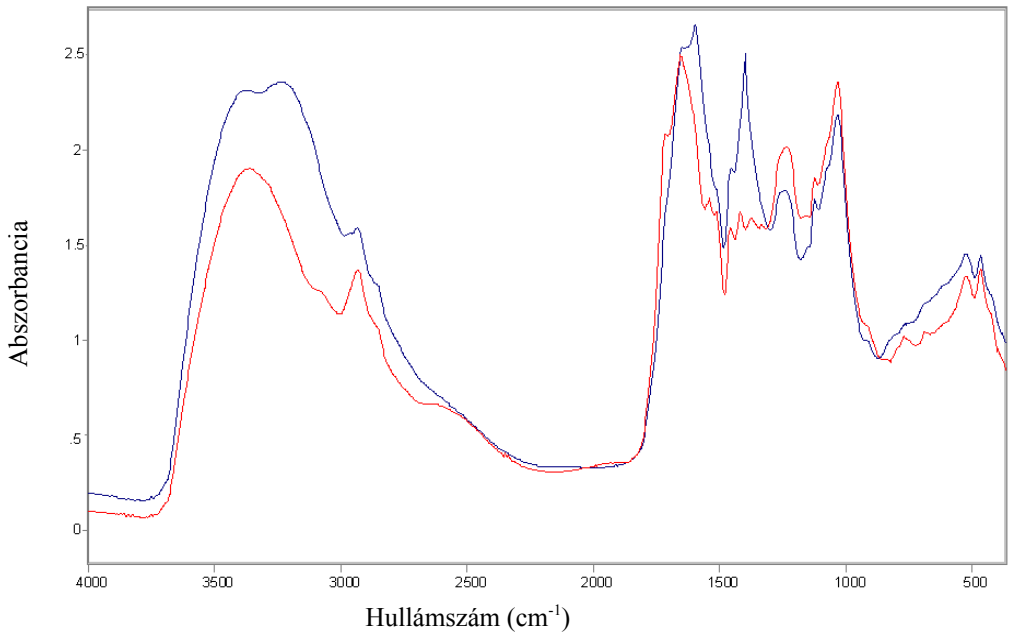
B33. melléklet A vetésváltás hatása a huminsav spektrumokra direktvetésben 0-5 cm mélységben (SzK_DV_0-5_HS; KK_DV_0-5_HS)



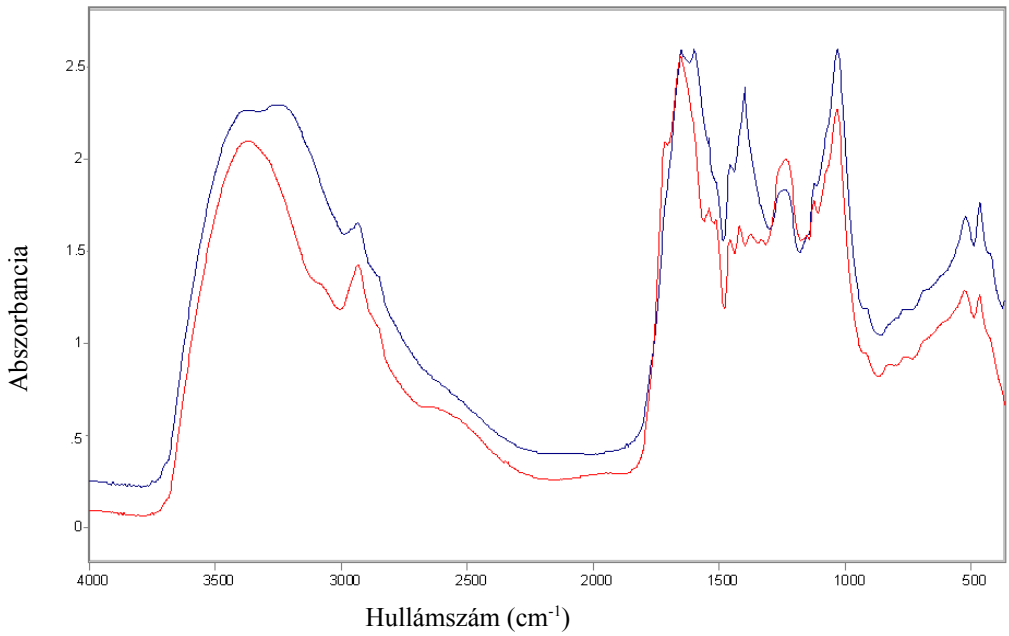
B34. melléklet A vetésváltás hatása a huminsav spektrumokra direktvetésben 15-30 cm mélységben (SzK_DV_15-30_HS; KK_DV_15-30_HS)



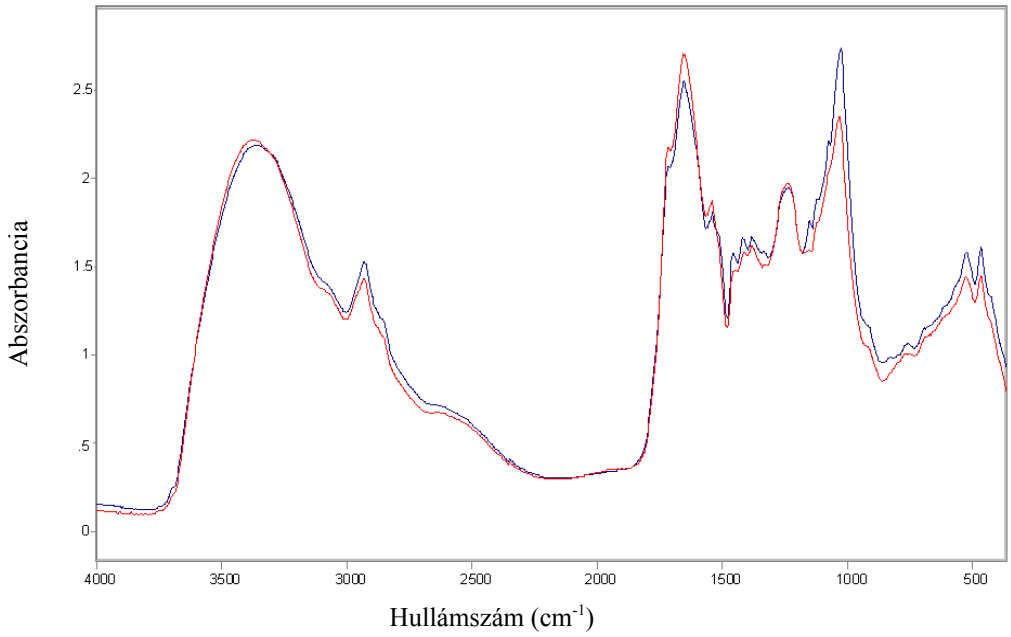
B35. melléklet A vetésváltás hatása a huminsav spektrumokra direktvetésben 30-50 cm mélységben (SzK_DV_30-50_HS; KK_DV_30-50_HS)



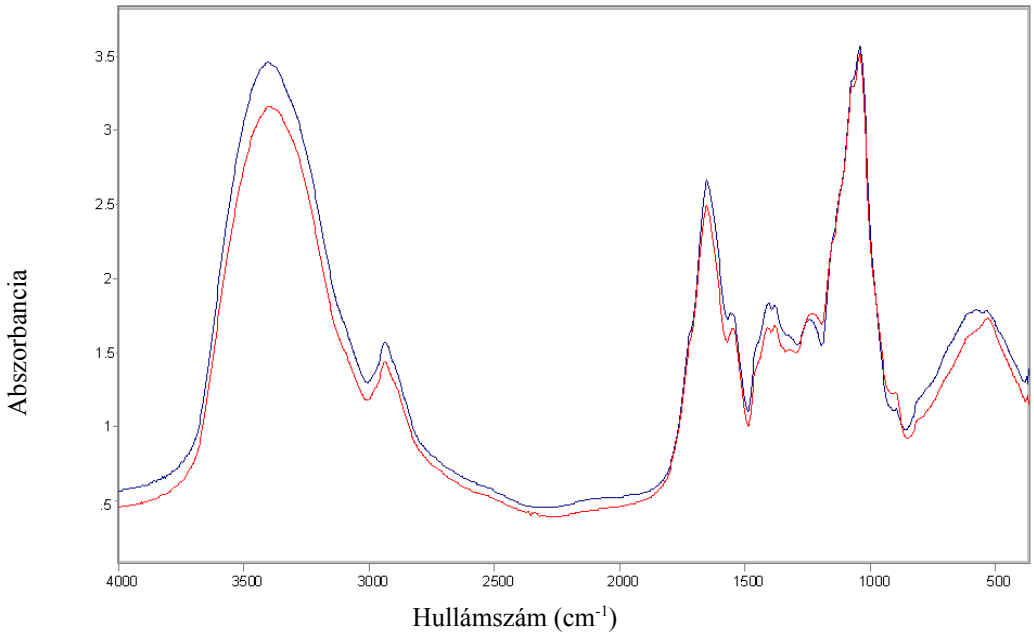
B36. melléklet A vetésváltás hatása a huminsav spektrumokra szántás esetén 0-5 cm mélységben (SzK_SZ_0-5_HS; KK_SZ_0-5_HS)



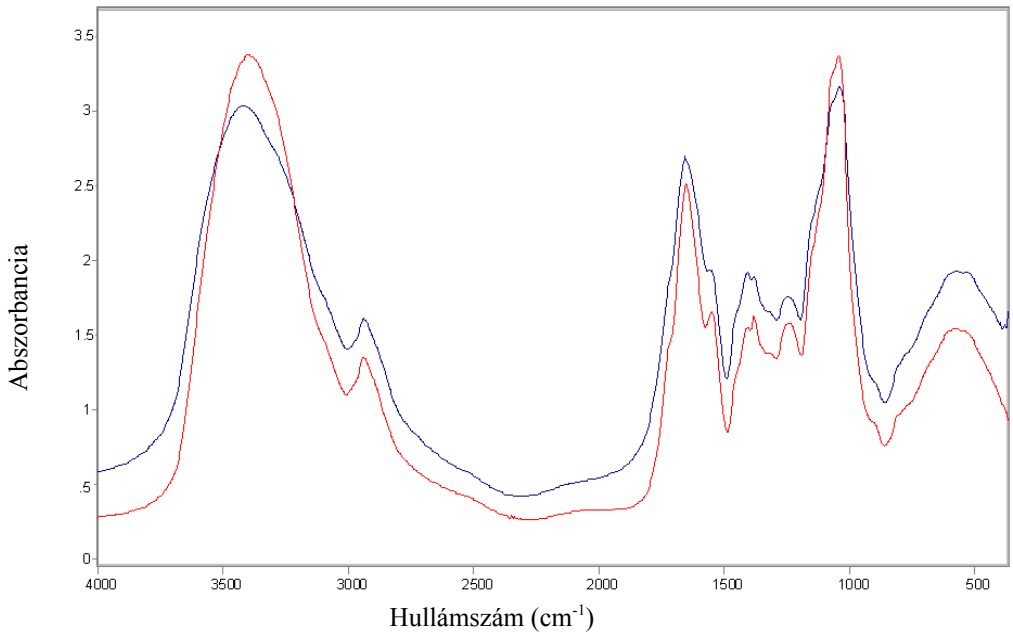
B37. melléklet A vetésváltás hatása a huminsav spektrumokra szántás esetén 15-30 cm mélységben (SzK_SZ_15-30_HS; KK_SZ_15-30_HS)



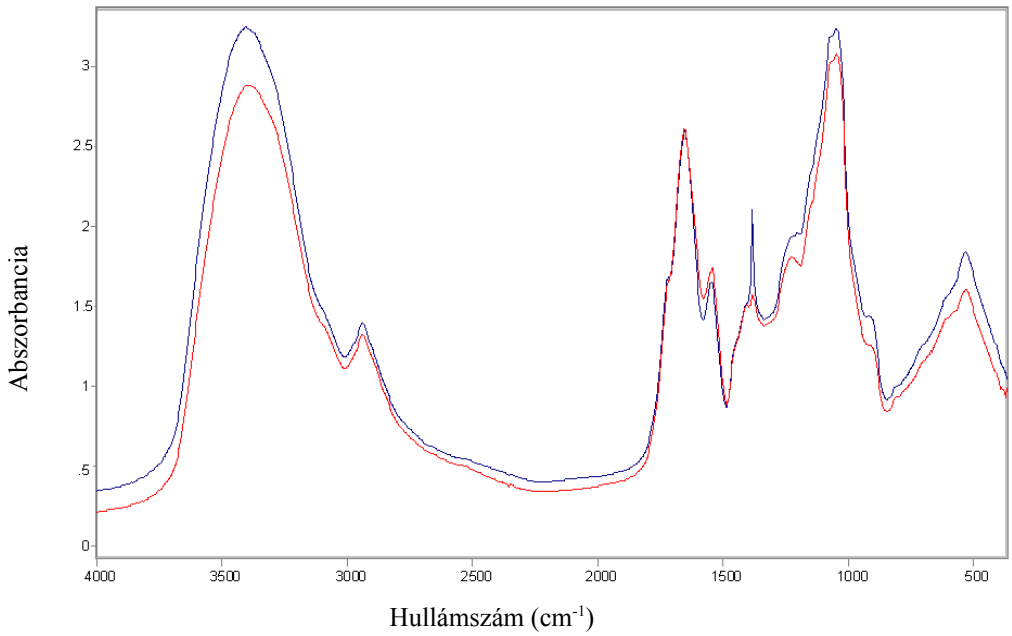
B38. melléklet A vetésváltás hatása a huminsav spektrumokra szántás esetén 30-50 cm mélységben (SzK_SZ_30-50_HS; KK_SZ_30-50_HS)



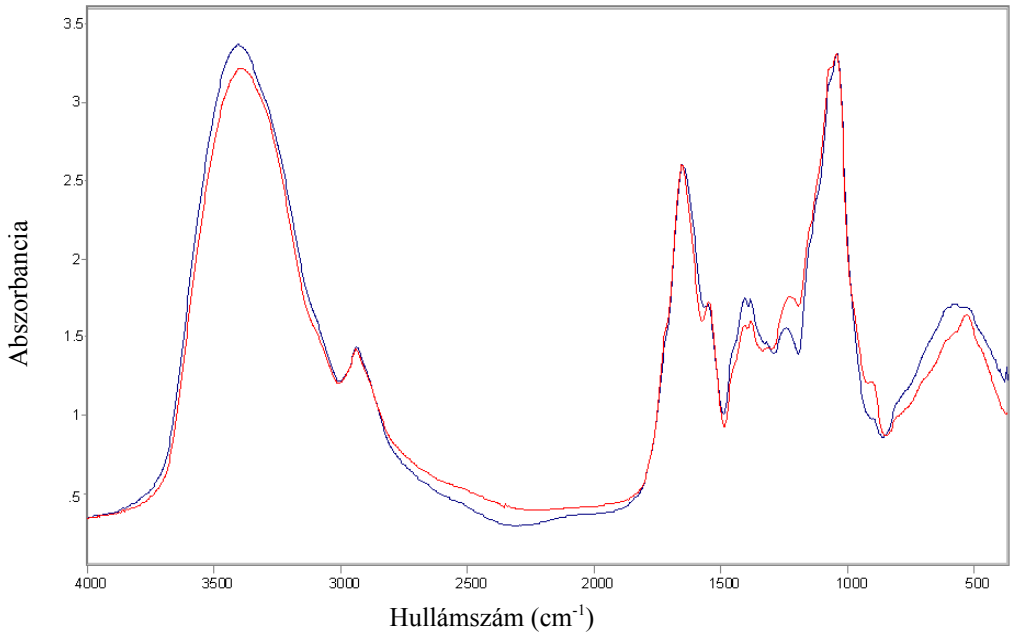
B39. melléklet A vetésváltás hatása a fulvosav spektrumokra direktvetésben 0-5 cm mélységben (SzK_DV_0-5_FS; KK_DV_0-5_FS)



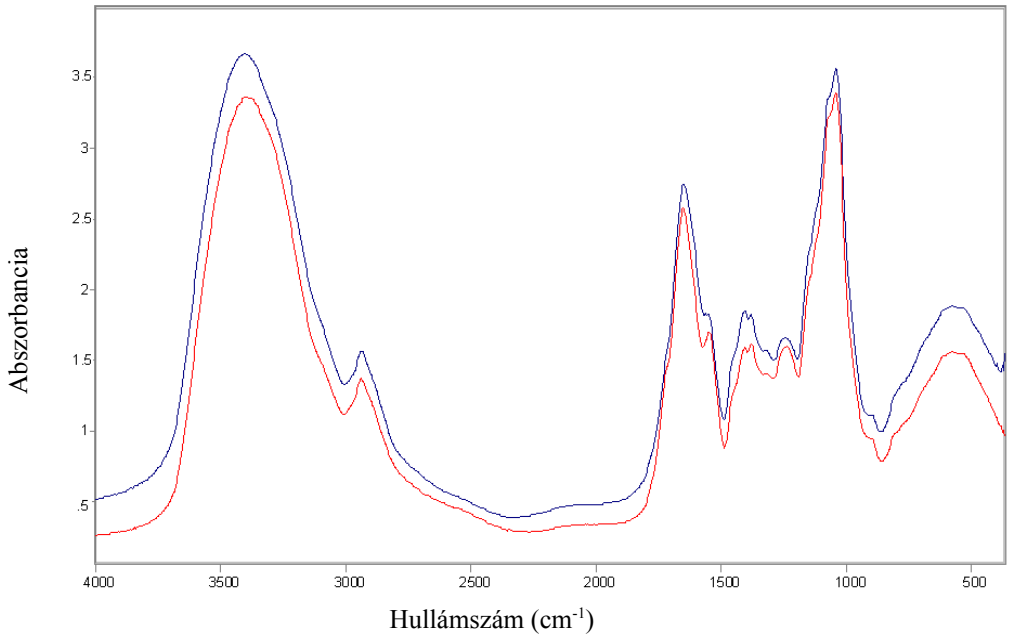
B40. melléklet A vetésváltás hatása a fulvosav spektrumokra direktvetésben 15-30 cm mélységben (SzK_DV_15-30_FS; KK_DV_15-30_FS)



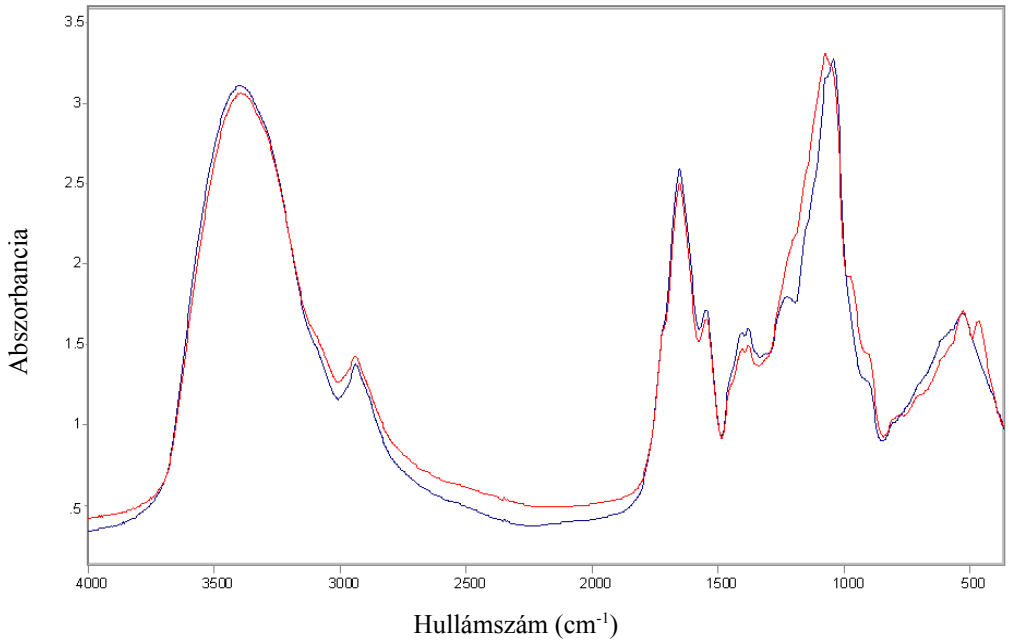
B41. melléklet A vetésváltás hatása a fulvosav spektrumokra direktvetésben 30-50 cm mélységben (SzK_DV_30-50_FS; KK_DV_30-50_FS)



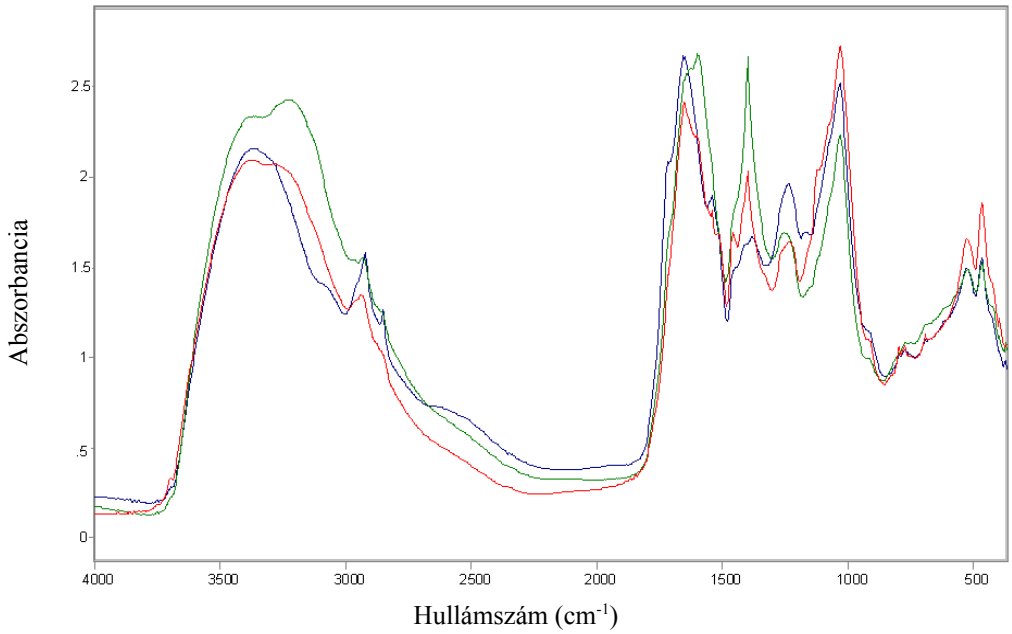
B42. melléklet A vetésváltás hatása a fulvosav spektrumokra szántás esetén 0-5 cm mélységben (SzK_SZ_0-5_FS; KK_SZ_0-5_FS)



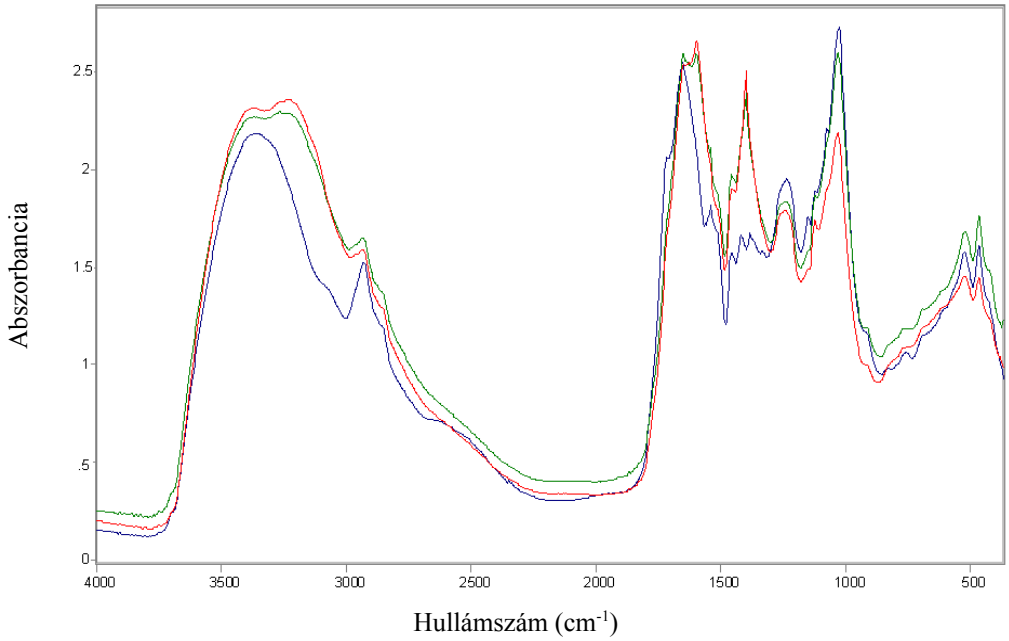
B43. melléklet A vetésváltás hatása a fulvosav spektrumokra szántás esetén 15-30 cm mélységben (SzK_SZ_15-30_FS; KK_SZ_15-30_FS)



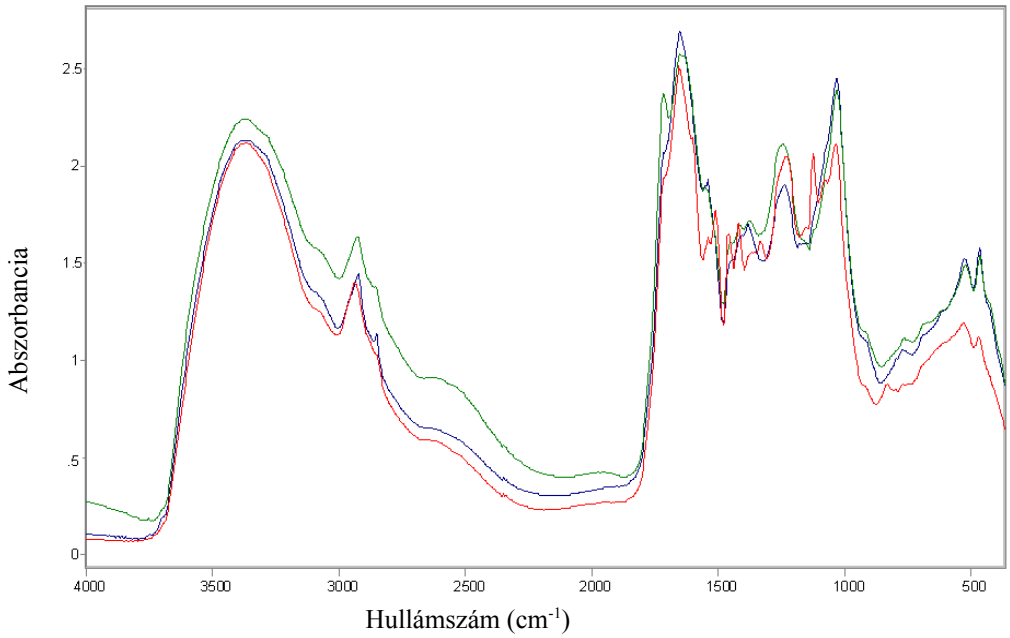
B44. melléklet A vetésváltás hatása a fulvosav spektrumokra szántás esetén 30-50 cm mélységben (SzK_SZ_30-50_FS; KK_SZ_30-50_FS)



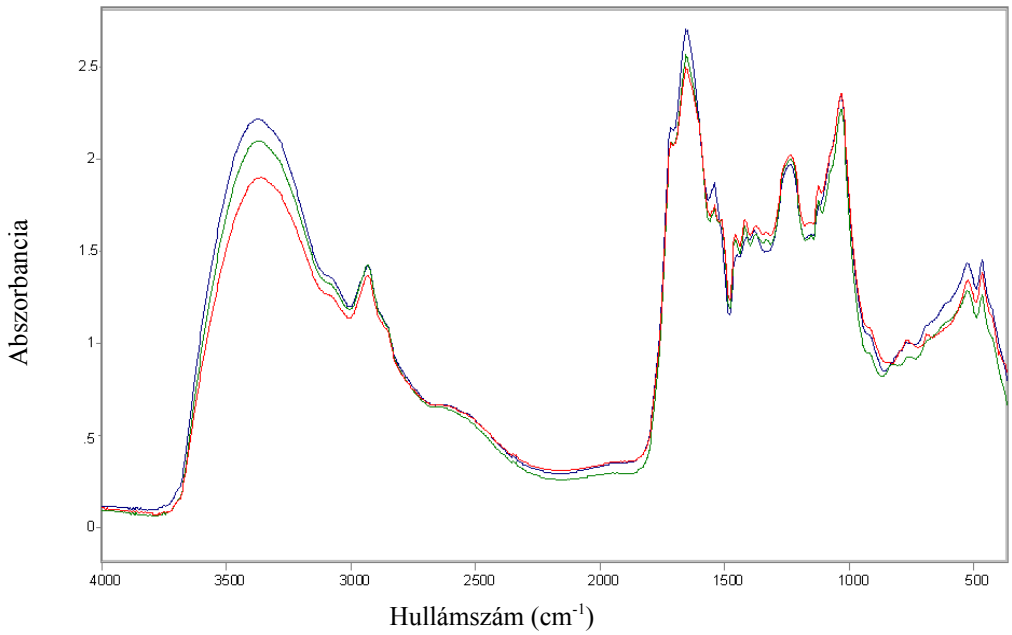
B45. melléklet Huminsav spektrumok direktvetésben kukorica monokultúrában különböző művelési mélységekben (KK_DV_0-5_HS; KK_DV_15-30_HS, KK_DV_30-50_HS)



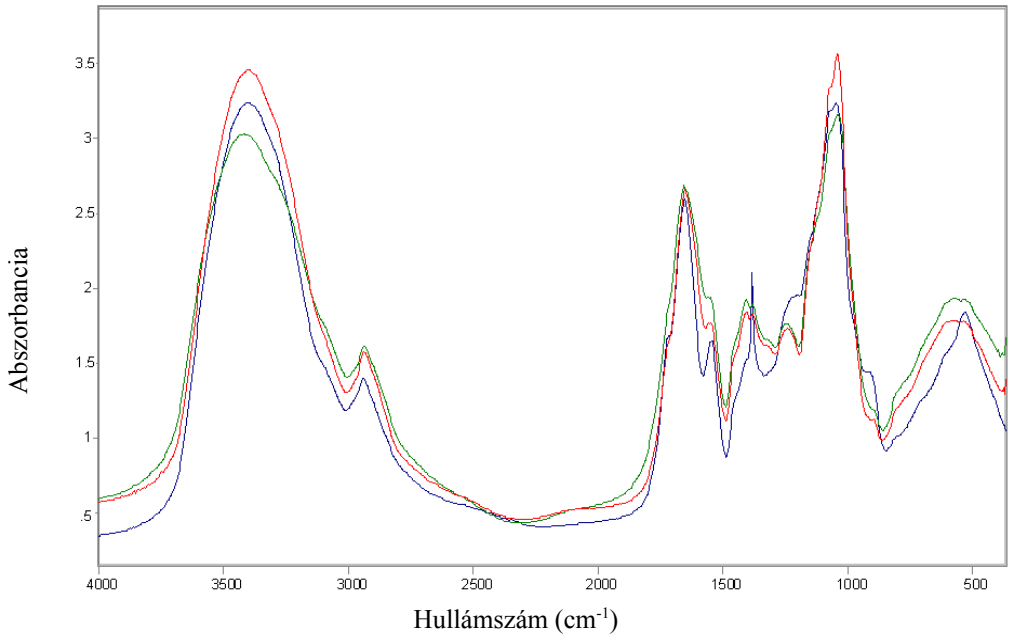
B46. melléklet Huminsav spektrumok szántás esetén kukorica monokultúrában különböző művelési mélységekben (KK_SZ_0-5_HS; KK_SZ_15-30_HS, KK_SZ_30-50_HS)



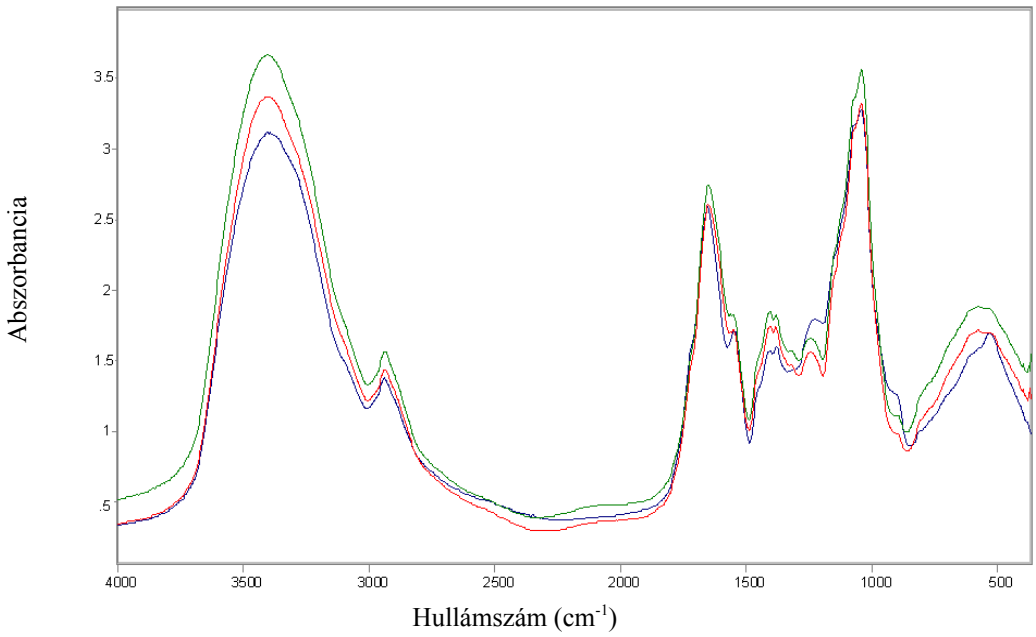
B47. melléklet Huminsav spektrumok direktvetésben szója-kukorica vetésváltásban (SzK_DV_0-5_HS; SzK_DV_15-30_HS, SzK_DV_30-50_HS)



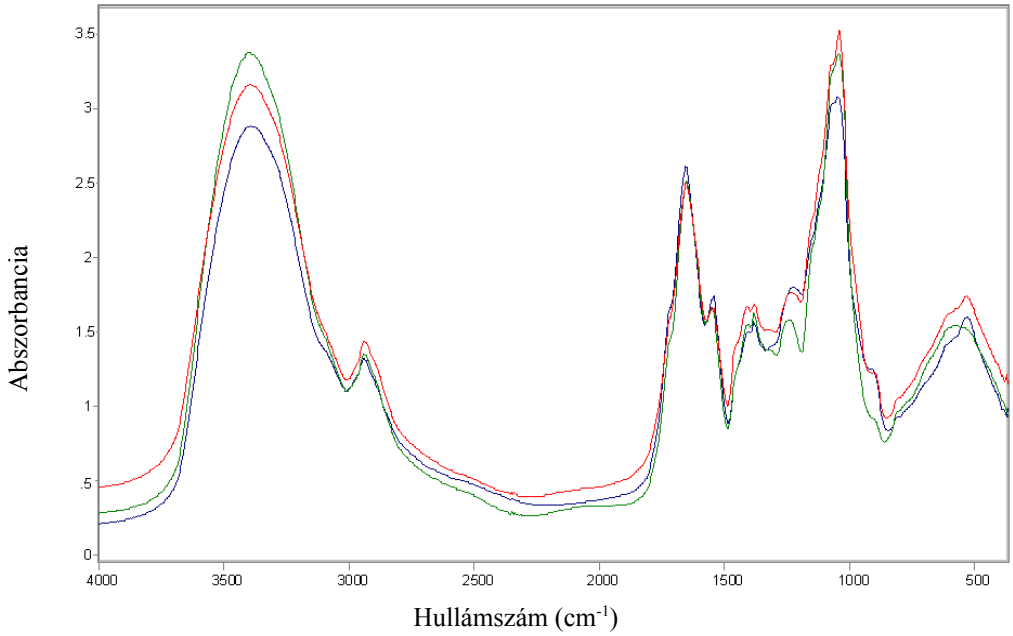
B48. melléklet Huminsav spektrumok szántás esetén szója-kukorica vetésváltásban (SzK_SZ_0-5_HS; SzK_SZ_15-30_HS; SzK_SZ_30-50_HS)



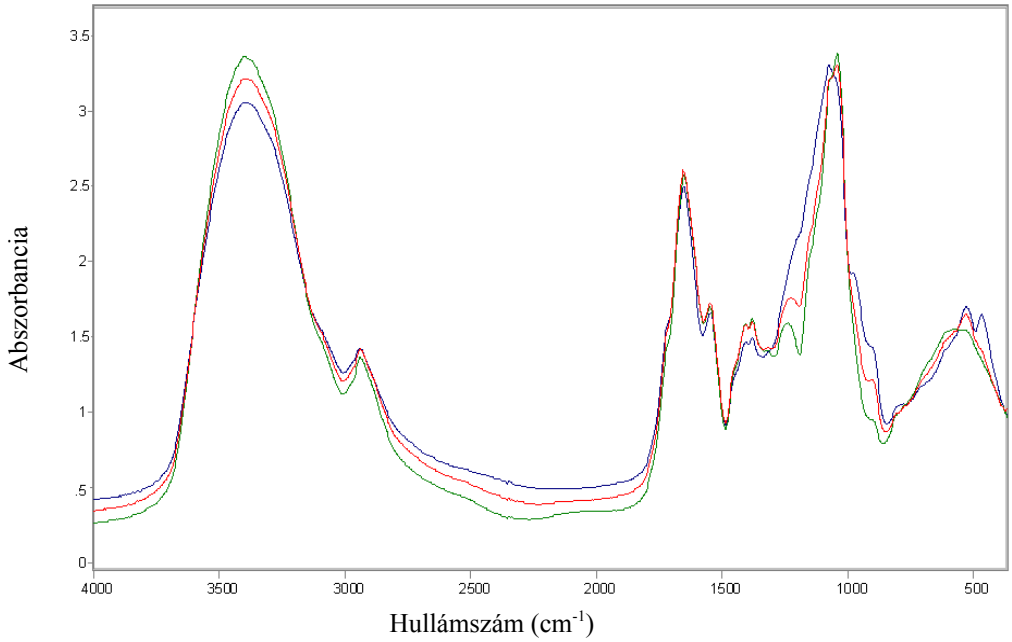
B49. melléklet Fulvosav spektrumok direktvetésben kukorica monokultúrában (KK_DV_0-5_FS; KK_DV_15-30_FS; KK_DV_30-50_FS)



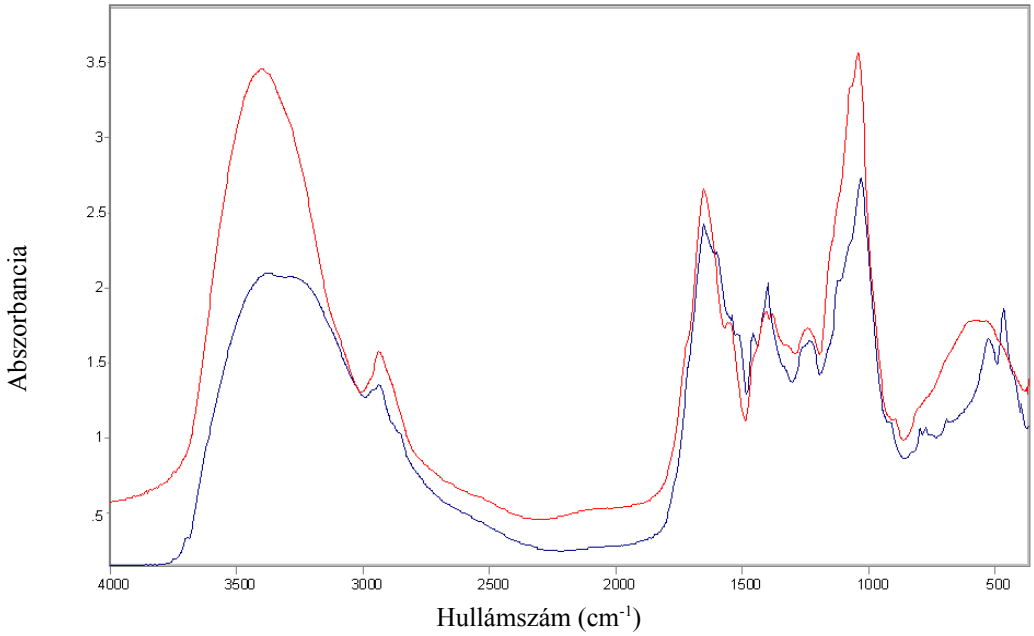
B50. melléklet Fulvosav spektrumok szántás esetén kukorica monokultúrában (KK_SZ_0-5_FS; KK_SZ_15-30_FS; KK_SZ_30-50_FS)



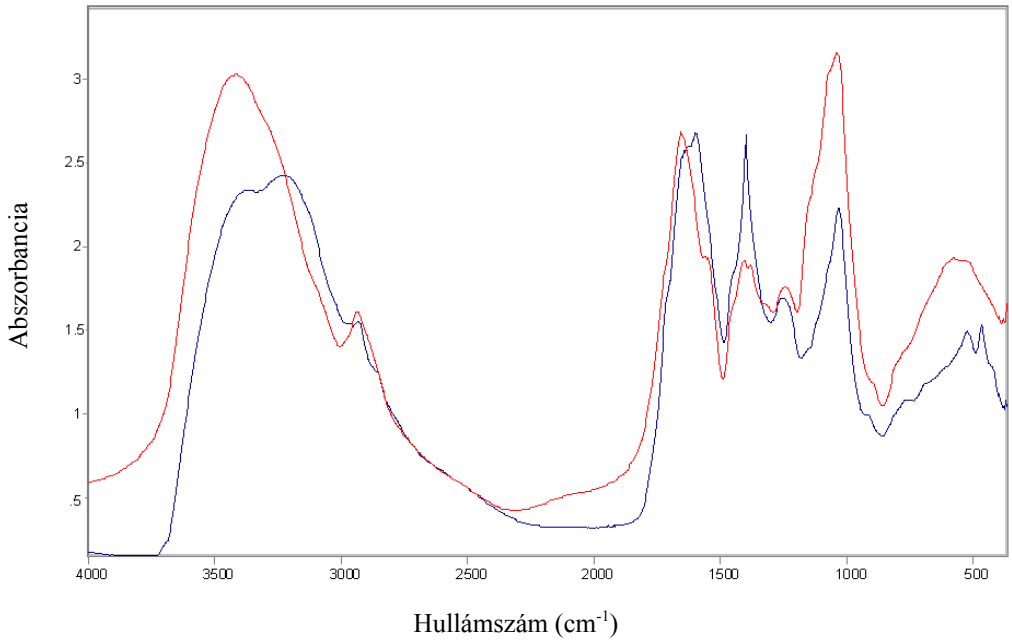
B51. melléklet Fulvosav spektrumok direktvetésben szója-kukorica vetésváltásban (SzK_DV_0-5_FS; SzK_DV_15-30_FS; SzK_DV_30-50_FS)



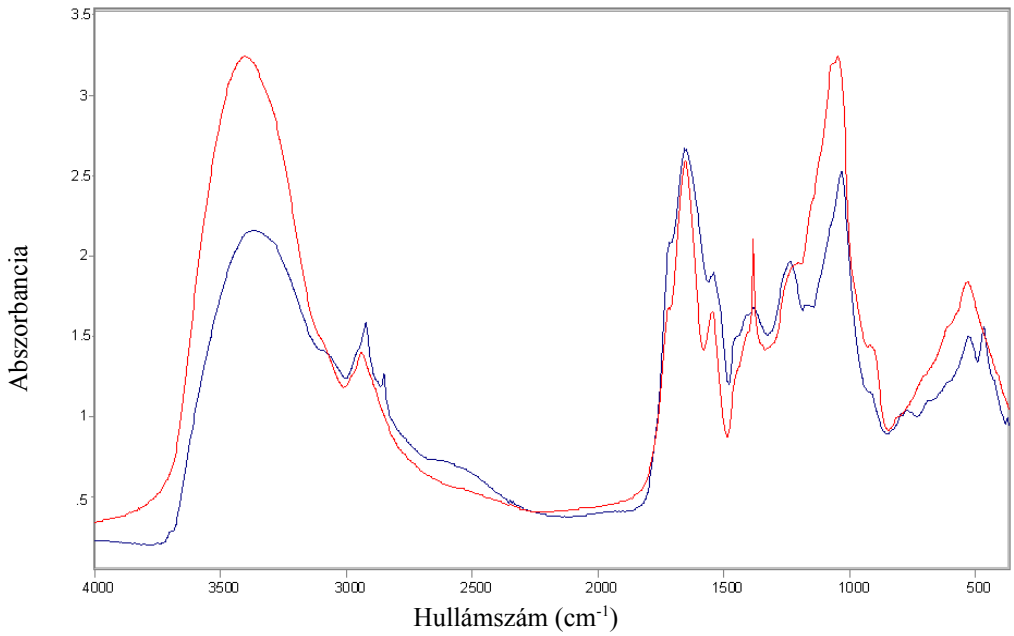
B52. melléklet Fulvosav spektrumok szántás esetén szója-kukorica vetésváltásban (SzK_SZ_0-5_FS; SzK_SZ_15-30_FS; SzK_SZ_30-50_FS)



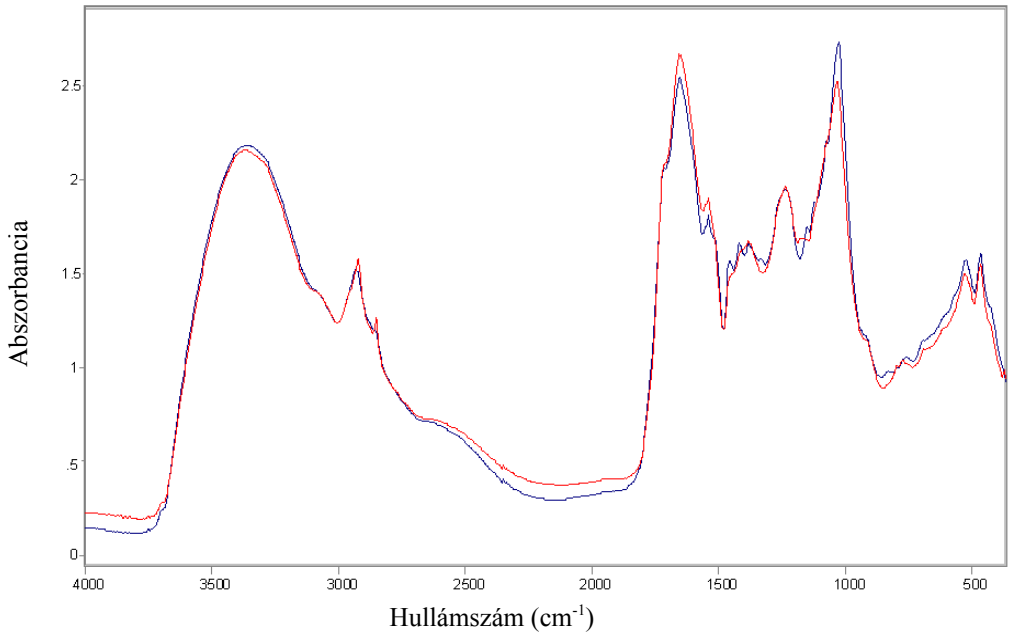
B53. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok direktvetésben kukorica monokultúrában 0-5 cm mélységben (KK_DV_0-5_FS; KK_DV_0-5_HS)



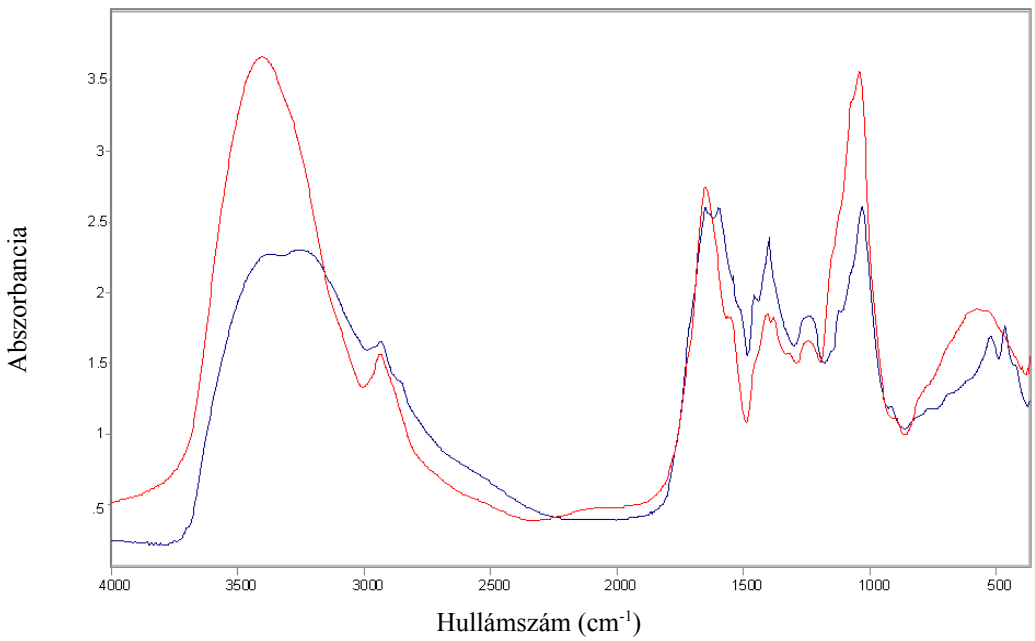
B54. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok direktvetésben kukorica monokultúrában 15-30 cm mélységben (KK_DV_15-30_FS; KK_DV_15-30_HS)



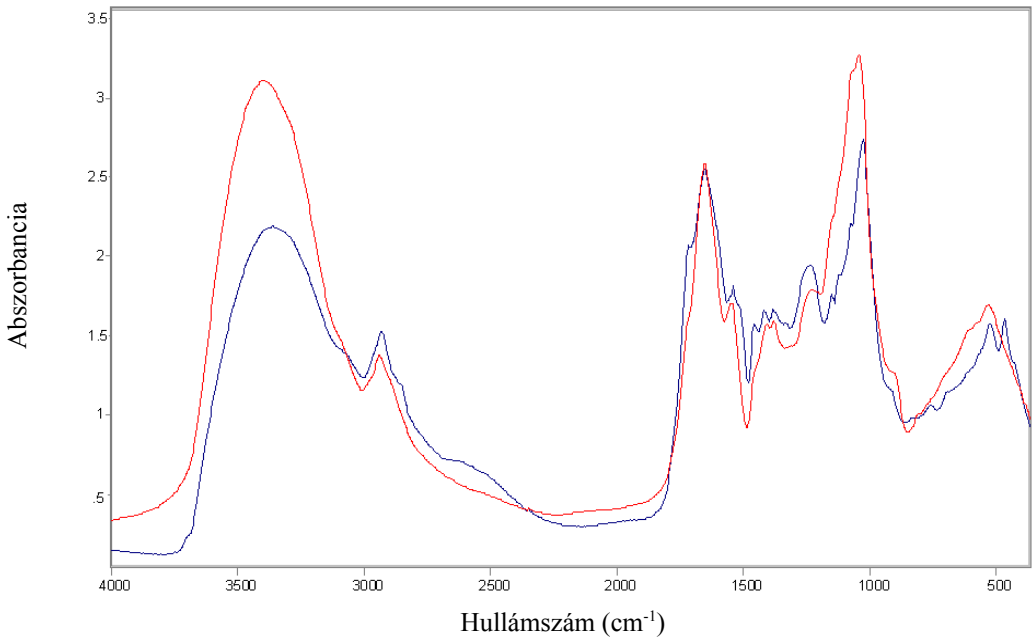
B55. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok direktvetésben kukorica monokultúrában 30-50 cm mélységben (KK_DV_30-50_FS; KK_DV_30-50_HS)



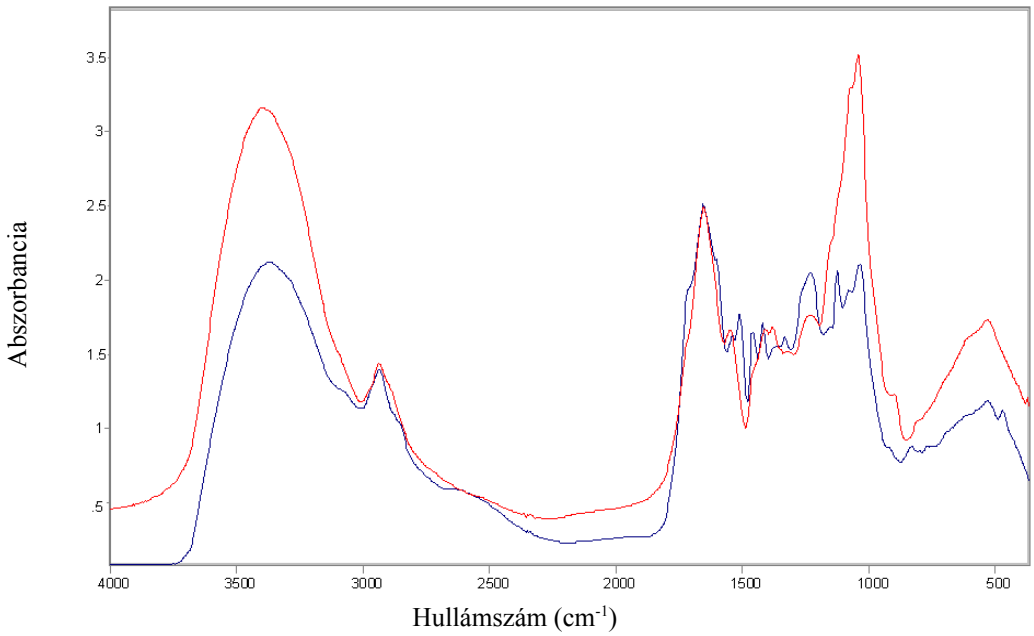
B56. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok szántás esetén kukorica monokultúrában 0-5 cm mélységben (KK_SZ_0-5_FS; KK_SZ_0-5_HS)



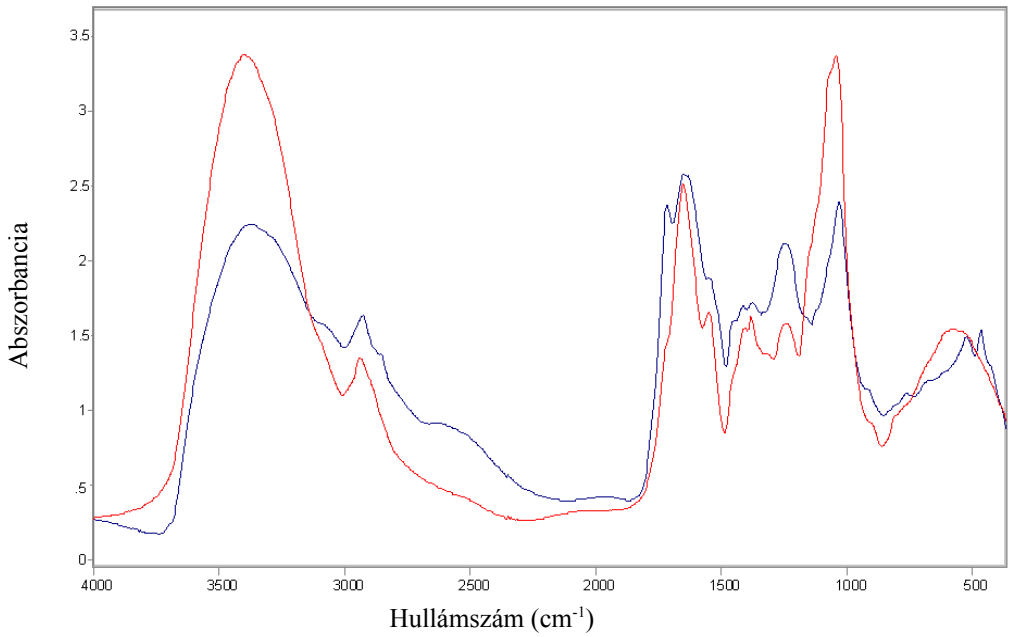
B57. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok szántás esetén kukorica monokultúrában 15-30 cm mélységben (KK_SZ_15-30_FS; KK_SZ_15-30_HS)



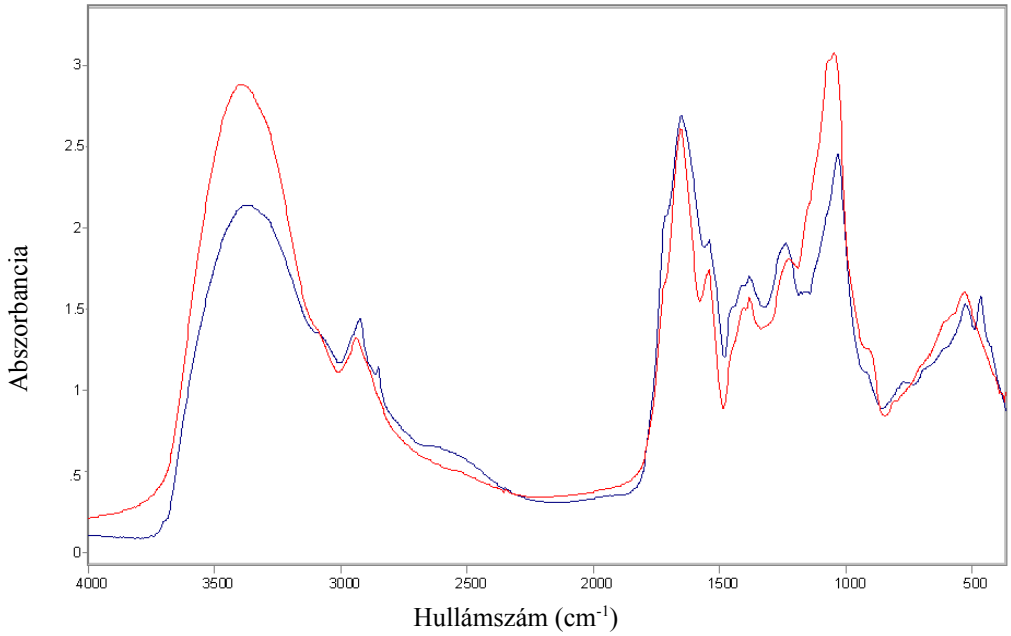
B58. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok szántás esetén kukorica monokultúrában 30-50 cm mélységben (KK_SZ_30-50_FS; KK_SZ_30-50_HS)



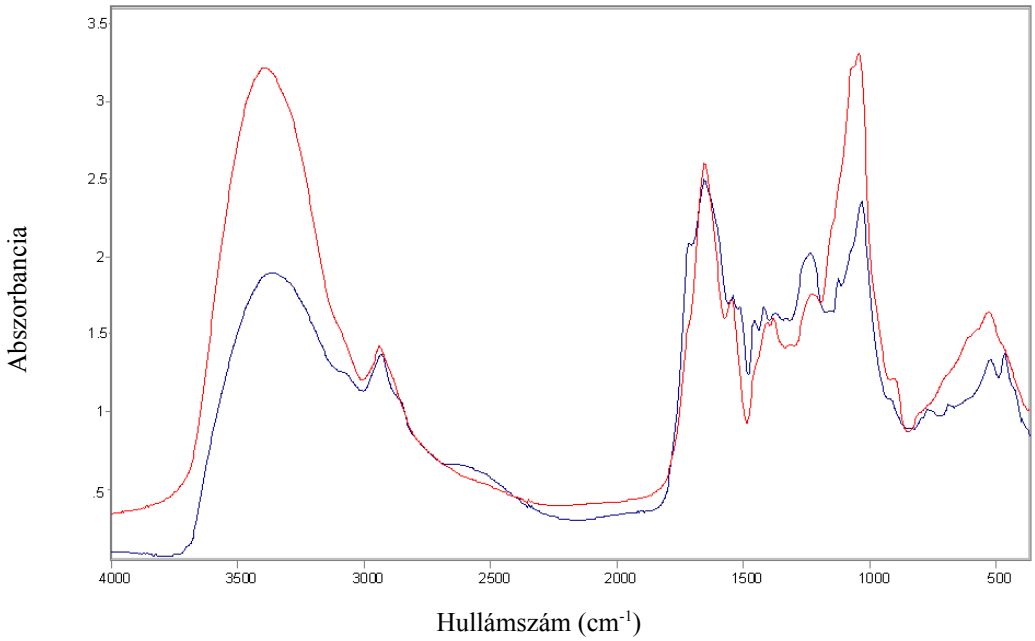
B59. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok direktvetésben szója-kukorica vetésváltásban 0-5 cm mélységben (SzK_DV_0-5_FS; SzK_DV_0-5_HS)



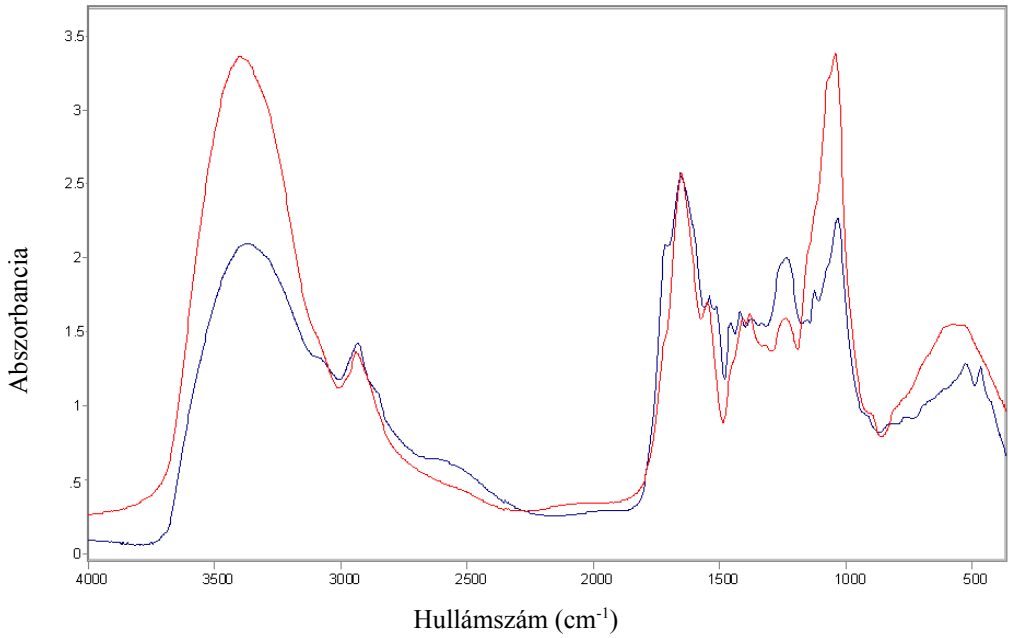
B60. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok direktvetésben szója-kukorica vetésváltásban 15-30 cm mélységben (SzK_DV_15-30_FS; SzK_DV_15-30_HS)



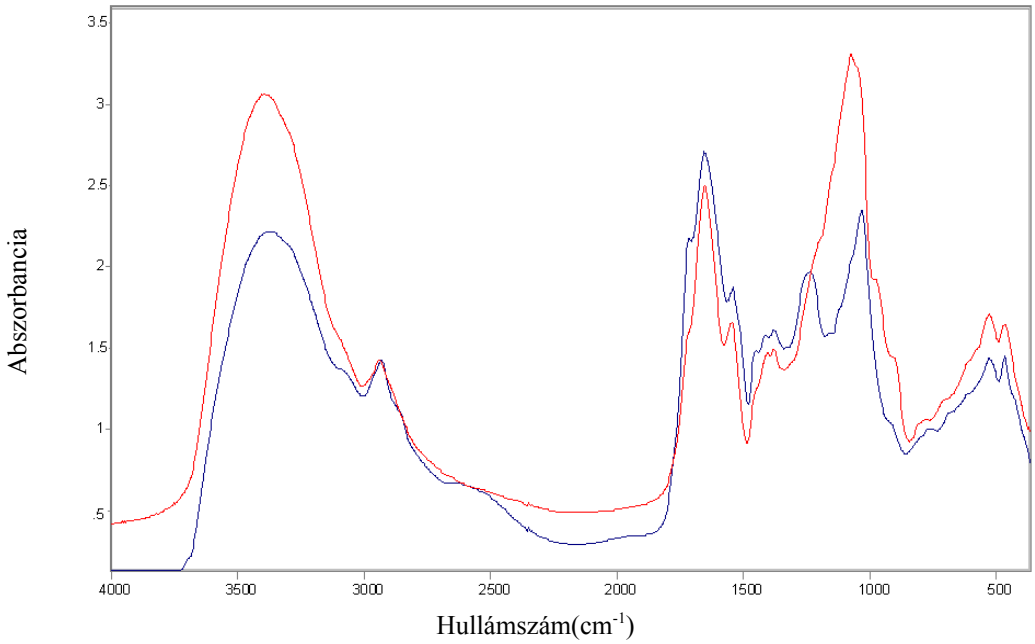
B61. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok direktvetésben szója-kukorica vetésváltásban 30-50 cm mélységben (SzK_DV_30-50_FS; SzK_DV_30-50_HS)



B62. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok szántás esetén szója-kukorica vetésváltásban 0-5 cm mélységben (SzK_SZ_0-5_FS; SzK_SZ_0-5_HS)



B63. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok szántás esetén szója-kukorica vetésváltásban 15-30 cm mélységben (SzK_SZ_15-30_FS; SzK_SZ_15-30_HS)



B64. melléklet Huminsav és fulvosav spektrumok szántás esetén szója-kukorica vetésváltásban 30-50 cm mélységben (SzK_SZ_30-50_FS; SzK_SZ_30-50_HS)

B65. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül szerves szén, szervesanyag és összes nitrogén koncentrációra, valamint a C/N arányra 0-15 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square			
			OC (g/kg)	OM (%)	total N (g/kg)	C/N ratio
0.5	Block	3	45.489093	1.351800	0.173870	12.173296
	Rotation	1	21.854313	0.648376	0.003542	5.321953
	Tillage	1	1106.910063**	32.936757**	6.444050**	0.487578
	Rot×Till	1	0.603626	0.017971	0.071884	8.319800
Pooled error (a+b)		9	19.359999	0.574489	0.113502**	4.919870**
	Side	1	4.803708	0.143336	0.049875	0.051467
	Rot*Side	1	11.494015	0.338596	0.025312	0.011884
	Till*Side	1	32.727421	0.974757	0.302253**	0.225009
	Rot*Till*Side	1	3.316386	0.097719	0.002335	0.106953
Pooled error (c+d+e)		12	12.005869	0.355914	0.019485	0.742023
5.15	Block	3	69.137851**	2.055768**	0.345546	13.789337
	Rotation	1	4.953378	0.147379	0.057800	16.079175
	Tillage	1	51.460513*	1.529063*	0.473689*	2.338203
	Rot×Till	1	5.106675	0.150563	0.016806	7.523967
Pooled error (a+b)		9	6.950228**	0.206469**	0.064746**	3.997732**
	Side	1	0.964892	0.028700	0.005253	1.942092*
	Rot*Side	1	13.330006**	0.397163**	0.090667*	0.203203
	Till*Side	1	4.087417	0.122306	0.039903	0.278134
	Rot*Till*Side	1	5.831113*	0.173804*	0.009453	0.618828
Pooled error (c+d+e)		12	1.212912	0.036161	0.011706	0.316444

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

B66. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül szerves szén, szervesanyag és összes nitrogén koncentrációra, valamint a C/N arányra 15-100 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square			
			OC (g/kg)	OM (%)	total N (g/kg)	C/N ratio
15-30	Block	3	129.761078**	3.859295**	0.789580	56.004679
	Rotation	1	42.813459	1.271901	0.046376	55.282526
	Tillage	1	59.519251	1.779426	0.095004	6.484401
	Rot×Till	1	0.877838	0.027001	0.070959	1.666901
Pooled error (a+b)		9	17.712328**	0.526375**	0.313739**	15.630466**
	Side	1	0.358926	0.010209	0.003876	2.297109
	Rot*Side	1	0.185504	0.005251	0.005704	1.746901
	Till*Side	1	0.964004	0.028359	0.003151	0.048151
Rot*Till*Side		1	0.906759	0.027001	0.000004	0.005859
Pooled error (c+d+e)		12	2.113185	0.062435	0.027715	0.897839*
Error (e-prime)		64	3.294560	0.097982	0.021921	0.463177
30-50	Block	3	13.086948	0.390706	0.509452	205.919413*
	Rotation	1	15.277682	0.457666	0.081274	127.338776
	Tillage	1	305.033098*	9.059266*	1.253467*	11.084776
	Rot×Till	1	19.608981	0.584641	0.017467	6.093750
Pooled error (a+b)		9	40.978702	1.215633	0.239911	34.695168**
	Side	1	2.494400	0.072570	0.013682	0.103391
	Rot*Side	1	0.025120	0.000748	0.000002	4.818519
	Till*Side	1	12.589243	0.377896	0.096351	1.890058
Rot*Till*Side		1	0.591631	0.016804	0.000566	23.311853
Pooled error (c+d+e)		12	15.812561	0.470230	0.119034	5.389216
Error (e-prime)		64	11.688386a	0.347722a	0.072727a	7.374940a
50-75	Block	3	2.630078	0.076940	1.024588**	1387.992940
	Rotation	1	0.840004	0.024544	0.268288	998.934602
	Tillage	1	3.549704	0.108340	0.000032	57.007734
	Rot×Till	1	1.630209	0.049732	0.005177	277.087279
Pooled error (a+b)		9	4.005851	0.120468	0.125539**	484.930947*
	Side	1	0.138017	0.004469	0.015632	425.427279
	Rot*Side	1	0.425334	0.013419	0.000013	0.512784
	Till*Side	1	2.044584	0.059750	0.052500	100.757734
	Rot*Till*Side	1	0.504600	0.013419	0.013896	395.900006
Pooled error (c+d+e)		12	1.709310	0.050928	0.022021	165.897162**
Error (e-prime)		64	1.741727	0.052009	0.027018	62.361176b
75-100	Block	3	7.720042	0.230196	0.594328**	1498.610177**
	Rotation	1	12.686876*	0.372823*	0.220844	89.265986
	Tillage	1	2.014375	0.059051	0.061101	29.729478
	Rot×Till	1	1.072986	0.031163	0.016923	60.694258
Pooled error (a+b)		9	2.460991	0.073613	0.083599**	113.009630*
	Side	1	0.175272	0.004537	0.013971	7.241130
	Rot*Side	1	0.368001	0.010794	0.001484	20.956778
	Till*Side	1	1.890141	0.055885	0.000258	39.887151
	Rot*Till*Side	1	5.866667*	0.172701*	0.022469	0.025859
Pooled error (c+d+e)		12	1.008830	0.030170	0.012071	33.362645
Error (e-prime)		64	2.693344c	0.079906c	0.020331c	85.881700d

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

a means df = 63 b means df = 62 c means df = 50 d means df = 38

B67. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül szerves szén és összes nitrogén mennyiségre 0-30 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square	
			OC (t/ha)	total N (t/ha)
0-5	Block	3	15.857802	0.091919
	Rotation	1	1.008128	0.012715
	Tillage	1	640.076955**	3.809881**
	Rot×Till	1	4.210509	0.001889
	Pooled error (a+b)	9	9.235116	0.049529
	Side	1	0.740799	0.013271
	Rot*Side	1	7.705507	0.023199
	Till*Side	1	3.475058	0.035556
	Rot*Till*Side	1	0.589088	0.000221
	Pooled error (c+d+e)	12	8.013166	0.025271
5-15	Block	3	59.044637*	0.372466*
	Rotation	1	1.109218	0.201945
	Tillage	1	581.349447**	4.352461**
	Rot×Till	1	21.368091	0.000615
	Pooled error (a+b)	9	14.406837**	0.093117*
	Side	1	0.495979	0.058209
	Rot*Side	1	23.559078*	0.167253*
	Till*Side	1	17.624652*	0.123183*
	Rot*Till*Side	1	7.200127	0.016078
	Pooled error (c+d+e)	12	2.940043	0.021953
15-30	Block	3	181.722000*	0.649866
	Rotation	1	98.977965	0.004937
	Tillage	1	236.672646*	2.400562*
	Rot×Till	1	4.977466	0.000000
	Pooled error (a+b)	9	26.609061	0.460209*
	Side	1	5.994886	0.088756
	Rot*Side	1	1.733860	0.000062
	Till*Side	1	6.560664	0.031493
	Rot*Till*Side	1	9.366955	0.018286
	Pooled error (c+d+e)	12	15.766147	0.129874

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

B68. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül szerves szén és összes nitrogén mennyiségre 30-100 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square	
			OC (t/ha)	total N (t/ha)
30-50	Block	3	41.190542	1.409407
	Rotation	1	35.717941	0.299620
	Tillage	1	899.124877*	3.729924*
	Rot×Till	1	45.030867	0.021276
	Pooled error (a+b)	9	97.381095*	0.640654
	Side	1	5.959792	0.025557
	Rot*Side	1	0.682589	0.002019
	Till*Side	1	27.854674	0.212788
	Rot*Till*Side	1	2.508968	0.003441
	Pooled error (c+d+e)	12	30.848487	0.238192
50-75	Block	3	7.166314	4.165408**
	Rotation	1	7.600646	1.169000
	Tillage	1	16.382696	0.005466
	Rot×Till	1	1.031853	0.030655
	Pooled error (a+b)	9	16.592845	0.575034**
	Side	1	4.721073	0.092096
	Rot*Side	1	1.718397	0.001242
	Till*Side	1	12.043898	0.204811
	Rot*Till*Side	1	2.029886	0.052049
	Pooled error (c+d+e)	12	6.982798	0.080605
75-100	Block	3	44.177751*	4.489338**
	Rotation	1	73.397866*	1.556238
	Tillage	1	2.681117	0.645354
	Rot×Till	1	6.180243	0.129166
	Pooled error (a+b)	9	10.124483	0.576720**
	Side	1	12.505947	0.346652
	Rot*Side	1	9.988074	0.000124
	Till*Side	1	13.641125	0.074047
	Rot*Till*Side	1	30.608713*	0.175201
	Pooled error (c+d+e)	12	4.246394	0.092697

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

B69. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül térfogattömegre 0-30 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square
0-5	Block	3	0.013924
	Rotation	1	0.017024
	Tillage	1	0.269824**
	Rot×Till	1	0.053552
	Pooled error (a+b)	9	0.015615
	Side	1	0.001752
	Rot*Side	1	0.005455
	Till*Side	1	0.024824
	Rot*Till*Side	1	0.002188
	Pooled error (c+d+e)	12	0.027109
	Error (e-prime)	31	0.013823
5-15	Block	3	0.034850
	Rotation	1	0.008916
	Tillage	1	0.678173**
	Rot×Till	1	0.010813
	Pooled error (a+b)	9	0.015720
	Side	1	0.014573
	Rot*Side	1	0.000116
	Till*Side	1	0.007201
	Rot*Till*Side	1	0.000516
	Pooled error (c+d+e)	12	0.011225
	Error (e-prime)	29	0.006543
15-30	Block	3	0.032139
	Rotation	1	0.008983
	Tillage	1	0.882074**
	Rot×Till	1	0.018002
	Pooled error (a+b)	9	0.016572
	Side	1	0.011468
	Rot*Side	1	0.000668
	Till*Side	1	0.003638
	Rot*Till*Side	1	0.005638
	Pooled error (c+d+e)	12	0.015549*
	Error (e-prime)	31	0.006398

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

B70. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül térfogattömegre 30-100 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square
30-50	Block	3	0.001033
	Rotation	1	0.002604
	Tillage	1	0.002400
	Rot×Till	1	0.000704
	Pooled error (a+b)	9	0.008186
	Side	1	0.000037
	Rot*Side	1	0.000417
	Till*Side	1	0.001837
	Rot*Till*Side	1	0.000067
	Pooled error (c+d+e)	12	0.007245
	Error (e-prime)	64	0.004764
50-75	Block	3	0.008342
	Rotation	1	0.000937
	Tillage	1	0.013067
	Rot×Till	1	0.000704
	Pooled error (a+b)	9	0.006485
	Side	1	0.000150
	Rot*Side	1	0.002204
	Till*Side	1	0.000267
	Rot*Till*Side	1	0.003504
	Pooled error (c+d+e)	12	0.004126
	Error (e-prime)	64	0.004656
75-100	Block	3	0.021260
	Rotation	1	0.000447
	Tillage	1	0.056931
	Rot×Till	1	0.000524
	Pooled error (a+b)	9	0.034038
	Side	1	0.118512*
	Rot*Side	1	0.020850
	Till*Side	1	0.043542
	Rot*Till*Side	1	0.002980
	Pooled error (c+d+e)	12	0.015061
	Error (e-prime)	50	0.016872

* Significant at α=0.05

B71. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül pF 1,7, pF 2 és pF 2,5 értékeken mért térfogatszázalékban kifejezett nedvességtartalomra 0-30 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square		
			pF 1,7	pF 2	pF 2,5
0-5	Block	3	0.001052	0.001771	0.002359
	Rotation	1	0.000491	0.000668	0.000438
	Tillage	1	0.053552**	0.072668**	0.096983**
	Rot×Till	1	0.000055	0.000038	0.000668
	Pooled error (a+b)	9	0.000588	0.000593	0.001106
	Side	1	0.000606	0.000947	0.000947
	Rot*Side	1	0.000006	0.000014	0.000002
	Till*Side	1	0.001188	0.001650	0.002547
	Rot*Till*Side	1	0.001752	0.001456	0.001274
	Pooled error (c+d+e)	12	0.001516**	0.001847**	0.002033**
	Error (e-prime)	32	0.000471a	0.000515a	0.000618a
5-15	Block	3	0.001056	0.000812	0.000872
	Rotation	1	0.000588	0.000173	0.000173
	Tillage	1	0.054212**	0.058870**	0.054321**
	Rot×Till	1	0.000024	0.000001	0.000013
	Pooled error (a+b)	9	0.001174	0.000916	0.000800
	Side	1	0.000024	0.000241	0.000413
	Rot*Side	1	0.000094	0.000013	0.000013
	Till*Side	1	0.000212	0.000893	0.001201
	Rot*Till*Side	1	0.000212	0.000241	0.000241
	Pooled error (c+d+e)	12	0.000698	0.000596	0.000617
	Error (e-prime)	32	0.000343b	0.000322c	0.000298c
15-30	Block	3	0.002415	0.002658	0.003425*
	Rotation	1	0.002074	0.002547	0.001153
	Tillage	1	0.015456**	0.020741**	0.019112**
	Rot×Till	1	0.000074	0.000014	0.000053
	Pooled error (a+b)	9	0.001006	0.001043	0.000846
	Side	1	0.001105	0.001274	0.000053
	Rot*Side	1	0.000123	0.000183	0.000006
	Till*Side	1	0.001650	0.000802	0.000376
	Rot*Till*Side	1	0.000341	0.000438	0.000094
	Pooled error (c+d+e)	12	0.000454	0.000543	0.000567
	Error (e-prime)	32	0.000469a	0.000515a	0.000340b

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

a means df = 31 b means df = 30 c means df = 29

B72. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül pF 1,7, pF 2, pF 2,5 és pF 4,2 értékeken mért tömegszázalékban kifejezett nedvességtartalomra 0-30 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square			
			pF 1,7	pF 2	pF 2,5	pF 4,2
0-5	Block	3	0.000254	0.000307	0.000718	0.002202*
	Rotation	1	0.003206	0.002802	0.002547	0.000352
	Tillage	1	0.004752	0.012002**	0.023674**	0.013321**
	Rot×Till	1	0.003788	0.002802	0.000947	0.001702
Pooled error (a+b)		9	0.001227	0.001051	0.001218	0.000557
	Side	1	0.001024	0.001105	0.001105	0.000029
	Rot*Side	1	0.000388	0.000123	0.000183	0.000452
	Till*Side	1	0.000297	0.000014	0.000002	0.000029
	Rot*Till*Side	1	0.000606	0.000256	0.000341	0.000167
Pooled error (c+d+e)		12	0.000807	0.000744	0.000680	0.000264
Error (e-prime)		32	0.000558a	0.000411a	0.000353a	0.000243
5-15	Block	3	0.004877	0.004401	0.003812	0.001784*
	Rotation	1	0.001153	0.000712	0.000919	0.000002
	Tillage	1	0.000094	0.000053	0.000249	0.002542*
	Rot×Till	1	0.000588	0.000588	0.000331	0.000488
Pooled error (a+b)		9	0.001993**	0.001511	0.001315	0.000407
	Side	1	0.000588	0.000476	0.000037	0.000004
	Rot*Side	1	0.000094	0.000024	0.000001	0.000238
	Till*Side	1	0.000000	0.000094	0.000178	0.000352
	Rot*Till*Side	1	0.000588	0.000288	0.000178	0.000452
Pooled error (c+d+e)		12	0.000447	0.000561	0.000489	0.000284
Error (e-prime)		32	0.000450b	0.000307b	0.000332b	0.000315
15-30	Block	3	0.003423*	0.003406*	0.003197*	0.001157
	Rotation	1	0.000055	0.000123	0.000013	0.000711
	Tillage	1	0.011733**	0.008074**	0.006601*	0.000100
	Rot×Till	1	0.000606	0.000802	0.000649	0.000506
Pooled error (a+b)		9	0.000778	0.000740	0.000700*	0.000512
	Side	1	0.000055	0.000123	0.000001	0.000011
	Rot*Side	1	0.000006	0.000014	0.000001	0.000034
	Till*Side	1	0.001964*	0.001650	0.001072*	0.000201
	Rot*Till*Side	1	0.000000	0.000014	0.000001	0.000544
Pooled error (c+d+e)		12	0.000396	0.000364	0.000244	0.000382
Error (e-prime)		32	0.000326a	0.000244a	0.000198b	0.000280

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

a means df = 31 b means df = 30

B73. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül talaj pH-ra és foszfor, kálium és kálcium koncentrációra 0-15 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square pH	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
0-5	Block	3	0.028519	1819.157407	3494.766204	254111.34028*
	Rotation	1	0.266944**	1332.250000	12302.506944	238225.34028
	Tillage	1	0.666944**	47669.444444**	558133.50694**	119543.06250
	Rot×Till	1	0.071111	100.000000	4021.673611	8235.562500
Pooled error (a+b)		9	0.019568	997.101852	959.963735	58451.698302
5.15	Block	3	0.097500	1977.636574*	2180.546296	360375.80324*
	Rotation	1	0.134444	1914.062500	5776.000000	209993.06250
	Tillage	1	2.560000**	11289.062500**	25069.444444**	1144008.5069**
	Rot×Till	1	0.033611	1127.840278	3500.694444	9950.062500
Pooled error (a+b)		9	0.048549	410.957562	1536.194444	66162.130401

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

B74. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül talaj pH-ra valamint foszfor, kálium és kálcium koncentrációra 15-100 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square pH	P (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
15-30	Block	3	0.044722	2147.138889	73.576389	827309.35417
	Rotation	1	0.440833	3104.083333	19481.020833**	462757.68750
	Tillage	1	23.240833**	243.000000	51942.520833**	10600380.187**
	Rot×Till	1	0.040833	341.333333	3485.020833	59854.687500
Pooled error (a+b)		9	0.244722**	1053.490741**	1505.817130*	338521.44676**
Error (b-prime)		32	0.065417	217.562500	516.979167	51741.041667
30-50	Block	3	0.284097	414.611111	718.131944	529899.68750*
	Rotation	1	0.725208	114.083333	760.020833	8829.187500
	Tillage	1	0.630208	1160.333333*	5229.187500**	2596.020833
	Rot×Till	1	0.000208	184.083333	776.020833	58450.520833
Pooled error (a+b)		9	0.297986	150.407407	189.909722	118275.05787
Error (b-prime)		32	0.172500	119.687500	239.125000	75953.625000
50-75	Block	3	0.228056	5.631944*	978.743056**	119069.07639
	Rotation	1	0.067500	0.020833	357.520833	72152.520833
	Tillage	1	0.013333	6.020833*	6.020833	15877.687500
	Rot×Till	1	0.563333	1.687500	88.020833	115738.52083
Pooled error (a+b)		9	0.233796**	1.113426	128.446759*	179165.72454**
Error (b-prime)		32	0.074583	0.604167	43.895833	38219.375000
75-100	Block	3	0.162439	8.349926	831.060085	614773.90557
	Rotation	1	0.235814	0.139535	583.503876	607365.59690
	Tillage	1	0.075039	13.953488*	17.922481	72200.992248
	Rot×Till	1	0.403256	0.015504	295.255814	94052.232558
Pooled error (a+b)		9	0.269817**	2.292900	258.242118*	736383.54898
Error (b-prime)		25	0.076400	2.386667	91.226667	339591.02667

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

B75. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül közepes mért átmérő értékre 0-30 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square
0-5	Block	3	0.063404
	Rotation	1	0.180625
	Tillage	1	5.073756**
	Rot*Till	1	0.351056*
	Pooled error (a+b)	9	0.042661
5-15	Block	3	0.263152
	Rotation	1	0.417639*
	Tillage	1	4.900689**
	Rot*Till	1	0.212752
	Pooled error (a+b)	9	0.068270
15-30	Block	3	0.278089**
	Rotation	1	0.177452*
	Tillage	1	2.793077**
	Rot*Till	1	0.130502*
	Pooled error (a+b)	9	0.025342

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

C MELLÉKLET

PURDUE - INTEGRÁLT NÖVÉNYVÉDELMI KÍSÉRLET

C1. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül szerves szén, szervesanyag és összes nitrogén koncentrációra, valamint C/N arányra 0-100 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square			
			OC (g/kg)	OM (%)	N (g/kg)	C/N ratio
0-5	Block	2	265.600959*	7.853087*	2.753276**	18.087671
	Rotation	1	44.853333	1.360133	1.083603	30.464533
	Tillage	3	526.819916**	15.951225**	2.827716**	3.062400
	Rot×Till	3	7.482145	0.211523	0.021472	3.488547
	Block×Rot×Till	14	43.584746**	1.295639**	0.410355**	7.954016**
	MS Error	48	8.985288b	0.275580b	0.077820b	1.711594b
5-15	Block	2	223.437091**	6.663704**	3.001957**	36.925406
	Rotation	1	0.953354	0.031405	0.034094	20.035588
	Tillage	3	39.052139	1.143932	0.414101	9.241527
	Rot×Till	3	54.752471	1.606943	0.179555	3.155590
	Block×Rot×Till	14	33.764853**	1.006831**	0.351273**	13.014899**
	MS Error	48	9.785485c	0.295074c	0.092799c	2.349519c
15-30	Block	2	30.752380	0.896047	0.645671	30.188656
	Rotation	1	23.722353	0.775033	0.168942	0.064904
	Tillage	3	118.473290*	3.517553*	0.865577*	68.500801
	Rot×Till	3	65.915096	1.982315	0.100110	11.206015
	Block×Rot×Till	14	29.028280*	0.845973*	0.207587*	35.885338**
	MS Error	48	12.985466c	0.392815c	0.093448c	8.184129d
30.50	Block	2	0.323772	0.008550	0.088428	1201.988383
	Rotation	1	2.510915	0.091973	0.007350	1640.25000
	Tillage	3	46.240732*	1.374749*	0.348857*	1177.679839
	Rot×Till	3	4.347970	0.119572	0.080765	809.887111
	Block×Rot×Till	14	9.619350*	0.288092*	0.098721**	1321.044067**
	MS Error	48	4.691523a	0.137730a	0.024756a	263.771364d
50-75	Block	2	2.325075	0.046883	0.347155	nc
	Rotation	1	0.178954	0.011797	0.078732	nc
	Tillage	3	3.387736	0.104442	0.133798	nc
	Rot×Till	3	0.045693	0.001829	0.254649	nc
	Block×Rot×Till	14	2.828157	0.079730	0.316942	nc
	MS Error	48	2.565789c	0.076852c	0.389454b	nc
75-100	Block	2	1.180334	0.026137	0.001557	nc
	Rotation	1	0.205350	0.002177	0.179278**	nc
	Tillage	3	1.101246	0.024292	0.013370	nc
	Rot×Till	3	2.589766	0.076914	0.006659	nc
	Block×Rot×Till	14	1.750220	0.059094*	0.007431	nc
	MS Error	48	0.962184a	0.030213a	0.006801a	nc

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01 nc - not calculated

a means df = 47 b means df = 46 c means df = 45 d means df = 44

C2. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül szerves szén és összes nitrogén mennyiségre, valamint térfogattömegre 0-100 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square		
			OC (t/ha)	N (t/ha)	BD (g/cm^3)
0-5	Block	2	54.529252	0.644846*	0.021026
	Rotation	1	13.100120	0.345441	0.000001
	Tillage	3	164.047366**	0.394551**	0.065672*
	Rot×Till	3	5.790570	0.009365	0.006012
	Block×Rot×Till	14	17.285208**	0.143823**	0.013437
	MS Error	48	4.017466b	0.028973b	0.009529
5-15	Block	2	237.594691*	4.051893*	0.062454*
	Rotation	1	2.512918	0.068251	0.001701
	Tillage	3	96.424788	0.928688	0.015627
	Rot×Till	3	64.016295	0.234887	0.013657
	Block×Rot×Till	14	61.229283**	0.629251**	0.015273*
	MS Error	48	15.766762c	0.156238c	0.006533
15-30	Block	2	98.795378	2.519583	0.016735
	Rotation	1	231.089694	1.467373	0.028006
	Tillage	3	573.699011*	4.234231*	0.006091
	Rot×Till	3	336.666163	0.580228	0.008809
	Block×Rot×Till	14	150.420719**	1.064227**	0.010254
	MS Error	48	52.115716c	0.383911c	0.006257
30.50	Block	2	2.185364	0.762565	0.003957
	Rotation	1	8.636033	0.023706	0.014008
	Tillage	3	410.678789*	3.303905*	0.000886
	Rot×Till	3	38.956979	0.871392	0.001372
	Block×Rot×Till	14	95.069988*	0.983159**	0.003276**
	MS Error	48	46.827809b	0.239496a	0.001052b
50-75	Block	2	31.028674	5.071850	0.001678
	Rotation	1	12.908897	0.894348	0.032865**
	Tillage	3	44.600180	1.940264	0.062634**
	Rot×Till	3	2.463832	3.767769	0.019270*
	Block×Rot×Till	14	41.909516	4.768818	0.003537
	MS Error	48	37.026389c	5.833851b	0.003403b
75-100	Block	2	24.080450	0.053838	0.005717
	Rotation	1	3.213675	3.452584**	0.029205
	Tillage	3	19.894324	0.149550	0.015505
	Rot×Till	3	59.449714	0.086952	0.075124
	Block×Rot×Till	14	36.516829	0.127513	0.039318
	MS Error	48	19.464818b	0.114898a	0.033571b

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

a means df = 47 b means df = 46 c means df = 45

C3. melléklet Varianciaanalízis a mintavételi mélységeken belül talaj pH-ra, valamint logP (transzformált foszfor), kálium és kálcium koncentrációra 0-100 cm mélységben

Depth (cm)	Source	df	Mean Square pH	logP (ppm)	K (ppm)	Ca (ppm)
0-5	Block	2	0.098958	0.245672*	37263.770833*	196099.02083
	Rotation	1	0.285208	0.000000	954.083333	653333.33333**
	Tillage	3	0.687431	0.266228**	20527.722222	347573.19444**
	Rot×Till	3	0.202431	0.047743	7195.472222	608398.88889**
	Block×Rot×Till	14	0.225149*	0.038264	7681.104167**	54095.520833
	MS Error	24	0.081042	0.026588	1722.291667	35662.958333
5-15	Block	2	1.533958*	0.146655	7169.333333	186591.27083
	Rotation	1	1.171875	0.091003	3451.020833	1949311.0208**
	Tillage	3	0.445765	0.067956	1215.798611	331007.63194*
	Rot×Till	3	0.184097	0.095854	2712.687500	273094.90972
	Block×Rot×Till	14	0.256101	0.052822	2945.380952**	94361.056548
	MS Error	24	0.180625	0.034791	716.437500	90555.354167
15-30	Block	2	0.296458	0.077922	541.583333	459425.02083*
	Rotation	1	0.240833	0.064907	4015.020833*	850935.02083*
	Tillage	3	0.030556	0.318650*	1024.020833	399036.18750*
	Rot×Till	3	0.135833	0.141974	1287.687500	1010788.5764**
	Block×Rot×Till	14	0.185268*	0.082559	627.440476*	107683.68750
	MS Error	24	0.084167	0.049638	290.854167	56307.104167
30-50	Block	2	0.083958	0.000403	148.895833	11485.687500
	Rotation	1	0.270000	0.048314	5229.187500*	332667.00000
	Tillage	3	0.162778	0.062279	2091.465278	287035.83333
	Rot×Till	3	0.177222	0.001736	1947.465278	15168.388889
	Block×Rot×Till	14	0.134196*	0.028919	904.800595**	291828.28274
	MS Error	24	0.061667	0.016970	282.479167	189332.08333
50-75	Block	2	0.171458	0.028864	90.250000	669853.00000
	Rotation	1	0.007500	0.003487	104443.00000**	2642816.0208**
	Tillage	3	0.647500**	0.052473	2523.333333*	178666.57639
	Rot×Till	3	0.191944	0.002450	2961.222222*	1322246.0208*
	Block×Rot×Till	14	0.090030	0.022927	578.345238	263924.28571
	MS Error	24	0.103750	0.018428	340.250000	237053.77083
75-100	Block	2	0.401875*	0.148882	305.145833	7443676.1875*
	Rotation	1	0.630208**	0.325130*	13668.750000**	6694614.0833*
	Tillage	3	0.362986*	0.089543	1489.555556	1667148.6944
	Rot×Till	3	0.027431	0.054928	1764.305556	810386.02778
	Block×Rot×Till	14	0.070923	0.043592	730.645833	1227304.7589
	MS Error	24	0.138125	0.026467	401.041667	1003481.6667

* Significant at α=0.05 ** Significant at α=0.01

9. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

Szeretnék köszönetet mondani témavezetőmnek Prof. Michéli Erikának és társ-témavezetőmnek Prof. Tony J. Vyn-nak útmutatásukért és támogatásukért, valamint Eileen J. Kladivko és Cliff T. Johnston professzoroknak a Purdue Egyetemen, akik értékes hozzászólásaikkal és javaslataikkal segítették munkámat.

Külön szeretnék köszönetet mondani Büttner Saroltának és diáktársaimnak mind a Szent István Egyetemen, mind a Purdue Egyetemen, akik segítettek terepi illetve laboratóriuni munkám elvégzésében és kellemes társaságot adtak tanulmányaim során.

Köszönettel tartozom Judy Santini-nek is, aki a statisztikai kiértékelésben nyújtott nélkülözhetetlen segítséget.

A kutatást részben a Consortium for Agricultural Soil Mitigation of Greenhouse Gases (CASMGS) kutatási program finanszírozta.