

**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

**ÁSVÁNYI ÉS SZERVES ADALÉKANYAGOK  
HATÁSA A NYÍRSÉGI HOMOKTALAJOK  
MIKROBIOLÓGIAI TULAJDONSÁGAIRA**

Doktori értekezés

Makádi Marianna

Gödöllő

2010

## **A doktori iskola**

- megnevezése:** Környezettudományi Doktori Iskola
- tudományága:** Talajtan, agrokémia, környezeti kémia  
**vezetője:** Dr. Heltai György  
egyetemi tanár, D.Sc.  
SZIE Kémia és Biokémia Tanszék
- témavezető:** Dr. Michéli Erika  
egyetemi tanár, D.Sc.  
SZIE Talajtani és Agrokémiai Tanszék
- társtémavezető:** Dr. Biró Borbála  
egyetemi tanár, D.Sc.  
MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezetők jóváhagyása

## 1. Bevezetés, célkitűzés

A talajok termékenysége a talajképződés és a talajpusztulás, mint ellentétes irányú folyamatok, hatására alakul ki és időben folyamatosan változik. Ez a változás a természeti törvények által befolyásolt folyamat, az emberi tevékenység azonban jelentősen képes befolyásolni azt azzal, hogy bizonyos tényezők hatását felerősíti, másokét pedig elfedheti.

A talaj termékenységének fokozása, a talaj minőségének javítása már évezredek óta foglalkoztatja az embereket (SOLTI 2000). A termékenység javítása különösen fontos a gyenge termőképességű nyírségi barna erdőtalajokon, melyek nagy homoktartalmuk és sekély termőrétegük miatt gyenge víz- és tápanyag-gazdálkodásúak, emellett a savanyú kémhatás és a szélérozió is csökkenti a termékenységüket (SZABOLCS és VÁRALLYAY, 1978). A homoktalajok javítása két nagy formátumú kutató, Egerszegi Sándor és Westsik Vilmos nevéhez kapcsolódik. Munkájuk közös kapcsolódási pontja a szervesanyag talajba juttatása, de módszereik alapvetően különböztek (WESTSIK, 1951; EGRERSZEGI, 1958, 1962). Az életmód (ipar, mezőgazdaság, fogyasztási szokások) átalakulásával változik a talajjavításra, a talajtermékenység fokozására alkalmas anyagok köre is, így például napjainkban erre a célra többféle hulladék, melléktermék, ásványi anyag is alkalmas (BERENTE et al., 2010; MAKÁDI, 2004).

A talaj kémiai tulajdonságainak változása hatással van a talaj mikrobaközösségére, de a fordított irányú hatás is megfigyelhető pl. N<sub>2</sub>-kötés során. A talajjavító anyagok pozitív hatása, de a talajt érő káros hatások is kimutathatók a talaj mikrobaközösségének mennyiségi, minőségi, aktivitásbeli változásának a vizsgálatával.

Doktori dolgozatomban különböző, a homoktalajokon alkalmazható javítóanyagok talajfizikai, -kémiai és –mikrobiológiai tulajdonságokra gyakorolt hatását vizsgáltam. Az egyes anyagoknak a gyakorlat számára fontos gazdasági hatása a termésmennyiségek változásával jellemezhető.

A dolgozat célja annak megállapítása, hogy

- a mezőgazdaságban felhasználható, a képződési helyén hulladéknak vagy mellékterméknek minősülő ásványi és szerves anyagoknak milyen hatása van a talajok jellemző kémiai és mikrobiológiai tulajdonságaira,
- a kapott eredmények alapján a vizsgált mikrobiológiai módszerek felhasználhatók-e a talaj minőségében/termékenységében bekövetkező rövidtávú és tartamhatású változások (előre)jelzésére, illetve folyamatos monitoringjára,

- a vizsgált fizikai, kémiai és mikrobiológiai tulajdonságok milyen mértékben járulnak hozzá a talajban zajló folyamatok meghatározásához.

## 2. Anyag és módszer

Dolgozatomban három különböző anyag hatását vizsgáltam nyírségi talajokon. A bentonit ásványi anyag, montmorillonit típusú agyagásvány tartalmú kőzet. Alkalmazásának elsődleges célja a homoktalaj vízgazdálkodási tulajdonságainak javítása volt, de néhány kémiai tulajdonság javulását is vártam az alkalmazásától. A bentonit vizsgálatát kispercellás kísérletben végeztem (1. táblázat).

1. táblázat: A bentonit kísérlet ismertetése

<b>Bentonit kísérlet</b>	
Kísérlet helyszíne	Debreceni Egyetem AGTC KIT Nyíregyházi Kutatóintézet Nyíregyházi Telep
Talajtípus	Lepelhomok
Kísérlet típusa	Négyismétléses kispercellás (10 x 10 m) kísérlet, utóhatás-vizsgálat
Vizsgált anyag	Sajóbábonyi bentonit, 40% montmorillonit tartalom
Kezelések	0, 5, 10, 15, 20 t/ha bentonit örlemény, 1-5 cm-es frakció a talaj felső (0-25 cm) rétegébe szántva 2002. márciusában
Mintavételek, vizsgálatok	2002-2006-ig, 0-25 cm talajmélységből. Tavaszi: mikrobiológiai; őszi: talajfizikai, -kémiai és -mikrobiológiai.
Mintavétel	Parcellánként 5 pontmintából származó átlagminta
Tesztnövények	2002: pohánka ( <i>Fagopyrum esculentum</i> Moench), 2003: mustár ( <i>Sinapis alba</i> L.), 2004: rozs ( <i>Secale cereale</i> L.), 2005: rozsos bükköny ( <i>Secale cereale</i> L. és <i>Vicia villosa</i> L.), 2006: repce ( <i>Brassica napus oleifera</i> ). Parcellánként 4 x 1 m <sup>2</sup> -ről kézi betakarítás, majd feldolgozás, tisztítás után termésmennyiség mérés, a kapott értéket átszámolása t/ha-ra.

A másik két vizsgált anyag szerves eredetű. A fermentlé elsősorban növényi tápanyag, a talaj kémiai és mikrobiológiai tulajdonságaira gyakorolt hatásait szabadföldi tenyészedényes kísérletben vizsgáltam (2. táblázat).

2. táblázat: A fermentlé kísérlet ismertetése

<b>Fermentlé kísérlet</b>	
Kísérlet helyszíne	Nyírbátori Regionális Biogáz Üzem területén
Talajanyag	Homok és réti
Kísérlet típusa	Négyismétléses szabadföldi tenyészedényes (80 L) kísérlet
Vizsgált anyag	Biogázüzemi fermentlé
Kezelése	Abszolút kontroll, fermentlé, víz. Fermentlé mennyiség meghatározása: a növény irodalmi adatok (BOCZ, 1992) szerint számolt nitrogén-igénye szerint, a fermentlé kezelés előtt mért aktuális összes-N tartalma alapján. A számolt mennyiség kijuttatása: 50% vetéskor, 50% 4-6 leveles állapotban, minden évben. Víz mennyisége: a fermentlé számolt mennyiségével azonos.
Mintavételek, vizsgálatok	2006-2007-ben, 0-20 cm talajmélységből. Tavaszi: mikrobiológiai; őszi: talajfizikai, -kémiai és –mikrobiológiai.
Mintavétel	Tenyészedényenként 30 leszúrásból képzett átlagminta
Tesztnövény:	Csemegekukorica ( <i>Zea mays</i> conv. <i>saccharata</i> ). Tenyészedényekből a csemegekukorica csövek egyenkénti lemérése (g/cső).

A szennyvíziszap komposzt a növények tápanyag-utánpótlásán kívül a talaj szerkezetének javítására is alkalmas, hatásait kisparcellás kísérletben tanulmányoztam (3. táblázat).

3. táblázat: A szennyvíziszap komposzt kísérlet ismertetése

<b>Szennyvíziszap komposzt kísérlet</b>	
Kísérlet helyszíne	Debreceni Egyetem AGTC KIT Nyíregyházi Kutatóintézet Nyíregyházi Telep
Talajanyag	Kovárványos barna erdőtalaj
Kísérlet típusa	Ötismétléses kisparcellás (12 x 19 m) kísérlet, utóhatás-vizsgálat
Vizsgált anyag	Szennyvíziszap komposzt (40% (m/m) víztelenített kommunális iszap, 25% (m/m) szalma, 5% (m/m) bentonit és 30% (m/m) riolit). Kijuttatás: 2003, 2006, 2009 őszi, 0-30 cm talajmélységbe szántva.
Kezelések	0, 9, 18, 27 t/ha, 0-25 cm-es talajrétegbe szántva.
Mintavételek, vizsgálatok:	2006-2007-ben, 0-30 cm talajmélységből. Tavaszi: mikrobiológiai; őszi: talajfizikai, -kémiai és –mikrobiológiai.
Mintavétel	Parcellánként 5 pontmintából származó átlagminta.
Tesztnövény	Tritikálé ( <i>x Triticosecale</i> Wittmack), kukorica ( <i>Zea mays</i> L.) és zöldborsó ( <i>Pisum sativum</i> L.), kiterített vetésforgóban vetve. Parcellánként 4 x 1 m <sup>2</sup> -ről kézi betakarítás, majd feldolgozás, tisztítás után termésmennyiség mérés, a kapott értéket átszámolása t/ha-ra.

Az egyes kísérletekben elvégzett vizsgálatokat a 4-5. táblázatok tartalmazzák.

4. táblázat: A kísérletek talajfizikai és –kémiai vizsgálatai

Vizsgált tulajdonság	Bentonit	Fermentlé	Komposzt
Talajnedvesség	+	+	+
pH, $y_1$ , $K_A$ , makro-és mezelemek	+	+	+
Vízoldható összes só%		+	+
Szervesanyag tartalom	+	+	+
T-érték	+		+

5. táblázat: A kísérletek talajmikrobiológiai vizsgálatai

	Vizsgált tulajdonság	Bentonit	Fermentlé	Komposzt
Fiziológiai csoportok	r-stratégista baktériumok	+	+	+
	K-stratégista baktériumok	+	+	+
	l-stratégista baktériumok	+	+	+
	Szabodon élő $N_2$ -kötő baktériumok	+	+	+
	Mikroszkopikus gombák	+	+	+
Talaj-enzimek	Invertáz aktivitás	+	+	+
	Kataláz aktivitás	+	+	+
	Dehidrogenáz aktivitás		+	
Talaj-légzés	CO <sub>2</sub> -termelés	+		
Azonosítás	r-stratégisták meghatározása API teszttel	+		

A kezeléshatások vizsgálatára egytényezős és kéttényezős variancia analízist, majd ezt követően az átlagok közötti szignifikáns különbségek vizsgálatára Tukey-tesztet végeztem. Az évek közötti különbségek vizsgálatára t-próbát, a kémiai és mikrobiológiai változók közötti összefüggések feltárására korrelációanalízist, faktoranalízist és diszkriminancia analízist végeztem. A statisztikai vizsgálatokat 95%-os valószínűségi szinten végeztem.

### **3. Eredmények és értékelésük**

A továbbiakban egy-egy alfejezetben mutatom be a három vizsgált anyag talajfizikai, -kémiai és mikrobiológiai tulajdonságokra gyakorolt hatásait.

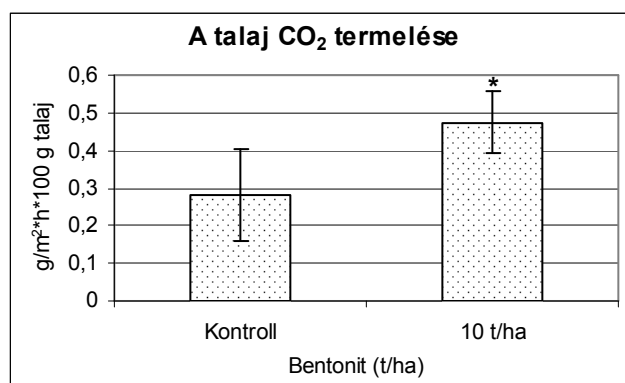
#### ***3.1. A bentonit kezelés hatásainak értékelése***

A bentonittól elsődlegesen elvárt hatást, a talaj vízháztartásának javítását egyszeri alkalmazása után nem tudtam kimutatni. Ennek oka részben a kijuttatás idején tapasztalt száraz periódus, részben – MCKISSOCK et al. (2002) eredményei alapján – a túl nagy szemcseméret volt. A kémhatás minimális emelkedése az öt év átlagában azonban megfigyelhető a 10 és 15 t/ha-os dózissal kezelt mintákban.

A szántóföldi kísérletekben statisztikailag igazolható kezeléshatást a mikrobák számában nem tudtam kimutatni. Az r- és a K-stratégista baktériumok számában azonban erőteljes évjáráthatás volt megfigyelhető. 2004. tavaszán (április) magasabb volt a baktériumszám, mint 2005. és 2006. tavaszán, míg az őszi mintákban ennek éppen a fordítottja volt megfigyelhető. Mivel ez a változás minden kezelésben mérhető volt, ezért nem okozhatta az alkalmazott bentonit. A talajmikrobák szaporodására, évszakos változására a csapadék mennyisége és a talajhőmérséklet változása gyakorol közvetlen hatást.

A K-stratégista baktériumok a kontroll parcellák talajmintáiból voltak nagyobb számban kitenyészthetők, ami összhangban áll azzal, hogy ez a mikrobacsoport a kedvezőtlenebb környezeti viszonyok között kerül előtérbe, mert lassabb szaporodásuk kevesebb erőforrást igényel (KOZDRÓJ, 1995). Az l-stratégista, a szabadon élő N<sub>2</sub>-kötő baktériumok és mikroszkopikus gombák mennyisége a tavaszi mintákban nem mutatott kezeléshatást, míg az őszi mintákban nagyon gyenge tendencia megfigyelhető. Az r- és K-stratégista baktériumok számának vizsgálata az eredmények alapján alkalmasabb a talajban zajló változások jelzésére a másik három fiziológiai csoporttal összehasonlítva.

Annak ellenére, hogy sem a kitenyészthető mikroorganizmus csoportok telepszámában, sem az enzimaktivitásokban nem tapasztaltam szignifikáns kezeléshatást; a talajlégzés mérése, valamint a kitenyészett r-stratégista telepek meghatározási eredményei jelentős különbségeket adtak a kontroll és a 10 t/ha bentonittal kezelt mintákban 2005. szeptemberében (1. ábra). A bentonit kezelés hatására a baktériumközösség vizsgált szegmensében nőtt a kitenyészthető baktériumok változatossága (diverzitása), ami változatosabb anyagcsereutak jelenlétét, ezáltal a változó környezeti feltételekhez történő jobb alkalmazkodást feltételez.



1. ábra. A talajlégzés intenzitását jellemző CO<sub>2</sub> kibocsátás 10 t/ha bentonit kezelés hatására, 2005. szeptemberében. \*: t-próbával szignifikáns különbség a kontrolltól ( $p < 0,05$ ).

A talajlégzés intenzitása és a baktériumszám napi szinten is ingadozik a talajokban (SZABÓ, 2008). Mivel azonban az általam mért eredmények összhangban állnak az ismertetett egyéb eredményekkel, ezért elfogadható az a megállapítás, miszerint a bentonit kezelés – annak is elsősorban a 10 t/ha-os dózisa – képes módosítani a talajok mikrobiológiai és egyéb biológiai tulajdonságait. Annak ellenére, hogy a kémiai eredményekben statisztikailag igazolható hatása nem volt, a baktériumok diverzitását és a talajlégzés intenzitását eredményesen tudta megváltoztatni. Ez a tény igazolja azt a megállapítást, hogy a talajok biológiai aktivitása gyakran érzékenyebben és gyorsabban reagál a talajt érő hatásokra, mint a kémiai vagy fizikai paraméterek (DICK ÉS TABATABAI, 1992). A kitenyészhető mikrobák minőségi vizsgálata és a talajlégzés intenzitásának mérése szintén érzékenyebbnek bizonyult, mint a csíraszámok mennyiségi alakulása és a vizsgálatba bevont enzimaktivitások. Ezekkel a módszerekkel még a bentonit kezelés utáni 3. évben is statisztikailag igazolható különbségeket találtam a kontroll és a 10 t/ha bentonittal kezelt parcellák között.

### 3.2. A fermentlé kezelés hatásainak értékelése

A fermentlé kezelés talajfizikai és –kémiai tulajdonságai közül ki kell emelni a pH-ra gyakorolt hatásokat. Annak ellenére, hogy a fermentlé enyhén lúgos (pH 8,1) kémhatású anyag, mégis a kezelt talajok kémhatásának enyhe (nem szignifikáns) csökkenését tapasztaltam. Ennek okaként a magas ammónia-tartalom jelölhető meg. A fermentlé, mint tápanyag-utánpótló szer alkalmasságát bizonyítja, hogy mindkét talajon nőtt az összes-N, a felvehető P valamint a felvehető K mennyisége is. Legerőteljesebb hatása a P-tartalom növekedésére volt.

A mért mikrobiológiai tulajdonságok közül az invertáz aktivitását mindkét talajon fokozta a fermentlé. míg a dehidrogenáz mért értékei kis mértékben csökkentek. A kataláz



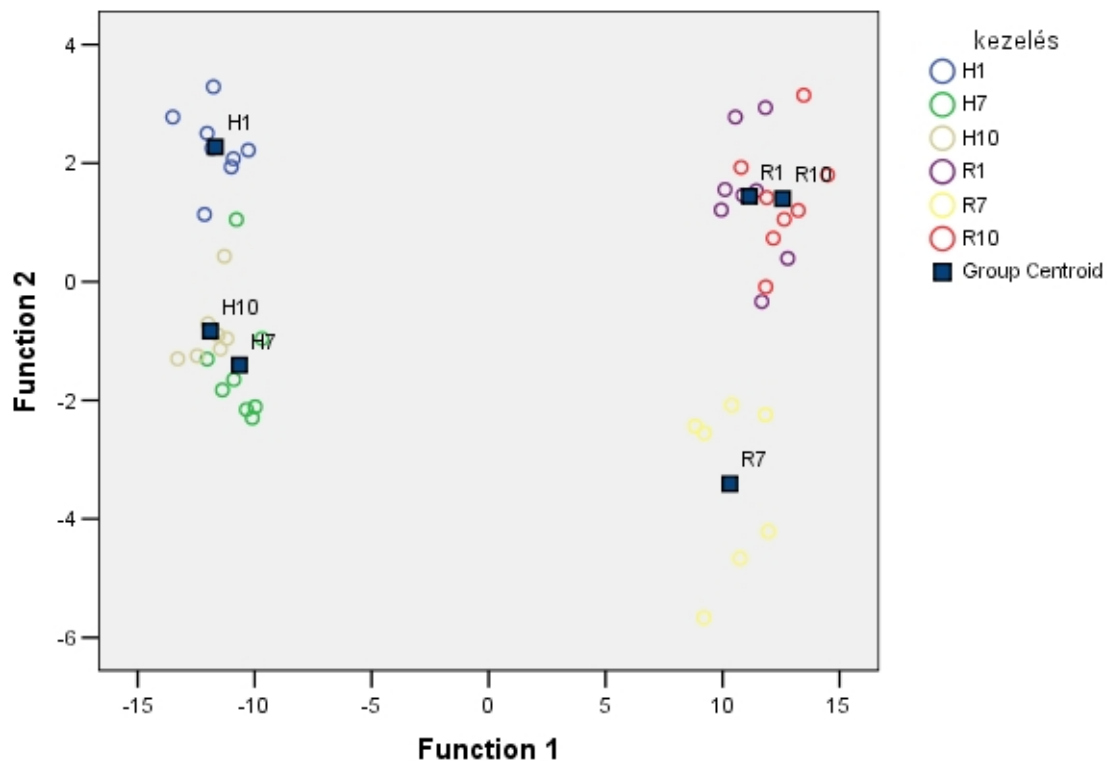
enzim aktivitása a homok talajanyagon nőtt, míg a réti talajanyagon csökkent a fermentlé hatására. Az r-, K- és l-stratégista, valamint szabadon élő N<sub>2</sub>-kötő baktériumok száma nőtt a fermentlé kezelés hatására. A mikroszkopikus gombák száma 2006-ban csökkent, míg 2007-ben nőtt a kontrollhoz viszonyítva.

A fermentlé kezelés hatására a talajban zajló folyamatokat meghatározó tényezők vizsgálatát diszkriminancia analízissel elemeztem. Az értékelés során az adatok a következő diszkrimináló függvényekbe sorolódtak: az 1. diszkrimináló függvény, mely a varianciák 93,8%-át magyarázza, a **talaj kémhatásával és pufferképességével** összefüggésbe hozható változókat tartalmazza. A 2. diszkrimináló függvénybe a **makroelemekkel** (C, N, P) kapcsolatos paraméterek, valamint a **Na** sorolódott. A 3. faktorban a **kataláz aktivitás és a NO<sub>2</sub>-N koncentráció** található. A 4. faktorba a **só** formájában jelen lévő anyagok és a **talajnedvesség** tartozik, míg a **mikrobák és az élettevékenységükhöz szorosan kapcsolódó változók** az 5. diszkrimináló faktorban találhatók. E szerint a rendszer szerint tehát a talaj mikrobaflórájának csak nagyon kicsi szerepe van a talajok és a kezelések elkülönülésében. A kezeléseket az első két függvény mentén ábrázolva a 2. ábrán mutatom be.

A két talajanyag az 1. diszkrimináló változó mentén különül el, míg a kezelések közötti különbség az egyes talajanyagoknál a 2. diszkrimináló változó, azaz a makroelemek és a nátrium koncentrációjának hatására jelentkezik. A homok talajanyagon, amely kevés szerves és ásványi kolloidot tartalmaz, már egy egyszerű öntözés (víz kezelés) hatására is jelentősen megváltoznak a kémiai és mikrobiológiai tulajdonságok, az ábrán a H10-víz és H7-fermentlé kezelések teljesen elkülönülnek a H1-kontroll kezeléstől. A fermentlé hatása, ahogy az várható is volt, valamivel erőteljesebb, mint a vízé, a csoportközép távolabb helyezkedik el a kontrolltól.

A réti talajanyagnál megfigyelhető, hogy a víz kezelés az alkalmazott mennyiségben nem jelentett érdemi beavatkozást, mert a kontroll (R1) és a vízzel kezelt (R10) minták eredményei nem különülnek el egymástól. Ennek oka valószínűleg a réti talajok eleve nagyobb víztartalma lehet. A fermentlé hatása ugyanakkor a plusz tápanyag és mikroba-bevitel miatt ennél a talajtípusnál is erőteljes, a kezelés teljesen elkülönül a kontrolltól.

## Canonical Discriminant Functions



2. ábra. A fermentlé kezelés hatásának vizsgálata diszkriminancia analízissel, homok és réti talajon. H1: homok-kontroll, H7: homok-fermentlé, H10: homok-víz, R1: réti-kontroll, R7: réti-fermentlé, R10: réti-víz.

A diszkriminancia analízis eredményeiből tehát megállapítható, hogy a talajban zajló folyamatokat elsődlegesen a kémhatás határozza meg, a többi paraméter csak módosítja a folyamatokat. A mért mikrobiológiai tulajdonságok az invertáz kivételével csak kismértékben járulnak hozzá a változásokhoz, az eredmények alapján inkább csak követik azokat, alkalmazkodnak hozzájuk és eredményei, eredője a környezeti körülményeknek. Az alkalmazkodás azonban az anyagcsereutak változását vonhatja maga után, ami mindenképpen hozzájárul a talajok folyamatos változásához is, a különböző kezelések hatásának eredményéhez. A mikroorganizmusok rugalmasan és gyorsan képesek alkalmazkodni a környezeti körülményekhez. A földalatti változatosság, sokféleség és sokszínűség ezért mindig nagyobb, mint a növényi borítottságban megnyilvánuló földfeletti.

### ***3.1. A szennyvíziszap komposzt kezelés hatásainak értékelése***

A kísérletet kéttényezős variancia-analízissel értékeltem ki, ahol a tényezők 1) a komposztkezelés dózisa és 2) a tesztnövények voltak. A talaj kémiai paramétereinek változására 2007-ben csak a tesztnövények voltak statisztikailag igazolható hatással az összes-N, a NO<sub>3</sub>-N és a K<sub>2</sub>O-tartalom valamint a vízdoldható összes só mennyiségére. 2007-ben a kiadagolt komposzt-mennyiségek hatását a talajkémiai folyamatok stabil megváltozására nem tudtam igazolni. 2008-ban azonban a komposzt tényező statisztikailag igazolható hatást mutatott a kémhatás, a hidrolitos aciditás, a vízdoldható összes só%, a foszfor-, nátrium- és magnézium-tartalom valamint a kationcsere kapacitás tényezőkre. A tesztnövények 2008-ban is statisztikailag igazolható hatással voltak a NO<sub>3</sub>-N és kálium-tartalomra, valamint a T-értékre. Azokban az esetekben azonban, ahol statisztikailag igazolható hatása csak a növényeknek volt, a növényeken belül a mért érték a dózissal párhuzamosan nőtt vagy csökkent, pl. a szervesanyag- és a kálium-tartalom nőtt, a hidrolitos aciditás csökkent.

A kémiai eredményekhez hasonlóan a tárgyalt mikrobiológiai tulajdonságok statisztikai kiértékelésekor sem tudtam a komposzt hatását kimutatni, tehát a vizsgált mikrobiológiai változók nem bizonyultak érzékenyebbnek a mért kémiai tulajdonságoknál. Az r-stratégisták telepképző egységeinek számában és a kataláz aktivitásában azonban már megfigyelhetők a komposztdózissal növekvő értékek. 2008-ban a K-stratégisták számát és a kataláz aktivitását egyértelműen a komposzt különböző dózisa határozták meg, de az egyéb mikrobiológiai tulajdonságok értéke is nőtt a komposztdózissal párhuzamosan.

A talajok változását nem az egyes tulajdonságok közötti kétoldalú kapcsolatok határozzák meg, hanem a tulajdonságok közötti mátrix kapcsolatok. Annak vizsgálatára, hogy a mért tulajdonságok mely csoportjai – faktorok - határozzák meg a kezelés okozta változásokat, és ezek alapján a mért változók hogyan csoportosíthatók, faktoranalízist végeztem. Ez alapján megállapítottam, hogy a talajban zajló változásokat **elsősorban a talaj kémhatása magyarázza** (1. faktor), a varianciák 28,5%-ában. A 2. faktort a **talajnedvességgel** és az **energianyerő folyamatokkal** azonosíthatjuk. Ennek megmagyarázási aránya 13,7%. A 3. a **sótartalom** és **szerves anyag** faktora, mely a varianciát 10,6%-ban magyarázza. A 4. faktort a **baktériumok** képviselik, ezek a varianciát 7,1%-ban magyarázzák. Az 5. faktorban a **gombák** találhatók 4,9%-os megmagyarázási aránnyal, míg a 6. faktorba a kataláz aktivitás sorolódott 4,8%-os megmagyarázási aránnyal. Ez a faktor a talajok **általános anyagcsere-intenzitását** képviseli (6. táblázat).

6. táblázat. A forgatás után kapott faktorsúlyok a szennyvíziszap komposzt hatásának faktoranalízissel történő elemzésekor.

Paraméterek	Faktorok					
	1	2	3	4	5	6
pH H2O	0,902			0,247		0,119
pH KCl	0,908	0,200		0,235		0,112
y1	-0,815	-0,320		-0,188	-0,119	-0,153
KA	0,165	0,514	0,115	-0,114	0,458	
vízoldható összes só%	0,292	0,228	0,668			0,204
CaCO3%	0,761	0,366				-0,192
humusz%			0,714	0,168	0,179	
N%		0,891				0,114
NO3-N mg/kg			0,735	0,126		0,106
P2O5 mg/kg	0,635	-0,156	0,504		0,114	0,165
K2O mg/kg		0,124	0,497	0,143	0,486	-0,489
Na mg/kg	0,592	-0,170	0,561		-0,104	
Mg mg/kg	0,108	0,514	0,289	-0,221		0,472
t-érték	0,268	0,233	0,728		-0,100	-0,257
r-strat. lg CFU	0,322	0,110		0,733		-0,113
K-strat. lg CFU	0,392			0,675		0,190
l-strat. lg CFU	-0,115		0,177	0,546	0,181	
N-kötő lg CFU	0,142	0,181	0,170	0,515		0,369
gomba lg CFU					0,879	0,131
talajnedv_baci		0,893	0,121		0,142	
invertáz		0,777		0,140		0,177
talajnedv_invertáz	0,184	0,837				
kataláz	0,209	0,316		0,151	0,182	0,646

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization.

Rotation converged in 6 iterations.

A talajban zajló változásokat tehát elsősorban bizonyos kémiai tulajdonságok változása magyarázza, de a különböző mikrobacsoportok tevékenysége, a biokémiai folyamatok intenzitása (enzimaktivitások) is jelentősen befolyásolják a talajban zajló folyamatok irányát, illetve a mikroorganizmusok tevékenysége is ezekhez a kémiai folyamatokhoz járul hozzá közvetve és közvetlenül is. A mikroorganizmusok nagyobb szerepe talán azért nem mutatható ki, mivel azok a talajokban nem állandó komponensek, hanem folyamatosan igazodnak a környezeti hatások diktálta feltételekhez. A mikroorganizmusok különböző fiziológiai csoportjainak a talajok kémiai tulajdonságaira kifejtett hatásai nem azonosak. A talajoknak a mikroorganizmusok által biztosított folyamatos megváltozási képessége a talajtermékenység és a növénytermesztés alapja.

## **7. Új tudományos eredmények**

1. Megállapítottam, hogy a szervesetlen kezelésként alkalmazott bentonit kedvező hatásának érvényesülését a talaj megfelelő nedvességi állapota alapvetően meghatározza. Az általam használt bentonit optimális mennyiségének hatására már egyszeri alkalmazásnál is nőtt a talaj baktérium-közösségének diverzitása, amely hatás a kijuttatása utáni 3. évig is megmaradt. Bentonit kezelés hatására nőtt a növényi növekedésserkentő anyagok termelésére potenciálisan képes baktériumok mennyisége a talajban, ami közvetve is szolgálhatja a növénytáplálást.
2. Igazoltam, hogy a szerves kezelésként alkalmazott biogázüzemi fermentlé és szennyvíziszap komposztok közvetett és közvetlen módon is hozzájárulnak a talajok termékenységéhez és a növénytápláláshoz. A folyamatban diszkriminancia és faktoranalízissel elsőként igazoltam a kémhatás változásának az elsődleges szerepét savanyú homoktalajokon, de a gazdanövénynek a talajtulajdonságokra kifejtett hatásai is bizonyítást nyertek.
3. A vizsgált mikrobiológiai tulajdonságok közül az invertáz és a kataláz enzimek aktivitása a talaj nedvességtartalmával, a kémhatással és a felvehető makroelemek mennyiségével is pozitív kapcsolatban áll. Az invertáz enzim fontos helyet foglal el a talajtani folyamatban, de indikációs alkalmazhatóságát csökkenti, hogy a kataláz enzimmel összehasonlítva jelentős évszakos aktivitással rendelkezik.
4. Megállapítottam, hogy a fizikai-kémiai és a biológiai paraméterek közötti korrelációs összefüggéseket elsődlegesen az adalékanyagok hatására az adott talajokban létrejött kémiai tulajdonságok határozzák meg. Többváltozós statisztikai vizsgálatok eredményeképpen megállapítottam, hogy a direkt és indirekt módon az adalékanyagokkal és a termesztett növényekkel befolyásolt mikrobiológiai tulajdonságok képesek módosítani a talajban zajló folyamatokat, de hatásuk csak a környezeti körülmények (elsősorban a kémhatás) által meghatározott másodlagos következményként jelentkezik.

## **8. Következtetések és javaslatok**

Dolgozatomban szerves és szervesetlen eredetű, talajjavításra alkalmas anyagok hatását vizsgáltam nyírségi talajok fizikai-kémiai tulajdonságaira és mikrobiológiai aktivitására. Ezek

mellett a talajjavító anyagok gazdasági eredményességének fontos mutatóját, a termésmennyiségre gyakorolt hatásukat is mértem a kísérletek során. A talajok tápanyag-utánpótlására, termékenységének javítására felhasználható anyagok között egyre nagyobb jelentősége lesz a különböző eredetű hulladékok és melléktermékek közül azoknak, melyek a talajok számára káros anyagot nem, vagy csak kis mennyiségben tartalmaznak, viszont valamely tulajdonságuk (szerves- vagy szervesetlen kolloidtartalmuk, tápanyagtartalmuk, stb.) a talaj minősége, termékenysége szempontjából hasznos lehet. Ezen a módon a talajjavítás mellett az újrafelhasznált hulladékok mennyisége is növelhető.

A fentieknek megfelelően a szervesetlen bentonit, valamint a szerves biogáz üzemi fermentlé és a szennyvíziszap komposzt hatását vizsgáltam szabadföldi tenyészedényes és kisparcellás kísérletekben.

A vizsgálatok eredményei alapján a bentonit szántóföldi alkalmazására a 10-15 t/ha mennyiség a legkedvezőbb. Pozitív hatását a csapadék vagy az öntözés fokozza, ezért üzemi felhasználása öntözött szántóföldi kultúrákban javasolható. Hasonlóan pozitív hatása várható bármely más öntözhető kultúrában, pl. zöldségkertészetben tápkockakészítéshez, komposztálási adalékanyagként, gyümölcsültetvények egyéb fásszárú növények telepítésénél. Szántóföldi alkalmazásának hatására már egyszeri alkalmazásnál is nőtt a talaj baktériumközösségének diverzitása, amely hatás a kijuttatása utáni 3. évig is megmaradt. Bentonit kezelés hatására bizonyítottan megnőtt a növényi növekedésserkentő anyagok termelésére potenciálisan képes baktériumok mennyisége a talajban, ami közvetve is szolgálhatja a növénytáplálást. A kitenyészthető mikrobák minőségi vizsgálata és a talajlégzés intenzitásának mérése jóval érzékenyebbnek bizonyult, mint a kitenyészthető mikrobák mennyiségi vizsgálata és a vizsgálatba bevont enzimaktivitások, hiszen ezekkel a módszerekkel még a bentonit kezelés utáni 3. évben is statisztikailag igazolható különbség volt a kontroll és a 10 t/ha bentonittal kezelt parcellák között. A bentonit rendszeres alkalmazásához ugyanakkor további vizsgálatokra lenne szükség az optimális adagoknak az aktuális talaj-növény állapothoz való igazításához.

A fermentlé, mint víz- és tápanyagforrás (PFUNDTNER, (2002); SIEBERT et al., 2008; ELSINGA, 2008) megfelel az elvárásoknak, a növények jól hasznosítják, és a talajok mikrobiológiai aktivitását is serkenti. Hatása a homoktalajon sokkal erőteljesebb, mely ennek a talajnak az alacsony a tápanyag-tartalmával magyarázható, ami miatt a kisebb mértékű változások is relatíve jelentősebb hatást eredményeznek. A felhasználás szabályozása biztosítja a talajok minőségének védelmét, de nem gördít felesleges akadályokat a termelők és felhasználók elé. Ezt a szemléletet hazánkban is szükséges lenne átvenni, mert a biogáz

üzemek egyre növekvő száma miatt az elkövetkező években jelentősen meg fog nőni a képződő fermentlé mennyisége (SOMOSNÉ ÉS SZOLNOKY, 2009).

A komposztált szennyvíziszap hatására javult (nőtt) a savanyú homoktalaj kémhatása, szerves anyag- és tápanyag-tartalma, azaz szintén megfelelt az alkalmazásával szemben támasztott elvárásoknak. Hatására nőtt a kitenyészthető mikrobacsoportok csíraszama, az invertáz és kataláz enzimek aktivitása is. A jó minőségű szennyvíziszap komposzt rendszeres alkalmazásának szükségessége mind a képződés, mind a felhasználás, azaz a növénytermesztés oldalán felmerül. Mivel meg kell oldani az egyre nagyobb mennyiségben képződő kommunális szennyvíziszap elhelyezését, további felhasználását, a szerves anyag-hiányban szenvedő talajok erre kézenfekvő lehetőséget kínálnak (KÁDÁR et al., 2009). A jó minőségű komposzt éveken át biztonságosan alkalmazható, amint az hazai és külföldi tartamkísérletek eredményeiből is látszik.

A változók közötti kapcsolatok vizsgálata során igazolódott a kémhatás változásának az elsődleges szerepe az általam tanulmányozott savanyú homoktalajokon, de a gazdanövénynek a talajtani folyamatokra kifejtett hatásai is bizonyítást nyertek. A vizsgált mikrobiológiai tulajdonságok közül az invertáz és a kataláz enzimek aktivitása a talaj nedvességtartalmával, a kémhatással és a makroelemekkel is pozitív kapcsolatban áll. Az invertáz enzim fontos helyet foglal el a talajban zajló folyamatokban, de a környezeti tényezőktől függő módon jelentős évszakos aktivitással rendelkezik. A talajok katabolikus aktivitását meghatározó kataláz enzim évszakos variabilitása elenyésző mértékű. Többváltozós statisztikai vizsgálatok eredményeképpen megállapítható, hogy a vizsgált mikrobiológiai tulajdonságok képesek módosítani a talajban zajló folyamatokat, de - különösen rövidtávon - nincs elsődleges szerepük a folyamatokban, ez a tulajdonság inkább az adalékanyagokkal közvetlenül vagy közvetve befolyásolt egyéb fizikai-kémiai tényezők következményének tekinthető.

Ennek ellenére a kísérleti fázisban lévő új anyagok vizsgálatához érdemes lehet talajbiológiai tulajdonságokat is vizsgálni, mert az így kapott eredmények a termékek minőségének a javítását is szolgálhatják. Ezen túlmenően a biológiai változások időben hamarabb jelezhetnek esetleges, a talajállapotban jelentkező nem várt hatásokat, következményeket. A talajba történő bármilyen beavatkozás ugyanis megváltoztathatja annak számos olyan (elsősorban biológiai) tulajdonságát is, amelyekkel számolnunk kell, illetve a folyamatokat megismerve azok irányítottan alkalmazhatók a termés- és a környezetbiztonság érdekében. A bentonitnak a talajbióta diverzitására vonatkozó hatásai különösen hangsúlyozzák a növénytermesztés és/vagy a talajminőség érdekében a talajmikrobiológiai szempontok fokozottabb figyelembevételét is.

## 9. Irodalomjegyzék

- BERENTE, I., ANTAL, J., FÜLÖP, T. (2010). Biomasszahamuból talajjavító szer. *Hulladéksors*, XI. évf., április, pp. 42-44.
- BOCZ E. (szerk.) (1992). Szántóföldi növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- DICK, W.A., TABATABAI, M.A. (1992). Potential use of soil enzymes. In: Metting, Jr., F.B. (Ed.): *Soil Microbial Ecology: Applications in Agricultural and Environmental Management*. Marcel Dekker, New York. pp. 95-127.
- EGERSZEGI, S (1958). A réteges homokjavítás. *Agrártudomány*, **10**. 1-7.
- EGERSZEGI, S (1962). A homoktalaj tartós megjavítása elméletének és alkalmazásának főbb szempontjai. *MTA Agrártud. Oszt. Közl.* **21**. 113-120.
- ELSINGA, W. (2008). EU No. 1774/2002; Experiences with process validation of biowaste composting and digestion in The Netherlands. Proceedings of the Internationale Conference ORBIT 2008, Wageningen, 13-16 October, 2008. CD-ROM (*ISBN 3-935974-19-1*)
- KÁDÁR, I., PETRÓCZKI, F., HÁMORI, V., MORVAI, B. (2009). Kommunális szennyvíziszap, illetve vágóhídi hulladék hatása a talajra és a növényre szántóföldi kísérletben. *Agrokémia és Talajtan*, **58**. 121-136.
- KOZDROJ, J. (1995): Mikrobial responses to single or successive soil contamination with Cd or Cu. *Soil Biology Biochemistry*, **27**. 1459-1465.
- MAKÁDI M. (2004): Talajjavító anyagok felhasználása és hatásai a nyírségi homokterületeken. In: Iszályné Dr. Tóth Judit (szerk.): *A Debreceni Egyetem Agrártudományi Centrum Kutató Központ jelene és kihívásai az Európai Unióba lépve*. DE ATC Kutató Központ, Nyíregyháza. p. 172-177. Nyíregyháza.
- McKISSOCK, I., GILKES, R.J., WALKER, E.L. (2002). The reduction of water repellency by added clay is influenced by clay and soil properties. *Applied Clay Science*, **20**. 225-241.
- PFUNDTNER E. (2002). Limits and merits of sludge utilisation – Land application. Conference Proceedings of Impacts of Waste Management. Legislation on Biogas Technology. Tulln, 2002. pp.1-10.
- SIEBERT, S., THELEN-JÜNGLING, M., KEHRES, B.(2008). Development of quality assurance and quality characteristics of composts and digestates in Germany. Proceedings of the Internationale Conference ORBIT 2008, Wageningen, 13-16 October, 2008. CD-ROM (*ISBN 3-935974-19-1*)
- SOLTI, G. (2000). Talajjavítás és tápanyagutánpótlás az ökológiai gazdálkodásban. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- SOMOSNÉ, N.A., SZOLNOKY, T. (2009). A biogáz-üzemi kiejedt fermentlé hasznosítása. *Agrokémia és Talajtan*, **58**. 381-386.
- SZABOLCS I., VÁRALLYAY GY. (1978): A talajok termékenységét gátló tényezők Magyarországon. *Agrokémia és Talajtan*, **27**. 181-202
- SZABÓ I. M. (2008). Az általános talajtan biológiai alapjai. Mundus Magyar Egyetemi Kiadó, Budapest.
- WESTSIK V. (1951). Laza homoktalajok okszerű művelése. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.



## 10. A témában megjelent publikációk listája

### Folyóiratcikk

**Makádi M.**, Tomócsik A., Orosz V., Lengyel J., Biró B., Márton Á. (2007): Biogázüzemi fermentlé és Phylazonit MC baktériumtrágya hatása a silókukorica zöldtömegére és a talaj biológiai aktivitására. *Agrokémia és Talajtan* 56: 2 p. 367-378. (ISSN 0002-1837)

**Makádi M.**, Tomócsik A., Orosz V., Lengyel J., Márton Á. (2008): Biogázüzemi fermentlé felhasználásának talajtani hatásai. *Talajvédelem*, p. 465-474. (ISSN 1216-9560)

Vágó I., **Makádi M.**, Kátai J., Balláné Kovács A. (2008): A biogáz gyártás melléktermékének hatása a talaj néhány kémiai tulajdonságára. *Talajvédelem*, p. 555-560. (ISSN 1216-9560)

Kátai J., Vágó I., Tállai M., **Makádi M.** (2008): A biogáz gyártás melléktermékének hatása a talaj néhány mikrobiológiai tulajdonságára. *Talajvédelem*, p. 417-422. (ISSN 1216-9560)

Szegi T., Czibulya Zs., **Makádi M.**, Szeder B. (2008): Szerves – szervesetlen adalékanyagok hatása a nyírségi homoktalajok talajszerkezeti, nedvességgazdálkodási tulajdonságaira és a terméseredményekre. *Talajvédelem*, p. 163-168. (ISSN 1216-9560)

Tomócsik A., **Makádi M.**, Orosz V., Márton Á. (2008): Szennyvíziszap komposzt többszöri tápanyag-utánpótlásra történő hasznosításának hatása a toxikuselem-tartalomra. *Talajvédelem*, p. 355-340. (ISSN 1216-9560)

### Teljes közlemény konferencia kiadványban

**Makádi M.**, Tomócsik A., Orosz V., Bogdányi Zs., Biró B. (2007): Effect of a biogas-digestate and bentonite on some enzyme activities of the amended soils. *Cereal Research Communication* 35 (2): 741-744. (ISSN 0133-3720) (IF 1,190)

**Makádi M.**, Tomócsik A., Kátai J., Eichler-Loebermann, b., Schiemenz, K. (2008): Nutrient cycling by using residues of bioenergy production - Effects of biogas-digestate on plant and soil parameters. *Cereal Research Communication* 36: 1807-1810. (ISSN 0133-3720)

Szeder, B., **Makádi, M.**, Szegi, T., Tomócsik, A., Simon, B. (2008): Biological and agronomic indicators of the impact of field-scale bentonite application. *Cereal Research Communication* 36: 911-914. (ISSN 0133-3720)

**Makádi M.**, Tomócsik A., Orosz V., Lengyel J., Márton Á. (2006): Agricultural utilization of a liquid manure originated from a biogas plant. Proc. Internationale Conference ORBIT 2006 Biological Waste Management; From Local to Global. Weimar, 13-15 September, Part 2, p. 635-642. (ISBN 3-935974-09-4, Digital Proceeding on CD-ROM ISBN 3-935974-10-8)

**Makádi M.**, Tomócsik A., Lengyel J. Bogdányi Zs, Márton Á (2007): Application of a digestate as a nutrient source and its effect on some selected crops and soil properties. Joint Int. Conf. on Long-term Experiments, Agricultural Research and Natural Resources. Debrecen-Nyírlugos, 31. May-1.June, pp. 102-107. (ISBN 978-963-473-054-5)

**Makádi, M.**, Tomócsik, A., Lengyel, J., Márton, Á. (2008): Problems and success of digestate utilization on crops. Proceedings of the Internationale Conference ORBIT 2008, Wageningen, 13-16 October, 2008. CD-ROM (ISBN 3-935974-19-1)

Tomócsik A., **Makádi M.**, Mészáros J., Tóth Gy., Márton Á. (2008): Use of composted sewage sludge in agriculture. Proc. Internat. Conference ORBIT 2008, Wageningen, 13-16. October, 2008. CD-ROM (*ISBN 3-935974-19-1*)

**Makádi M.**, Tomócsik A. (2009): Rendszeres fermentlé alkalmazás hatása a homoktalaj tápelem-tartalmára. Tartamkísérletek a mezőgazdaság szolgálatában (80 éves a Westsik vetésforgó) In: Iszállyné dr Tóth Judit (szerk.): Debreceni Egyetem Agrár- és Műszaki Tudományok Centruma Kutatási és Innovációs Központ Nyíregyházi Kutató Intézet. Nyíregyháza, p. 183-192. (*ISBN 978-963-473-292-1*)

Szegi, T., Czibulya, Zs., **Makádi, M.**, Gál, A., Tombácz, E. (2010). Improvement of physical and chemical properties of Hungarian sandy soils by adding organic and inorganic amendments. In: Gilkes RJ, Prakongkep N (Eds): Soil Solutions for a Changing World; *ISBN 978-0-646-53783-2*; Published on DVD; <http://www.iuss.org>; 2010 Aug 1-6. Brisbane, Australia