

Egyetemi doktori (PhD) értekezés tézisei

**BENTONIT ÉS ZEOLIT HATÁSA SAVANYÚ HOMOKTALAJOK
TULAJDONSÁGAIRA ÉS BIOLÓGIAI AKTIVITÁSÁNAK VÁLTOZÁSÁRA**

Tállai Magdolna

Témavezető: Dr. Kátai János



DEBRECENI EGYETEM

**Hankóczy Jenő Növénytermesztési-, Kertészeti- és Élelmiszertudományok Doktori
Iskola**

Debrecen, 2011.

1. BEVEZETÉS

Napjainkban világszerte elterjedt fogalom a „fenntartható mezőgazdaság” fogalma, melynek egyik alappillére ma Magyarországon, hogy a legfontosabb természeti erőforrásunkat képező talajkészleteinket ésszerűen hasznosítsuk, védjük, állagukat megőrizzük, és sokoldalú funkcióképességüket fenntartsuk (*Várallyay, 2005*).

Talajjavítás szempontjából különös tekintettel kell lenni azokra a talajokra, melyek kedvezőtlen szerkezettel, víz-, hő-, levegő- és tápanyag-gazdálkodással rendelkeznek. Ide tartoznak a homok textúrájú talajok, melyek Magyarország talajainak igen jelentős (több mint 1,2 millió ha-t) részét teszik ki.

A korszerű növénytermesztéssel és mezőgazdasági tevékenységgel szemben mára hazánkban is fokozott elvárás a környezetkímélő és fenntartható gazdálkodás, melynek keretein belül olyan módszerek bevezetésére került sor, amelyek a vegyi készítmények alkalmazása nélkül, vagy annak csökkentésével, is megőrzik, sőt javítják a talaj termékenységét (*Zsuposné, 2007*).

Az integrált növénytermesztés keretein belül számos lehetőség kínálkozik, melyek során természetes anyagokkal javíthatjuk a talajok termékenységét. A savanyú homoktalajok természetes javítóanyagainak körét *Lazányi (2003)* három csoportba sorolta:

1. a táblán megtermelhető zöldtrágya és egyéb szerves anyagok csoportja,
2. azok, melyek az állattenyésztés melléktermékeként kerülnek vissza a talajra, így az istállótrágya és a komposzt,
3. a bányászott talajjavító anyagok, úgy, mint az alginit, a bentonit, vagy a zeolit.

A környezeti terhelés elkerülésének igénye miatt, illetve a fenntarthatóság követelményeit szem előtt tartva napjainkban a mezőgazdaság felé terelődtek a hazánkban is rendelkezésre álló, bányászható természetes anyagok (pl. a bentonit és zeolit) alkalmazása a talajjavításban.

A DE AGTC Agrokémiai és Talajtani Intézete kapcsolódott egy homokjavítási kísérlethez, melynek keretében 2003 és 2005 között vizsgáltuk, hogy a bentonit - mint a homok textúrájú talaj perspektivikus javítóanyaga - hogyan befolyásolja a talaj különböző fizikai, kémiai, és mikrobiológiai tulajdonságait.

Ezen vizsgálatok folytatásaképpen a DE AGTC Agrokémiai és Talajtani Intézetének tenyészházában tenyészedenyes kísérletet állítottunk be homok textúrájú talajon. 2007 és 2010 között vizsgáltuk kontrollált körülmények között a bentonit, valamint a zeolit természetes anyagok növekvő dózisainak hatását a talaj néhány kémiai és mikrobiológiai tulajdonságára, és a rajta termesztett tesztnövény biomassza mennyiségére. Tesztnövényként a tenyészedenyes kísérletekben az angolperjét (*Lolium perenne* L.) alkalmaztuk.

2. A KUTATÁS CÉLKITŰZÉSEI

A vizsgálatok során arra kerestük a választ, hogy a **bentonit**, és a **zeolit** természetes anyagok különböző dózisa (alapkezelések mellett), milyen hatással vannak a talaj néhány fizikai, kémiai és mikrobiológiai tulajdonságára, így

- a talaj nedvességtartalmára,
- víztartó és vízemelőkéességére,
- a talaj kémhatására,
- a talaj könnyen oldható tápanyagtartalmára (a talaj nitrát-N tartalmára, az AL-oldható foszfor-, és káliumtartalmára),
- az összes-csíraszám és a mikroszkopikus gombák mennyiségi előfordulására,
- a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulására, valamint a nitrát feltáródására,
- a cellulózbontó baktériumok mennyiségére, a talaj CO₂-termelésére, valamint
- a talaj mikrobiális biomassza-C és N tartalmára, és
- néhány talajenzim aktivitására (foszfatáz, szacharáz, ureáz).
- A tenyészedenyes vizsgálatok alatt meghatároztuk a tesztnövény biomassza mennyiségét.

3. ANYAG ÉS MÓDSZER

3.1. A kísérletben felhasznált bentonit és zeolit néhány tulajdonsága

A **bentonit** az agyaghoz hasonló kolloid-dús közet, mely főleg montmorillonitból áll. Zsíros tapintású, fehér, sárgásbarna, vagy szürke színű. Vízen meglágyul, szétázik, duzzadóképesége térfogatának 15-20-szorosát is elérheti.

A **zeolitok** Na-, Ca-alumíniumszilikátok. A csoport ismertebb ásványai a nátrólit, a chabazit, a mordenit, és a klinoptilolit. Színük fehér vagy szürkésfehér. Fő jellemzőjük, hogy a rácshézagokban kötött kationok egy része más fémionnal cserélhető ki (ioncsere), illetve, hogy víztartalma hevítéssel eltávolítható, majd később újra fölvehető.

A felhasznált ásványi anyagok (1. táblázat) az Arany-féle kötöttségi szám értéke és a leiszapolható rész aránya alapján a vályog textúrájú talajhoz hasonló. A sótartalmuk alacsony, kémhatásuk gyengén lúgos ($\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}=7,3; 7,9$). Szerves-C és N tartalmuk kicsi. A bentonit könnyen oldható foszfortartalmát tekintve „közepes ellátottságú”, míg könnyen oldódó káliumtartalma „igen magasnak” bizonyult. A zeolit foszfortartalma „megfelelő” -nek bizonyult, azonban könnyen oldódó káliumtartalma rendkívül „magas” volt.

1. táblázat: A kísérletben felhasznált bentonit és zeolit fontosabb fizikai és kémiai tulajdonságai

<i>Vizsgált paraméterek</i>	<i>Bentonit</i>	<i>Zeolit</i>
Leiszapolható rész (Li %)	38	38
Arany-féle kötöttségi szám (K_A)	39	41
Só (%)	0,03	0,08
Kémhatás $\text{pH}_{(\text{deszt.víz})}$	7,3	7,9
$\text{pH}_{(\text{KCl})}$	6,4	7,0
Humusztartalom (Hu %)	0,05	0,02
Szerves-C (mg %)	29	14
Összes-N (mg %)	6,7	4
Nitrát-nitrogén (mg/1000g)	11,2	6,9
AL-oldható P_2O_5 (mg/1000g)	159	171
AL-oldható K_2O (mg/1000g)	570	1010

3.2. A kísérlet talajai

Mind a szabadföldi, mind a tenyészedényes kísérlet során savanyú kémhatású, homok textúrájú talajokon történt a beállítás. A kísérletekben alkalmazott talajok vizsgált tulajdonságait az 2. táblázat tartalmazza.

A kispercellás, bentonit kísérlet vizsgált talaj típusa kovárványos barna erdőtalaj volt, míg a tenyészedényes kísérletben mind a bentonit, mind a zeolit hatásának vizsgálatához Pallagról behozott humuszos homoktalajt használtunk.

Fizikai jellemzői (leiszapolható részek aránya, Kuron-féle higroszkóposság, K_A kötöttségi szám) alapján a talajok textúrája: homok.

A talajok térfogattömege az átlagos értéknél nagyobbak bizonyult. A laboratóriumban mért minimális vízkapacitás értéke 24 tömeg%, amely alacsonynak tekinthető. A művelt réteg kémhatása savanyú (pH_{H_2O} 5,3; 5,6) volt. Mindkét talajtípus humuszban szegény. A talajok tápanyag-ellátottságát a vizsgált talajok nitrogénben szegények, foszfortartalmukat tekintve közepesen ellátottak, míg a felvehető káliumtartalma a kovárványos barna erdőtalajnak „megfelelő”, a humuszos homoktalajnak „jó”-nak minősíthető.

2. táblázat: A felhasznált talajok főbb jellemzői

<i>Vizsgált paraméterek</i>	<i>Kovárványos barna erdőtalaj</i>	<i>Humuszos homoktalaj</i>
Leiszapolható rész (Li %)	10	10
Higroszkóposság (hy)	0,8	0,7
Arany-féle kötöttségi szám (K_A)	<30	30
Fizikai talajféleség	Homok	homok
Térfogattömeg (g/cm^3)	1,5	1,6
Porozitás (%)	43	39
Minimális vízkapacitás (VK_{min})	24	24
Kémhatás pH ($pH_{deszt.víz}$)	5,3	5,6
$pH_{(KCl)}$	4,3	4,6
Hidrolitos aciditás (y_1)	11,9	12,1
Humusztartalom (Hu %)	1,11	0,71
Szerves-C (mg%)	645	413
Összes-N (mg%)	86	70
Nitrát nitrogén (mg/1000g)	6,5	3,8
AL-oldható P_2O_5 (mg/1000g)	149	89
AL-oldható K_2O (mg/1000g)	251	211

3.3. A kísérleti háttér

A vizsgálatokat szabadföldi kísérlet keretében a bentonittal, tenyészedényes körülmények között a bentonittal és a zeolittal végeztük.

3.3.1. A kisparcellás kísérlet

Az Agrokémiai és Talajtani Intézet 2003 – ban kapcsolódott Nyíregyházán egy különböző bentonit dózisokkal beállított szabadföldi kisparcellás kísérlethez, melynek beállítására a DE AGTC Nyíregyházi Kutatóközpont Kísérleti Telepén 2002-ben került sor. Az ott termesztett növények a következők voltak: zöldborsó (*Pisum sativum* L.), csemegekukorica (*Zea mays* var. *Saccharata* L.), pohánka (*Fagopyrum esculentum* Moench), mustár (*Sinapis alba* L.), rozs (*Secale cereale* L.) (Makádi, 2010). Szabadföldi vizsgálatainkat ebben a kísérletben végeztük, vizsgálva a homok textúrájú talaj nedvességtartalmának változását, valamint a talaj néhány kémiai és mikrobiológiai tulajdonságát.

A területen négyismétléses blokk elrendezésben, 10 x 10 m-es kisparcellákon történt a kísérlet beállítása. A kisparcellákra az előzőleg területarányosan kimért bentonit mennyiségek kiszórása lapáttal, majd bedolgozása a talaj 0-25 cm-es rétegébe szántással történt. A bentonit szemcsefrakciója 0-5 mm, a kijuttatás 2002 tavaszán közvetlenül a vetések alá bedolgozva történt. Talajmintáinkat a kontroll és a növekvő bentonit adagokkal kezelt (5, 10, 15, 20 t/ha) parcellákból gyűjtöttük. A vizsgálatok az átlagmintából történtek. A különböző kezeléseket és azok jelöléseit a 3. táblázat tartalmazza.

3. táblázat: A kísérletben alkalmazott kezelések és azok jelölése a táblázatban (Nyíregyháza, 2003-2005)

Minták száma és a kezelések		
<i>Jelölések</i>	<i>Bentonit</i>	<i>Dózisok (t/ha)</i>
0.	-	0
1.	1x	5
2.	2x	10
3.	3x	15
4.	4x	20

3.3.2. A tenyészedényes kísérlet

A szabadföldi kísérletek folytatásaképpen tenyészedényes kísérletet állítottunk be az Intézet tenyészházában. Tenyészedényben a bentonit mellett, egy másik természetes anyag, a zeolit hatását is vizsgáltuk, mint a homoktalaj másik lehetséges perspektivikus javítóanyagát.

Tanulmányoztuk, hogy a bentonit és zeolit miként befolyásolta a pallagi humuszos homoktalaj néhány fizikai, kémiai, és mikrobiológiai tulajdonságát, valamint befolyásolják-e a növekvő dózisok a növényi biomassa mennyiségi alakulását. Tesztnövényként az angolperjét (*Lolium perenne* L.) használtuk.

A bentonit és zeolit kísérletekben – mivel a kísérleti edényekben a talajt meghatározott súlyra öntöttük – nem volt módunk a különböző dózisok függvényében megállapítani a talaj nedvességtartalmának változását. A nedvességtartalom változását csak a szabadföldi kísérletben tudtuk nyomon követni. Azonban ezen kísérletek csak a bentonit vizsgálatára irányultak, a zeolit talajnedvesség-befolyásoló képességére vonatkozóan csak laboratóriumi vizsgálatokat végeztünk.

A tenyészedényes kísérlet beállítása a DE AGTC Agrokémiai és Talajtani Intézet tenyészházában történt. A kísérlet időtartama: 2007-2010. A kezelések a bentonit és a zeolit ugyanazon dózisaival történtek. A tenyészedényes kísérlet differenciált kezeléseit a 4. táblázat tartalmazza.

4. táblázat: Tenyészedényes kísérlet kezelései és a dózisok (2007-2010)

Jelölések		Kezelések	BENTONIT	ZEOLIT	Dózisok (g kg ⁻¹)
B0	Z0	Kontroll	-	-	0
B1	Z1	Kis dózis	*1x	*1x	5
B2	Z2	Közepes dózis	2x	2x	10
B3	Z3	Közepes-nagy dózis	3x	3x	15
B4	Z4	Nagy dózis	4x	4x	20
* a szántóföldi felhasználás (5t ha ⁻¹) 3x-os mennyisége					

A bentonit és zeolit kísérlet minden évben hat kg-os, alul perforált edényekben került beállításra, a négy év során ugyanazon talaj került visszaforgatásra. A kísérletet 2007-ben három ismétlésben állítottuk be, a következő években a kezelések utóhatásait tanulmányoztuk. A kísérleti edények elhelyezése randomizálva, véletlenszerűen történt.

Öt kezelést három ismételtsben, a bentonitot és zeolitot alkalmazva összesen harminc edény került felhasználásra. A talajok nedvességtartalmát a maximális vízkapacitás 70%-ára állítottuk be, majd naponta állandó tömegre öntöztük. Modellkísérletünkben a tesztnövény az angolperje (*Lolium perenne* L.) volt. A vetés minden vizsgálati évben tavasszal, március végén történt, szórva vetéssel. Minden edény felületére hat g vetőmag került, a bedolgozás kézzel történt. A magok kelési ideje 8–10 nap, mely során az edények felületét sötét fóliával takartuk. A fólia eltávolítása után számoltuk a kétszer négy hét tenyészidőt, mely április– május hónapokra esett. A laboratóriumi vizsgálatok elvégzésére közvetlenül a mintavételek után került sor. A talajminta vételezés a tenyészidőszak negyedik, és nyolcadik hetében történt mind a négy tenyészidőszakban. Egy edényből három pontminta vételére került sor. A talajok laboratóriumi vizsgálatait mindkét mintavételezés alkalmával alapos homogenizálás után az Intézet talajkémiai- és mikrobiológiai laboratóriumában végeztük. A mintavételek alkalmával a növényi biomasszát betakarítottuk, a mintákat átlagoltuk, aprítottuk, daráltuk – mely művelet során a minták homogenizálódtak – szárítottuk, majd meghatároztuk tömegüket. A vágás ollóval történt, a talaj felszíne felett két cm-rel.

Alapkezelésként minden edény $6 \times 100 \text{ mg kg}^{-1}$ N-t kapott $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ oldat formájában, valamint $6 \times 100 \text{ mg kg}^{-1}$ P_2O_5 és 100 mg kg^{-1} K_2O -t kálium-dihidrogén-foszfát és kálium-szulfát közös oldataként.

3.4. Vizsgálati módszerek

A **talajfizikai tulajdonságok** közül mértük a talajok nedvességtartalmát Klimes-Szmik (1962) módszere alapján. Továbbá a kontroll talajoknál meghatároztuk a leiszapolható rész%-ot ($\text{Li}\%$), az Arany-féle kötöttségi számot (K_A), melyekből a vizsgált talajtípusok textúra csoportjára (fizikai talajféleségére) következtettünk. Ezen túl mértük a kontroll talajok térfogattömegét is (Filep, 1995).

A **talajok kémiai tulajdonságaira**, valamint a tápanyagtartalomra vonatkozóan megállapítottuk a talajszuszpenzió H^+ -ion mennyiségét kifejező desztillált vizes pH értéket, valamint a rejtett savanyúságot mutató KCl-os pH értéket. A talajok kémhatásviszonyait tanulmányozva meghatároztuk a hidrolitos aciditás értékeit is (Filep, 1995). Mértük a humusztartalmat (Székely, 1960. cit. Buzás, 1988), melyből következtettünk a talaj szerves-C tartalmára (Hargitai, 1988 cit. Filep, 1995). A kontroll

talajok CaCO_3 -ra átszámított összes karbonát tartalmát a Scheibler-féle kalciméterrel határoztuk meg (Buzás et al. 1988). A talajok nitrát-N tartalmát, valamint a nitrát-feltáródás mértékét Na-szalicilátos módszerrel (Felföldy, 1987), az AL-oldható foszfor és kálium tartalmát (Egnér et al. 1960) szerint határoztuk meg.

A **mikrobiológiai vizsgálatok** sorában az összes csíraszámot (húsleves-agaron) és a mikroszkopikus gombák mennyiségét (pepton-glükóz-agaron) talaj-vizes szuszpenzióból lemezöntéssel határoztuk meg (Szegei, 1979). A cellulózbontó, valamint a nitrifikáló baktériumok számát Pochon-Tardieux, (1962) szerinti legvalószínűbb csíraszám (MPN) módszerével állapítottuk meg. A talaj mikrobiológiai aktivitásának szempontjából mértük továbbá a talajok szén-dioxid-termelését Witkamp (1966. cit. Szegei, 1979) módszere alapján, meghatároztuk a talaj biomassza-C és -N tartalmát kloroform fumigációs-inkubációs eljárással (Jenkinson et al. 1976), valamint néhány enzimvizsgálatot végeztünk, így meghatároztuk az ureáz (Kempers cit. Filep, 1995), a szacharáz (Bertrand cit. Szegei, 1979), a foszfatáz (Krámer-Erdei, 1959), a kataláz, valamint a dehidrogenáz (Szegei, 1979) enzimek aktivitását.

Tesztnövényként az angolperjét (*Lolium perenne* L.) alkalmaztuk. Minden talajmintavétel alkalmával, évente kétszer történt a növények vágása. A vágás a talaj felszíne felett két centiméterrel, ollóval történt. A nedves zöldtömeget először ismert tömegű papírzacskóban a friss levegőn két hétig szárítottuk, majd szárítószekrénybe tettük. A száraz tömeget aztán g kg^{-1} edény mértékegységben adtuk meg.

3.5. A mintavételezés és a feldolgozás módja

A talaj- illetve a növényminták laboratóriumi vizsgálatait a mintavételezések után a DE MÉK Agrokémiai és Talajtani Intézetének talajkémiai- és mikrobiológiai laboratóriumában végeztük.

3.5.1. Talajminták

A **szabadföldi kísérletben** a kezelt területekről véletlenszerűen vettünk parcellánként négy-négy pontmintát mindhárom vizsgálati év során, 2003 és 2005 között. A mintavétel minden évben tavasszal történt (májusban). A talajmintát a talaj

felső 2-20 cm-es rétegéből gyűjtöttük egyszer használatos nylonzacskókba. Az átlagmintát a részminták homogenizálásával kaptuk. A minták nedvességtartalmát mintavétel után azonnal mértük, a mintákat a vizsgálatok idejéig + 5 °C-on hűtőszekrényben tároltuk.

A **tenyészédényes vizsgálatokban** a mintavételek 2007 és 2010 között minden tenyészidőszakban kelést követően a negyedik, és nyolcadik hétben történtek, így egy tenyészidőszakban két mintavételre került sor. A második mintavétel egybe esett a tenyészédényes kísérletek befejezésével. A talajmintavételekkel egy időben történt a növények vágása is, amelyekből később száraz növényi tömeget mértünk. A vetés minden év tavaszán, 2007-ben május 14-én, 2008-ban április 21-én, 2009-ben április 27-én, 2010-ben május 11-én történt. A talajminták előzőleg sterilizált, jól záródó edényekben kerültek a laboratóriumba. A mintavételek a három ismétlés edényeiből alapos homogenizálás után kerültek az edényekbe. A mikrobiológiai vizsgálatok elvégzéséig a talajmintákat a hűtőszekrényben tároltuk.

3.5.2. Növényi minták

A kisparcellás kísérlet beállításának egyik célja a talajminták vizsgálata volt, a másik az ott termesztett növények termésbecslése, fenológai vizsgálata. A kísérletben a mi célunk a talajban lejátszódó folyamatok egy részének a nyomon követésére irányult, és nem tűztük ki célul az ott termesztett növények termésmennyiségének meghatározását. A kisparcellás kísérletben termesztett növények: zöldborsó (*Pisum sativum* L.), csemegekukorica (*Zea mays* var. *Saccharata* L.), pohánka (*Fagopyrum esculentum* Moench), mustár (*Sinapis alba* L.), rozs (*Secale cereale* L.) (Makádi 2010).

Tenyészédényes vizsgálatainkban tesztnövényként az angolperjét (*Lolium perenne* L.) alkalmaztuk. Minden talajmintavétel alkalmával, évente kétszer történt a növények vágása. A vágás a talaj felszíne felett két centiméterrel, ollóval történt. A nedves zöldtömeget először ismert tömegű papírzacskóban a friss levegőn két hétig szárítottuk, majd szárítószekrénybe tettük, ahol 40°C-on egy hétig száradtak a növényi minták. A száraz tömeget aztán analitikai mérlegen visszamértük és a növényi biomasszázt száraz tömeg g kg⁻¹ edény mértékegységben adtuk meg. Az eredmények ismertetése során a növényi biomasszázt az évenkénti két mintavétel összegeként tüntettük fel.

3.5.3. Statisztikai feldolgozás módja

Az eredmények értékelése során statisztikai elemzést készítettünk. Kiszámoltuk a mintavételi átlagokat, a szórást. F-próbát végeztünk variancia analízissel. Ha az F-értékek 1-től lényegesen eltérnek, akkor a középértékek szórásnégyzetét a véletlen hibahatáron túlmenően valódi kezeléshatások okozhatták. Ahhoz azonban, hogy ezt megtudjuk, szignifikáns differenciát számoltunk a mezőgazdaságban általánosan elfogadott $p=5\%$ -os szinten. Összevetettük a kontrollhoz képest az egyes kezelések hatását, illetve megvizsgáltuk az egyes kezelések hatása közötti különbségeket, melyek hatása bizonyult szignifikánsnak 95% -os valószínűségi szinten. A dolgozatban azonban feltüntetésre kerültek a hibahatár értékei 1% -os valószínűségi szinten is (Szűcs, 2002).

Az egyes vizsgált kémiai és mikrobiológiai talajparaméterek közötti összefüggések feltárására korreláció analízist végeztünk és ahol a korrelációs koefficiens az „r”-értéke szoros összefüggést bizonyított, ott regresszió analízist végeztünk.

Annak vizsgálatára, hogy a mért tulajdonságok mely csoportjai határozzák meg a kezelések okozta változásokat, és ezek alapján a vizsgált változók hogyan csoportosíthatók, faktoranalízist végeztünk.

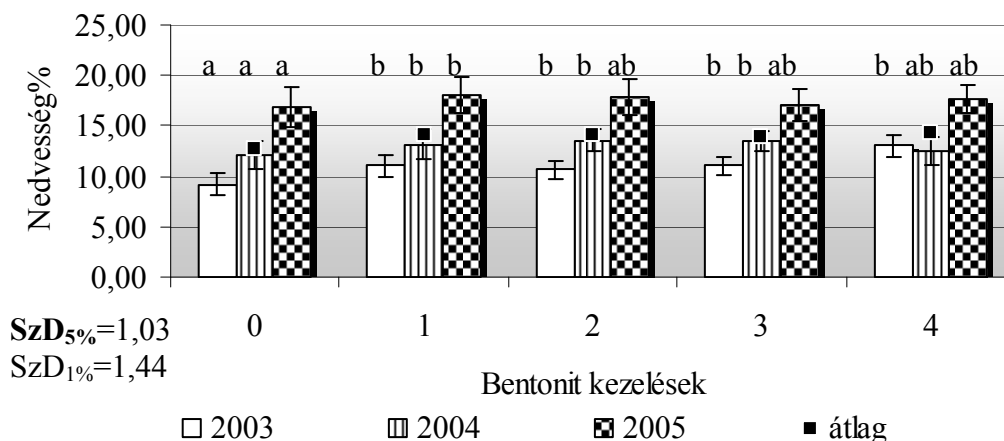
A kezelések hatásának erősségét a talaj néhány mikrobiológiai tulajdonságára a Cohen-együttható értékének kiszámításával határoztuk meg (Pallant, 2005).

A statisztikai számításokat SPSS 13.0 for Windows, valamint Microsoft Office Excel programokkal végeztük.

4. VIZSGÁLATI EREDMÉNYEK ÉS AZOK ÉRTÉKELÉSE

4.1. Bentonittal és zeolittal kezelt talajok fizikai tulajdonságainak alakulása

A talaj **nedvességtartalma** a három szabadföldi kísérleti év során növekvő tendenciát mutatott a kontroll talaj nedvességtartalmához viszonyítva (1. ábra). Már a kis dózisú bentonit is szignifikánsan növelte a talaj nedvességtartalmát. A dózisok hatása között statisztikailag igazolható különbséget nem tudtunk kimutatni.



1. ábra: Bentonit hatása a homoktalaj nedvességtartalmának változására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

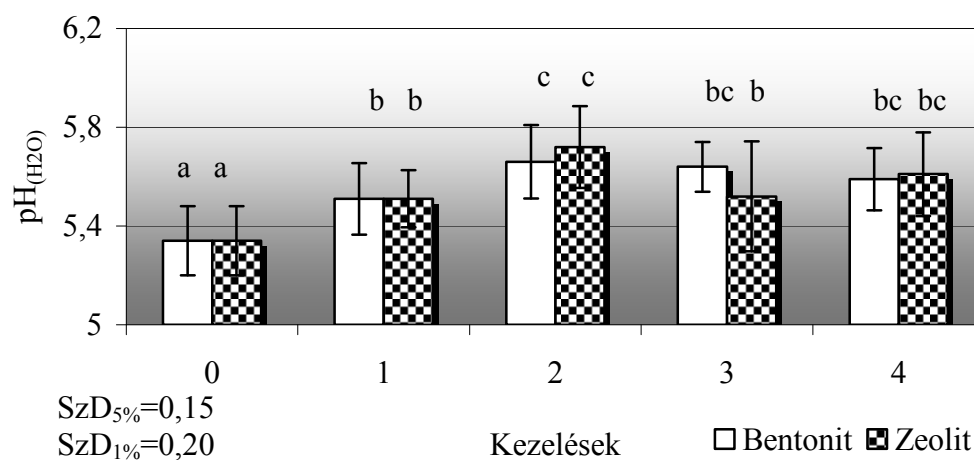
A jelentős adszorpciós tulajdonságokkal rendelkező bentonit, és zeolit homok textúrájú talajban növelte a talaj **vízemelő- és víztartó-képességét**. A vízemelés mértéke mindkét természetes anyagnál a nagy dózis mellett volt a legkisebb, azonban szignifikáns különbség nem volt köztük. A bentonit a homoktalaj vízmegtartó képességéhez mérten 10%-kal több vizet tartott meg, mint a zeolit (5. táblázat).

5. táblázat: Bentonit és zeolit vízemelő-és víztartóképessége és azok hatása a homoktalajra

Kezelések sorszáma	Dózisok (g 100g ⁻¹)		Vízemelés (mm) 5h ⁻¹		Víztartás (ml h ⁻¹ 100g ⁻¹)	
	Kontroll		Bentonit	Zeolit	Bentonit	Zeolit
	Bentonit	Zeolit	430	340	62,50	58,5
0.	Kontroll homok		468 a	468 a	38,5 a	38,5 a
1.	0,5		468 a	455 a	38,5 a	38,0 a
2.	1		465 a	448 a	40,0 a	39,5 a
3.	1,5		460 a	440 a	42,5 b	40,5 ab
4.	2		455 a	438 ab	43,5 b	41,5 ab
SzD_{5%}			29		2,2	
SzD_{1%}			39		3,0	

4.2. Bentonittal és zeolittal kezelt talajok kémiai tulajdonságainak alakulása

A talaj kémiai tulajdonságai közül vizsgáltuk a **kémhatás** alakulását vizes és 1 M-os kálium-kloridos szuszpenzióban, illetve ezzel kapcsolatosan mértük a **hidrolitos aciditás** mértékét. A talaj kémhatása (2. ábra) a semleges irányba tolódott el, mellyel párhuzamosan a hidrolitos aciditás értékei is csökkentek. A szignifikánsan nagyobb pH-értéket a közepes dózis mellett határoztuk meg. A bentonit és zeolit hatása között a kémhatásban nem tudtunk statisztikai különbséget kimutatni.



2. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj vizes közegben meghatározott kémhatására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A **tápanyagok felvehetősége** különbözött a szabadföldi kisparcellás és a tenyészedényes kezelésekben, amely a kísérleti növények eltérő igényével magyarázható. Az N, P és K közül, a nitrát-N tartalom az évek folyamán csak kevésbé változott, és a foszfor tartalomra vonatkozóan is csak kisebb mértékű változásokat állapítottunk meg. A kálium felvehetősége pedig főleg a zeolit alkalmazásával nőtt. A tápanyagtartalom tekintetében a bentonitnál a közepes dózisok mellett határoztuk meg a magasabb értékeket (10 t ha⁻¹), míg a zeolitnál a nagy dózisok mellett (20 t ha⁻¹) (6. táblázat).

6. táblázat: Növekvő dózisú bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

Dózisok	Nitrát-N (mg 1000g ⁻¹)	AL-P ₂ O ₅ (mg 1000g ⁻¹)	AL-K ₂ O (mg 1000g ⁻¹)
Bentonit			
0.	3,69 a	89,33 a	229,75 a
1.	4,42 a	98,25 a	270,83 b
2.	4,56 a	104,75 ab	275,54 b
3.	3,86 a	90,76 a	258,33 b
4.	3,60 a	90,34 a	243,75 ab
Zeolit			
0.	3,69 a	89,33 a	229,75 a
1.	4,20 a	104,70 ab	255,42 ab
2.	4,36 a	99,30 a	291,46 bc
3.	4,00 a	109,96 b	313,00 bcd
4.	3,64 a	109,85 b	342,50 e
SzD_{5%}	1,07	10,28	24,49
SzD_{1%}	1,41	13,55	32,30

4.3. Bentonittal és zeolittal kezelt talajok mikrobiológiai tulajdonságainak alakulása

A tizenegy vizsgált **talajmikrobiológiai paraméter** közül a bentonit a szabadföldi körülmények között hét paraméterre, tenyészedényes körülmények között tíz paraméterre kedvező hatást mutatott. A zeolit mind a tizenegy vizsgált talajmikrobiológiai paramétert növelte. A talaj mikrobiológiai tulajdonságát illetően is a zeolit bizonyult – ugyan nem szignifikánsan – serkentőbbnek, hiszen a tizenegy paraméterből hét esetben növelte nagyobb mértékben a vizsgált mikrobiológiai talajtulajdonságokat. Mind a szabadföldi, mind a tenyészedényes kísérletben a bentonit közepes dózisa (10 t ha⁻¹), a zeolit kis és közepes dózisa (5-10 t ha⁻¹) bizonyult serkentőnek. A mikrobiológiai paraméterek közül legérzékenyebbeknek a kezelésekre sorrendben a nitrifikáló baktériumok száma, az összes-csíraszám, a nitrát-feltáródás, a szacharáz enzim aktivitása, valamint a mikrobiális biomasza-N tartalom voltak.

4.4. A fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságok közötti összefüggések

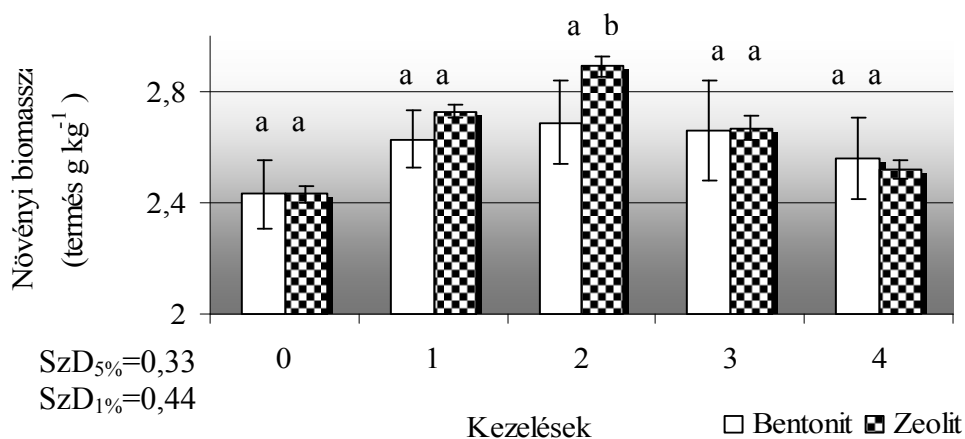
A változók közötti összefüggések feltárása során mindkét alkalmazott anyagnál közepes *korrelációt* találtunk a tápanyagformák közül az AL-kálium és a talajlégzés között (bentonit kísérlet: r=0,681; zeolit kísérlet: r=0,538). Közepes negatív összefüggés

a hidrolitos aciditás és a felvehető káliumtartalom (bentonit kísérlet: $r=-0,522$; zeolit kísérlet: $r=-0,504$), továbbá a foszfatáz aktivitása között volt (bentonit kísérlet: $r=-0,563$; zeolit kísérlet: $r=-0,759$). Bentonit-kezelések esetében szoros korrelációt bizonyítottunk a mikrobiális biomassza-N tartalom és az ureáz aktivitása között ($r=0,847$), zeolit-kezelésekben a nitrifikáló baktériumok mennyisége és a talaj CO_2 -termelése között ($r=0,875$).

A *faktoranalízis vizsgálat* bizonyította, hogy a talajban lejátszódó folyamatokat leginkább a talaj kémhatásának megváltozása, illetve a talaj tápanyagtartalma, és ezen belül is a talaj nitrát-N tartalma, és a nitrát-feltáródásának mértéke határozza meg.

4.5. Bentonit és zeolit hatása a teszt növény, angolperje (*Lolium perenne* L.) biomassza mennyiségére

A **növényi biomassza mennyisége** – tenyészedenyes kísérletben - a kontrollhoz viszonyítva szignifikánsan csak a zeolit kezelés hatására változott, méghozzá a közepes dózisú kezelés (10 t ha^{-1}) hatására. Mind a bentonit, mind a zeolit hatására a növényi biomassza csak kismértékű növekedést mutatott, alkalmazásukkal átlagosan 16% biomassza szárazanyag mennyiség-növekedést tudtunk meghatározni (3. ábra).



3. ábra: Növekvő dózisú bentonit és zeolit hatása a teszt növény szárazanyag biomassza mennyiségére (Debrecen, tenyészedenyes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

Szabadföldi, kispárcellás kísérletben a bentonit $10-15 \text{ t ha}^{-1}$ -os kezeléseinek hatására a szántóföldön termesztett növények terméstöbblete átlagosan 10% volt (Makádi, 2010).

A *korreláció analízis* során mindkét kísérletben szoros összefüggés volt a mikrobiális biomassza-C tartalom és a növényi biomassza mennyisége között (bentonit kísérlet: $r=0,848$; zeolit kísérlet: $r=0,832$). A kémhatás kedvezőbbé válása a növényi

biomassza mennyiségét feltehetően szintén pozitívan befolyásolta (bentonit kísérlet: $r=0,680$; zeolit kísérlet: $r=0,578$).

4.6. A bentonit és zeolit dóziszfüggő hatásai

A bentonitnál a közepes dózisok (10 t ha^{-1}), a zeolitnál a nagy dózisok (20 t ha^{-1}) bizonyultak kedvezőbbnek a talajok fizikai és kémiai tulajdonságaira. A vizsgált talajmikrobiológiai tulajdonságokat mind a szabadföldi, mind a tenyészedényes kísérletben a bentonit közepes dózisa (10 t ha^{-1}), a zeolit kis és közepes dózisa ($5\text{-}10 \text{ t ha}^{-1}$) serkentette. A növényi biomasszát a $10\text{-}15 \text{ t ha}^{-1}$ dózisok növelték szignifikánsan.

4.7. Rövid távú és tartós alkalmazások értékelése

A tenyészedényes kísérleti eredményeink alapján a *kezelések utóhatásait tanulmányozva* az idő függvényében megállapítottuk, hogy a bentonitnak szignifikánsan serkentő hatása - a dózisoktól függetlenül - a vizsgálati évek első két évében az esetek közel 50%-ban érvényesült. Az esetek többségében - hasonlóan a bentonit hatásához - a zeolit serkentő hatása is az első vizsgálati év során érvényesült a legnagyobb mértékben. A zeolit *hatástartama* hosszabbnak bizonyult a vizsgálati évek folyamán, mint a bentonité.

5. KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

A homoktalajok szerves és szervetlen kolloidtartalmának dúsítására, víz- és tápanyaggazdálkodásuk javítására sokféle bányászati és ipari termékkel illetve ezeken alapuló javítóanyag-készítményekkel folytak, illetve folynak vizsgálatok. Kísérleteink során a **bentonittal** és a **zeolittal** végeztünk vizsgálatokat, s tanulmányoztuk, hogy ezek a természetes anyagok hatnak a talaj néhány fizikai, kémiai, és mikrobiológiai tulajdonságára, valamint a növényi biomassza mennyiségi alakulására.

5.1. Új és újszerű tudományos eredmények

Vizsgálati eredményeink alapján az új tudományos eredmények és következtetések a következőekben összegezhetők:

1. Mind a bentonit, mind a zeolit kedvezően befolyásolja a talaj **vízemelő- és víztartó-képességét**. Már a kis dózisú bentonit talajba juttatása is közel 10%-os **talajnedvességtartalom** növekedést eredményez. A talaj **kémhatását** a zeolit kezelések – nem szignifikánsan, de – nagyobb mértékben növelték, mint a bentonit.
2. A tenyészedényes kísérletben mindkét természetes anyag növeli a talaj felvehető tápanyagtartalmát. A **nitrát-N** tartalom mellett szignifikánsan változott a talaj **AL-oldható foszfor** és **káliumtartalma is**. A zeolit legnagyobb dózisával a foszfortartalom 4%-al, a káliumtartalom pedig közel 30%-al nőtt. A zeolit 6,5%-al nagyobb **hajtástömeget** eredményezett a bentonitnál.
3. A talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmának utánpótlására a **bentonit** esetében a **10 t ha⁻¹**, a **zeolit**nál pedig a **20 t ha⁻¹ dózis** javasolható. A növényi biomasszát a 10-t ha⁻¹ dózis növelte szignifikánsan.
4. A bentonit a szabadföldi körülmények között hét **mikrobiológiai**, tenyészedényes körülmények között pedig tíz **paraméterre** bizonyult kedvezőnek. A zeolitnál mindegyik vizsgált paraméter nőtt. A zeolit tizenegy paraméterből hét esetben serkentőbbnek bizonyult a bentonitnál.
5. Mind a bentonit, mind a zeolit kezelésekre a **legérzékenyebben reagáló mikrobiológiai tulajdonságnak** – kísérleti körülményektől és dózistól függetlenül – az összes csíraszám, a nitrifikáló baktériumok mennyisége bizonyult, ami jelzi a felvehető tápanyagok kritikus helyzetét homoktalajokban.

5.2. Gyakorlatban alkalmazható eredmények

A gyakorlat számára is átadható új tudományos eredményeket az alábbiakban foglaltuk össze:

- Mind a **bentonit**, mind a **zeolit** alkalmas a savanyú homok textúrájú talajok **kémhatásának növelésére, víz- és tápanyag-gazdálkodásuknak javítására**, és közvetve ezek által a **mikrobiológiai aktivitás serkentésére**.
- Mindkét természetes anyag **növelte a növényi biomasszát**. Szántóföldi alkalmazásra **a 10-20 t ha⁻¹ –os dózisok javasolhatók**.
- Mindkét ásványi anyag kedvező utóhatással rendelkezik, amelyet a kísérleti eredmények is alátámasztanak. A bentonit **hatástartama** rövidebb, a zeolité kezdetben erősebb, de egyenletesebb és csökkenően tovább tart a bentoniténál.
- **A változók közötti kapcsolatok vizsgálata igazolta, hogy a homok textúrájú talaj vízgazdálkodásán, kémhatásán és a tápanyag-gazdálkodásán keresztül megvalósuló pozitív hatások a talaj termékenységét fokozták.**

PUBLIKÁCIÓK AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉBEN

Tudományos közlemény idegen nyelvű, lektorált folyóiratban:

- Tállai, M.** – Balláné, K. A. – Nagy, P. T. – Kátai, J. (2008): The effect of bentonite on soil characteristics and on biomass of the small-pot experiment. Cereal Research Communications. Vol. 36. Part. II. 1179-1182.
- Kátai, J. – Kremper, R. – **Tállai, M.** (2008): The effect of zeolite and bentonite on some soil characteristics on acidic sandy soil. Journal of Agricultural Sciences. Acta Agraria Debreceniensis. 117-122.
- Kátai, J. – **Tállai, M.** – Sándor, Zs. – Zsuposné, O. Á. (2010): Effect of Bentonite and Zeolite on some characteristics of acidic sandy soil and on the biomass of a testplant. Agrokémia és Talajtan. 59./ 1. Akadémiai Kiadó. 165-174.
- Tállai, M.** – Jakab, A. – Kátai, J. (2011): Application of bentonite on acidic humic sandy soil. Fascicula: Protecția Mediului Anul 16. Kiadó: Universty of Oradea. 479-484.

Lektorált magyar nyelvű tudományos közlemény:

- Tállai M.** (2007): Bentonit hatása a talajmikrobák mennyiségi előfordulására, a CO₂-képződésre, valamint a szacharáz enzim aktivitására. Agrártudományi Közlemények 26. Acta Agraria Debreceniensis. 287-293.
- Kátai J. - **Tállai M.** (2008): Bentonit hatása a talaj felvehető tápanyagtartalmára és néhány mikrobiológiai tulajdonságára humuszos homok talajon. Environmental protection and food safety in crop production. Hungarian – Slovakian Intergovernmental S & T Cooperation. (Szerk: Dr. Pepó P.) ISBN 978-963-9732-34-6. 99-104.
- Tállai M.** - Sándor Zs. - Kátai J. (2008): Bentonit hatása humuszos homok talaj tápanyagtartalmára és néhány mikrobiológiai tulajdonságára. Talajtani Vándorgyűlés, Nyíregyháza, 2008. május 28-29. Talajvédelem (Különszám). (Szerk: Simon L.) Talajvédelmi Alapítvány Bessenyei György Könyvkiadó. ISBN 978-963-9909-03-8. 527-534.
- Tállai M.** (2009): Bentonit és zeolit alkalmazása a talajjavításban savanyú homoktalajon. Agrártudományi Közlemények. 36. Acta Agraria Debreceniensis. 131-137.
- Kátai J. – Jakab A. – Sándor Zs. – Zsuposné O. Á. – **Tállai M.** (2011): Bentonit és zeolit vizsgálata tenyésztedény-kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 60/1. 203-218.

Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

- Kátai, J. – **Tállai, M.** – Lazányi, J. – Lukácsné, V. E. – Sándor, Zs. (2007): The effect of bentonite on specific soil parameters and microbial characteristics of the carbon cycle, Joint International Conference on Long-term Experiments, Agricultural Research and Natural Resources, Debrecen-Nyírlugos, (Szerk: I. Láng, J. Lazányi, N. Csép) ISBN 978-963-473-054-5. 247-254.

Káta, J. – Kremper, R. – **Tállai, M.** (2008): The effect of zeolite and bentonite on some soil chemical and microbiological characteristics and on the biomass of the test plant. "Risk Factors for Environment and Food Safety" International Symposium, Románia, Nagyvárad, november 14-15. Vol. XIII., Anul. 13. 71-79.

Káta, J. – **Tállai, M.** (2009): The effect of nutrition supply on some soil chemical characteristics of humus sandy soil and some elements of the nitrogen-cycle. "Natural resources and sustainable development" 7. Fascicula: Protecția Mediului Anul 14. Oradea. 174-183.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Káta, J. – Sándor Zs. – Zsuposné O. Á. – **Tállai M.** (2009): A tápanyagutánpótlás hatása a talaj néhány tulajdonságára és egy teszt növény biomasszájának mennyiségére. Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia Kecskemét. 2009. szeptember 3-4. 1253-1257.

Tállai M. (2011): Bentonit hatása humuszos homoktalaj néhány tulajdonságára és egy teszt növény biomassza mennyiségére. Pannon Egyetem, Georgikon Kar. XVII. Ifjúsági Tudományos Fórum, 2011. április 21. Keszthely. CD-ROM. ISBN 978-963-9639-42-3. 1-6. p.

Konferencia összefoglaló (Abstract):

Tállai M. (2007): Bentonit hatása a talaj nedvességtartalmára és kémhatására, valamint mikrobiológiai aktivitására. XXVIII. Országos Tudományos Diákköri Konferencia Agrártudományi Szekció. Előadáskivonatok. DE AMTC, Debrecen, 2007. április 16-18. (Szerk: Tikász I. E., Girhiny I., Antal Zs.) ISBN 978-963-9732-12-4. 282.

Konferencia előadás:

Káta, J. – Zsuposné O. Á. - **Tállai M.** (2009): Bentonit és zeolit hatása a talaj tulajdonságaira. MÁFI. Budapest, XIV. Stefánia út. 14. Agyagok a Föld jelenében: mezőgazdasági jelentőségük. Tudományos ülés, 2009. június 8.

A KUTATÁSI TÉMÁHOZ KÖZVETLENÜL NEM KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban:

Sándor, Zs. – Káta, J. – **Tállai, M.** – Varga, A. – Balogh, E. (2007): The effect of herbicides applied in maize on the dynamics of some soil microbial groups and soil enzyme activity. Cereal Research Communications. Vol. 35. No. 2. 1025-1028.

Balláné, K. A. – Vágó, I. – Kremper, R. – Sipos, M. – **Tállai, M.** (2008): The influence of chemical and biofertilizers on the yield, nitrogen, phosphorus and potassium content of lettuce (*Lactuca sativa* L.) in a two-year greenhouse experiment. Journal of Agricultural Sciences. Acta Agraria Debreceniensis. Debrecen, 2008. október 3. 43-48.

Zsuposné, O. Á. – Lukácsné, V. E. – **Tállai, M.** (2008): The effect of plant culture on the soil biological activity in an ecological farming. Cereal Research Communications. Vol. 36. Part II. 1167-1170.

Kátai, J. – Sándor, Zs. – **Tállai, M.** (2008): The effect of an artificial and a bacterium fertilizer on some soil characteristics and on the biomass of the rye-grass (*Lolium perenne* L.) Cereal Research Communications. Vol. 36. Part. II. 1171-1174.

Kátai, J. – Zsuposné, O. Á. – Sándor, Zs. – **Tállai, M.** (2009): Soil microbiological consequences of the stress effect of soil acidification in a long term experiment. Cereal Research Communications. Vol. 37. 403-406.

Lektorált idegen nyelvű tudományos közlemény:

Jakab, A. – **Tállai, M.** – Kátai, J. (2011): Effect of bacterial preparations on the ryegrass (*Lolium perenne*, L.) biomass of calcareous chernozem soil. Fascicula: Protecția Mediului Anul 16. Kiadó: University of Oradea. 115-121.

Lektorált magyar nyelvű tudományos közlemény:

Kátai J. - Vágó I. - **Tállai M.** – Makádi M. (2008): A biogáz gyártás melléktermékének hatása a talaj néhány mikrobiológiai tulajdonságára. Talajtani Vándorgyűlés, Nyíregyháza, 2008. május 28.-29. Talajvédelem (Különszám). Talajvédelmi Alapítvány Bessenyei György Könyvkiadó.(Szerk: Simon L.) ISBN 978-963-9909-03-8. 417-422.

Tállai M. - Sándor Zs. - Vágó I. - Kátai J. (2008): A tápanyagutánpótlás különböző módjainak hatása a talaj néhány mikrobiológiai tulajdonságára. Agrártudományi Közlemények 32. Acta Agraria Debreceniensis.119-126.

Sándor Zs. – **Tállai M.** (2008): Kukoricához alkalmazott herbicidek hatása a talaj nitrogén-körforgalom néhány mikrobiológiai jellemzőjére. Agrártudományi Közlemények 32. Acta Agraria Debreceniensis. 93-100.

Tállai M. (2010): Műtrágya és baktériumtrágya összehasonlító vizsgálata humuszos homok talajon. Agrártudományi Közlemények. Acta Agraria Debreceniensis. 41. 111-117.

Jakab A. - Balláné K. A. - **Tállai M.** - Kátai J. (2011): Baktériumtrágyák hatása mészlepedékes csernozjom talaj tulajdonságaira és az angolperje (*Lolium perenne* L.) biomasszájára. Agrokémia és Talajtan. 60/1. 219-232.

Sándor Zs. - Kátai J. - Nagy P. T. - **Tállai M.** - Sipos M. - Zsuposné O. Á. (2011): Herbicidek talajbiológiai hatásainak értékelése mikrokozmosz kísérletben. Talajvédelem. (Szerk: Simon L.) ISBN 978-963-9909-03-8. 237-244.

Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány:

Kátai J. - Vágó I. - Sándor Zs. - **Tállai M.** - Varga A. (2007): A talaj néhány tulajdonságának változása műtrágya és baktériumkészítmény (Bactofil A10) alkalmazásakor. Erdei Ferenc IV. Tud. Konferencia. Kecskemét. 2007. augusztus 27-28. (Szerk: Dr. habil Ferencz Árpád) ISBN 978-963-7294 63-1. 947-950.

Sándor Zs. – Kátai J. – Nagy P. T. – **Tállai M.** – Zsuposné O. Á. – Varga D. (2007): Különböző herbicidek összehasonlító értékelése a talaj szénkörforgalom mikrobiológiai jellemzői alapján. Erdei Ferenc IV. Tudományos Konferencia. II. kötet. Kecskemét. 2007. augusztus 27-28. (Szerk: Dr. habil Ferencz Árpád) ISBN 978-963-7294-63-1. 967-970.

Sándor Zs. – Kátai J. – **Tállai M.** (2009): A Merlin 480 SC és az Acenit A 880 EC herbicidek hatása néhány talajmikrobiológiai paraméterre. Erdei Ferenc V. Tudományos Konferencia. Kecskemét. 2009. szeptember 3-4. 379-383.

Konferencia összefoglaló (Abstract):

Kátai, J. – Vágó, I. – Sándor, Zs. – **Tállai, M.** – Zsuposné, O. Á. (2007): The effect of an artificial fertilizer and a bacterium preparation (Bactofil A10) on the properties of soils. Bulletin of university of agricultural sciences and veterinary medicine Cluj-Napoca. Agriculture, Vol. 63-64. 465.