



DEBRECENI EGYETEM
AGRÁR- ÉS GAZDÁLKODÁSTUDOMÁNYOK CENTRUMA
MEZŐGAZDASÁGI-, ÉLELMISZERTUDOMÁNYI ÉS KÖRNYEZETGAZDÁLKODÁSI KAR
AGROKÉMIAI ÉS TALAJTANI INTÉZET

HANKÓCZY JENŐ NÖVÉNYTERMESZTÉSI-, KERTÉSZETI- ÉS
ÉLELMISZERTUDOMÁNYOK DOKTORI ISKOLA

Doktori iskola vezető:

Dr. Kátai János
egyetemi tanár
intézetvezető

Témavezető:

Dr. Kátai János
egyetemi tanár
intézetvezető

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

Készítette:

Tállai Magdolna

DEBRECEN

2011.

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

**Értekezés a doktori (Ph.D) fokozat megszerzése érdekében
a növénytermesztési és kertészeti tudományágban**

Írta: Tállai Magdolna okleveles agrármérnök

Készült a Debreceni Egyetem Hankóczy Jenő Növénytermesztési-, Kertészeti- és
Élelmiszertudományok Doktori Iskola
(Fenntartható növénytermesztés programja) keretében

Témavezető: Dr. Kátai János

A doktori szigorlati bizottság:

elnök: Dr. Pepó Péter (DSc)

tagok: Dr. Fülekgy György (CSc)

Zsuposné Dr. Oláh Ágnes (CSc)

A doktori szigorlat időpontja: 2010. május 04.

Az értekezés bírálói:

Dr. Biró Borbála	MTA doktora	
Dr. Sárvári Mihály	Mg. Tud. Kandidátusa	

A bírálóbizottság:	Név	Tud. fokozat	Aláírás
elnök:			
titkár:			
tagok:			
			
			
			
			

Az értekezés védésének időpontja: 201... ..

Tartalomjegyzék

1. Bevezetés	5
2. Célkitűzés.....	7
3. Irodalmi áttekintés.....	8
3.1. A kísérletben alkalmazott anyagokról	9
3.1.1. A bentonit és zeolit jellemzése	10
3.1.2. A bentonit és zeolit gyakorlati alkalmazhatósága.....	11
3.2. A bentonit és zeolit talajokra kifejtett tulajdonságai	13
3.2.1. A talajok fizikai és kémiai tulajdonságai.....	13
3.2.2. A talajok biológiai tulajdonságai	16
4. Anyag és módszer.....	23
4.1. A felhasznált anyagok.....	23
4.2. A kísérlet talajai	24
4.3. A kísérleti háttér.....	25
4.3.1. A kisparcellás kísérlet	25
4.3.2. A tenyészedényes kísérlet	26
4.4. Vizsgálati módszerek.....	28
4.4.1. Talajfizikai és talajkémiai vizsgálati módszerek	28
4.4.2. Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek.....	31
4.5. A mintavételezés és a feldolgozás módja	36
4.5.1. Talajminták	36
4.5.2. Növényi minták.....	36
4.5.3. Statisztikai feldolgozás módja	37
5. Vizsgálati eredmények és azok értékelése	38
5.1. Bentonittal és zeolittal kezelt talajok fizikai tulajdonságainak alakulása.....	38
5.1.1. Bentonit hatása a homoktalaj nedvességtartalmára	38
5.1.2. A talaj vízemelésének, vízmegtartó képességének, és a talaj nedvességtartalmának változása	39
5.2. Bentonittal és zeolittal kezelt talajok kémiai tulajdonságainak alakulása	41
5.2.1. A talaj kémhatása.....	41
5.2.2. A talaj könnyen felvehető tápanyagtartalma	46
5.3. Bentonittal és zeolittal kezelt talajok mikrobiológiai tulajdonságainak alakulása	52
5.3.1. Az összes-csíraszám és mikroszkopikus gombák mennyiségi változása .	53
5.3.2. A nitrifikáló baktériumok mennyiségi változása és a nitrát feltáródás.....	57
5.3.3. Az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségi változása és a talaj CO ₂ - termelése	61
5.3.4. A talaj mikrobiális biomassza-C és N tartalma	65
5.3.5. Néhány talajenzim (szacharáz, ureáz, foszfátáz) aktivitása.....	69
5.4. A fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságok közötti összefüggések	75
5.4.1. A szántóföldi, kisparcellás kísérlet paramétereinek korrelációs értékelése (Pearson-féle korreláció analízis)	75
5.4.2. A tenyészedényes kísérlet paramétereinek korrelációs értékelése (Pearson- féle korreláció analízis).....	77
5.4.3. A bentonit és zeolit kezelések hatásainak vizsgálata faktoranalízissel.....	78

5.5. Bentonit és zeolit hatása a tesztnövény, angolperje (<i>Lolium perenne</i> L.) biomassza mennyiségére.....	81
5.6. A bentonit és zeolit dóziszfüggő hatásai	83
5.7. Rövid távú és tartós alkalmazások értékelése.....	90
6. Eredmények megvitatása	97
7. Következtetések, javaslatok	101
7.1. Új és újszerű tudományos eredmények	102
7.2. Gyakorlatban alkalmazható eredmények.....	103
8. Összefoglalás.....	104
9. Summary.....	107
10. Publikációk az értekezés témakörében	110
10.1. Tudományos közlemény idegen nyelvű, lektorált folyóiratban.....	110
10.2. Lektorált magyar nyelvű tudományos közlemény	110
10.3. Idegen nyelvű lektorált konferencia kiadvány	111
10.4. Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány	112
10.5. Konferencia összefoglaló (Abstract)	112
10.6. Konferencia előadás.....	112
10.7. A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk.....	112
11. Irodalom	115
12. Melléklet	128
13. Táblázat és ábra jegyzék	143
Nyilatkozatok	146
Köszönetnyilvánítás	147

1. Bevezetés

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

Hazánk Európai Unióhoz való csatlakozásával folyamatosan megnövekedett a környezetvédelem jelentősége. A korszerű növénytermesztéssel és mezőgazdasági tevékenységgel szemben fokozott elvárás a környezetkímélő és fenntartható gazdálkodás.

A mezőgazdasági termelés növelésének, illetve a sikeres növénytermesztésnek nélkülözhetetlen eszköze talajaink védelme, termékenységük megőrzése. Talajaink termékenységének fenntartása és megőrzése csak komplexebb hatású talajjavító és termésnövelő hatású anyagok választékának bővítésével oldható meg. A korszerű agrotechnika alkalmazása csak ott válik gazdaságossá, ahol az ehhez szükséges feltételek biztosítva vannak, vagyis csak megfelelő termékenységű talajokon lehetséges (Balogh, 1999).

A talaj termékenységét a természeti és agrotechnikai tényezők szabályozzák. A természeti tényezők, elsősorban a hőmérséklet és a csapadék, a domborzat, a talajképződési folyamatok, a talajtípus ismerete lehetőséget ad arra, hogy a növénytermesztés során ezeket a tényezőket minél jobban figyelembe vegyük. Talajműveléssel, szerves- és műtrágyázással, meliorációval valamint egyéb különböző kemikáliák alkalmazásával igyekszünk javítani a talaj termékenységét.

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 Magyarországon igen jelentős (több mint 1,2 millió ha-t) területet foglalnak el. Ezek a talajok a Föld népességének rohamos gyarapodása miatt nem vonhatók ki a művelésből, ugyanakkor napjainkban azzal is számolni kell, hogy a tápanyagmérleg negatívnak tekinthető, hiszen a terméssel kivont tápelemeknek csak valamivel több, mint felét jutattjuk vissza a talajba (Sárvári & Boros 2009). A többirányú kedvezőtlen talajtani és hidrológiai körülmények együttes fellépése esetén a talaj optimális víz-, levegő-, és tápanyag-gazdálkodásának biztosításához olyan komplex hatású talajjavító anyagok alkalmazására van szükség, amelyek segítségével

egyidejűleg több kedvezőtlen hatás is kiküszöbölhető (Balogh, 1997; Süßmuth, et al. 1998; Szegi, et al. 2008).

A kedvezőtlen adottságú talajok szerves kolloidtartalmának dúsítására, víz- és tápanyag-gazdálkodásuk javítására az egyik legáltalánosabban és legrégebben alkalmazott módszer a szerves- és a zöldtrágyázás (Müller, 1991; Blaskó, 2005). Az intenzív növénytermesztés kialakulásával széleskörűen elterjedt a műtrágyák alkalmazása, amelyek okszerű dózisának megválasztásával, azok hatásának vizsgálatával különböző talaj-növény rendszerekben, illetve gazdaságos kijuttatásának kérdésével ma is számos kutató foglalkozik (Németh, 2006; Csathó, et al. 2007; Izsáki, 2007; Vágó, et al. 2007). Ugyanakkor túlzott alkalmazásuk megváltoztatja a talaj fizikai és agrokémiai jellemzőit, előidézi egyes ionok adszorpcióját vagy talajoldatba jutását, a tápelemek mobilizációját vagy immobilizációját, valamint más agrotechnikai eljárásokkal és környezeti hatásokkal együtt elősegíti a talaj savanyodását (Kátai, 1992; Kátai, 2008). Talajsavanyodás hatására megváltozik a talajban élő mikroorganizmusok összetétele, acidofil fajokban gazdagodik, hatására csökken a talajlégzés (Damaska & Knozková, 1972; Schinner, et al. 1980), a savanyú kémhatás gátolja többek között az aerob N_2 -kötést, a nitrogén mineralizációját, az NH_4^+ nitrifikációját is. A mikroflóra faji összetétele jelentős változáson megy keresztül, savtűrő baktériumok és gombafajok felszaporodásával kell számolni (Zsuposné, 2002).

Az integrált növénytermesztés keretein belül azonban 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 (Solti, 1987), a bentonit (Márton & Szabóné, 2002; Makádi, et al. 2003; Szeder, et al. 2008) vagy a zeolit (Köhler, 2000).

A növényprodukción a talaj számos élettelen tulajdonsága mellett az élő, biotikus tényezők is hatékonyan befolyásolják (Biró, 2007). Ezen szempontokat szem előtt tartva a tápanyag utánpótlás egy másik, egyre inkább terjedőben lévő formája a bio-készítmények felhasználása, melyekkel a környezetterhelés csökkenthető, a növénytermesztők kedvezően befolyásolhatják a talaj termékenységét, hozzájárulhatnak

a talajok természetes mikroorganizmus közösségének aktivizálásához (Várallyay & Németh, 1996; Hedge, et al. 1999; Kődöböcz, et al. 2003; Biró, et al. 2010; Takács, 2011).

A növények tápanyagellátásában meghatározó szerepet töltenek be az ökoszisztémák anyagkörforgalmában és energia áramlásában résztvevő mikroorganizmusok. A mikroszervezetek talajban történő előfordulása és élettevékenysége, aktivitása elsősorban a talajok fizikai és kémiai jellemzőitől, valamint annak életközösségétől függ. A fenntartható gazdálkodás egyben azt is jelenti, hogy törekszünk a mikroorganizmusok számára kedvezőbb életfeltételeket biztosítani. Minél jobban ismerjük az ökoszisztémák anyagkörforgalmának és energiaáramlásának törvényszerűségeit, annál inkább képesek leszünk arra, hogy sikeresen megfeleljünk a környezetkímélő, korszerű mezőgazdasági termelés követelményeinek (Biró, 2004).

2. Célkritizálás

Míg szántóföldi, kisparcellás kísérletben az éghajlati elemek (a napsugárzás, a csapadék mennyiségének eloszlása) nagymértékben befolyásolják a kezelések érvényesülését, addig tenyészedényes körülmények között a vízgazdálkodás feltételei szabályozottak, a növények fejlődése szempontjából optimális feltételek állnak rendelkezésre. A fenti indokok alapján gondoltuk úgy, hogy – a szántóföldi vizsgálatokon túl - tenyészedényes kísérletben is tanulmányozzuk a bentonit és a zeolit természetes agyagásvány-tartalmú anyagok különböző dózisainak hatását a talaj néhány fizikai és kémiai tulajdonságára, valamint mikrobiológiai folyamataira, úgy, mint:

- a talaj nedvességtartalmára,
- víztartó- és vízemelőképeségére,
- a talaj kémhatásviszonyaira,
- 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 biomasza-C és N tartalmára, és
- néhány talajenzim aktivitására (foszfatáz, szacharáz, ureáz).

- A tenyészedényes vizsgálatok alatt meghatároztuk a tesztnövény biomassa mennyiségét.

3. Irodalmi áttekintés

Kreybig, (1956) meghatározása szerint homoktalajnak nevezzük azt a talajt, amelynek agyagtartalma 10 % alatt van. A gyakorlatban a szerkezet nélküli, a „könnyű mechanikai féleségű” talajt nevezik homoknak. Főbb tulajdonságai: a nagy vízáteresztő képesség, a kis víztartó képesség, a gyors kiszáradás, és a csekély tápanyagkészlet. A homokra jellemző az is, hogy még tömődött állapotban is tartalmaz elegendő levegőt a növények számára. A homoktalajok javítása komplex feladat. E talajon az eredményes növénytermesztéshez a kémhatást, a mészállapotot, a tápanyagforgalmat és a vízháztartást is rendezni kell (Lazányi & Karucka, 2003).

A homok javítás elméleti megalapozása során Halász (1978) a leiszapolható rész mennyiségét találta legfontosabbnak. Véleménye szerint a leiszapolható rész 10%-kal történő növelése jelentős, szántóföldi körülmények között is jól értékelhető változásokat idéz elő, a talaj fizikai és kémiai tulajdonságaiban. A homoktalajok szemcsemérete számos talajtulajdonságot befolyásol, melyen keresztül meghatározza a talajművelést, a termesztendő növények körét.

Lényeges különbség mutatkozott - Klén & Szücs (1954) vizsgálatai szerint az egyes tájegységeken belül - a homokszemcsék méretében is. Debrecen-Mátészalka vonalától északra az uralkodó szemcseméret 0,1 mm alatt van, a Dél-Nyírségben a jellemző szemcseméret 0,1-0,2 mm közötti. Később Antal (1978) a mészkőpad, a glej, a pseudoglej és a kovárványcsík vízgazdálkodást befolyásoló szerepére hívta fel a figyelmet.

Klimes-Szmik (1970) megállapította, hogy a réteges homokjavítás hatására a homoktalaj minőségileg más lesz, és könnyű vályogtalajhoz válik hasonlóvá.

A homokjavítási módszerek egyike lehet a talajok „ragasztó anyagainak” szerves és szervetlen kolloid részeinek növelése, más része pedig olyan anyagok talajba vitele, amelyek nem növelik a kolloidok mennyiségét, de adszorbeáló képességük révén visszatartják a talajoldatokat, amivel szabályozhatják a víz- és tápanyagmozgást, valamint a talaj kémhatását (Papp, 1953; Véghné, 1977; Dömsödi, 1989; Márton, 1998; Köhler, 2001). Ez utóbbira lehet példa két természetes, talajjavításra alkalmas anyag, az alginit és a perlit felhasználása különböző talajokon (Kátai, 1994).

Számos kutató foglalkozott már homoktalajok szerves és szervetlen kolloidtartalmának dúsítására, víz- és tápanyag-gazdálkodásuk javítására szolgáló bányászati és ipari termék, illetve ilyen alapú javítóanyag készítmények vizsgálatával (Blaskó, 2005). Így tanulmányozták korábban még a zeolitokat (Kazó, 1981; Köhler, 2000), a riolittufa őrleményt, a bazaltőrleményt (Viczián, 1965), valamint a bentonitos meddőkőzetet (Márton & Szabóné, 2002) is.

Az intenzív növénytermesztés célkitűzéseinek megvalósításakor napjainkban fokozott figyelmet kell fordítani azokra a jelzésekre is, amelyek hosszabb távon kedvezőtlenül alakítják a talaj növénytermesztés szempontjából fontos tulajdonságait. Ma már elkerülhetetlen a környezetkímélő, anyag- és energiatakarékos, ugyanakkor intenzív termelési rendszerek érdekeinek egyeztetése. Ennek szellemében egyre nagyobb hangsúly kerül az olyan anyagok vizsgálatára, melyek a természetben is megtalálhatóak, és a talajok termékenységét is kedvezően befolyásolják. A továbbiakban néhány hazai és külföldi forrásmunkára hivatkozva mutatom be azokat a kutatási eredményeket, amelyek arra irányultak, hogy igazolják, miként befolyásolják az alkalmazott természetes anyagok a kedvezőtlen tulajdonságú homoktalajok fizikai, kémiai adottságait, miként is hatnak a talaj mikrobiológiai aktivitására és ez által hogyan fejtik ki a hatásukat a talaj termékenységére.

3.1. A kísérletben alkalmazott anyagokról

A növénytermesztési kutatások jövőbeli fejlesztésének specifikus jellemzői közül a fenntarthatóság, a környezetvédelem, a minőség és a hatékonyság emelhetők ki. A növénytermesztés sokat hangoztatott megvalósítása olyan kutatási projekteket igényel, amelynek eredményei a hazai speciális termelési, műszaki, ökológiai feltételek mellett is alkalmazhatók (Pepó, 2001). A fenntarthatóság alapelveit az egyre fontosabbá váló multifunkcionalitás elveivel szükséges összehangolni (Pepó, 2002; 2009).

A környezetterhelés csökkentése és a rendelkezésre álló természetes és bányászható anyagok hasznosítása az utóbbi évtizedekben a mezőgazdaság felé terelték az eddig csak a különböző iparágaknak bányászott ásványi anyagok hasznosításának igényét. A mezőgazdaságban leghatékonyabban a különböző kertészeti földkeverékek összetevőiként, esetleg önállóan alkalmazzák őket, őrlemények vagy iparilag előállított formában. A mezőgazdasági felhasználásuk mellett azonban hasznosításuk széleskörű,

hiszen a bányászat, a feldolgozás, valamint a szállítás és kijuttatás magas költségei miatt a kizárólagos mezőgazdasági felhasználásuk nem lenne gazdaságos.

3.1.1. A bentonit és zeolit jellemzése

A **bentonit** nevét Fort Benton-ról (Wyoming, USA; 1890) kapta, ahol a legfontosabb lelőhelye van (Sárosi, 1960). Öntődei homokhoz keverve először 1925-ben alkalmazták (Lazányi, 2003). A bentonit olyan agyagásványok alkotta kőzet, mely főleg montmorillonitból (92%) (Fekete és Stefanovits, 2002), ezen kívül még kaolinból, kvarcból, csillámból, földpátból (Pártay, et al. 2006), illitből, krisztobalitból és mészből áll. Felépítését tekintve oktaéderes és tetraéderes rétegek (2:1) alkotják, melyeknek a központi atomok helyettesítése révén negatív töltéssel rendelkezik a felülete, ezáltal kationok megkötésére képes. Ha a domináns kicserélhető kation nátrium, akkor Na-bentonitról, ha kalcium, akkor Ca-bentonitról van szó (Murray, 2000).

Homoktalajok perspektivikus javítóanyagának tekinthető, melynek alkalmazását az erre indokoltta, hogy környezetkímélő, és hazánkban is megfelelő mennyiségben áll rendelkezésre. Rendszeresen bányásszák. A Cserhátban, a Mecsekben is a miocén mészkőben, Sopron város mellett a Lajta-mészkőben fordul elő (Fekete & Stefanovits, 2002). Macskamező (Erdély) mellett csaknem a teljesen tiszta montmorillonit ismeretes (Bora & Nemerkenyi, 1998).

A bentonit háromrétegű agyagásvány tartalmú, a centrális ionok izomorf helyettesítéséből adódóan magas kationmegkötő képességgel rendelkezik. Ezen anyagok talajba keverésével növelte a tápanyagtartalmat, gátolva azok kimosódását a talajból (Hargitainé, 1995; Noble, et al. 2000; Baker, et al. 2011).

A **zeolit** több mint 40 ásvány gyűjtő elnevezése. Nevét 1756-ban kapta, Alex F. Cronstedt svéd ásványtudós nevezte el. A neve „forrásban lévő kő”, a görög „zein” (forrni) és litosz (kő) szavak összetételéből származtatható. A természetben bázikus kiömlési kőzetek (bazalt) hólyagüregeiben, hasadékaiban keletkeznek, de megjelenhetnek a hidrotermás érctelérek kísérő ásványaiként is. A természetben előforduló zeolitok a vulkáni hamuból összecementálódott riolittufák kristályos változatai. A különböző eredetű zeolitok összetétele igen eltérően alakulhat, attól függően, hogy képződésük során milyen mikroelemeket gyűjtöttek össze a földkéregből.

A zeolitok a földkéreg kőzetalkotó elemeit, valamint alkálifémek illetve alkáliföldfémek kationjait tartalmazó, szivacsos szerkezetű alumínium szilikát ásványok. Két legfontosabb alkotóelemük a klinoptilolit és a mordenit tektoszilikátok (Mátyás, 1979; Papp & Valyon, 1982).

Hazánkban az Északi – Középhegységben, valamint Tokaj mellett bányásszák (Valyon, et al. 1981).

3.1.2. A bentonit és zeolit gyakorlati alkalmazhatósága

Felhasználásuk széleskörű mind az iparban, mind a mezőgazdaságban. A bentonitot az iparban használják olajkutak fúrásánál ún. fúróiszapként, építőiparban réselő iszapnak, de adagolják cementhez, ragasztószerekhez, kerámiákhoz, kozmetikumokhoz, tisztítószerekhez. Az élelmiszeriparban borban maradt fehérjedarabkák eltávolítására alkalmazzák. Élelmiszerek esetén csomósodást gátló anyagként, emulgeálószerként, valamint gyümölcslevek tisztítása során alkalmazzák E558 néven. Napi maximum beviteli mennyisége nincs meghatározva. Ismert mellékhatása nincs. A gyógyszeriparban a gyógyszerek felületének síkossá tételére használják (Havassy, 1998).

A mezőgazdaságban tulajdonságainak köszönhetően homoktalajok perspektivikus javítóanyagának tekinthető. Számos kutató igazolta a növényi produktumra kifejtett pozitív hatását (Carter, et al. 1998; McKissock, et al. 2002). A Münchener Egyetem kísérlete szerint salátafalánták földkeverékéhez bentonitot adagolva – a 3%-ban adagolt bentonit - kedvező hatással volt a palánták friss tömegére, a levélfelület nagyságára; azonban a nagyobb dózis depresszíven hatott a növényekre (Schnitzler et al. 1994).

Kappel (2006) hasonló eredményekre jutott, mikor különböző palántanevelő tápközegekhez bentonitot kevert, 5, 10, és 15 térfogat%-os arányban. A kezelések hatására a palánták gyökérzetének tömege szignifikánsan nőtt, ugyanakkor megemlíti, hogy a nagyobb dózisok ugyancsak negatívan hatottak a gyökértömeg alakulására.

Makádi et al. (2003) vizsgálták a bentonit 5, 10, 15, 20 t/ha-os dózisainak, valamint ezek 50 t/ha istállótrágyával együtt kijuttatott formájának hatását szántóföldön, 12 féle növény terméseredményére (gabonafélék, hüvelyesek, gyökér- és gumós növények, olajnövények). Eredményeik alapján a 10-15-20 t/ha dózisban adagolt bentonit növelte a kontrollhoz képest a legnagyobb mértékben a termés mennyiségét, függően a vizsgált

növénytől és a kísérlet talajának tulajdonságaitól. Tapasztalataik szerint az istállótrágya erősítette a bentonit hatását.

Lengyelországban Kocjan, (1995) 20 éves erdőtelepítési kísérletben értékelte az erdei fenyő (*Pinus sylvestris*) magasságát, a fa átmérőjét, bentonit, bentonit + műtrágya különböző dózisú kezeléseiben. A fák növekedését a 20 t/ha-os bentonit + műtrágyakezelések befolyásolták a leghatékonyabban.

A bentonitot ezentúl alkalmazzák különböző talajszennyezőanyagok megkötésére, talajvízbe mosódásának csökkentésére (Pateiro-Moure, et al. 2009; Wyszowski & Ziolkowski, 2009). Az állattartásban – nedvességmegkötő és szagelszívó tulajdonsága miatt - alomanyagként ismert.

A zeolit ipari alkalmazásban alkalmas molekulaszűrőként vízlágyításra, és ioncserélő gyantaként, valamint az energiaipar hasznosítja (Valyon, et al. 1983). Csomagoláskor szagelszívó anyag és nedvességmegkötő képességű (Pricz, et al. 2002). A mezőgazdaságban a kertészet és a kertépítés, a kommunális hulladékkezelés (Dinar Attiah, et al. 2011; Akbar, et al. 2011; Mousavi & Asghari, 2009), továbbá a víztisztítás (uszoda- és akváriumtechnika) területén alkalmazzák (Komárominé, 2009). A növénytermesztésben ásványi tápanyagforrásként a talaj pH-ját növeli (csökkenti a talajsavanyúságot), és nyomelemek felvehetőségét is kedvezően befolyásolja (Ivan, et al. 2007; Bernardi, et al. 2011). Elősegíti a növények vízfelvételét (Valyon, et al. 1977), javítja a talajok vízháztartását (Al-Busaidi, et al. 2008; Sepaskhah & Barzegar, 2010; Ippolito, et al. 2011).

A mezőgazdaságban talajjavításra, továbbá kertészeti földkeverékek összetevőjeként és komposztálásnál segédanyagként használják. A zeolitot alkalmazzák palántanevelésben, gyökereztetésben, intenzív kertészeti kultúrákban (Alther, 1987; Börgesson, et al. 2003; Mátyás, 2003; Ghiaci, et al. 2009).

Kedvező hatással van a növényállomány tápanyagfelvételére, fejlődésére (Ahmed, et al. 2010; Mahmoodabadi, 2010). Paprikatermesztésben a legnagyobb termésátlag és a legfejlettebb növényállomány a tőzeg és zeolit 2:1 arányú keverékén képződött (Markovic, et al. 2000).

Mátyás (2003 cit. Szopory, 1980) paradicsompalántát ültetett kora tavasszal, április közepén, jól előkészített homoktalajba, zeolittal (minden paradicsompalánta alá 20 dkg-ot) és zeolit nélkül. Azt tapasztalták, hogy a zeolitot kapott paradicsompalánták a hideget, még a talaj menti fagyokat is átvésztelték – bár fejlődni nem fejlődtek – míg a zeolit nélkül kiültetett palánták elpusztultak.

Mezőgazdasági felhasználása az állattenyésztésre is kiterjedt. Állati takarmány előállításnál tápszer adalékként használják, amely a bevitt ritka elemek révén a hiánybetegségek létrejöttét akadályozza (Virág, et al. 1984; Mumpton, 1999; Trckova, et al. 2004). Željko, et al. (2007) zeolit tartalmú készítményt (Nanofeed[®] preparátumot) adagoltak baromfi takarmányába, és vizsgálták az innen származó biogáz produktumot. A termék a biogáz mennyiségét és minőségét nem befolyásolta, azonban pozitív hatással volt a tojás minőségére. A mélyalmos juhtartásban, továbbá az alomhoz keverve csökkenti, illetve megszünteti a juhok bűdössántaságát (Mucsi, 1997).

3.2. A bentonit és zeolit talajokra kifejtett tulajdonságai

Az agyagásványok mezőgazdasági felhasználása tehát igen sokoldalú. Alkalmazásuk a talajjavításban, a tápanyagutánpótlásban az intenzív növénytermesztési rendszerek bevezetése kapcsán merült fel (Stefanovits, et al. 1977). Ezen kutatások vezettek az ásványok a hazai talajok nitrogén-, foszfor-, kálium- illetve magnéziumellátásában játszott szerepének tisztázásához, és az agyagásvány adatok felhasználáshoz a műtrágyázási szaktanácsadásban (Stefanovits & Dombóvári L-né, 1985). Kutatások folytak a hosszú távú műtrágyázás és az agyagásvány-összetétel kapcsolatának felderítésére, illetve az agyagásvány összetételnek a hazai homoktalajok termékenységében játszott szerepének feltárására. Számos kutatás igazolta, hogy összefüggés vélhető a talajok fizikai tulajdonságai és az agyagásvány-összetétel között. Vizsgálták az agyagásványok és a talajok adszorpciós tulajdonságainak összefüggéseit, továbbá megállapították, hogy a talajok a környezetvédelem szempontjából meghatározó jelentőségű pufferképességét döntően befolyásolja az agyagásvány-összetétel. Értékeltek ennek szerepét a talajok elsavasodási folyamatában is (Szendrei, 2005).

3.2.1. A talajok fizikai és kémiai tulajdonságai

Szendrei (1998) a bentonitot a földtani eredetű talajjavító anyagok közé sorolta. Homoktalajok javításánál végzett eredményei alapján azt tapasztalta, hogy a bentonit nagy adszorpciós kapacitása kedvezően hat a talaj tápanyag- és vízgazdálkodására, valamint a talajok szerkezetére. Elsősorban homoktalajok javítására alkalmazható tőzeggel, vagy lápfölddel keverve hatása még előnyösebb.

Hasonló tulajdonságokkal bírnak a zeolitok is, hiszen szerkezetükből adódóan kiváló adszorpciós és puffer képességgel rendelkeznek (Amari, et al. 1991; Komárominé, et al. 2008). Használatukkal javítható a talaj szerkezete, jelentős mikroelem tartalmuknak köszönhetően tápanyagokat szolgáltatnak, illetve mérséklék a tápanyag túladagolást és lekötik a toxikus ionok egy részét. Kationcserélő képességük következtében lekötik a feleslegben adagolt NH_4^+ és Mg^{2+} ionok nagy részét, ez által csökkentik a gyökérzónában lévő, felvehető ionok mennyiségét és helyreállítják a tápanyagellátás egyensúlyát (Savvas, et al. 2004; Cyrus & Reddy, 2011; Latifah, et al. 2011).

Kutatások igazolták, hogy mindkét anyag elsősorban a talaj vízgazdálkodási paraméterinek kedvezően befolyásoló tulajdonságai révén fejtik ki hatásukat. Dömsödi (1989) vizsgálatai is bizonyítják, hogy a bentonit nagy vízkapacitású, nagy adszorpciós képességű agyagásvány, melynek rendkívül nagy a duzzadóképesége, s ez által kedvezően befolyásolja a talajok vízgazdálkodását (Mishra, et al. 2001).

Lazányi (2003) elsősorban a bentonitnak a homoktalaj kapilláris vízemelésére, vízmozgási tulajdonságaira és vízvezető képességére gyakorolt hatását vizsgálta. Megállapította, hogy a homoktalajok alacsony szerves és szervesetlen kolloid tartalma miatt már a 6 kg/m^2 bentonittal kezelt talajoknál is mérhető a talajkolloidok megnövekedett mennyisége. Az agyagtartalom növekedésével nagyobb lett a vízemelés mértéke, viszont a fékező hatások következtében egyre több időt vett igénybe. Továbbá megállapította, hogy bentonit kezelés hatására a dózistól és a bekeverés mélységétől függően csökkent a talajszelvényen átszivárgó víz mennyisége, vagyis a bentonit csökkentette a homoktalaj vízáteresztését. Hatására a kapilláris pórusok mennyisége nőtt, ezért a vezetőképesség értékei alacsony nyomásnál csökkentek, míg nagyobb nyomásnál nőttek (Lazányi & Karucka, 2003; Lazányi, 2005).

Szegi & Makádi (2003) laboratóriumi kísérlet során nyírségi homoktalajt és istenmezei bentonitból származó mintákat vizsgált növekvő bentonit tartalommal (2%, 5%, 10%). A vizsgálatok során mind a T-értékben, mind a nedvességtartalomban és a keverékek reológiai tulajdonságai között eltérést tapasztaltak. Az 5%-os bentonit tartalom esetén a talajtulajdonságok megfeleltek egy löszön kialakult mezőségi talaj tulajdonságának.

Az északkelet Thaiföld főleg könnyű textúrájú, alacsony szerves anyag tartalmú homoktalajainak javítására többféle, környezetkímélő, innovatív jellegű kísérletet végeztek. Bentonit kezelés hatására az agyag- és iszapfrakció 9%-ról 13%-ra, a diszponibilis víztartalom szintén jelentősen, 28%-kal növekedett. A talajszemcsék

közötti kohéziós erők erősebbé válásával javult a talaj szerkezeti stabilitása (Soda, et al. 2005).

A zeolitok szintén javítják a növények vízellátottságát, mivel vízmolekulákat kötnek le (Pisarovic, et al. 2003). A talaj felső részében zeolitban dús réteget kialakítva – tapasztalatok szerint – 30-40%-kal nagyobb víztartalom, illetve vízellátás biztosított, mint a kezeletlen talajok esetében (Mátyás, 2003).

Egyik legfontosabb tulajdonságuk, hogy megkötik és le is adják a növényeknek a tápanyagok különböző ionjait. Mind a bentonit, mind a zeolit jelentősen csökkenti a tápanyag-kimosódást, különösen a könnyű, homokos talajokon. A tápanyagmegkötő képességük miatt kiváló adalékanyaga a komposztálásnak is (Reuter, 1996; Croker, et al. 2004).

Stabilizálják a talaj kémhatását. A természetes zeolitok egyik sajátos tulajdonsága az ioncserélő képesség. A savanyú talajokhoz adagolva, neutrális tartományok felé tolják a talaj pH-értékét. A lúgos talajok alkálifém koncentrációjának (Mátyás, 2003), talajok nehézfémkoncentrációjának csökkentésére is javasolható (Földesova, et al. 1999; Donglin, et al. 2011).

Nehézfémekkel szennyezett talaj mentesítésére Jang, et al. (1997) eljárást dolgoztak ki, és modell kísérletben mérték a nehézfémek, a réz, a nikkel, az ólom oldhatóságát, valamint a mozgékonyosságát. A kísérletben alkalmazták a bentonit és a kvarchomok keverékét is. A kimosási/kioldási teszt szerint a nehézfémek oldhatósága nagymértékben pH függő. Savanyú kémhatású (pH 4) közegben végzett adszorpciós teszt azt bizonyította, hogy a bentonitot, mint adalék anyagot fel lehet használni savanyú talajok szennyezésének mérséklésére.

Talaj-montmorilloniton végzett adszorpciós kísérletek (Kuti, et al. 2003; Sheta, et al. 2003; Földvári & Kovács-Pálffy, 2005; Galamboš, et al. 2010) újabb adatai támasztják alá, hogy a montmorillonit valóban nagy mennyiségben képes fémionokat megkötni, s ez által rendkívül jelentős szerepe van a talajban lejátszódó kémiai folyamatokban, a nyomelemek és szennyezők talajbeli mozgásában (Marquez, et al. 2004; Németh, et al. 2006).

Hasonló vizsgálatok a zeolittal is történtek. Uzinger et al. (2009) toxikus fémekkel szennyezett talajok stabilizációját végezték különböző hulladékok alkalmazásával. Ők támasztották alá Terzano és munkatársai (2005) vizsgálati eredményeit, akik pernyéből előállított szintetikus zeolit hatását vizsgálták hasonló indokok miatt, és megállapították, hogy a zeolit alapja lehet olyan remediációs technológiáknak, ahol a talaj toxikus

fémekkel szennyezett. Magában a pernye szintén jó stabilizálószernek bizonyult (Dermatas & Meng, 2003), mely javítja a talaj pufferkapacitását is.

Szerbiában savanyú homoktalajon végzett kísérletben vizsgálták a bentonit és bentonit-mész keverék hatását a talaj tulajdonságaira és a kukorica termésére. A tartamkísérlet három évig tartott szántóföldi körülmények között. A kezelések hatására a kicserélhető Al^{3+} tartalom és az aciditás csökkent, a talaj tápanyagkészlete és a felvehető tápanyagok mennyisége jelentősen növekedett. Az ezermag tömegben, illetve a növény magasságában szintén kedvező eredményeket mértek (Boskovic & Bokan, 2004).

Simon és Biró (2005) a nehézfémekkel szennyezett (Cd, Cu, Mn, Pb, Zn), erősen savanyú kémhatású ($\text{pH}_{(\text{KCl})}=3,73$), Gyöngyösoroszból származó bányameddőt adalékok (1% CaCO_3 , 5% szennyvíziszap komposzt és 7,5% m/m zeolit) hozzáadásával stabilizáltak. A mésszel és mész + szennyvíziszap komposzt + zeolit kombinációjával kezelt bányameddőn tenyészedényes kísérletben vörös csenkeszt neveltek. Megállapításaik szerint a kombinált kezelés kevésbé növelte a közeg pH értékét, mint a csak meszezésben részesült kultúrákban 12 hetes időtartam alatt. A kombinált kezelés előnyösen hatott a teszt növények Ca, K, P felvételére, és lecsökkent a növények Mn és Zn felvétele a csak meszezésben részesült kultúrákhoz képest.

Simon (2001) korábbi megállapítása, hogy a bányameddő kicserélhető (CaCl_2 -oldható) és felvehető (NH_4 -acetát+ H_4EDTA -oldható; Lakanen-Erviö, (1971) szerint) elemkészlet frakciójában, valamint a növényekben akkor jelenik meg a kevesebb nehézfém, ha a meszezett bányameddőt szennyvíziszap komposzttal, illetve zeolittal kezelte. A növények fejlődésére, illetve a szárazanyag hozamára az adalékok kombinációjának volt a legkedvezőbb hatása (Simon, 2005).

A bentonit és zeolit tehát elsősorban kationokat és vizet adszorbeálnak, a megkötött ionokat a gyökérsavak hatására képesek felszabadítani, ezáltal kiegyenlítettebbé teszik a tápanyagok feltáródását és csökkentik azok kimosódását (Solti, 2000).

3.2.2. A talajok biológiai tulajdonságai

A talaj mikrobiológiai aktivitása a talajban lévő szerves anyagok lebontásának, az ásványi tápanyagok felhalmozódásának intenzitását jelenti. A talaj mikrobiológiai aktivitását - amelynek a növénytermesztés szempontjából legfontosabb megnyilvánulása a talaj termékenysége - a talajban élő mikroorganizmusok

élettevékenysége határozza meg. Minél intenzívebb az élő szervezetek működése, annál nagyobb a talaj biológiai aktivitása (Csapó, 1958).

A talajtermékenység egyik fontos tényezője a talaj mikrobiológiai aktivitása. A talaj tulajdonsága szervesen kapcsolódik a biogén elemek (C, N) körforgalmához. A talajban játszódik le a szerves anyagok humifikációja, és a nem humusz jellegű szerves anyagok mineralizációja, mely folyamatok során képződnek a növények számára felvehető tápanyagok. Így a talajba kerülő anyagok a talajélet serkentésén, vagy gátlásán keresztül fejtik ki hatásukat, amely lehet számunkra kedvező, vagy kedvezőtlen (Fehér, 1954).

A talajok biológiai aktivitásának kimutatására szolgáló módszereket Szegi (1979) két nagy csoportba sorolta:

- egyik részükkel a talajok aktuális biológiai aktivitása,
- a másikkal a potenciális talajbiológiai aktivitás határozható meg.

Az aktuális biológiai aktivitás mérése szabadföldi körülmények között történik, míg a potenciális aktivitást rendszerint laboratóriumban mérik, ahol a környezeti feltételek (hőmérséklet, nedvességtartalom, levegőzés, stb.) irányítottak.

Kiss (1958) az aktivitás vizsgálatok közvetlen és közvetett módszerét különbözteti meg. A közvetlen meghatározást célzó módszerek segítségével a talaj összes baktérium számát, valamint a talajéletben jelentős fiziológiai funkciókra képes (pl.: cellulózbontás, fehérjebontás, nitrit- és nitrátképzés, nitrogénkötés) baktériumok mennyiségét vizsgálják. A közvetett vizsgálatokat szolgáló módszerek esetén a mikrobák által előidézett változásokból következtetnek azok mennyiségére és aktivitására. Ugyancsak a közvetett vizsgálatokhoz tartozik a talajok CO₂-termelése, vagy a mikrobiális biomassza meghatározása. Ez utóbbi nem más, mint a talaj szervesanyag tartalmának élő mikroorganizmusokból (számos baktérium, mikroszkopikus gomba, élesztőgomba, alga és protozoa) álló tömege. Közvetett módszer a talajenzimek (pl.: foszfatáz, ureáz, szacharáz, celluláz, kataláz, dehidrogenáz) aktivitásának vizsgálata is.

A talaj mikrobiális aktivitásának mérésével már számos kutató foglalkozott. Ezzel összefüggésben elsősorban a talajok CO₂-termelését (Gupta & Singh, 1981; Zsuposné Oláh, 2005; Varga, et al. 2005) mérték. A kísérleti eredmények azt bizonyították, hogy a talaj biológiai aktivitása és a talajlégzés között összefüggés van. A mikroorganizmusok mennyiségének csökkenésével magyarázta Higashida & Nishimune (1988) a korlátozott CO₂ termelést a talajok mélyebb rétegében. Gupta & Singh (1981) vizsgálatai szerint a baktériumok és a mikroszkopikus gombák nagy szerepet játszanak

a CO₂ felszabadításában, mely elsősorban a szerves anyagok lebontása során keletkezik. Azonban Imseckij & Murzakov (1978) vizsgálatai - az előbbiekkal ellentétben - azt mutatták, hogy a mikroorganizmusok mennyisége és a CO₂-termelés között nem minden esetben mutatható ki az összefüggés.

Muhlbachova & Simon, (2003) laboratóriumi inkubációs kísérletben vizsgálták a zeolit és a glükóz dózisok hatását nehézfémekkel szennyezett területekről behozott talajokon a talaj néhány mikrobiológiai tulajdonságára. A talajok egy része Bulgáriából (Kremikovtzi K1, K2), másik részük a Cseh Köztársaságból (Pfibram P1, P2) származott. A mikrobiális biomassza, valamint a talajlégzés mennyisége tapasztalataik alapján azonban csökkenést mutatott a K1 és K2 talajokon, míg a P1 és P2 talajokon nem találtak szignifikáns változást a kezelések hatására.

A biológiai aktivitással összefüggésben mérték továbbá a talaj biomassza-szén (Szili-Kovács & Török, 2005; Szili-Kovács, 2006; Lukácsné & Zsuposné, 2006) és nitrogén tartalmát (Káta & Vágó, 2005; Sándor, 2006).

Más kutatások a talajenzimek fontosságát emelik ki a talajok biológiai aktivitásában, hiszen nagy szerepet játszanak a talajok energiaáramlásában, a talajok minőségének alakításában, a termés mennyiségében (Dick, 1994; Tabatabai, 1994; Makádi, et al. 2007). Az enzimek aktivitását erőteljesen befolyásolja a talajok szervesanyag-tartalma illetve a szervesanyagokkal történő talajkezelés (Garcia-Gil, et al. 2000; Yong-Mei, et al. 2005).

Szász éves tartamkísérletben valamennyi enzimaktivitás és mikrobiális-szén pozitívan korrelált a szerves - szénnel és a forró vizes szénnel is. A kísérlet eredményei azt mutatták, hogy valamennyi enzimaktivitás a mikroorganizmusoktól származik és a forró vízzel kioldott szerves szén vagyületek is jelentős szénforrás a talajban élő mikroorganizmusok számára (Böhme & Böhme, 2006).

Ahhoz, hogy a talajban lejátszódó, komplex folyamatokat figyelemmel kísérhessük, célszerű megvizsgálni a talajban egy időben jelen levő mikroorganizmus csoportok dinamikáját, a talajok enzimaktivitását, valamint szén-dioxid termelését és mikrobiális biomassza tartalmát (Káta, 2006).

Lazányi (2003) szerint a bentonit, valamint az agyagásvány-szervesanyag komplexek megváltoztathatják a talaj fizikai és kémiai tulajdonságait. A bentonit + szerves anyag adagolásával megfelelő szerkezet alakítható ki. A bentonit lapok egymás mellé fekszenek, s önmagukban összeragasztják a homokszemcséket, nem alakul ki térhálós mikro-szerkezet. Ám szervesanyag-agyag komplexek hatására a térhálós szerkezet

kialakítható. Ezen kedvező szerkezet létrehozását követően a talaj mikroszervezetei is megjelennek, s feltételezhető, hogy a kezelés előnyösen befolyásolja a talajban élő szervezetek tevékenységét.

Az agyagásványok, az agyag frakció, mint mikroökológiai tényező befolyásolja a mikroorganizmusok életműködését. Az agyagásványok (bentonit, montmorillonit) és más talajrészecskék is befolyásolják a mikroorganizmusok aktivitását és növekedését (Filip, 1977).

McGilloway, et al. (2003) tapasztalták, hogy az agyagásványok - kationcserélő képességük révén, miközben NH_4^+ ionokat adszorbeálnak - a nitrifikáló baktériumok tevékenységét aktiválják, ezzel tápanyagokat szolgáltatnak számukra.

England, et al. (1993) megállapításai, hogy az ember által talajba juttatott baktériumoknak fennmaradásában számos biológiai, kémiai, és fizikai tulajdonság játszik szerepet, melyek közül igen meghatározó az agyag típusa, mennyisége, valamint a ragadozó protozoák jelenléte. Az agyagásványok védőréteget alakítanak ki a baktériumok számára a ragadozó protozoáktól, és védelmet nyújtanak a mikroorganizmusok pusztulását okozó kiszáradás ellen is.

Az agyagásványok elsődleges hatása a talaj diszponibilis víztartalmának növelése. Így közvetve hozzájárulnak a biológiai aktivitás serkentéséhez, hiszen a mikrobiális életközösség számára a talaj vízpotenciálja az egyik legfontosabb tényező. A talaj nedvességtartalma és az algák mennyisége között szoros összefüggést bizonyított (Shitina & Bolyshev, 1963; Shimmel & Darley, 1985).

Makádi, et al. (2007) biogáz-üzemi fermentlé hatását vizsgálták nyírségi homok textúrájú talajon néhány talajenzim aktivitására (dehidrogenáz, invertáz, kataláz), különböző bentonit-kezelések (0, 10, 20, 30 t ha⁻¹) mellett. A dehidrogenáz és kataláz aktivitását illetően a fermentlé hatása a nagyobb bentonit dózis mellett, míg az invertáz aktivitását a fermentlé az alacsonyabb dózisú bentonit-kezelések mellett befolyásolta pozitívan.

Káta et al. (2004) azt vizsgálták, hogy humuszos homoktalajon kukorica kultúra talajában hogyan változik a talaj biológiai aktivitása bentonit (5-10-15-20 t/ha), valamint bentonit + istállótrágya (5+9 t/ha, 10+18 t/ha, 15+17 t/ha, 20+36 t/ha) együttes kijuttatásakor. Eredményeik szerint a bentonit alkalmazása önmagában kedvezőbbnek bizonyult, mint a komposzttal együtt kijuttatva, illetve tapasztalataik szerint a nagyobb dózisok a vizsgált mikrobák számában csökkenést idéztek elő.

Golchin et al. (1996) 5 és 25 % agyag tartalmú talajt készítettek úgy, hogy kaolinitet és bentonitot kevertek homokhoz. Az így készült mesterséges talajt beoltották természetes talajból származó mikroorganizmusokkal és a glükóz mikrobiológiai transzformációját vizsgálták.

Choi et al. (1995) szállító közeget kerestek *Rhizobium* oltóanyaghoz. A vizsgált anyagoknak eltérő nedvességtartalmuk és kémhatásuk volt. A bentonit + vermikulit bizonyult a legjobbnak a legtöbb *Rhizobium* populáció esetében.

Fallik & Okon (1996) vizsgálatai alapján az *Azospirillum brasilense* oltóanyag szállítására a tőzeg örleményt és a bentonit örleményt találták alkalmas közegnek.

Heijnen & Veen (1991) homokos vályog talajt oltottak be *Rhizobium* törzsszel, majd azt vizsgálták, hogy a 10 % kaolinit, valamint 5 és 10 % bentonit mennyire segíti ennek a törzsnek a talajban való fennmaradását és elszaporodását. Legkedvezőbb hatást a 10 %-os bentonit dózis alkalmazásakor kaptak. További vizsgálatok alapján arra a következtetésre jutottak, hogy már az 1 % bentonit is az 5 %-os adaghoz hasonló hatást eredményezett, ha a bentonitot nem a talajoltást követően juttatták ki, hanem az inokulálást a baktériumtörzs és a bentonit keverékével végezték el (Heijnen, et al. 1992).

Simon & Biró (2005) azt tapasztalták a Gyöngyösoroszból származó bányameddő stabilizálása (1% CaCO_3 , 5% szennyvíziszap komposzt, és 7,5% m/m zeolit kijuttatásával) során, hogy a kombinált kezelés mellett kevésbé csökkent a közeg pH-ja, mint a csak meszezésben részesült kultúrákban. Megállapították továbbá, hogy a vörös csenkesz gyökerének mikorrhizáltságát elősegíti a mész, a szennyvíziszap komposzt és a zeolit együttes kijuttatása.

Heijnen et al. (1993) a *Rhizobium leguminosarum* sejtjei által termelt jelentős mennyiségű CO_2 -produkciót mértek, amikor a homokos vályog talajt bentonittal javították. A jobb kolonizációt annak köszönheték, hogy a bentonittal javított talaj víztartó képessége és porozitása jobb volt, mint az eredeti homokos vályog talajé.

Kurek & Jaroszuk (2003) vizsgálatai szerint a talaj agyagtartalmának 2 % bentonittal való növelése pozitívan hatott a *Pseudomonas fluorescens* törzsekre is, mely így hatékonyabban lépett fel a rozs rizoszférájában, részben, mint a növényi növekedést serkentő rizobaktérium, részben, mint *Fusarium* inhibitor.

Korábbi vizsgálataink a bentonit + istállótrágya a talajban élő mikroorganizmusokra gyakorolt együttes hatásainak tanulmányozására is kiterjedtek. A trágyázás már önmagában is nagymértékben befolyásolta a talajok biológiai jellemzőit. Müller (1991)

és Kátai (1992) arra az eredményre jutottak, hogy a talajban élő mikroorganizmusok számát, és a talajban lejátszódó mikrobiális folyamatokat a szerves trágya alkalmazása stimulálja.

A tápanyagok feltáródását a tápanyagok formája, a kijuttatás időpontja, illetve a termőhelyi adottságok (talajtulajdonság, klimatikus tényezők) határozzák meg (Radics, 2003; Kátai, 2005). Közvetlen tápanyaghatás az ásványi kötésben, valamint a könnyen mineralizálódó szerves kötésben lévő tápelemekből várható. A szerves trágyák tápanyagainak ez a része már a kijuttatás évében rendelkezésre áll. A tápanyagok másik része a szerves anyagokba beépülve található (Schmidt, 2002).

Kátai (2006) szerves trágyázás hatását vizsgálta a talaj mikrobiológiai aktivitására, mono-és trikultúrában termesztett kukoricában, mészlepedékes csernozjom talajon. A szerves anyag szignifikánsan növelte a nitrifikáló baktériumok mennyiségét, kedvezően befolyásolta a foszfatáz és ureáz enzimek aktivitását, kedvezően hatott a szacharáz és a kataláz aktivitására is, az utóbbi két enzim aktivitására a nagyobb dózisok már gátlón hatottak. A nitrogén-fixáció mértéke, és az aerob cellulózbontó baktériumok mennyisége trikultúrában nagyobb volt, illetve a foszfatáz, szacharáz, és ureáz enzimek aktivitása szignifikánsan volt nagyobb trikultúrában, mint monokultúrában.

Kátai et al. (2007) megállapításai szerint a bentonittal komposztált istállótrágya szignifikánsan növelte a talajban az összes-csíraszámot, az összes-gombaszámot, a cellulózbontó baktériumok mennyiségi előfordulását, valamint a talaj biomaszta-C tartalmat.

Losakov et al. (1986) és Bolton et al. (1985) vizsgálati szerint a szerves trágyázás két-háromszorosára növelte a talaj szerves anyagait használó baktériumok számát, valamint jelentősen fokozta több enzim működését. Szerves anyag utánpótlásként használt növényi maradványok, illetve az istállótrágya kedvező hatást gyakorolt leromlott szerkezetű talajokban a cellulózbontó mikroorganizmusokra, a talaj biológiai aktivitására, s ezen keresztül a terméseredményekre (Kobus, et al. 1987).

Homoktalajokban a bentonit alkalmas a különálló homokszemcsék összecementálására, ezzel sejtszerű térhálós mikroszerkezet kialakítására (Tombácz, et al. 1998). A kedvező szerkezet kialakulásával feltehetően javult a talajban élő szervezetek abiotikus feltételrendszere (mikrokörnyezete).

Usman et al. (2005) különböző agyagásványok (Ca-bentonit, Na-bentonit, zeolit) hatását vizsgálták szennyvíziszappal kezelt talajokon inkubációs kísérletben a talaj nehézfém szennyezettségére, és mikrobiológiai tulajdonságára. Eredményeik szerint az

agyagásványok, kiváltképpen a Na-bentonit, és a Ca-bentonit hatására csökkent a talaj fémkoncentrációja, nőtt a talajlégzés, a talaj mikrobiális biotartalom, a szerves-N tartalma. Összegezve, ezen irodalmi eredményeik azt igazolták, hogy az agyagásványok kedvező hatással voltak a talaj mikrobiológiai életére, ezen keresztül a talaj termékenységére.

Az irodalmi adatok többsége alapján összefoglalva megállapíthatjuk, hogy a savanyú homoktalajon javítás céljából alkalmazott bentonit, valamint bentonit + szerves trágya, valamint a zeolit hatására a talajfizikai- és kémiai paraméterek pozitívan változtak meg, emellett kedvezően hatottak a kezelések a talaj mikrobiológiai tulajdonságaira is. Az irodalmi adatok alapján a kedvezőbb talajtulajdonságok hatására talaj mikrobiológiai folyamatok intenzitása is felerősödött.

4. Anyag és módszer

4.1. A felhasznált anyagok

A vizsgálatok kezdetén meghatároztuk az alkalmazott anyagok - bentonit és zeolit - néhány fizikai és kémiai jellemzőjét. A fizikai tulajdonságok közül megállapítottuk a leiszapolható rész százalékos arányát, az Arany-féle kötöttséget, és a só százalékot. Mértük továbbá a kémhatását, szerves szén-, és nitrogén-, valamint a nitrát-, az AL-oldható foszfor- és káliumtartalmat. 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 bentonit fontosabb fizikai és kémiai jellemzőit az 1. táblázat tartalmazza.

A felhasznált **bentonit** az Arany-féle kötöttségi szám értéke és a leiszapolható rész aránya alapján a vályog textúrájú talajhoz hasonló. A bentonit sótartalma rendkívül alacsony.

A bentonit kémiai jellemzőit tekintve kémhatása gyengén lúgos ($\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}=7,3$). Szerves-C és N tartalma alacsony, könnyen oldható foszfortartalmát tekintve „közepes ellátottságú”, míg könnyen oldódó káliumtartalma „igen magasnak” bizonyult.

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 kísérletben felhasznált **zeolit** (1. táblázat) az Arany-féle kötöttségi szám értéke és a leiszapolható rész aránya alapján a vályog textúrájú talajhoz hasonló. Sótartalma alacsony.

A zeolit kémiai jellemzőit tekintve kémhatása gyengén lúgos ($\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}=7,9$), Szerves-C és N tartalma rendkívül alacsony, könnyen oldható foszfortartalmát tekintve „megfelelő”, míg könnyen oldódó káliumtartalma nagyon „magasnak” bizonyult.

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

Vizsgált paraméterek	Bentonit	Zeolit
Leiszapolható rész (Li %)	38	38
Arany-féle kötöttségi szám (K_A)	39	41
Só (%)	0,03	0,08
Kémhatás pH _(deszt.víz)	7,3	7,9
pH _(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 ₂ O ₅ (mg/1000g)	159	171
AL-oldható K ₂ O (mg/1000g)	570	1010

4.2. 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 kisparcellás, 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_{H₂O} 5,3; 5,6) volt. Mindkét talajtípus humuszban szegény. A talajok tápanyag-ellátottságának megállapításánál figyelembe kell venni a tápanyagok mellett a talaj termőhelyi besorolását, valamint a humusztartalmát és AL-oldható K₂O esetén a talaj Arany-féle kötöttségi értékét. Az AL-oldható P₂O₅ értékelésénél a CaCO₃-mennyisége az irányadó. A fent említettekre tekintettel megállapíthatjuk, hogy a vizsgált talajok nitrogénben szegények, foszfortartalmukat tekintve közepesen ellátottak, míg a felvehető káliumtartalma a kovárványos barna erdőtalajnak megfelelő, a humuszos homoktalajnak jónak minősíthető.

2. táblázat: A felhasznált talajok főbb jellemzői

Vizsgált paraméterek	Kovárványos barna erdőtalaj	Humuszos homoktalaj
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 _(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)	6,50	3,8
AL-oldható P ₂ O ₅ (mg/1000g)	149	89
AL-oldható K ₂ O (mg/1000g)	251	211

4.3. A kísérleti háttér

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

4.3.1. 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. A kisparcellás kísérlet beállítása elsősorban az ott termesztett növények termésbecslésére irányult, a növényeken fenológiai megfigyeléseket végeztek. 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, melyet 2002 tavaszán közvetlenül a vetőmag alá jutattak be. Talajmintáinkat a kontroll és a növekvő bentonit adagokkal kezelt (5, 10, 15, 20 t/ha) parcellákból gyűjtöttük. A vizsgálatokat az átlagmintából végeztük. 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.	x	5
2.	2x	10
3.	3x	15
4.	4x	20

4.3.2. A tenyészedényes kísérlet

A szabadföldi kísérletek folytatásaként tenyészedényes kísérletet állítottunk be az Intézet tenyészházában, hogy ellenőrzött körülmények között is megvizsgáljuk a bentonit hatását a homoktalaj számos tulajdonságára, és alátámasztjuk, valamint igazoljuk a szabadföldön tapasztaltakat. Tenyészedényben a bentonit mellett, egy másik természetes anyag, a zeolit hatását is vizsgáltuk, mint a homoktalaj másik lehetséges perspektivikus javítóanyaga.

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 kísérletek esetében – mivel a kísérleti edényekben a talajt meghatározott tömegre 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.

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 ismétlésben, 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 (április elején) 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 május– június 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.

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	*x	*x	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 (5 t ha^{-1}) 3x-os mennyisége					

4.4. Vizsgálati módszerek

4.4.1. Talajfizikai és talajkémiai vizsgálati módszerek

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

Nedvességtartalom mérése

Az ismert tömegű nedves talajmintát nyitott fedelű edényben szárítószekrénybe tettük, és $105\text{ }^{\circ}C$ -on súlyállandóságig szárítottuk, majd az így kapott száraz talaj tömegét visszamértük. A nedvességtartalmat tömeg %-ban, az abszolút száraz talaj tömegére vonatkoztatva adtuk meg (Klimes-Szmik, 1962).

Vízemelő- és víztaró-képesség vizsgálat

A bentonitnak és zeolitnak a talaj nedvességtartó képességére gyakorolt hatását laboratóriumi körülmények között végeztük az öt órás vízemelés vizsgálatával mind a bentonit, mind a zeolit esetében, illetve vizsgáltuk a homok textúrájú talaj vízmegtartó képességét a különböző dózisok függvényében.

A **vízemelési érték** azt mutatja meg, hogy egy üvegcsőben levő talajoszlopban a víz hány mm-re tud adott idő alatt felemelkedni. Egy méter hosszú, három cm átmérőjű, egyik végén szitaszövettel elzárt műanyag csöveket (2 mm-es szitán átszítált) talajjal -

mérsékelt tömörítés közben – megtöltöttünk. A kontroll-kezelés mellett, - amely a homoktalajt tartalmazta - a következő négy kezelés a tenyészedény dózisainak megfelelően bentonit+talaj és zeolit+talaj keverékkel – alapos homogenizálás után - került feltöltésre. A bentonit is, illetve a zeolit is 2mm nagyságú szitán szintén átszitálásra került. A dózisok a következőképpen alakultak: 300g talajhoz került 1,5g, 3g, 4,5g valamint 6g bentonit illetve zeolit, mely megfelel az 5g kg^{-1} , 10, 15 és 20g kg^{-1} -os tenyészedényes adagoknak. Emellett külön is megvizsgáltuk a bentonit és zeolit vízemelését. A csöveket a szövettel bekötött alsó végükkel desztillált vizet tartalmazó lapos tálba állítottuk, és 5 óra elteltével megmértük az átnedvesedett talajréteg vastagságát (Filep, 1995). A laboratóriumi kísérletet négy ismételtsben állítottuk be.

Vizsgáltuk továbbá, hogy a különböző bentonit és zeolit dózisok talajba keverésével a talaj képes-e több vizet megtartani a „tisztá” homoktalaj **víz megtartásához** képest. A vizsgálatot szintén laboratóriumban végeztük, négy ismételtsben. A kezelések az előző vizsgálatéhoz hasonló kezelésekből és dózisokból álltak: kontroll homok-talaj, „tisztá bentonit”, valamint „tisztá zeolit” került bemérésre, illetve a bentonit+talaj és zeolit+talaj megfelelő arányú homogenizált keveréke, vagyis a talaj 5, 10, 15 és 20g kg^{-1} bentonitot és zeolitot tartalmazott 100 g talajra vonatkoztatva. A talaj+megfelelő arányú bentonit és zeolit keverékekre 100 ml desztillált vizet adtunk, majd egy óra eltelte után mértük a talajon átcsepegett víz mennyiségét. A lecsepegett víz mennyiségét mérőhengerben határoztuk meg.

Arany-féle kötöttség meghatározása (K_A)

A fizikai talajféleség meghatározása a talajok vízfelvevő képességén alapszik, ami arányos a kolloidtartalmukkal. Minél több kolloidot tartalmaz a talaj, annál több víz kell ahhoz, hogy a talaj a képlékenységi felső határát elérje. Porcelán mozsárba bemérve 100g talajt, bürettából nedvesítve azt – keverés közben – addig történt a talaj nedvesítése, míg a keverő spatulán maradt talajpaszta csúcsosan kiemelkedő vége vissza nem hajlott. A fogyott víz cm^3 -eiből következtetünk a kötöttségi értékre (Filep, 1995).

Leiszapolható rész% ($L_i\%$)

Az agyag és a por (iszap) frakció együttes mennyiségét tömegszázalékban fejezi ki. 25 g (50 g) légszáraz talajt bemértünk egy főzőpohárba, és desztillált vízzel (500 cm^3) két órán át főztük. Lehűlés után ülepítő hengerbe átmosva (1000 cm^3) alaposan felráztuk, és 4 perc 38 mp-ig ülepedni hagytuk. Majd 10 cm mélységből 10 cm^3 -t

kipipettáztunk, majd előzetesen analitikai mérlegen lemért bepárló edénybe a kipipettázott frakciót bepároltuk, majd 105 °C szárítottuk. Lehűlés után a bepárló edényben levő visszamaradt frakciót lemértük, melynek segítségével kiszámoltuk a talaj leiszapolható rész %-át (Filep, 1995).

Talajok Kuron-féle higroszkópossága (hy)

Az a vízmennyiség, melyet a száraz talaj ismert és meghatározott relatív páratartalmú térből vesz fel. 2 mm-es szitán átszitált légszáraz talajból 10 g-ot egy ismert tömegű szárítóedénybe mértünk, aztán vákuum-exikátorba helyeztük, melynek alján 50 %-os kénsav volt. Az exikátort vízlégszivattyúval légtelenítettük. Tíz nap múlva telítődött vízgőzzel. Ezt követően a vákuum-exikátort felnyitottuk, a benne levő edényeket lefedtük, és analitikai mérlegen megmértük a tömegét. A talaj száraz és nedves tömegének ismeretében az abszolút száraz talaj tömegére vonatkoztatva %-ban fejeztük ki a higroszkóposság értékét (Filep, 1995).

Talajok kémhatása (pH)

A talajok kémhatását 1:2,5 arányú talaj desztillált vizes és M KCl-os közegben határozzuk meg. A mérést pH mérő készülékkel az oldatok 12 órás állása után az elektródot oldatba merítve végeztük el (Buzás et al. 1988).

Talajok hidrolitos aciditása (hy₁)

Lúgos oldat hatására a kolloidok protonszolgáltató csoportjairól H⁺ ionok kerülnek oldatba, ezért a kolloidok töltése nő. Ugyanakkor Ca²⁺ ionokra cserélődnek az állandó töltésekhez kötődő Al³⁺ és H₃O⁺ ionok. A szabaddá vált felületi töltések az oldatból Ca²⁺ ionokat kötnek meg, a deszorbeált, illetve disszociált H⁺ ionok pedig az oldat acetát-ionjaival ecetsavvá egyesülnek, amely mennyiségét NaOH-dal történő titrálással határozhatjuk meg (Filep, 1995).

Humusztartalom meghatározása kolorimetriásan

A kálium-dikromát (K₂Cr₂O₇) oxidálható anyagok jelenlétében, savas közegben erélyes oxidálószer. A dikromát – oxidálva a szerves anyagokat – krómsókká redukálódik, miközben az oldat színe narancssárgából zöldbe megy át. A főleglegben maradt kálium-dikromát mennyiségét kolorimetriásan (580 nm hullámhosszon) mérjük. (Buzás, 1988).

CaCO₃ tartalom meghatározása

A mérést Scheibler-féle kálciméter segítségével végeztük. A talajra híg, 10%-os sósavat öntöttünk, és a fejlődő CO₂ gáz térfogatából következtetünk a talaj CaCO₃ tartalmára, melyet %-ban adtunk meg.

Talajok nitrát-N tartalmának és nitrát-feltáródásának meghatározása

A nitrát-ion kénsavas közegben Na-szaliciláttal sárga színt képez, ami 0,02 – 5 mg liter⁻¹ NO₃-N koncentrációk között alkalmas mennyiségi meghatározásra. A mérést spektrofotométer segítségével végezzük 430 nm hullámhosszon (Felföldy, 1987).

A nitrát-N tartalom meghatározása után a laboratóriumba behozott talajmintákból érlelési kísérletet állítottunk be 37 °C-on, termosztátban, majd a két hetes inkubáció után újból meghatároztuk a talaj nitrát-N tartalmát. A két mérés különbsége adta a nitrát-feltáródás mértékét.

Talajok AL-oldható foszfor- és káliumtartalmának meghatározása

A talajok könnyen oldható foszfor- és káliumtartalmának meghatározása 0,1 M ammóniumlaktát (AL) kivonószerezrel történt, melynek pH értéke 3,7. A foszfor és kálium meghatározása ugyanazon szűrletből végzendő.

Foszfortartalom meghatározása: a kivonatból 10 cm³-t kipipetázva hozzáadtunk 15cm³ kénsavas ammónium-molibdenátot, majd redukálás céljából 1 cm³ aszkorbinsavas ón-klorid oldatot, így kék színeződés jött létre. A kapott szín erősségét 660 nm hullámhosszon fotometráltuk.

Káliumtartalom meghatározás: a szűrletből lángfotométer segítségével, a lángfestés intenzitása alapján meghatározhatjuk a káliumtartalmat. Az ismeretlen minta által előidézett galvanométer kitérést feljegyeztük, majd a galvanométer kitérés K₂O mg/100g összefüggést ábrázoló standard –egyenes alapján megállapítottuk a minta káliumtartalmát (Egnér, 1960).

4.4.2. Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek

A mikrobiológiai vizsgálatokat illetően az összes csíraszámot (húsleves-agaron) és a mikroszkopikus gombák mennyiségét (pepton glükóz – agaron) talaj-vizes szuszpenzióból lemezöntéssel határoztuk meg (Szegi, 1979). A cellulózbontó, valamint

a nitrifikáló baktériumok számát Pochon - Tardieux, (1962) szerint a legvalószínűbb csíraszám módszerével állapítottuk meg. A talaj mikrobiológiai aktivitásának megismerésére mértük a talajok szén-dioxid-termelését Witkamp (1966. cit. Szegi, 1979) módszere alapján, a talaj biomasza-C és N tartalmát kloroform fumigációs-inkubációs eljárással (Jenkinson et al.1976), valamint néhány enzim aktivitását is mértük, így az ureázét (Kempers cit. Filep, 1995), a szacharázét (Bertrand cit. Szegi, 1979), és a foszfatázét (Krámer-Erdei, 1959).

Baktérium és mikroszkopikus gombaszám meghatározása lemezöntéses módszerrel

A talajok mikrobiológiai jellemzői közül az összes-csíraszámot (húsleves agar táptalajon) és a mikroszkopikus gombák számát (pepton-glükóz agar táptalaj) lemezöntéses eljárással határoztuk meg. Az inkubáció az összes-csíraszám meghatározásánál 30±1 °C-on 48 órán keresztül, a mikroszkopikus gombák esetében pedig 25±1 °C-on 72 órán keresztül tartott.

Az alkalmazott táptalajok összetétele a következő:

Húsleves agar:

Desztillált víz	1000ml
Beef extract	15g
Pepton	5g
NaCl	3g
K ₂ HPO ₄	1g
Agar	20g.

A húsleves agar pH-ját 1M NaOH-dal 7,2-re állítjuk be.

Pepton-glükóz agar:

Desztillált víz	1000ml
Glükóz	10g
Pepton	5g
MgSO ₄	0,5g
KH ₂ PO ₄	1g
Agar	20g
Rose bengal	3,3mg
Intramycin	2 ml/400ml

A meghatározás menete a következő volt: 10g talajt 90 ml sterilizált vízbe tettünk, majd harminc percig ráztuk. A rázás befejezése után hígítási sort készítettünk. Az egyes hígítási fokokat tartalmazó kémcsövekből 1-1 ml-t pipettáztunk – 2 ismételten – Petri csészékbe, steril körülmények között. A baktériumok számának meghatározásához a 10^5 és 10^6 , míg a gombaszám meghatározásához a 10^3 hígítást használtuk. Ezután 15-20 ml 50 °C-ra lehűtött, még folyékony agaros táptalajt öntöttünk Petri csészékbe, majd azokat a táptalaj megszilárdulása után termosztátba helyeztük és a mintákat a megfelelő ideig és hőmérsékleten inkubáltuk. Az inkubációs idő letelte után leszámoltuk az egyes Petri-csészékből izolálható telepek számát, beszoroztuk a hígítás fokával, és az így kapott számokat mintánként átlagoltuk. A baktérium- és gombaszámot egy g talajra vonatkoztattuk (Szegi, 1979).

Cellulóz bontó és nitrifikáló baktériumok számának meghatározása

Ezen fiziológiai csoportokba tartozó baktériumok mennyiségi meghatározását Pochon-Tardieux (1962) a legvalószínűbb csíraszám megállapítására kidolgozott módszere szerint végeztük. A tenyészeteket 28 °C-on 14 napig inkubáltuk. Értékeléskor a mikroorganizmusok valószínű mennyiségét a McCarty-féle karakterisztikus számrendszerek segítségével számoltuk ki. Ezzel a módszerrel az adott hígítás 1 ml-ének valószínű sejtszámát kaptuk meg, amelyet azután egy g száraz talajra számoltuk ki.

Aerob cellulóz bontó baktériumok táptalaja:

Desztillált víz	1000 ml
K ₂ HPO ₄	1,0g
CaCO ₃	0,1g
MgSO ₄	0,3g
NaCl	0,1g
FeCl ₃ 5%-os	2 ml
NaNO ₃	2,5g
Szűrőpapírcsík	1db/kémcső

Nitrifikáló baktériumok táptalaja:

Desztillált víz	1000 ml
K ₂ HPO ₄	1,0g
NaCl	1,0g
MgSO ₄	0,5g
CaCO ₃	5,0g
(NH ₄) ₂ SO ₄ 2%-os	1ml/kémcső

A talaj CO₂-termelésének meghatározása

A talajmintákat szitáltuk, a gyökérmaradványokat eltávolítottuk. Az így előkészített talajból 100 g-ot bemértünk egy Petri csészébe, amit aztán három l-es légmentesen zárható üvegedénybe tettünk. Majd minden edénybe 2 db csészében 10 ml 0,1 M-os NaOH-t mértünk, az edényeket lezártuk és 10 napon keresztül szobahőmérsékleten inkubáltuk. A 10 nap elteltével 0,1 M-os HCl-al titrálva megállapítottuk az először szabadon maradt, majd lekötött NaOH mennyiségét, amelyből a képződött CO₂-ot számoltuk ki (Witkamp, 1966. cit. Szegi, 1979).

A talaj mikrobiális biomassza – C és N tartalmának meghatározása

A talajmintákat szitáltuk, a gyökérmaradványokat eltávolítottuk. Az így előkészített talajból kezelésenként három ismétlésben bemértünk 2x30g talajt, hármat kontroll, hármat fumigáció céljára. A kontroll mintákra 0,5M K₂SO₄-ot öntöttünk, egy éjszakán át állni hagytuk, majd egy órán át rázattuk, és szűrtük. A fumigálásra szánt mintákat vákuum-exikátorba helyeztük, és kloroformmal egy napon keresztül fumigáltuk. Ezt követően hasonlóan jártunk el, mint a kontroll mintáknál.

A mikrobiális biomassza-C meghatározáshoz a fumigált és nem fumigált szűrlet 8 ml-éhez kálium-bikromátot (K₂Cr₂O₇), majd H₂SO₄/H₃PO₄ elegyet és desztillált vizet adtunk fokozatosan, s az így kapott oldatot másnapig állni hagytuk. A talaj mikrobiális biomassza – C tartalmát megkapjuk, ha az oldatot ferroin indikátor jelenlétében Mohr-sóval (vas-ammónium szulfát x 6H₂O) titráljuk (Jenkinson & Powlson, 1976).

A mikrobiális biomassza-N-t kénsavas roncsolással határoztuk meg. Roncsolás után az oldat 50 ml-ét 50%-os NaOH jelenlétében desztilláltuk. A keletkezett ammóniát 2%-os bórsavban fogtuk fel. A titrálást „Groak-indikátor” mellett n/70 H₂SO₄-el végeztük (Brookes et al. 1985).

Talajok enzimaktivitásának vizsgálati módszerei

A talajbiológiai folyamatok intenzitásának egyik igen elterjedt mérési módszere az enzimatis aktivitás meghatározása. Az enzimaktivitás a talajban függ a fizikai és kémiai sajátosságoktól, a tápanyagtartalomtól, a kémhatástól, a sótartalomtól és egyéb talajtulajdonságoktól. A talajok enzimtartalmának egy részét a magasabb rendű növények szintetizálják és gyökérzetükön keresztül választják ki. A másik része

mikrobiális eredetű, azaz a talajban tevékenykedő mikroszervezetek anyagcseretermékei.

Foszfátáz enzim aktivitásának mérése

A foszfor egy jelentős része (25-65% között) szerves kötésben található a talajban, mely enzimatis (foszfátáz enzim segítségével) úton alakul át szervetlenül.

Az enzim aktivitását Krámer-Erdei, 1959 (cit. Szegi, 1979) módszere szerint határoztuk meg. A megfelelően előkészített szűrlet 5 ml-éhez ugyanennyi borax puffert (Na-borát+HCl) és Gibbs-reagenst (2,6 dibróm-kinon-klórimid 96%-os etanolban feloldva) adva, az enzimaktivitást kolorimetrikusan mértük. A hidrolizált foszforsavat P_2O_5 mg $100g^{-1}$ talaj $2h^{-1}$ -ban fejeztük ki, két órás expozíciós időt figyelembe véve.

Szacharáz enzim aktivitásának mérése

A szacharáz aktivitás mérése Bertrand módszere (cit. Szegi, 1979) szerint történt. A módszer a szacharóz széthasadása következtében felhalmozódó redukáló cukrok kimutatásán alapszik. Az enzimaktivitást 24 órás inkubáció után határoztuk meg. 100 ml-es Erlenmeyer-lombikokba 20 ml vizsgálandó oldatot mértünk be, melyekre 20-20 ml Fehling I. ($CuSO_4$ -oldat) és Fehling II. (Seignette-só+KOH-oldat) reagenst adtunk. A lombik száját óraüveggel lefedve három percig forraltuk, majd a képződő vörös csapadékkal együtt maradék nélkül G4-es szűrőtégelybe mostuk. A csapadékot a szűrőtégelyből 20 ml Fehling III. [$Fe_2(SO_4)+cc. H_2SO_4$ -megfelelő arányú oldata] reagenssel oldottuk fel, és átszűrtük. A szűrletet 5 g $1000 ml^{-1}$ $KMnO_4$ -oldattal rózsaszín árnyalat megjelenéséig titráltuk. A szacharáz mennyiségét glükóz mg g^{-1} talaj $24h^{-1}$ mértékegységben adtuk meg.

Ureáz enzim aktivitásának mérése

Az ureáz egykomponensű enzim, hatása szigorúan specifikus, kizárólag a karbamidot hidrolizálja, a hidrolízis végterméke a CO_2 és az NH_3 .

A mérés a karbamidból felszabaduló ammónia fotometriás módszerrel történő mennyiségi meghatározására épül. Az elkészített szűrlet 1-3 ml-éhez Na_2 -EDTA-reagenst, fenol-nitroprusszid oldatot, és hipoklorid-reagenst ($NaOH+Na_2HPO_4+NaOCl$) adtunk. Az ammónia mennyiségét indolfenolkék reakció alapján Kempers módosított eljárásával spektrofotométeren mértük. Az aktivitást NH_4-N mg g^{-1} talaj $24 h^{-1}$ -ban adtuk meg (Szegi, 1979).

4.5. 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.

4.5.1. 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 **tenyészedényes vizsgálatokban** a mintavételek 2007 és 2010 között minden tenéyszidőszakban kelést követően a negyedik, és nyolcadik hétben történtek, így egy tenéyszidőszakban két mintavételre került sor. A második mintavétel egybe esett a tenéyszedényes 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.

4.5.2. Növényi minták

A kisparcellás kísérlet beállításának célja a bentonit talajra és az ott termesztett növények termés mennyiségére (Makádi 2010) gyakorolt hatásának vizsgálata volt. Talajmintáinkat zöldborsó (*Pisum sativum* L.) kultúra alól vettük.

Tenyészedényes 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 biomasszát száraz tömeg g kg^{-1} edény mértékegységben adtuk meg. Az eredmények ismertetése során a növényi biomasszát az évenkénti két mintavétel összegeként tüntettük fel.

4.5.3. Statisztikai feldolgozás módja

Az eredmények értékelése során statisztikai elemzést készítettünk. Kiszámoltuk a mintavételi átlagokat, a szórást. F-próbát végeztünk variancia analizissel, mely a varianciák összehasonlításán alapszik. 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 kell számolni, melyet a kutatási eredmények értékelése során a mezőgazdaságban általánosan a $p=5\%$ -os szinten számítjuk. 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 feltüntetésre kerültek a hibahatár értékei 1%-os valószínűségi szinten is, melyek az ábrákon dőlt számmal vannak jelölve. A vizsgálati eredmények elemzése azonban a mezőgazdaság által leginkább alkalmazott 5%-os szignifikancia határértéken történt (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 készítettünk, kiszámolva a regressziós együttható, vagyis az r^2 értékét, illetve regressziós egyenes egyenletét.

Faktoranalízissel vizsgáltuk, hogy a mért tulajdonságok mely csoportjai határozzák meg a kezelések okozta változásokat, és ezek alapján a vizsgált változók hogyan csoportosíthatók.

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.

5. Vizsgálati eredmények és azok értékelése

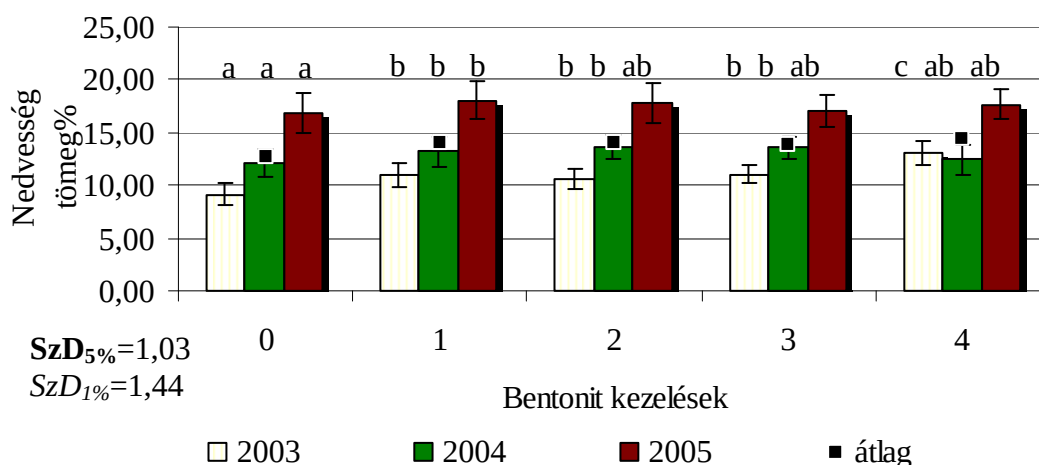
5.1. Bentonittal és zeolittal kezelt talajok fizikai tulajdonságainak alakulása

Ebben a fejezetben azokat az eredményeket mutatjuk be, amelyeket részben a kisparcellás kísérletben tapasztaltunk a talaj nedvességtartalmával kapcsolatosan, illetve amelyeket laboratóriumi körülmények között végeztünk a talaj vízemelő- és víztartó képességére.

5.1.1. Bentonit hatása a homoktalaj nedvességtartalmára

A 2003-2005 között folyó kisparcellás kísérletben a homoktalajon csak a bentonit hatását vizsgáltuk, ahol tanulmányoztuk a kezelések nedvességtartalomra gyakorolt hatását (1. ábra).

A talaj nedvességtartalmának vizsgálatával kapcsolatosan azt tapasztaltuk, hogy a nagy montmorillonit tartalmú, nagy duzzadóképeségű bentonit ugyancsak növelte a talajok víztartó képességét, s ezáltal javította azok vízháztartását. A nedvességtartalom a három év átlagában 12,73 és 14,38 tömeg % között változott. Mindegyik dózis szignifikánsan növelte a talaj nedvességtartalmát, viszont a dózisok között szignifikáns különbséget nem tapasztaltunk. Már a kis dózisú bentonit talajhoz keverése is közel 10%-os (9,72%-os) növekedést eredményezett a talajnedvesség tartalomban. A legnagyobb nedvességtartalmat a három év során a legnagyobb dózisú kezelésben mértünk. Az ábráról az is látszik, hogy a 2003-as, 2004-es mintavételek alkalmával kisebb, míg a 2005-ös mintavétel alkalmával nagyobb nedvességtartalmat mértünk.



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

5.1.2. A talaj vízelelésének, vízmegtartó képességének, és a talaj nedvességtartalmának változása

A laboratóriumi vizsgálatok azt mutatták, hogy a kontroll homok **vízeleléséhez** viszonyítva mind a bentonit, mind a zeolit szignifikánsan kisebb mértékben emelte a vizet (5. táblázat).

A „tisztá” **bentonit** szignifikánsan magasabbra emelte a vizet a zeolit értékeihez viszonyítva. A bentonit és zeolit vízelése között 90 mm különbség mutatkozott öt óra alatt. A bentonitnál 8%-kal, a zeolitnál 27%-kal kisebb vízelést tapasztaltunk, mint a „tisztá” homoknál.

Bentonitnál a vízelés a homok textúrájú talaj vízelésével összehasonlítva a dózisok növekedésével nem szignifikánsan, de párhuzamos csökkenő tendenciát mutatott.

A **zeolit**+talaj keverékeknél is csökkent a vízelés mértéke, a nagy dózis (6 g 300 g⁻¹) mellett szignifikáns csökkenést tapasztaltunk.

A vízelés mértéke mindkét természetes anyagnál a nagy dózis mellett volt a legkisebb, azonban szignifikáns különbség nem mutatkozott köztük. A zeolit nagy dózisában a vízelés mértéke közel 4%-al bizonyult kisebbnek, mint a bentonit ugyanezen dózisa mellett.

5. táblázat: A bentonit és a zeolit vízemelő képessége és azok hatása a homoktalajra

Kezelések sorszáma	Dózisok (g 100g ⁻¹)		Vízemelés (mm) 5h ⁻¹	
	Kontroll		Bentonit	Zeolit
	Bentonit	Zeolit	430	340
0.	Kontroll homok		468 a	468 a
1.	0,5		468 a	455 a
2.	1		465 a	448 a
3.	1,5		460 a	440 a
4.	2		455 a	438 ab
SzD_{5%}			29	
SzD_{1%}			39	

A **vízartó-képesség vizsgálat** eredményeiből (6. táblázat) kitűnik, hogy egy óra alatt a homok-talaj 100 ml vízből 38,50 ml vizet tartott vissza, ehhez viszonyítva azonban mind a bentonit, mind a zeolit lényegesen többet, vagyis vízmegtartó képességük nagyobbak bizonyult. Eredményeink szerint a bentonit több víz megtartására képes, mint a zeolit. A bentonit a homoktalaj vízmegtartó képességéhez mérten 10%-kal több vizet tartott meg, mint a zeolit.

A **bentonit**-kezeléseknél a homok-talaj vízmegtartásával összehasonlítva a kis és közepes dózisok csak kismértékben, míg a közepes-nagy és nagy dózisok szignifikánsan növelték a homok textúrájú talaj vízmegkötését. A két nagy dózis hatása között azonban statisztikailag igazolható különbséget nem tapasztaltunk.

A **zeolit**-kezeléssorozatban szintén nőtt a talaj vízmegkötő-képessége a dózisok növekedésével, azonban a kontroll talajhoz viszonyítva csak a nagy dózisú kezelés okozott a vízmegkötésben szignifikáns növekedést.

A bentonit- és zeolit-kezelések közepes-nagy és nagy dózisainak hatása között szignifikáns különbség már nem mutatkozott a talaj vízmegtartásában.

6. táblázat: Bentonit és zeolit vízmegtartóképessége és azok hatása a homoktalajra

Kezelések sorszáma	Dózisok (g 100g ⁻¹)		Vízartás (ml h ⁻¹ 100g ⁻¹)	
	Kontroll		Bentonit	Zeolit
	Bentonit	Zeolit	62,50	58,5
0.	Kontroll homok		38,5 a	38,5 a
1.	0,5		38,5 a	38,0 a
2.	1		40,0 a	39,5 a
3.	1,5		42,5 b	40,5 ab
4.	2		43,5 b	41,5 ab
SzD_{5%}			2,2	
SzD_{1%}			3,0	

A laboratóriumi vizsgálatok eredményeit összegezve megállapítottuk, hogy a bentonit és a zeolit alkalmazott dózisainak növekedésével párhuzamosan a homoktalaj **vízemelésének** mértéke csökkent. A zeolit nagy dózisában a vízemelés mértéke 4%-al bizonyult kisebbnek, mint a bentonit ugyanezen dózisa mellett. Mind a bentonit, mind a zeolit **víz megtartó képessége** a homokéhoz viszonyítva szignifikánsan nagyobb volt. A dózisok növekedésével a homoktalajban megtartott víz mennyisége növekedett. Eredményeink szerint a homoktalaj víz megtartó képességéhez mérten a bentonit 10%-kal több vizet tartott meg, mint a zeolit.

5.2. Bentonittal és zeollal kezelt talajok kémiai tulajdonságainak alakulása

5.2.1. A talaj kémhatása

Mind a szabadföldi, mind a tenyészedényes kísérletben mértük a vizes és 1 M KCl-os közegben meghatározott pH-értéket, valamint a hidrolitos aciditás értékének változását a különböző bentonit és zeolit dózisok hatására savanyú homok textúrájú talajokon.

Az eredmények egyértelműen azt bizonyították, hogy a kémhatás az enyhén lúgos kémhatással rendelkező, talajba juttatott természetes anyagok hatására nőtt.

Kisparcellás körülmények között a vizes közegben meghatározott pH (7. táblázat) a **bentonit** kis dózisának hatására (1) emelkedett nagyobb mértékben, azonban a dózisok között a három év során nem tapasztaltunk statisztikailag igazolható különbséget.

7. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj vizes közegben meghatározott kémhatására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

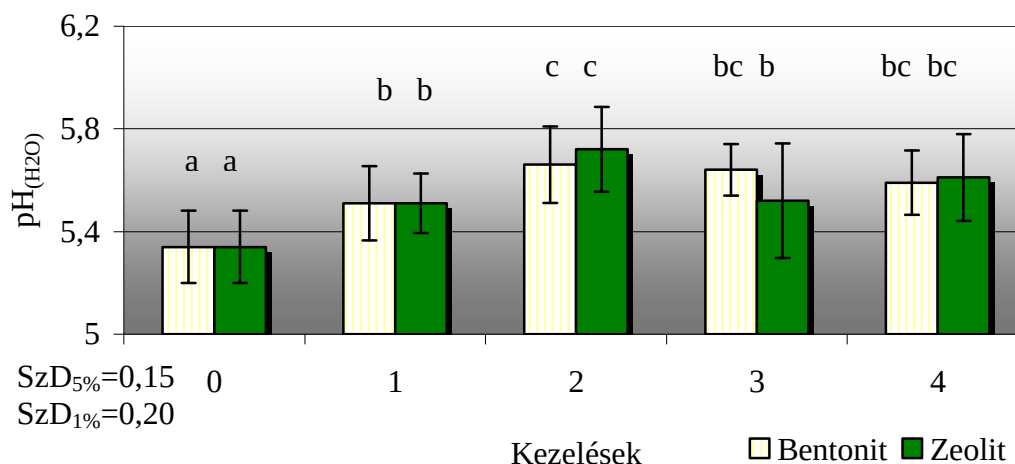
Bentonit dózisok	pH _(H₂O)			
	2003	2004	2005	Átlag
0.	5,26 a	5,28 a	5,31 a	5,28 a
1.	6,61 b	6,60 b	6,63 b	6,61 b
2.	6,18 b	6,42 b	6,28 b	6,29 b
3.	6,30 b	6,15 b	6,28 b	6,24 b
4.	6,24 b	6,32 b	6,42 b	6,33 b
SzD_{5%}	0,52	0,59	0,41	0,38
SzD_{1%}	0,74	0,84	0,58	0,54

Tenyészedényes kísérletünkben a kontroll talaj pH_(H₂O)-értéke a négy év átlagában 5,34 volt, vagyis savanyúnak bizonyult. Az első két évben a bentonit kis(1) és közepes

dózisai(2) szignifikánsan növelték a talaj kémhatását, mindkét évben a közepes dózisok emelték azt nagyobb mértékben. 2008-ban azonban a két nagy dózis is szignifikánsan serkentőnek bizonyult, azonban a nagy dózisok között statisztikailag igazolható különbséget nem határoztunk meg. 2009-ben és 2010-ben szintén növekedett a talaj vizes közegben mért kémhatása, azonban a dózisok hatásában nem tapasztaltunk különbséget és a növekedés mértéke sem bizonyult szignifikánsnak a kontroll értékéhez képest. A nagyobb mérvű $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ -érték növekedést az utóbbi két évben a nagyobb dózisok okozták (*Melléklet 1. Táblázat*). A négy vizsgálati év eredménye azt mutatta (2. ábra) – igazolva a szántóföldi eredményeket – hogy a bentonit hatására nőtt a kémhatás értéke, tenyészedényes körülmények között a közepes dózis mellett határoztuk meg a magasabb $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ -t, ugyanakkor ez statisztikailag nem különbözött a közepes-nagy(3) és nagy dózis(4) hatására tapasztalt eredményektől.

A **zeolit**nak a közepes dózisa mellett(2) határoztunk meg szignifikáns növekedést 2007-ben, a nagy dózisok a kontroll szintjéhez közeli pH-értékeket mutattak. 2008-ban minden kezelés szignifikánsan növelte a vizes közegben mért pH-t. A kis dózistól(1) eltekintve a kezelések hatása között szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni. 2009-ben a közepes-nagy dózis(3) mellett szignifikánsan csökkent a talaj kémhatása, míg 2010-ben pedig a kontrolltól mindegyik kezelésben nagyobb volt a $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$, a nagy dózis(4) mellett a növekedés szignifikáns mértékűnek bizonyult (*Melléklet 1. Táblázat*). A négy év átlagában (2. ábra) szintén elmondható, hogy az enyhén lúgos kémhatással rendelkező zeolit növelte a savanyú homoktalaj vizes közegben meghatározott pH-értékét.

Eredményeink alapján elmondható, hogy a vizes közegben meghatározott pH-értéket mindkét természetes anyag növelte savanyú homoktalajon. Bentonit-kezelések esetében szabadföldön már a kis dózis is szignifikánsan növelte a $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ -értéket, tenyészedényes körülmények között azonban mindkét vizsgálati anyag esetében a szignifikánsan magasabb pH-értéket a közepes dózis mellett határoztuk meg. Kijelenthető azonban, hogy a $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ -t statisztikailag igazolható módon egyik természetes talajjavító anyag sem növelte nagyobb mértékben.



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

Hasonló volt a tendencia a KCl-os közegben is, ahol **szabadföldön** (8. táblázat) szintén a **bentonit** kis dózisa jelentette a nagyobb pH emelkedést a három év tekintetében, viszont ebben az esetben megfigyelhető volt, hogy a közepes-nagy és nagy-dózisok az esetek többségében szignifikánsan különböztek a kis és közepes dózis hatásától.

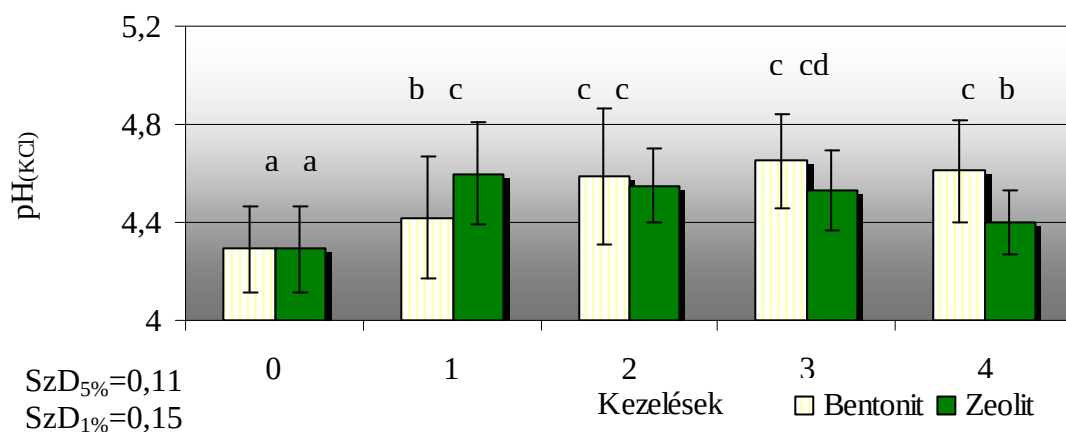
8. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj M KCl-os közegben meghatározott kémhatására (Nyíregyháza, kispárcellás kísérlet, 2003-2005)

pH _(KCl)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	3,96 a	4,52 a	4,50 a	4,33 a
1.	5,48 b	5,90 b	5,85 b	5,74 b
2.	5,03 c	5,59 b	5,51 b	5,38 b
3.	5,15 c	5,58 b	5,32 bc	5,35 b
4.	5,03 c	5,39 bc	5,29 bc	5,24 b
SzD_{5%}	0,24	0,34	0,47	0,54
SzD_{1%}	0,34	0,48	0,67	0,77

Tenyészedényben a bentonit-kezeléseknél a **pH_(KCl)** csaknem követte a vizes közegben meghatározott pH értékeit. Szignifikánsan nőtt a M KCl-os közegben meghatározott pH-érték 2007-ben a kis, közepes és közepes-nagy dózisok mellett. A közepes dózis szignifikánsan serkentőbbnek bizonyult. 2008-ban a kis dózis kismértékű növekedést okozott, míg a növekvő dózisok szignifikáns növekedést eredményeztek. A két nagy dózis hatásában statisztikailag igazolható különbség nem mutatkozott. 2009-

ben csak a közepes-nagy dózis eredményezett szignifikáns növekedést, míg 2010-ben egyik dózis sem okozott a kontrolltól eltérő kémhatásváltozást (*Melléklet 2. Táblázat*). A bentonit tehát a négy év során (*3. ábra*) pozitívan befolyásolta a M KCl-os közegben meghatározott pH-értékét a talajnak, hiszen az minden kezelésben szignifikánsan nőtt, azonban a dózisok hatásában – kivéve a kis dózisú kezelést(1) – különbséget nem tudtunk kimutatni.

2007-ben a **zeolit** a kis és közepes-nagy dózisa, 2008-ban a kontrollhoz képest minden dózisa szignifikáns növekedést eredményezett. 2009-ben a $pH_{(KCl)}$ szignifikánsan a kontroll értékétől nem mutatott eltérést a kezelések hatására, míg 2010-ben a közepes és közepes-nagy dózis emelte szignifikánsan a kémhatás értékeit (*Melléklet 2. Táblázat*). Megállapítható (*3. ábra*), hogy a zeolit kezelések esetében a KCl-os pH-t szintén a kis dózis(1) mellett mértük a kezelések közül a nagyobbaknak, azonban statisztikailag ez sem különbözött a közepes dózis(2) mellett mért kémhatás értékektől. A nagy dózisok – kisebb mértékben ugyan - de szintén szignifikáns növekedést eredményeztek a $pH_{(KCl)}$ értékben a kontroll talaj $pH_{(KCl)}$ -értékéhez képest.



3. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj M KCl-os közegben meghatározott kémhatására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A kémhatás-értékekhez kötődően vizsgáltuk a **hidrolitos savanyúság** (y_1) mértékét is. Mivel a talaj kémhatása növekedést mutatott, így azt vártuk eredményeinket tekintve, hogy a hidrolitos aciditás értékei csökkennek, s az eredmények ezt is igazolták. **Kisparcellás kísérletben** (*9. táblázat*) a kontrollhoz viszonyítva számottevő csökkenést tapasztaltunk a **bentonit**-kezelések hatására. Már a kisadagú bentonit hatására (5 t ha^{-1}) is jelentős változást figyeltünk meg, azonban az egyre nagyobb adagú kezelések hatására a csökkenés kisebb mértékű volt.

9. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj hidrolitos aciditására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

Hidrolitos aciditás (y_1)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	10,48 a	9,88 a	9,92 a	10,09 a
1.	7,94 b	7,85 b	8,20 b	8,00 b
2.	8,19 b	8,41 b	8,79 b	8,46 b
3.	8,59 b	7,78 b	8,32 b	8,23 b
4.	9,02 bc	9,50 c	9,28 bc	9,27 c
SzD_{5%}	0,69	0,61	0,58	0,62
SzD_{1%}	0,98	0,87	0,82	0,89

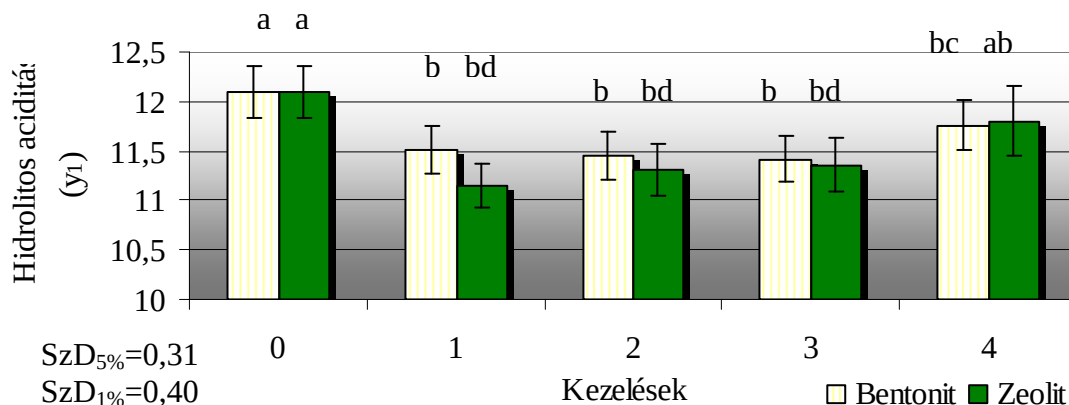
A bentonit hatására a **tenyészedényekben** szintén mind a négy vizsgálati évben csökkenő tendenciát mutatott a hidrolitos aciditás értéke a kontrollhoz képest. Ez alól csak egy kivétellel találkoztunk - 2009-ben, a nagy dózisú kezelésnél - de itt sem tapasztaltunk szignifikáns eltérést a kontroll hidrolitos aciditás értékéhez viszonyítva. 2007 és 2008-ban minden dózis mellett szignifikáns csökkenést tapasztaltunk, míg 2009-és 2010-ben csak a közepes és közepes-nagy dózis mellett tapasztaltunk szignifikáns csökkenést az értékekben (*Melléklet 3. Táblázat*). A négy év átlageredményei (*4. ábra*) azt mutatták, hogy a bentonit minden dózisa szignifikánsan csökkentette a hidrolitos aciditás értékeit, a legnagyobb mértékű csökkenést a közepes-nagy dózis okozta, mely azonban statisztikailag szignifikánsan nem tért el a többi dózis hatásától.

A **zeolit**-kezeléssorozatban a nagy dózis mellett 2007-ben és 2009-ben tapasztaltunk növekedést, 2009-ben ezen növekedés szignifikánsnak bizonyult. A hidrolitos aciditás értékeiben az összes dózis ezen túl csökkenést okozott (*Melléklet 3. Táblázat*). Általánosságban a négy éves eredményeink (*4. ábra*) azt igazolták, hogy a zeolit kezelések is csökkentették a hidrolitos aciditás értékeit, a csökkenés mértéke a nagy dózis(4) kivételével szignifikáns volt. A nagyobb mérvű csökkenést ezen kezeléssorozatban a közepes dózis(2) okozta, mely azonban hatásában szignifikánsan a többi kezeléstől nem mutatkozott különbözőnek.

A hidrolitos aciditásnál is megállapítottuk, hogy a kontrollhoz viszonyítva a nagyobb mérvű csökkenést szintén a zeolit okozta, azonban a két természetes javítóanyag hatása között nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget.

A talajok kezelését 2007-ben végeztük. A következő három évben (2008-2010) a kezelések utóhatását vizsgáltuk. Az eredmények értékelésekor szembetűnő, hogy 2009-

ben és 2010-ben kevesebb szignifikánsan eltérő értéket kaptunk, mint az első két évben. Ez a megállapítás a $pH_{(d.víz)}$, a $pH_{(KCl)}$ és a hidrolitos aciditásra egyaránt érvényes. Ezek az eredmények azt igazolják, hogy távolodva a kezelés időpontjától csökken a javítóanyagok talaj kémhatására, savanyúságára kifejtett hatása.



4. ábra: Bentonit és zeolit hatása a hidrolitos aciditás (y_1) mértékére (Debrecen, tenyészedenyes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

5.2.2. A talaj könnyen felvehető tápanyagtartalma

Tanulmányoztuk, hogy a talaj könnyen felvehető tápanyagformák közül hogyan változott a kezelések hatására a talaj nitrát, AL-oldható foszfor- és káliumtartalma.

Kisparcellás kísérletben a talaj **nitrát-N tartalma** (10. táblázat) – 2003 kivételével – a kis dózisú **bentonit**-kezelések hatására nőtt, 2005-ben a növekedés szignifikánsnak mutatkozott. A közepes dózis viszont minden évben csökkentette a talaj nitrát-N tartalmát, 2005-ben szignifikánsan. A közepes-nagy dózis esetében tapasztaltunk némi emelkedést az értékekben, de a nagy dózis mind 2003-ban, mind 2005-ben egyértelmű csökkenést mutatott. Ha a három év átlageredményeit értékeljük, megállapíthatjuk, hogy minden kezelés csökkentette a nitrát-nitrogén tartalmat, a közepes-nagy dózis kivételével a csökkenés szignifikáns mértékűnek bizonyult.

10. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj nitrát-nitrogén tartalmára (Nyíregyháza, kispácellás kísérlet, 2003-2005)

NO ₃ – N (mg 1000 g ⁻¹)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	4,00 a	6,10 a	3,30 a	4,47 a
1.	2,30 b	6,35 a	3,70 b	4,12 b
2.	3,00 c	5,90 b	3,00 a	3,97 b
3.	4,90 d	4,55 c	3,70 b	4,38 a
4.	2,10 b	6,10 a	3,10 a	3,77 bc
SzD_{5%}	0,53	0,45	0,37	0,25
<i>SzD_{1%}</i>	0,75	0,64	0,53	0,36

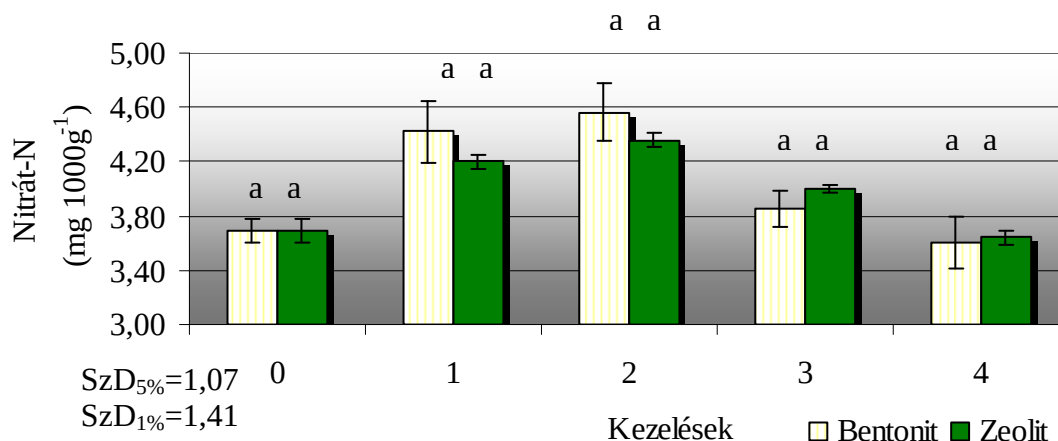
A talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmával kapcsolatosan **tenyészedényes kísérletben** is vizsgáltuk a talaj nitrát-N tartalmát. A homoktalaj nitrát-N tartalma a szabadföldi kispácellás kísérletben a kezelések hatására csökkent, míg kontrollált viszonyok között, a tenyészedényes kísérlet során kismértékű – nem szignifikáns – növekedést tapasztaltunk értékeiben mind a bentonit, mind a zeolit kezelések esetében.

Bentonit-kezeléseink során szignifikáns eltérést – kivéve a 2008. vizsgálati évet - a kontroll talaj nitrát-N tartalmától nem tapasztaltunk az évek alatt. 2007-ben volt az egyetlen, ahol a közepes-nagy és nagy dózis mellett jelentősen – de még mindig nem szignifikánsan – csökkent a talaj nitrát-tartalma a kontroll értékéhez viszonyítva. Nagyobb nitrát-N tartalmat a kis és közepes dózisok mellett határoztunk meg. 2008-ban már a kis és közepes dózisok mellett szignifikánsan nőtt a talaj nitráttartalma, a két dózis hatása között azonban statisztikailag igazolható különbség nem volt. Eredményeink azonban ezen évben azt is mutatták, hogy a nagy dózisok sem csökkentették a talaj nitrát-N tartalmát. 2009-ben és 2010-ben szignifikánsan a kontroll értékétől egyik kezelés hatására sem tapasztaltunk eltérést, annak ellenére, hogy a dózisok kismértékű növekedést eredményeztek az értékekben (*Melléklet 4. Táblázat*). A vizsgálati évek átlagában (*5. ábra*) a talaj nitrát-N tartalma 3,60 és 4,56 mg 1000g⁻¹ között változott. A négy év eredményei alapján kijelenthetjük, hogy a kontroll talaj nitrát-N tartalmához képest a kezelések hatására kismértékben nőtt a talaj nitrát-tartalma. A talaj nagyobb nitrát-N tartalmát a közepes dózis(2) mellett határoztuk meg.

Zeolit-kezeléseknél 2007-ben a kis dózis szignifikánsan növelte a talaj nitrát-N tartalmát, azonban a növekvő dózisok mellett fokozatos csökkenést tapasztaltunk az értékekben, a nagy dózis mellett – a csökkenés ugyan nem bizonyult szignifikánsnak –

de a talaj nitrát-tartalma nem érte el a kontroll kezelés szintjét. A 2008-as évben zeolit dózisoknál mindvégig – nem szignifikáns – csökkenést tapasztaltunk. Ezen év eredményeit azonban megcáfolták a 2009-es és 2010-es év eredményei, amelyeknél mindkét évben növekedést figyeltünk meg az értékekben, 2010-ben a közepes dózis mellett a növekedés szignifikánsnak bizonyult. A dózisok hatása között azonban statisztikai különbséget nem tudtunk kimutatni (*Melléklet 4. Táblázat*). A négy év átlageredményei (*5. ábra*) alapján (ahol a talaj nitrát-N tartalma 3,64 és 4,36 mg 1000g⁻¹ között volt) a zeolit esetében sem volt szignifikáns eltérés a kontroll talaj nitrát-N tartalmában. A kis(1), közepes(2), és közepes-nagy dózis(3) mellett kismértékű növekedést, míg a nagy dózis(4) mellett a kontrollhoz hasonló értéket határoztunk meg.

A talaj nitrát-N tartalmában tenyészedényes körülmények között nem tudtunk különbséget tenni a bentonit és zeolit hatása között.



5. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj nitrát-N tartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

Annak ellenére, hogy a bentonitban foszfor- és kálium-mállástermékeket találtunk, a talaj tápanyagtartalma a kezelések hatására csökkenő tendenciát mutatott szabadföldi körülmények között. Az eredmények évenként is igen eltérőeknek bizonyultak.

A **könnyen felvehető foszfortartalom** (*11. táblázat*) is hasonló tendenciát mutatott a **bentonit** hatására a **szabadföldi kísérlet** során, mint a talaj nitrát-nitrogén tartalma. 2003-ban egyedül a közepes-nagy dózis okozott kismértékű növekedést, azonban a 2004-es és 2005-ös mérési sorozatban szignifikánsan csökkent a talaj könnyen felvehető foszfortartalma. A három év során a szignifikáns csökkenést a kis és közepes dózisok okozták.

11. táblázat: Növekvő dózisu bentonit hatása a talaj könnyen felvehető foszfortartalmára (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

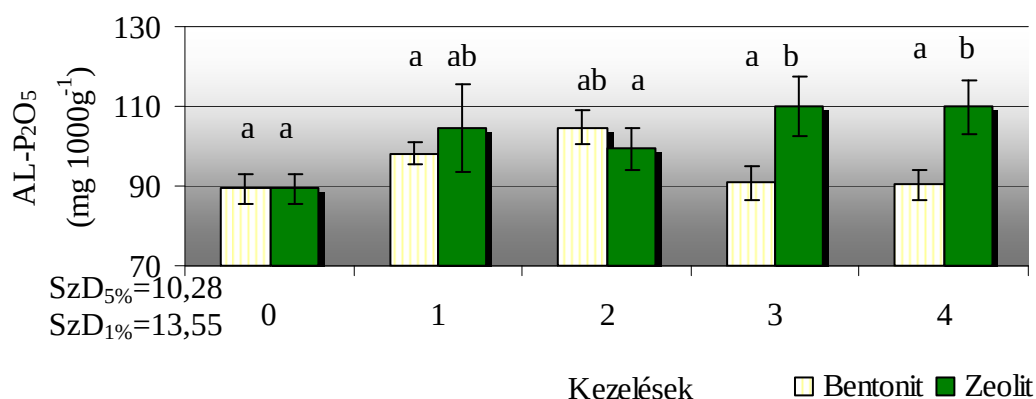
AL-P ₂ O ₅ (mg 1000 g ⁻¹)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	170,20 a	136,30 a	139,80 a	148,77 a
1.	159,60 b	97,10 b	101,60 b	119,43 b
2.	151,40 c	84,30 c	120,30 c	118,67 b
3.	175,00 a	118,60 d	131,00 d	141,53 c
4.	142,00 d	102,50 b	129,20 de	124,57 d
SzD_{5%}	5,72	8,24	4,54	3,65
SzD_{1%}	8,14	11,72	6,46	5,19

A szabadföldi kísérletben a talaj könnyen felvehető foszfortartalma csökkent a bentonit-kezelések hatására. **Tenyészedényes kísérletünk** során azonban más tapasztalatokat szereztünk a kezelések és dózisok alkalmazása során. A talaj könnyen felvehető foszfortartalma bentonit-kezeléseknél az első két vizsgálati évben a kis és közepes dózisok hatására nőtt, a közepes-nagy és nagy dózisok hatására csökkent. Mindkét vizsgálati év során a közepes dózisok szignifikánsan emelték a talaj AL-oldható foszfortartalmát. A nagy dózisok hatására a csökkenés mértéke csak 2007-ben bizonyult szignifikánsnak. 2009-ben és 2010-ben ugyan nem szignifikánsan, de minden dózis növelte a talaj könnyen felvehető foszfortartalmát, még a nagy dózisok mellett is kismértékű növekedést tapasztaltunk, azonban a magasabb foszfortartalmat ezen években is a kis és közepes dózisok mellett mértük. A dózisok hatása között statisztikailag is igazolható különbség nem volt (*Melléklet 5. Táblázat*). A négy év átlagában (6. ábra) a talaj könnyen felvehető foszfortartalma a bentonit esetében 89 és 105 mg 1000g⁻¹ között ingadozott. Átlageredményeink azt mutatták, hogy a bentonit közepes dózisa(2) szignifikánsan növelte a talaj AL-oldható foszfortartalmát, ugyanakkor viszont a nagy dózisok sem csökkentették, sőt kis mértékben növelték a homok-talaj könnyen oldódó foszfortartalmát.

A **zeolit**ban valamelyest nagyobb foszfortartalmat mértünk, mint a bentonitban. Így a zeolit minden dózisa mind a négy vizsgálati évben növelte a talaj könnyen felvehető foszfortartalmát, illetve a foszfortartalom értékei is nagyobbak bizonyultak ezen vizsgálatsorozatban, mint a bentonitéban. 2007-ben minden dózis szignifikánsan növelte, 2008-ban szignifikánsan csak a kis és közepes dózisok emelték a könnyen felvehető foszfortartalmat. 2009-ben csak kismértékű – nem szignifikáns – volt a növekedés mértéke, de ebben az évben és 2010-ben is a nagy dózis mellett határoztuk meg a nagyobb értékeket (*Melléklet 5. Táblázat*). A négy év átlagában (6. ábra) - ahol

az AL-oldható foszfortartalom 89 és 110 mg 1000g⁻¹ között volt - eredményeink azt igazolták, hogy a zeolit a talaj könnyen felvehető foszfortartalmát növelte, és a növekedés mértéke a kontrollhoz viszonyítva – a közepes dózis(2) eredményeit kivéve – szignifikánsnak bizonyult. A serkentőbb dózis a zeolit esetében a két nagy dózis volt(3);(4), amelyek hatásában statisztikailag is igazolható különbség nem mutatkozott.

Eredményink azt is mutatták, hogy a zeolit – szignifikánsan ugyan nem – de nagyobb



6. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető foszfortartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

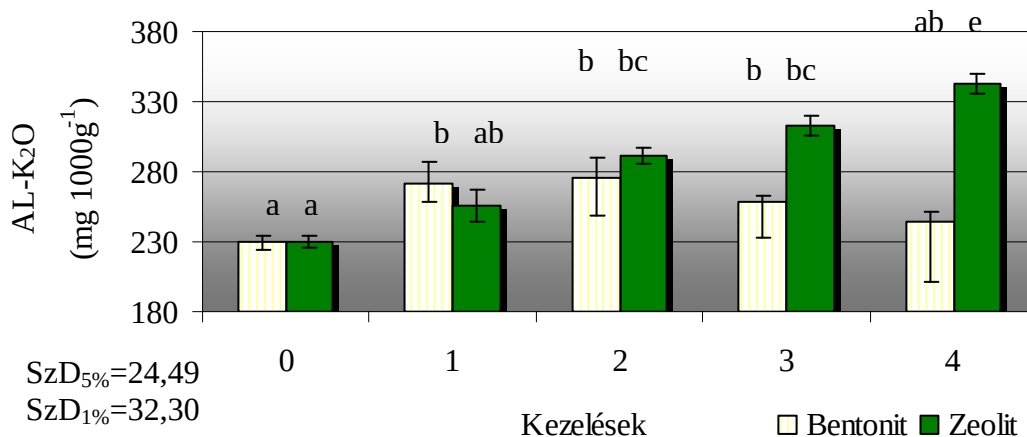
A homoktalaj **káliumtartalma** (12. táblázat) sem nőtt jelentősen a **bentonit** kezelések hatására **kisparcellás kísérletben**. Mindhárom évben a közepes-nagy kezelés okozott szignifikáns növekedést, a többi kezelés 2003-ban és 2004-ben csökkentette a káliumtartalmat. 2004-ben a talaj könnyen felvehető káliumtartalma szignifikánsan csökkent. 2005-ben azonban a kis dózisok mellett szignifikáns növekedést tapasztaltunk. Összefoglalva a talajok könnyen felvehető káliumtartalma a kísérlet ideje alatt a kezelések hatására lényegesen nem tért el a kontrollétól, kivétel a közepes–nagy dózis, mely mellett szignifikáns növekedést állapítottunk meg.

12. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj könnyen felvehető káliumtartalmára (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

AL-K ₂ O (mg 1000 g ⁻¹)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	260,50 a	261,60 a	230,80 a	250,97 a
1.	260,00 a	249,80 b	251,50 b	253,77 a
2.	260,00 a	239,60 b	246,70 b	248,77 a
3.	272,80 b	280,50 c	279,20 c	277,50 b
4.	244,70 c	239,60 b	228,50 a	237,60 a
SzD_{5%}	8,13	11,57	14,85	15,60
SzD_{1%}	11,56	16,45	21,12	22,19

A kisparcellás kísérletben a talaj könnyen felvehető káliumtartalmára a bentonit kis és közepes-nagy dózisa kedvező hatással voltak, ezen dózisok mellett a talaj káliumtartalma nőtt. A **tenyészedényes kísérlet** is igazolta, hogy bentonit hatására humuszos homoktalajon a könnyen felvehető káliumtartalom nőtt. 2007-ben minden dózis, 2008-ban csak a kis dózis, 2009-ben egyik dózis mellett sem, 2010-ben pedig a kis, közepes, és közepes-nagy dózisok mellett határoztunk meg az értékekben szignifikáns növekedést. A négy év során a többi dózis mellett nem szignifikáns növekedést tapasztaltunk a káliumtartalomban. (*Melléklet 6. Táblázat*). A talaj könnyen felvehető káliumtartalma a négy év átlagában 230 és 276 mg 1000g⁻¹ között volt (7. ábra). Átlageredményeink azt mutatták, hogy tenyészedényes, ellenőrzött viszonyok között a talaj könnyen felvehető káliumtartalma a bentonit dózisok hatására nőtt, kísérletünk alapján mind a kis(1), mind a közepes(2) és közepes-nagy dózis(3) szignifikánsan serkentőnek bizonyult, de a nagy dózis(4) is növelte a talaj AL-oldható káliumtartalmát.

A **zeolit** káliumtartalma is nagyobbak bizonyult, mint a bentonité, az átlageredmények ezt igazolták is, hiszen szignifikánsan nagyobb mértékben emelte a zeolit a humuszos homoktalaj káliumtartalmát, mint a bentonit. Ezen kísérletsorozatban egyik dózis hatására sem, egyik vizsgálati évben sem csökkent az AL-káliumtartalom. 2007-ben minden dózis, 2008-ban csak a nagy dózis, 2009-ben és 2010-ben pedig mind a kis, közepes, és közepes-nagy dózis szignifikáns növekedést eredményezett a kontroll értékéhez viszonyítva (*Melléklet 6. Táblázat*). A zeolit esetében azt tapasztaltuk a négy év átlageredményeit értékelve (7. ábra), – ahol a káliumtartalom tág intervallumban, 230 és 342 mg 1000g⁻¹ volt - hogy minden dózis szignifikáns növekedést eredményezett az AL-káliumtartalomban. A kis(1) és közepes(2) dózisok hatásától szignifikánsan nagyobb mértékben nőtt a nagy dózisok(3);(4) hatására.



7. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető káliumtartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A talajok felvehető tápanyagtartalma szabadföldi kísérleti körülmények között sem a kezelések hatására, sem az évek során nem növekedett, a nitrát-N tartalom, valamint a könnyen felvehető foszfortartalom inkább csökkent. A csökkenés mindkét paraméterben szignifikánsan bekövetkezett mind a bentonit kis(1), közepes(2), és a nagy dózisoknál(3;4) is. Megállapíthatjuk, hogy a káliumtartalom sem tért el lényegesen a kontroll értékétől, kivéve a közepes-nagy dózist(3), mely mellett szignifikáns növekedést tapasztaltunk.

Tenyészedényes kísérleti eredményeink azonban azt bizonyították, hogy a javítóanyagok dózisainak kismértékű, eseti hatásuk van a talaj tápanyagtartalmára. Kismértékben - nem szignifikánsan - nőtt a talaj nitrát-N tartalma, és dózisoktól függően szignifikánsan az AL-foszfor- és káliumtartalma. A könnyen felvehető foszfortartalmat elsősorban a 2007-es évben befolyásolta a bentonit és zeolit, később távolodva a kezelés időpontjától csökkent a hatásuk. A bentonit, de főként a zeolit a vizsgálatok többségében szignifikánsan növelte a talaj káliumtartalmát.

5.3. Bentonittal és zeolittal kezelt talajok mikrobiológiai tulajdonságainak alakulása

Mind a szabadföldi, mind a tenyészedényes kísérletek során a talaj mikrobiológiai tulajdonságai közül meghatároztuk az összes-csíraszámot, a mikroszkopikus gombák mennyiségi előfordulását, az aerob cellulózbontó és nitrifikáló baktériumok számának változását. Mértük továbbá a nitrát-feltáródás és CO₂-termelés mértékét. Vizsgáltuk

még a talaj mikrobiális biotassza szén- és nitrogéntartalom, valamint néhány fontosabb talajenzim (szacharáz, ureáz, foszfataáz) aktivitásának változását.

5.3.1. Az összes-csírasszám és mikroszkopikus gombák mennyiségi változása

Az összes-csírasszám és gombaszám tekintetében is az évenkénti eredmények igen eltérőeknek bizonyultak.

Az **összes-csírasszám** adatait elemelve kijelenthetjük, hogy a kezelések hatására értékük nőtt. **Kisparcellás kísérletben (13. táblázat) bentonit** hatására 2003-ban a közepes, valamint a közepes-nagy dózisok szignifikáns növekedést eredményeztek, a két kezelés közül is a szignifikánsan nagyobb baktériumszámot a közepes-nagy dózisoknál határoztuk meg. A nagy dózis mellett az összes-csírasszám a kontroll értékéhez közeli, kismértékű növekedést mutatott. 2004-ben a baktériumszám a kis dózis hatására szignifikánsan nőtt, azonban a közepes és a két nagy dózis hatására értékük szignifikáns csökkenést mutatott. A legnagyobb mértékű szignifikáns csökkenést legnagyobb dózisú kezelésben határoztuk meg. Ellentétes hatás mutatkozott 2005-ben, amikor a kis és közepes dózisok szignifikánsan emelték az összes-csírasszámot, és így volt ez az utolsó kezelésben is. Ha a három év összes-csírasszám átlagértékeit hasonlítjuk össze, azok $3,20$ és $5,35 \cdot 10^6 \text{ g}^{-1}$ talaj között ingadoztak és a közepes dózis mellett határoztuk meg a legnagyobb értékeket.

13. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása az összes-csírasszámmra (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

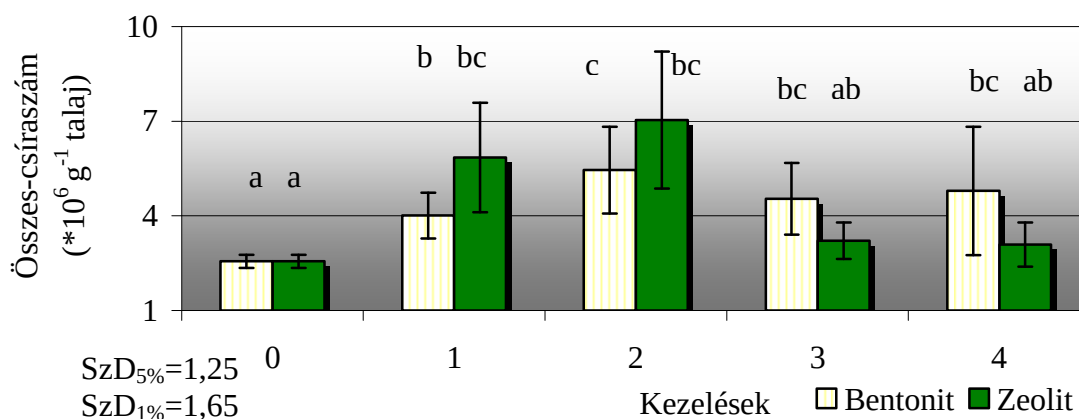
Összes-csírasszám ($\cdot 10^6 \text{ g}^{-1}$ talaj)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	3,19 a	2,74 a	3,66 a	3,20 a
1.	3,25 a	3,91 b	4,25 b	3,80 b
2.	4,65 b	1,74 c	9,65 c	5,35 c
3.	6,10 c	2,07 cd	3,66 a	3,94 b
4.	3,39 a	1,03 e	8,00 d	4,14 bc
SzD_{5%}	0,39	0,51	0,55	0,25
SzD_{1%}	0,55	0,73	0,78	0,36

Az összes-csírasszám a szabadföldi bentonit dózisok hatására a kisparcellás kísérletben növekedést mutatott, elsősorban a közepes dózisok emelték számukat nagymértékben, szignifikánsan. **Tenyészedényes kísérletünkben** ugyanezt tapasztaltuk a bentonit dózisok hatására, kifejezetten a közepes dózis mellett mintegy

megduplázódott az összes-csíraszám a kontroll talaj értékéhez képest. Mind a négy év során minden kezelésben nőtt az összes csíraszám. 2007-ben a közepes és közepes-nagy dózisok mellett, 2008-ban már a kis dózis mellett is, 2009-ben pedig minden dózis hatására szignifikáns növekedést tapasztaltunk. 2007-ben és 2008-ban a kis és közepes dózisok voltak a szignifikánsan serkentőek, míg 2009-ben a nagy dózis mellett határoztuk meg a nagyobb baktériumszámot, a kontroll talaj értékének több mint háromszorosát. Ezen kezeléshez hasonló hatású volt a közepes dózis mellett meghatározott baktériumszám is, hisz az ezen kezelésben mért baktériumszám sem tért el szignifikánsan a nagy dóziséától. 2010-ben az összes-csíraszám értékei nem tértek el a kontrollétól szignifikánsan, de kismértékű növekedést tapasztaltunk (*Melléklet 7. Táblázat*). A négy év átlaga (*8. ábra*) így azt mutatta, hogy a bentonitnak már a kis dózisa(1) is szignifikánsan emelte a baktériumszámot, azonban a közepes dózis(2) mellett mért összes-csíraszám értéke ($5,45 \cdot 10^6 \text{ g}^{-1}$ talaj) szignifikánsan nagyobb volt a többi dózis mellett meghatározott értéknél.

A **zeolit**nak nem minden dózisa emelte szignifikánsan a talaj összes-csíraszámát, de a kis és közepes dózisok mellett meghatározott baktériumszám szignifikánsan nagyobbak bizonyult, mint a bentonit ugyanezen dózisa mellett meghatározott értékek. A 2007-es eredmények szerint szignifikáns változást nem tapasztaltunk a kontroll értékeihez képest, a kis és közepes dózisok kismértékű növekedést okoztak, a közepes-nagy és nagy dózis mellett az értékek nem érték el a kontroll talaj szintjét. 2008-ban, 2009-ben és 2010-ben egyöntetűen csak a kis és közepes dózisok mellett nőtt az összes-csíraszám szignifikáns mértékben, és 2009-ben és 2010-ben a nagy dózisok sem csökkentették az összes-csíraszámot (*Melléklet 7. Táblázat*). A négy év vizsgálata során (*8. ábra*) – ahol az összes-csíraszám értéke $2,56$ és $7,04 \cdot 10^6 \text{ g}^{-1}$ talaj között ingadozott - azt tapasztaltuk, hogy a zeolit kis(1) és közepes dózisa(2) szignifikánsan növelte az összes-csíraszámot, serkentőbb hatásúnak a közepes dózis bizonyult. A közepes-nagy(3) és nagy dózis(4) mellett az összes-csíraszám csak kismértékű növekedést mutatott a kontroll talaj értékéhez viszonyítva.

Az összes-csíraszámot a kísérleti körülményektől függetlenül tehát mindkét agyagásvány-tartalmú anyag közepes dózisa(2) növelte nagyobb mértékben, továbbá az is kijelenthető, hogy a zeolit az összes-csíraszámot szignifikánsan emelte nagyobb mértékben, mint a bentonit.



8. ábra: Bentonit és zeolit hatása az összes-csíraszámra (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A **szabadföldi** három kísérleti év **összes-gombaszám** eredményeit értékelve (14. táblázat) csökkenő tendenciát tapasztaltunk a **bentonit** kezelések hatására. Átlagértéke 54,91 és 82,01*10³ g⁻¹ talaj között változott, a nagyobb mérvű csökkenést a két nagy dózis okozta. 2003-ban és 2004-ben a közepes dózis hatására nőtt a gombaszám, 2003-ban a növekedés mértéke szignifikáns volt. A 2005-ös mérések szerint azonban az összes-gombaszám értékei szignifikánsan csökkentek a kontroll talaj összes-gombaszám értékéhez képest.

Megállapítottuk, hogy a baktériumszám kismértékben növekedett, míg a mikroszkopikus gombák mennyisége csökkent a három év adatainak együttes vizsgálata alapján, amit kémhatás értékeinek kedvezőbbé válása is indokolhat.

14. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a mikroszkopikus gombák mennyiségi előfordulására (Nyíregyháza, kiscellás kísérlet, 2003-2005)

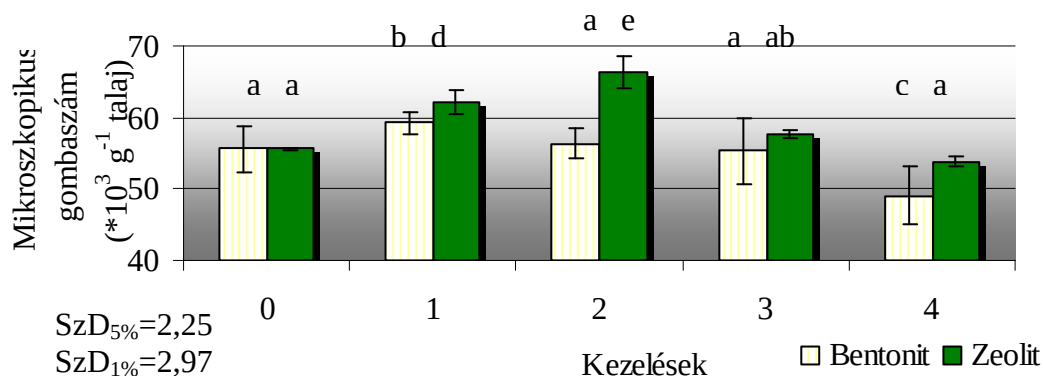
Összes-gombaszám (*10 ³ g ⁻¹ talaj)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	56,14 a	105,40 a	84,50 a	82,01 a
1.	56,06 a	90,50 b	47,50 b	64,69 b
2.	96,57 c	105,70 a	37,50 c	79,92 a
3.	51,13 ab	55,60 c	58,00 d	54,91 c
4.	53,85 a	67,70 d	44,00 bc	55,18 c
SzD_{5%}	4,26	8,38	6,76	3,54
SzD_{1%}	6,06	11,92	9,62	5,04

Szántóföldi kísérletünk során tehát azt tapasztaltuk, hogy ahol az összes-csíraszám nőtt, ott az összes-gombaszám csökkenő tendenciát mutatott a bentonit-kezeléseknél.

A **tenyészedényes kísérlet** során az esetek többségében szintén csökkent a mikroszkopikus gombák száma a bentonit dózisok hatására. 2007-ben az összes-gombaszám minden kezelésben csökkent, leginkább a közepes és nagy dózisok mellett. 2008- és 2010-ben szignifikánsan már csak a nagy dózisok mellett tapasztaltunk szignifikáns csökkenést, a kis és közepes dózisok 2008-ban kismértékű, 2010-ben szignifikáns növekedést eredményeztek. A 2009-es évi eredmények mutattak csak eltérést a többi év eredményeitől, hiszen itt minden kezelés növelte a gombaszámot, szignifikánsan nagyobb értékeket pedig – a többi vizsgálati év eredményeivel ellentétben - a nagy dózisok mellett határoztuk meg (*Melléklet 8. Táblázat*). A négy év alatt (*9. ábra*) meghatározott mikroszkopikus gombák mennyisége a bentonit kezelések hatására a kis(1) és közepes dózisok(2) mellett nőtt – itt számuk $59,21$ és $56,38 \cdot 10^3 \text{ g}^{-1}$ talaj volt - míg a nagy dózisok(3);(4) számukat csökkentették. A nagy dózis(4) mellett a mikroszkopikus gombák száma szignifikánsan csökkent.

A **zeolit** az összes-gombaszám értékeit az esetek többségében – a bentonittal ellentétben - növelte. 2008-ban és 2010-ben a nagy dózisok szignifikáns csökkenést eredményeztek, és a közepes-nagy és nagy dózisok közül is a szignifikánsan nagyobb mértékű csökkenést a nagy dózisok eredményezték. 2007-ben és 2009-ben – a másik két vizsgálati évvel ellentétben – a mikroszkopikus gombák száma a nagy dózisok ellenére sem csökkent. Minden évre igaz, hogy a kis és közepes dózisok a kontroll értékéhez képest – kivéve 2007-ben a kis dózist – szignifikánsan növelték az összes-gombaszámot (*Melléklet 8. Táblázat*). A négy vizsgálati év átlagában (*9. ábra*) a mikroszkopikus gombák száma a kis(1) és közepes dózisok(2) mellett nőtt, szignifikánsan nagyobb mértékben a közepes dózis(2) mellett, ahol mennyiségük $66,42 \cdot 10^3 \text{ g}^{-1}$ talaj volt. A két nagy dózis (3);(4) mellett meghatározott mikroszkopikus gombaszám kismértékű, nem szignifikáns csökkenést mutatott. A nagyobb mértékű csökkenést a nagy dózis(4) eredményezte (számuk e dózis mellett $53,75 \cdot 10^3 \text{ g}^{-1}$ talajra süllyedt).

Eredményeink alapján elmondható, hogy a zeolit szignifikánsan nagyobb mértékben növelte az összes-gombaszámot, a bentonit nagy dózisa viszont szignifikáns csökkenést okozott.



9. ábra: Bentonit és zeolit hatása a mikroszkopikus gombák mennyiségi előfordulására (Debrecen, tenyészedenyes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

5.3.2. A nitrifikáló baktériumok mennyiségi változása és a nitrát feltáródás

Az egyik vizsgált fiziológiai csoport a **nitrifikáló baktériumok** csoportja volt. A nitrifikáció során az oxidációval nyert energiát a baktériumok arra használják, hogy szerves vegyületeket hozzanak létre (kemoszintézis). Ez a talaj élete szempontjából igen jelentős, mivel ez által jönnek létre a növények számára könnyen felvehető nitrát ionok.

A nitrifikáló baktériumok száma a **kisparcellás kísérleti** három év átlagában $6,53$ és $15,46 \cdot 10^3$ db g^{-1} talaj között változott, igen tág intervallum között (15. táblázat). A 2003-as vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy már a kis **bentonit** dózis hatására is ötszörös baktériumszámot mértünk a kontroll talajhoz viszonyítva. Szignifikáns különbség nem volt a közepes és közepes-nagy dózisok mellett meghatározott baktériumszámban, a két kezelés azonban szignifikáns növekedést mutatott a kontroll baktériumszámahoz mérten. A nagy dózis is szignifikánsan növelte a nitrifikálók mennyiségét, azonban az előző dózisoktól jelentősen kisebb mértékben. 2004-ben a kis dózis mellett a kontroll értékéhez közeli baktériumszámot mértünk, míg a közepes és közepes-nagy kezelések mellett a nitrifikálók száma szignifikánsan emelkedett, a közepes dózis mellett közel tízszeres baktériumszámot mértünk. 2005-ben viszont pont e két kezelés – a közepes és közepes-nagy dózisok – voltak azok, amelyek a baktériumszámot szignifikánsan csökkentették. A nagy dózis mellett is, ugyan nem szignifikánsan, de csökkenést tapasztaltunk. A három év átlagértékei alapján elmondható, hogy a nitrifikáló baktériumok számát a kis és közepes dózisok szignifikánsan növelték, azonban a két dózis hatása között nem tapasztaltunk

statisztikailag igazolható különbséget. A közepes-nagy és nagy dózis is növelte a baktériumszámot, de nem szignifikánsan. A kisebb baktériumszámot a nagy dózis mellett mértük.

15. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

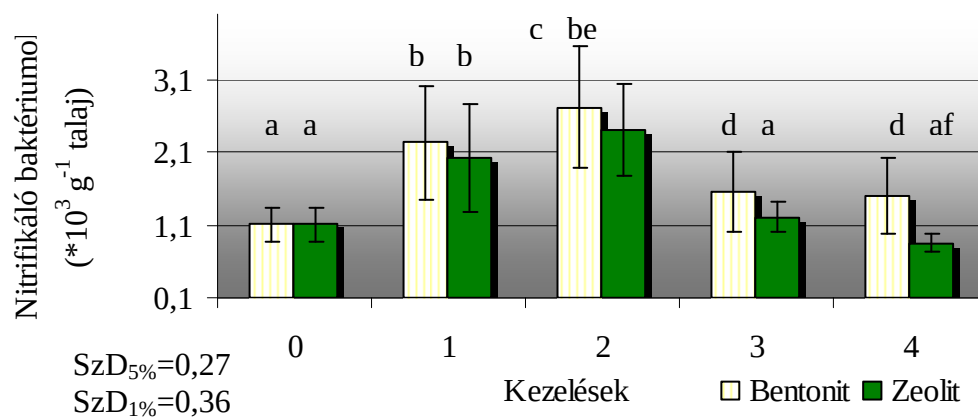
Nitrifikáló baktériumok (*10 ³ g ⁻¹ talaj)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	3,63 a	2,96 a	13,00 a	6,53 a
1.	19,60 b	2,64 a	17,00 a	13,08 b
2.	15,24 c	27,84 b	3,30 c	15,46 b
3.	13,44 c	9,16 c	4,90 c	9,16 ab
4.	8,05 d	3,76 a	7,90 ab	6,57 ab
SzD_{5%}	2,97	2,71	5,11	4,07
<i>SzD_{1%}</i>	4,22	3,85	7,27	5,79

Tenyészedényes kísérletünkben kisebb mennyiségű nitrifikáló baktériumot (közel egyharmadát) határoztuk meg, mint a kisparcellás kísérletben, azonban bentonit-kezeléseknél hasonló tendenciát figyeltünk meg a baktériumszám alakulásában a dózisok hatására, mint a szabadföldi kísérletben. 2007-ben és 2010-ben a kis és közepes dózis – a közepes dózis szignifikánsan – növelte számukat. A közepes-nagy és nagy dózisok viszont – ugyan nem szignifikáns mértékben - de csökkenést okoztak. 2008-ban is csökkent a nagy dózis hatására a baktériumszám, azonban a kis, közepes és közepes-nagy dózisok szignifikánsan növelték azt, valamint szintén elmondható, hogy a közepes dózis mellett mértük a többi kezeléstől szignifikánsan nagyobb baktériumszámot. 2009-ben a kontrollhoz viszonyítva minden kezelés szignifikáns növekedést eredményezett, azonban a kis és közepes dózis szignifikánsan nagyobb mértékben emelte a nitrifikálók számát, mint a két nagy dózis (*Melléklet 9. Táblázat*). Az átlag értékek - melyek $1,11-2,72 \cdot 10^3 \text{ g}^{-1}$ talaj voltak - azt mutatták (*10. ábra*), hogy minden kezelés szignifikánsan növelte a baktériumszámot, serkentőbbnek a kezelések közül a közepes dózis(3) bizonyult. A két nagy dózis(3);(4) hatásában egymástól ugyan nem, a kontrolltól azonban szignifikánsan különbözött.

A kis és közepes **zeolit** dózisok mind 2007-ben, mind 2008-ban, mind 2009-ben szignifikáns növekedést okoztak az értékekben, a 2010-ben mért baktériumszám is növekedést mutatott ugyanezen kezelések hatására. A növekedés csak a közepes dózis hatására bizonyult szignifikánsnak. A közepes-nagy dózis is emelte a baktériumszámot – kivéve a 2008. évet – azonban a baktériumszám növekedés nem bizonyult ezen

kezelések mellett szignifikánsnak. A nagy dózis pedig csökkenést okozott a kontroll szintjéhez képest, bár szignifikáns csökkenést nem mértünk az értékekben, s 2010-ben a nagy dózis mellett is magasabb baktériumszámot határoztunk meg, mint a kontroll talajban (*Melléklet 9. Táblázat*). Megállapítottuk, hogy a kis(1) és közepes dózisok(2) szignifikánsan növelték (itt számuk $2,02$ és $2,41 \cdot 10^3 \text{ g}^{-1}$ talaj volt), a közepes-nagy dózis(3) nem szignifikánsan növelte, míg a nagy dózis(4) zeolit kezelések mellett kis mértékben csökkentette a nitrifikáló baktériumok számát (*10. ábra*).

Eredményeink azt mutatták, hogy a nagyobb baktériumszámot a közepes dózisok(2) idézték elő, mind a bentonit, mind a zeolit esetében. A bentonit közepes dózisa mellett szignifikánsan mértünk nagyobb baktériumszámot, mint a zeolit ugyanezen dózisa mellett. Míg a bentonit nagy dózisa(3;4) szignifikánsan növelték a nitrifikálók számát, addig a zeolit ugyanazon dózisa(3;4) statisztikailag igazolható módon nem befolyásolták a nitrifikálók előfordulását.



10. ábra: Bentonit és zeolit hatása a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A **nitrát-feltáródás** alakulása (*16. táblázat*) a vizsgálati évek átlagában hasonló tendenciát mutatott, mint a nitrifikáló baktériumok mennyiségi alakulása **kisparcellás vizsgálati körülmények** közt. 2003-ban és 2004-ben is elmondható, hogy a **bentonit** nagy dózisa szignifikánsan emelték a nitrát-feltáródás mértékét, míg 2005-ben nem szignifikáns csökkenést tapasztaltunk ugyanezen dózisok mellett. A kis dózisoknál 2004 és 2005-ben is szintén szignifikáns volt a nitrát feltáródásának növekedése. Elmondható, hogy a kis és közepes dózisok szignifikánsan növelték mértékét. A táblázatból kitűnik, hogy a két nagy dózis is növelte a nitrát képződését a kontroll értékéhez viszonyítva, hatásukban azonban szignifikáns különbség nem mutatkozott.

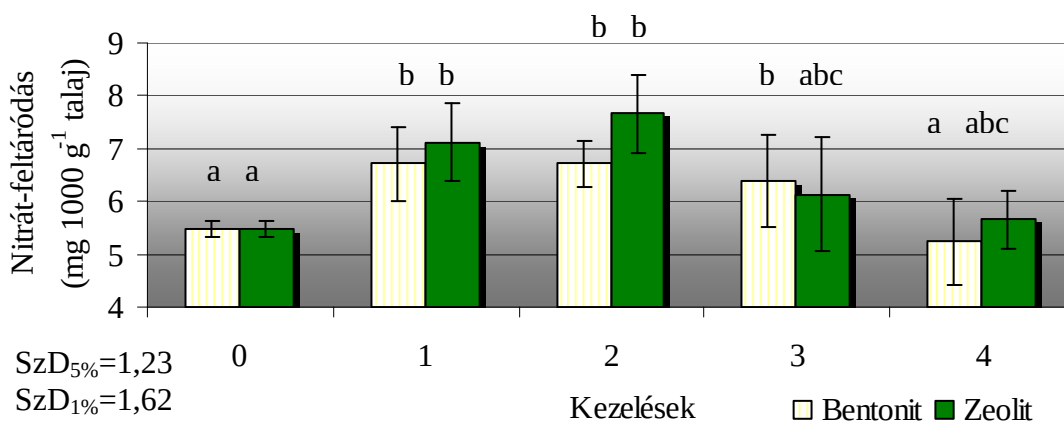
16. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a nitrát feltáródás mértékére (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

Nitrát-feltáródás (mg 1000g ⁻¹ 14 nap ⁻¹)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	3,50 a	4,10 a	2,20 a	3,27 a
1.	3,60 a	12,20 b	4,00 b	6,60 c
2.	3,10 a	10,10 c	2,00 ab	5,07 b
3.	4,70 b	7,80 d	1,40 ab	4,63 ab
4.	4,30 b	8,20 d	1,30 ab	4,60 ab
SzD_{5%}	0,43	1,61	1,02	1,45
<i>SzD_{1%}</i>	0,61	2,29	1,45	2,06

A talaj nitrát feltáródását a kezelések többsége **tenyészedényes viszonyok** között is serkentően befolyásolták. Bentonitnál 2007-ben, az első éven határoztuk meg a legnagyobb mértékű feltáródást, ezen év során a nagy dózis kivételével minden kezelésben szignifikánsan nőtt a nitrát-feltáródás. 2008-ban ugyanezen dózisok hatására kisebb mértékű növekedést tapasztaltunk, csakúgy, mint 2009-ben, ahol azonban a nagy dózisok mellett csökkenést mértünk. Ezzel ellentétben a 2010-es eredmények szerint a bentonit egyértelműen növelte a nitrát-feltáródás mértékét (*Melléklet 10. Táblázat*). A négy év átlagában (*11. ábra*) azt tapasztaltuk, hogy a bentonit kis(1) és közepes(2), valamint közepes-nagy dózisa(3) növelte - hasonlóan a kisparcellás eredményekhez - míg a nagy dózis(4) kis mértékben csökkentette a nitrát-feltáródását.

2008-ban és 2010-ben a **zeolit** szinte minden kezelése növelte a nitrát-feltáródás mértékét, 2007-ben szignifikánsan csak a közepes dózis mellett nőtt, míg 2010-ben a közepes és közepes-nagy dózis mellett is (*Melléklet 10. Táblázat*). A négy év átlaga azt mutatta (*11. ábra*), hogy a zeolit kis(1) és közepes dózisa(2) mellett szignifikánsan nőtt a nitrát-feltáródás. Ezen kezelések mellett értéke 7,12 és 7,66 mg 1000g⁻¹ talaj volt.

A bentonit és zeolit kezelések hatása között szignifikáns különbség nem mutatkozott, azonban a zeolit a nitrát-feltáródás értékét nagyobb mértékben serkentette, mint a bentonit. Megállapítható továbbá, hogy mindkét természetes anyag kis(1) és közepes dózisa(2) növelték a nitrát-feltáródást.



11. ábra: Bentonit és zeolit hatása a nitrát-feltáródás mértékére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

5.3.3. Az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségi változása és a talaj CO₂-termelése

A cellulóz a növényi szövetek legfontosabb alkotórésze, mely a természetben óriási mennyiségben található és évről évre nagy tömegben kerül a talajba. A cellulózbontás mikrobiológiai folyamatát lényegében két fontos enzim a celluláz és a cellobiáz végzi. A cellulózt tehát a talajban is csak azok a mikroorganizmusok bontják, amelyek ezt a két fontos enzimet elő tudják állítani (Helmeczi, 1994).

A **cellulózbontók száma** is változatos képet mutatott az évek során. **Kisparcellán** a három év átlagában számuk 4,01 és 12,79*10³ g⁻¹ talaj értékek között ingadozott, tehát egyes **bentonit**-kezelésekben számuk a másik kezelés mintegy háromszorosát is meghaladták (17. táblázat). Már a kontroll talaj baktériumszáma is rendkívül nagy eltérést mutatott a három mintavételi év során. Az első évben 2003-ban, a kontroll értékének többszörösét mértük már a kis dózisú kezelés hatására is. A nagyobb baktériumszámot azonban a közepes dózisú kezelés mellett határoztuk meg. Ez szignifikánsan különbözött mind a kis, mind a közepes-nagy dózisú kezelések baktériumszámától, holott ezek mindegyike szignifikánsan növelte számukat. A nagy dózisú kezelés sem csökkentette a baktériumszámot, azonban itt szignifikáns eltérést nem tapasztaltunk a kontroll értékéhez képest. 2004-ben a baktériumszámban csak a kis dózis okozott növekedést, a két nagy dózis szignifikánsan csökkentette a cellulózbontók

számát. 2005-ben a tendencia hasonló volt, azonban a kis és közepes dózis mellett is csökkent a baktériumszám.

Ha a három év átlagát vizsgáljuk a cellulózbontók száma rendkívül változatosnak bizonyult, a kontrolltól egyik kezelés hatására sem változott szignifikánsan a baktériumszám, kivéve a nagy dózist, mely szignifikánsan csökkentette a cellulózbontók számát. Kismértékű – nem szignifikáns – növekedést csak a közepes dózis eredményezett.

17. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségi előfordulására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

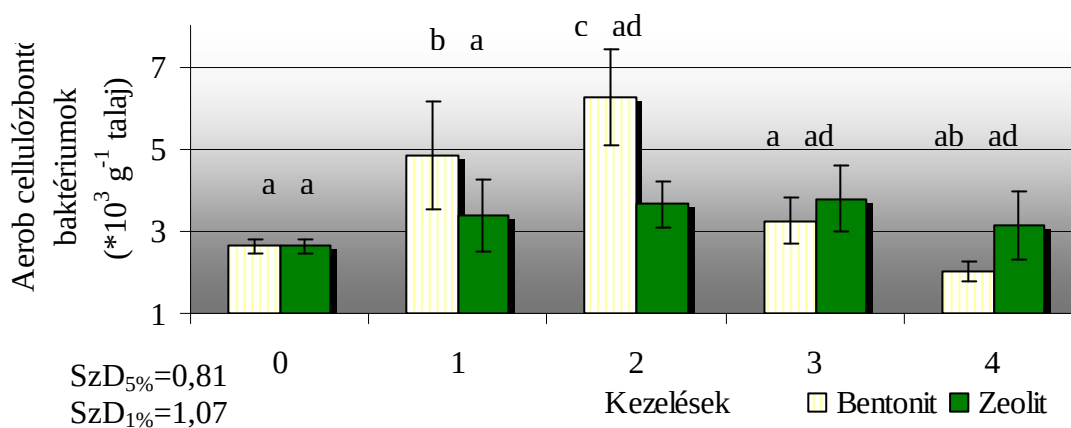
Aerob cellulózbontó baktériumok (*10 ³ g ⁻¹ talaj)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	1,54 a	5,24 a	28,00 a	11,59 a
1.	10,87 b	7,80 b	11,00 b	9,89 a
2.	15,68 c	5,68 a	17,00 c	12,79 a
3.	8,85 d	1,85 c	13,00 bc	7,90 a
4.	2,53 a	1,60 c	7,90 bc	4,01 ab
SzD_{5%}	1,83	1,62	9,47	4,73
SzD_{1%}	2,60	2,30	13,47	6,73

A szabadföldi kísérletben az aerob cellulózbontó baktériumok számának változása igen nagy eltérést mutatott a vizsgálati évek során. Előfordult, hogy a bentonit kezelések hatására a baktériumszám tízszeresére növekedett, ugyanakkor másik évben ugyanezen dózis mellett a baktériumszám egy harmadára csökkent. **Tenyészedényben** a bentonit dózisoknál azt tapasztaltuk, hogy mind a négy év során a kis és közepes dózisok növelték a cellulózbontók számát, 2007- és 2008-ban szignifikánsan, 2010-ben csak a közepes dózison szignifikánsan. Továbbá a 2009. év közepes-nagy dózisa kivételével, még ezen dózis mellett is nőtt a baktériumszám, 2008-ban szignifikánsan. A nagy dózis mellett azonban egyik évben sem tapasztaltunk a kontroll értékéhez viszonyítottan statisztikailag igazolható eltérést az értékekben (*Melléklet 11. Táblázat*). A négy év során (*12. ábra*) azt tapasztaltuk, hogy a kis(1) és közepes dózisok(2) – ellentétben a szabadföldi eredményekkel - szignifikánsan növelték a baktériumszámot – itt számuk azonban a szabadföldi kísérletben meghatározottaktól sokkal alacsonyabb, 4,85 és 6,24 *10³ g⁻¹ talaj volt - míg a közepes-nagy(3) és nagy dózis(4) a baktériumszámot a kontroll értékéhez viszonyítva jelentősen nem befolyásolta.

A **zeolit**-kezelések hatására a baktériumszám még változatosabb képet mutatott. 2007-ben igazán a cellulózbontók számát csak a közepes dózis befolyásolta serkentően,

a többi kezelés mellett szignifikáns eltérést a baktériumszámban nem tapasztaltunk. 2008-ban viszont sem a kis, sem a közepes, sem a közepes-nagy dózis mellett nem tapasztaltunk baktériumszám változást, azonban a nagy dózis szignifikáns csökkenést eredményezett. 2009-ben mind a két nagy dózis mellett a csökkenés szignifikánsnak bizonyult, ellentétben a 2010-es eredményekkel, melyek esetében minden kezelés szignifikánsan növelte számukat, a nagy dózisok hatására háromszorosára nőtt a baktériumszám a kontrollhoz viszonyítva (*Melléklet 11. Táblázat*). A négy vizsgálati év eredményeit áttekintve (*12. ábra*) a cellulózbontók mennyisége – főként a zeolit-kezelések hatására – tenyészedényes kísérletben is igen változatosnak bizonyult. A zeolit kis dózisa(1) kismértékben, a közepes(2) és közepes-nagy dózisa(3) – mely mellett számuk $3,65$ és $3,79 \cdot 10^3 \text{ g}^{-1}$ talaj között volt - viszont szignifikánsan növelte a baktériumszámot.

Ha összevetjük a két természetes anyag hatását az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségére, megállapíthatjuk, hogy a bentonit szignifikánsan nagyobb mértékben növelte számukat, azonban mindkét természetes anyag tekintetében a közepes dózisok(2) bizonyultak serkentőbbnek mindkét kísérleti körülmény között.



12. ábra: Bentonit és zeolit hatása az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A talaj **CO₂-termelése** sem a szabadföldi, sem a tenyészedényes kísérlet során nem változott jelentősen a bentonit kezelések hatására. **Szabadföldön** (*18. táblázat*) 2003-ban és 2004-ben kismértékű növekedést figyeltünk meg a kis és közepes **bentonit** dózisok hatására, az első évben a talaj CO₂-termelése a közepes dózis hatására szignifikáns növekedést mutatott. 2004-ben azonban a nagy dózis hatására szignifikáns

növekedést tapasztaltunk. 2005-ben a kis dózis nem szignifikánsan ugyan, de csökkentette a talajlégzés mértékét, a növekvő dózisok azonban szignifikáns csökkenést eredményeztek. A három év folyamán eredményeink azt mutatták, hogy a talajlégzést kismértékben a kis dózis fokozta, a közepes dózis a kontrollhoz hasonló értéket eredményezett, míg a nagy dózisok a talajlégzés mértékét – nem szignifikánsan ugyan – de csökkentették.

18. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj CO₂-termelésére (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

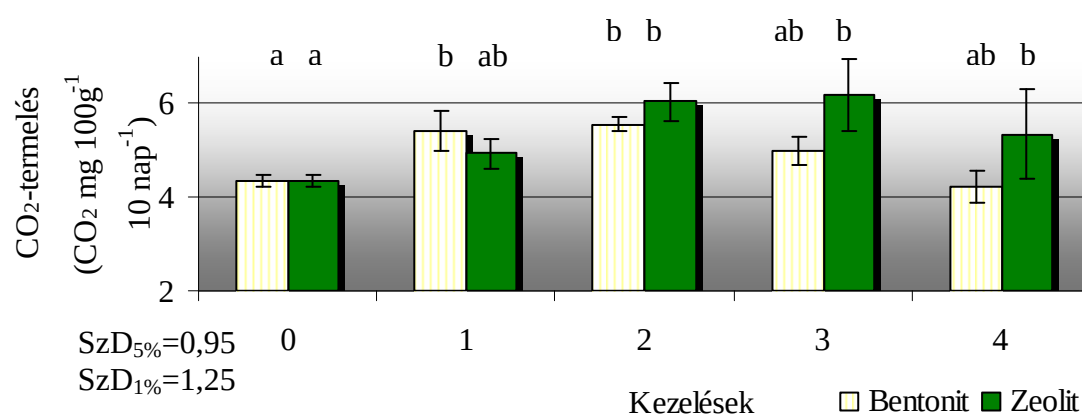
CO ₂ -termelés (CO ₂ mg 100g ⁻¹ 10 nap ⁻¹)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	5,15 a	6,90 a	13,36 a	8,47 a
1.	5,61 a	7,45 a	13,13 a	8,73 a
2.	6,51 b	7,63 a	11,22 b	8,45 a
3.	4,40 a	6,40 a	11,43 b	7,41 a
4.	4,52 a	9,09 b	10,32 b	7,98 a
SzD_{5%}	1,17	1,45	1,24	1,30
SzD_{1%}	1,66	2,06	1,76	1,85

Tenyészedényes kísérletünkben azonban a bentonit kis(1) és közepes dózisa(2) mellett – ahol értéke 5,42 és 5,56 CO₂ mg 100g⁻¹ 10 nap⁻¹ volt - a talajlégzés mértéke szignifikánsan nőtt (13. ábra), azonban ezekhez a kezelésekhez mérten jelentéktelen mértékben, nőtt, illetve csökkent a talaj CO₂-termelése. Eredményeink azt mutatták, hogy 2008-ban és 2009-ben mértéke a közepes-nagy és nagy dózisok mellett sem csökkent, míg 2007 és 2010-ben a nagy dózisok mellett azonban szignifikáns csökkenést tapasztaltunk (Melléklet 12. Táblázat).

A **zeolit**nál azonban – ellentétben a bentonit hatásával - szinte minden kezelésben szignifikáns növekedést mértünk a talajlégzés mértékében, csak 2007-ben állapítottunk meg csökkenést a nagy dózis mellett. 2008-ban és 2010-ben minden kezelés szignifikánsan serkentőnek bizonyult, 2009-ben a kis dózis mellett csak kismértékű növekedést tapasztaltunk, a nagyobb kezelések mindegyike jelentős CO₂-termelés növekedést eredményezett. Míg 2007-ben és 2008-ban a közepes dózisok mellett határoztuk meg a nagyobb értékeket, addig a 2009-ben a közepes-nagy, 2010-ben a nagy dózis bizonyult szignifikánsan serkentőnek (Melléklet 12. Táblázat). A négy év eredményeit összegezve elmondható (13. ábra), hogy a zeolit kezelések mellett nőtt a talajlégzés mértéke minden dózisonál, kismértékűnek bizonyult a növekedés a kis

dózisnál(1), és szignifikánsnak a többi kezelés hatására. Ezen dózisok hatásában statisztikailag igazolható különbséget nem tudtunk kimutatni, azonban a legnagyobb értéket a közepes-nagy dózis(3) okozott ($6,20 \text{ CO}_2 \text{ mg } 100\text{g}^{-1} 10 \text{ nap}^{-1}$).

Eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a kontroll értékéhez viszonyítva a zeolit a talajlégzés szempontjából serkentőbbnek bizonyult. Tenyészedényes vizsgálati eredményeink alapján a bentonit kis(1), közepes(2) és közepes-nagy dózisa(3) növelték a talajlégzés intenzitását, míg a zeolit minden dózisa növekedést okozott. Mind a zeolit közepes(2), mind a közepes-nagy dózisa(3) – nem szignifikánsan ugyan – de nagyobb mértékben emelte a talajlégzés mértékét, mint a bentonit.



13. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj CO₂-termelésére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

5.3.4. A talaj mikrobiális biomassza-C és N tartalma

A talaj **mikrobiális biomassza-C** tartalma a három vizsgálati évben, 2003-tól 2005-ig a **bentonit** hatására növekedést mutatott a **kisparcellás kísérletben** (19. táblázat). A 2003-as értékek voltak a legalacsonyabbak. A közepes dózistól eltekintve a kontroll talaj biomassza-C tartalmához viszonyítva növekedést tapasztaltunk értékeiben a különböző dózisok hatására. Szignifikáns növekedést azonban csak a nagy dózisu kezelésben állapítottunk meg. A 2004-es és 2005-ös vizsgálati eredmények azonban azt mutatták, hogy a két nagy dózis szignifikánsan csökkentette a talaj biomassza-C tartalmát, sőt a 2005-ös év közepes dózisa is alacsonyabb biomassza értéket mutatott a kontroll talajéhoz viszonyítottan. A dózisok hatása között azonban szignifikáns különbséget nem tudtunk kimutatni. Három év átlagában a talaj biomassza-C tartalma a kontroll talaj értékeitől – eltekintve a nagy dózistól – szignifikánsan nem különbözött, a kis dózis mellett kismértékű növekedést figyeltünk meg, a közepes és közepes-nagy

dózis mellett kismértékű csökkenést. A nagyobb dózis szignifikáns csökkenést eredményezett.

19. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj mikrobiális biomassza-C tartalmára (Nyíregyháza, kispárcellás kísérlet, 2003-2005)

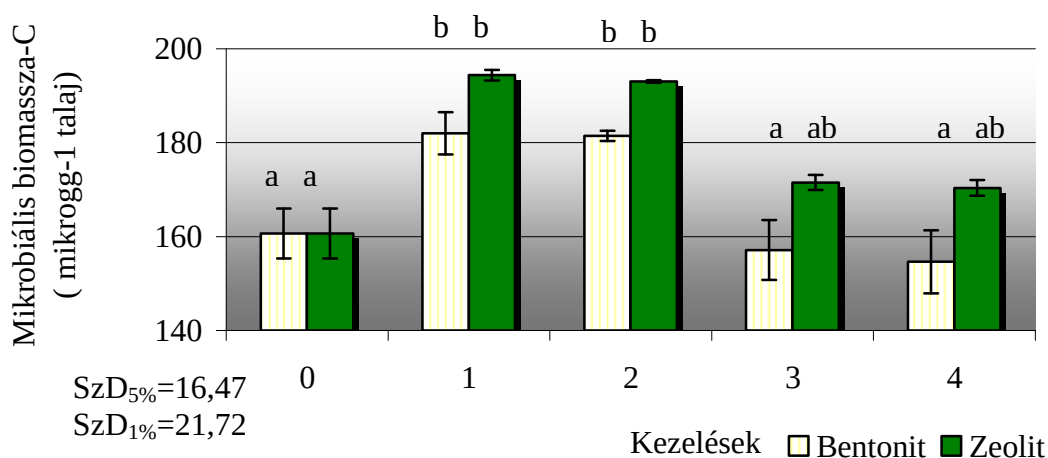
Biomassza-C ($\mu\text{g g}^{-1}$)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	84,71 a	129,01 a	172,94 a	128,89 a
1.	87,41 a	130,75 a	174,60 a	130,92 a
2.	81,20 a	131,95 a	119,72 b	110,96 ab
3.	101,11 ab	106,54 b	124,90 b	110,85 ab
4.	116,62 ab	91,44 b	116,70 b	108,26 ab
SzD_{5%}	16,62	16,65	17,34	18,07
SzD_{1%}	23,64	23,68	24,66	25,70

A kispárcellás kísérlet során a biomassza-C tartalom csak a kis dózis hatására mutatott növekedést, a többi kezelésben bentonit hatására csökkent. A **tenyészedényes kísérlet** során is azt tapasztaltuk, hogy a vizsgálati évek többségében a kis és közepes dózis mellett határoztuk meg a nagyobb mikrobiális biomassza-C tartalmat. 2007-ben a bentonit minden dózisa szignifikánsan növelte értékét, ugyan a többi dózis hatásától szignifikánsan nem tért el, mégis a kis dózis mellett mértük a nagyobb értéket, csakúgy, mint 2008-ban, ahol a kis dózis statisztikailag is igazolhatóan különbözött. A közepes dózis mellett kismértékű növekedést mértünk a kontrollhoz viszonyítva, amíg a nagy dózisok mellett ebben az évben szignifikáns csökkenést tapasztaltunk az értékekben. 2009-ben csak a közepes dózis hatására mértünk szignifikáns növekedést, a többi kezelés hatására a kontrolltól az értékek nem tértek el szignifikánsan. 2010-ben egyik kezelés sem mutatott statisztikailag igazolható különbséget a kontrollhoz képest (*Melléklet 13. Táblázat*). A négy év átlageredményei – amelyek a dózisok függvényében 154,63 és 181,99 $\mu\text{g g}^{-1}$ talaj között voltak - azt mutatták (*14. ábra*), hogy a kis(1) és közepes dózis(2) a kontrollhoz képest szignifikánsan növelték a mikrobiális biomassza-C tartalmát a talajnak, a két dózis hatásában különbséget nem bizonyítottunk. A közepes-nagy(3) és nagy dózis(4) viszont a kontrolltól csak kismértékben – statisztikailag nem igazolható – mértékben különbözött.

A **zeolit**-kezeléseknél 2007-ben és 2008-ban minden dózis (kivéve az utóbbi év nagy dózisát), 2009-ben pedig csak a kis és közepes dózis mellett tapasztaltunk szignifikáns növekedést. 2010-ben, hasonlóan a bentonit dózisokhoz, szignifikánsan a kontroll értékétől egyik dózis hatására sem tértek el az értékek (*Melléklet 13. Táblázat*). A négy

vizsgálati év átlageredményei (14. ábra) azt bizonyították, hogy a bentonit dózisokhoz hasonlóan csak a kis(1) és közepes dózis(2) eredményezett szignifikáns növekedést a kontroll értékéhez képest (ezen kezelésekben értéke 194,39 és 193,05 $\mu\text{g g}^{-1}$ talaj volt), a két nagy dózis(3);(4) pedig kismértékben emelte a talaj mikrobiális biomassza-C tartalmát.

A két kezeléssorozat eredményeire tekintve, mind a bentonit, mind a zeolit esetében a kis(1) és közepes dózisok(2) bizonyultak szignifikánsan serkentőnek, a dózisok hatása között azonban statisztikailag igazolható különbséget nem bizonyítottunk. A zeolit kismértékben növelte a talaj biomassza-C tartalmát nagyobb mértékben, mint a bentonit.



14. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj mikrobiális biomassza-C termelésére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A talaj **mikrobiális biomassza-N** tartalma (20. táblázat) a biomassza-C tartalomhoz hasonlóan a három vizsgálati év során, az évekkel arányosan nőtt a **kisparcellás kísérletben**. 2003-ban a talaj biomassza-N tartalma mindegyik **bentonit** kezelés hatására szignifikánsan nőtt, azonban legnagyobb mértékű növekedést a kis és közepes dózisok eredményezték. 2004-ben szintén hasonló volt a tendencia, a közepes dózis szignifikánsan nagyobb mértékben növelte a mikrobiális biomassza-N tartalmát, mint a nagy dózisok. 2005-ben pedig szignifikáns növekedést a kontrollhoz viszonyítva csak a nagy dózisok eredményeztek, azonban a dózisok között is volt statisztikailag igazolható különbség. A nagy dózis ugyanis szignifikánsan kisebb mértékben emelte a biomassza-N tartalmát. A három év átlagában eredményeink azt mutatták, hogy talaj mikrobiális biomassza-N tartalma nőtt. Már a kis dózis is kismértékű növekedést okozott, a közepes

és a két nagy dózis azonban szignifikánsan emelte az értékeket. Legnagyobb értéket a közepes kezelés mellett mértünk.

20. táblázat: Növekvő dózisu bentonit hatása a talaj mikrobiális biomassza-N tartalmára (Nyíregyháza, kispácellás kísérlet, 2003-2005)

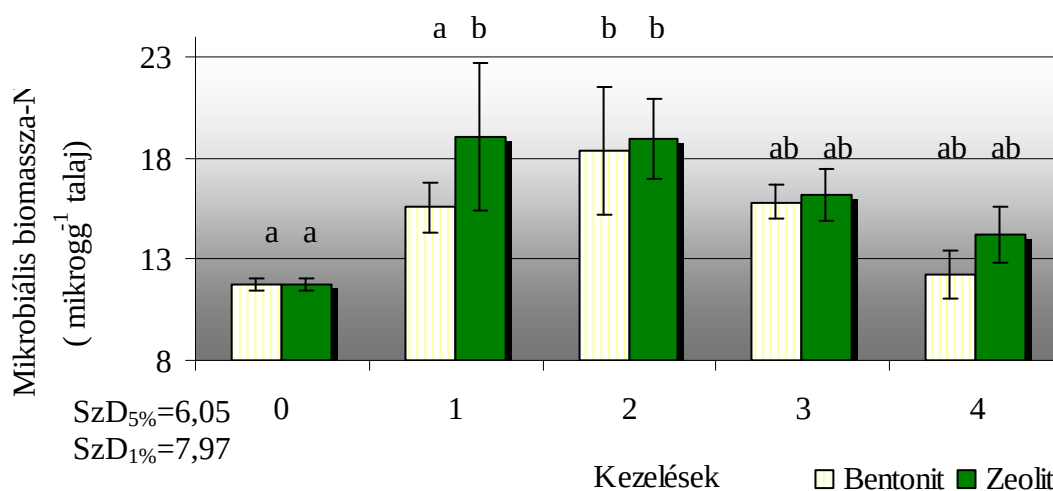
Biomassza-N ($\mu\text{g g}^{-1}$)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	12,55 a	14,24 a	25,92 a	17,57 a
1.	18,77 b	14,89 a	26,54 a	20,07 a
2.	18,79 b	22,14 b	28,12 a	23,02 ab
3.	15,78 c	17,16 c	32,47 c	21,80 ab
4.	15,79 c	17,09 c	28,88 ab	20,59 ab
SzD_{5%}	2,95	2,65	2,48	2,57
SzD_{1%}	4,20	3,77	3,53	3,66

A talaj mikrobiális biomassza-N tartalma a szabadföldi kísérlet során a bentonit hatására nőtt, a közepes és nagy dózisok mellett szignifikánsan. **Tenyészedényes kísérletünk** során hasonlókat tapasztaltunk a bentonit hatására. A 2008. év nagy dózisének hatásán kívül minden kezelésben nőtt a talaj biomassza-N tartalma. 2007-ben a kis, közepes, és közepes-nagy dózisok mellett, 2008-ban a kis és közepes dózisok mellett tapasztaltunk szignifikáns növekedést az értékekben. A nagy dózisok mellett egyik évben sem csökkent a biomassza-N a két év során. 2009-ben és 2010-ben a dózisok hatására csak kismértékű növekedést, 2010-ben pedig a nagy dózis hatására kismértékű csökkenést tapasztaltunk az értékekben (*Melléklet 14. Táblázat*). A bentonit kezelések végülis növelték a tenyészedényes körülmények között a talaj biomassza-N tartalmát, a közepes dózis(2) - amely mellett értéke $18,36 \mu\text{g g}^{-1}$ talaj volt - szignifikánsan növelte értékét (*15. ábra*).

A **zeolit** kezelések szintén növelték a talaj biomassza-N tartalmát. 2007-ben mind a közepes, mind a közepes-nagy, mind a nagy dózis szignifikáns növekedést eredményezett. Ez volt az egyetlen év a vizsgálati évek közül, amelynél a szignifikánsan nagyobb biomassza-N-tartalom növekedést a közepes-nagy dózis okozta. 2008 és 2010-ben ugyanakkor már a kis dózisok mellett is szignifikáns volt az értékek növekedése a kontroll talajéhoz képest, ugyanakkor mindkét év közepes dózisa is szignifikánsan emelte a talaj mikrobiális biomassza-N tartalmát. 2009-ben szignifikáns növekedést csak a közepes dózis eredményezett. Az évek során a nagy dózis szignifikánsan nem befolyásolta a mikrobiális biomassza-N tartalmat (*Melléklet 14. Táblázat*). Zeolit kezeléseknél a négy év átlagában (*15. ábra*) a serkentő dózisoknak a

kis(1) és közepes(2) dózisok bizonyultak, hatásukban statisztikailag kimutatható különbség nem mutatkozott. Ezen kezelésekben értéke 19,08 és 18,96 $\mu\text{g g}^{-1}$ talaj volt. A nagy dózisok(3);(4) mellett csak kismértékű növekedést tapasztaltunk.

A talaj mikrobiális biomassza-N tartalmára vonatkozóan is elmondható, hogy a két természetes anyag hatásában nem volt különbség, mindkét természetes anyag közepes dózisa(2) bizonyult elsősorban serkentőnek. A zeolit közepes dózisa kismértékben nagyobb biomassza-N tartalom növekedést eredményezett, mint a bentonit ugyanezen dózisa.



15. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj mikrobiális biomassza-N termelésére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

5.3.5. Néhány talajenzim (szacharáz, ureáz, foszfatáz) aktivitása

A kísérletek során kijelenthető, hogy – bár az enzimaktivitások változatos képet mutattak - a bentonit és a zeolit a vizsgált enzimaktivitásokat az esetek többségében növelte.

A **foszfatáz enzim aktivitása kisparcellás kísérletben** (21. táblázat) 2003-ban a kontrolltól szignifikánsan csak a közepes-nagy **bentonit** dózis, 2004-ben a nagy bentonit dózis hatására nőtt. Mindkét vizsgálati évben a kis dózisok – nem szignifikánsan - csökkentették az enzimaktivitást. A 2005. év eredményei különböztek az előző két vizsgálati év eredményeitől, hiszen a kis és közepes dózisok hatására szignifikáns növekedést tapasztaltunk az aktivitásértékekben. A két nagyobb dózis sem csökkentette a foszfatáz aktivitását a kontrollhoz viszonyítva, de szignifikáns növekedést nem tapasztaltunk. A három kisparcellás kísérleti évek átlagában eredményeink azt mutatták, hogy mindegyik dózis növelte a foszfatáz enzim aktivitását,

a növekedés azonban csak a nagy adagú bentonit dózis hatására bizonyult szignifikánsnak.

21. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a foszfatáz enzim aktivitására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

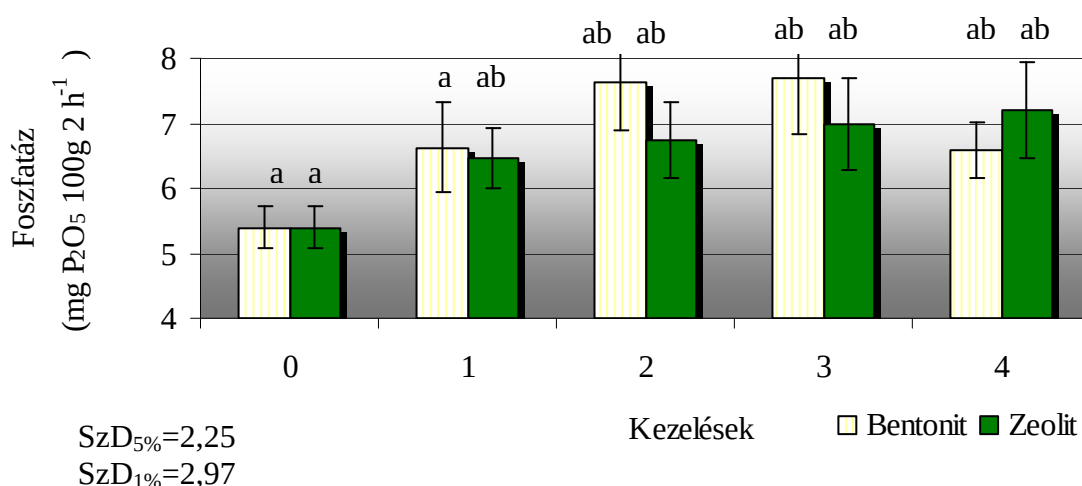
Foszfatáz ($\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1} \text{ 2h}^{-1}$)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	3,34 a	3,14 a	2,73 a	3,07 a
1.	2,68 a	2,55 a	4,08 b	3,10 a
2.	2,91 a	3,25 a	4,43 b	3,53 a
3.	4,13 b	2,49 a	3,43 ab	3,35 a
4.	3,24 a	6,19 b	3,99 ab	4,47 b
SzD_{5%}	0,78	1,27	1,32	0,89
SzD_{1%}	1,11	1,81	1,88	1,27

A foszfatáz enzim aktivitása a négy év során **ellenőrzött viszonyok között** szintén minden kezelésben nőtt, kivéve 2007-ben a kis dózis értékeit. 2007-ben mind a közepes, mind a közepes-nagy és nagy dózis is szignifikánsan növelte a foszfatáz aktivitását, a nagyobb enzimaktivitást ebben az évben a nagy dózisú kezelésben mértük. 2008-ban azonban már a kis dózis is szignifikánsan növelte a foszfatáz aktivitását, és a kis és közepes dózisok hatására szignifikánsan nagyobb enzimaktivitást mértünk, mint a közepes-nagy és nagy dózisú kezeléseknél. 2009-ben a kontrollhoz képest szignifikánsan nem változtak az enzimaktivitás értékei, minden kezelésben csak kismértékű növekedést mutattunk ki. Végül 2010-ben – a nagy dózis kivételével – minden kezelésben szignifikánsan emelkedett az enzimaktivitás (*Melléklet 15. Táblázat*). A négy év átlagában (*16. ábra*) – ahol az enzimaktivitás értékei 5,39 és 7,68 $\text{mg P}_2\text{O}_5 \text{ 100g}^{-1} \text{ 2h}^{-1}$ között voltak - eredményeink alapján kijelenthetjük, hogy a bentonit mindegyik dózisa serkentette az enzimaktivitást – csakúgy, mint a szabadföldi kísérletben tapasztaltuk - szignifikánsan azonban a közepes(2) és közepes-nagy dózis(3) hatására nőtt. A két dózis hatása között azonban statisztikailag igazolható különbség nem mutatható ki.

A **zeolit** hatására 2007-ben szignifikáns növekedést tapasztaltunk minden dózisonál, de a dózisok hatása között statisztikailag igazolható különbség nem volt. Hasonló tendenciát figyeltünk meg a 2008-as év eredményeinek értékelése során, ahol a kis dózis mellett mértünk szignifikáns növekedést az értékekben. 2010-ben – ezzel ellentétben - csak a kis dózis mellett nem igazoltunk szignifikáns növekedést az

enzimaktivitásban. A 2009-es évben kismértékű volt a növekedés a kontroll talaj foszfatáz aktivitásához képest (*Melléklet 15. Táblázat*). A négy év átlaga – mely 5,39 és 7,21 mg P₂O₅ 100g⁻¹ 2h⁻¹ között volt - alapján az mondható el (*16. ábra*), hogy a kis dózis(1) kismértékben növelte, azonban a közepes(2), közepes-nagy(3) és nagy dózis(4) mind szignifikáns enzimaktivitás növekedést eredményezett. A dózisok hatásában szignifikáns különbséget nem tapasztaltunk, a nagyobb foszfatáz aktivitást a nagy dózis(4) mellett mértük.

A foszfatáz aktivitását illetően sem lehetett a négy év során különbséget tenni a bentonit és zeolit hatásában, egyik sem bizonyult statisztikailag igazolható módon serkentőbbnek a másiktól. Bentonit esetében kisparcellán a nagy dózis(4), tenyészedényben a közepes(2) és közepes-nagy dózis(3) bizonyult serkentőnek, a zeolit kezelések esetében a közepes(2) és a nagy dózisok(3;4) mellett határoztuk meg a nagyobb foszfatázaktivitást.



16. ábra: Bentonit és zeolit hatása a foszfatáz enzim aktivitására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A **szacharáz enzim aktivitása** a **bentonit**-kezelések hatására hasonló tendenciát mutatott mind a szabadföldi, mind a tenyészedényes viszonyok között. Mindkét kísérletre jellemző, hogy a kis, közepes, és a közepes-nagy dózisok növelték a szacharáz aktivitását. **Szabadföldi körülmények** között (*22. táblázat*) 2003-ban az utolsó kezelés kivételével elmondható, hogy minden kezelés növelte az enzimaktivitást, szignifikánsan azonban csak a közepes dózis mellett tapasztaltunk növekedést. 2004-ben már a kis dózis is szignifikánsan emelte az enzimaktivitást, emellett azonban növekedett értéke a közepes és szignifikánsan a közepes-nagy dózis hatására is. Hasonlóképpen 2005-ben,

ahol a nagy dózis kivételével minden kezelés szignifikáns növekedést eredményezett. A három év átlagában a szacharáz enzim aktivitása – kivéve a nagy dózisú kezelést – szignifikánsan növekedett, a magasabb enzimműködést a kis dózis eredményezte. Elmondható azonban, hogy a dózisok hatása között nem volt statisztikailag igazolható különbség.

22. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a szacharáz enzim aktivitására (Nyíregyháza, kispácellás kísérlet, 2003-2005)

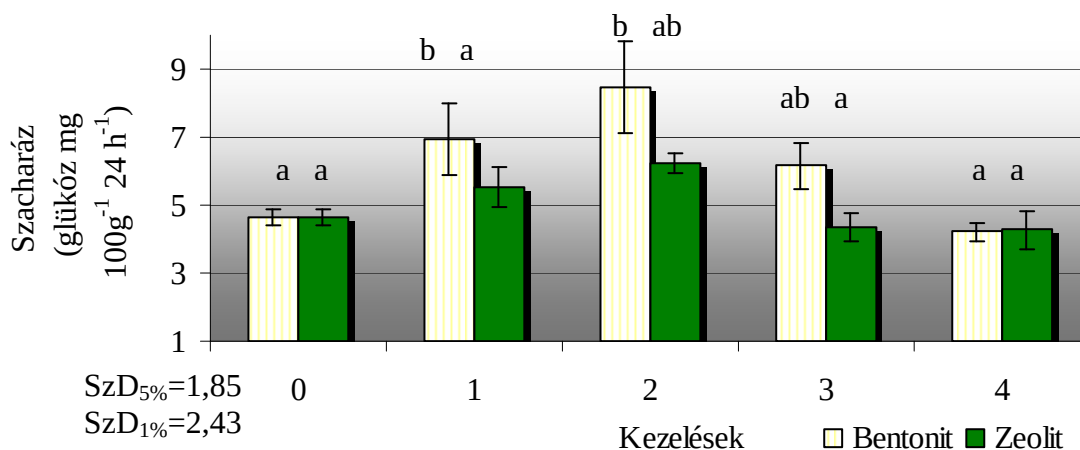
Szacharáz (glükóz mg 100g ⁻¹ 24h ⁻¹)				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	8,62 a	8,38 a	6,88 a	7,96 a
1.	9,33 a	10,14 b	7,84 b	9,10 b
2.	9,88 ab	8,53 a	7,82 b	8,74 b
3.	8,78 a	9,66 ab	7,84 b	8,76 b
4.	8,45 ac	7,82 a	6,37 a	7,55 a
SzD_{5%}	0,81	1,15	0,86	0,72
<i>SzD_{1%}</i>	1,15	1,64	1,22	1,02

Ugyanakkor megállapítható, hogy a szacharáz aktivitására **tenyészedényes körülmények** között a kezelések kisebb mértékben hatottak, mint a foszfatáz aktivitására. Bentonit esetében a négy vizsglati év során csak 2007-ben és 2008-ban határoztunk meg szignifikáns eltérést a kontrollhoz viszonyítva, és leginkább a kis és közepes dózisok bizonyultak serkentő hatásúaknak. 2008-ban még a közepes-nagy dózis is szignifikánsan növelte az enzimaktivitást. 2009-ben és 2010-ben szignifikánsan egyik kezelés sem növelte, illetve csökkentette az enzimaktivitást. Mindkét vizsglati év során a kis, közepes és közepes-nagy dózis kismértékben növelte, a nagy dózis viszont mindkét esetben – még a 2007-ben is - kismértékben csökkentette a szacharáz aktivitását (*Melléklet 16. Táblázat*). Vizsglati eredményeink alapján (*17. ábra*) a szacharáz aktivitását szignifikánsan a bentonit-kezelések kis(1) és közepes dózisa(2) serkentette, nem szignifikánsan ugyan, de tenyészedényben a közepes dózis(2) mellett nagyobb enzimaktivitást határoztunk meg (értéke itt 8,45 glükóz mg 100g⁻¹ 24h⁻¹). A nagy bentonit dózis(4) mellett kismértékű csökkenést tapasztaltunk. Ezen nagy dózis csökkentő hatását a szabadföldi kísérlet során is megfigyeltük a 20 t ha⁻¹-os dózis hatására.

A **zeolit**-kezelések során is az esetek többségében csak a kis és közepes dózisú kezelések bizonyultak serkentőnek, azonban stimuláló hatása kisebbnek bizonyult a

bentonitétől, hisz a kísérleti évek átlagában a szignifikánsan növelő hatás a zeolit kezelésekben nem mutatkozott meg. Szignifikáns növekedést az értékekben csak 2007-ben a kis és közepes dózis mellett, illetve 2010-ben a közepes dózis hatására tapasztaltunk. 2008-ban a kis és közepes dózisok mellett kismértékű volt a növekedés az értékekben, a közepes-nagy, és nagy dózisok hatására kismértékű a csökkenés. Ezzel ellentétben azonban az enzimaktivitás 2009-ben a közepes és nagy dózis mellett nőtt, míg a kis és közepes-nagy dózis mellett kismértékben csökkent (*Melléklet 16. Táblázat*). A négy év átlagértékei alapján megállapítottuk (*17. ábra*), hogy a szacharáz aktivitását a zeolit kezelések nem befolyásolták szignifikánsan. A kis(1) és közepes(2) dózisok növelték, a nagy dózisok(3;4) kismértékben csökkentették a szacharáz aktivitását.

A szacharáz aktivitását mind a bentonit, mind a zeolit közepes dózisa(2) serkentette nagyobb mértékben és tenyészedényes körülmények között a bentonit közepes dózisa mellett szignifikánsan nagyobb szacharáz aktivitást tudtunk mérni, mint a zeolit ugyanezen dózisa mellett.



17. ábra: Bentonit és zeolit hatása a szacharáz enzim aktivitására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

Az **ureáz enzim aktivitása** ugyancsak nőtt a bentonit-kezelések hatására. **Kisparcellás kísérletben** (*23. táblázat*) 2003-ban a közepes, 2004-ben a kis és nagy dózisok hatására is, 2005-ben szintén csak a közepes dózis emelte szignifikánsan az enzimaktivitást. A három év átlaga azt mutatta, hogy az ureáz aktivitását kis és közepes dózisok emelték, szignifikánsan nagyobb mértékben a közepes dózis. Elmondható

azonban, hogy közepes-nagy és nagy dózisok kis mértékben – és ugyan nem szignifikánsan – de szintén növelték az enzimaktivitást a kontroll értékeihez képest.

23. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása az ureáz enzim aktivitására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)

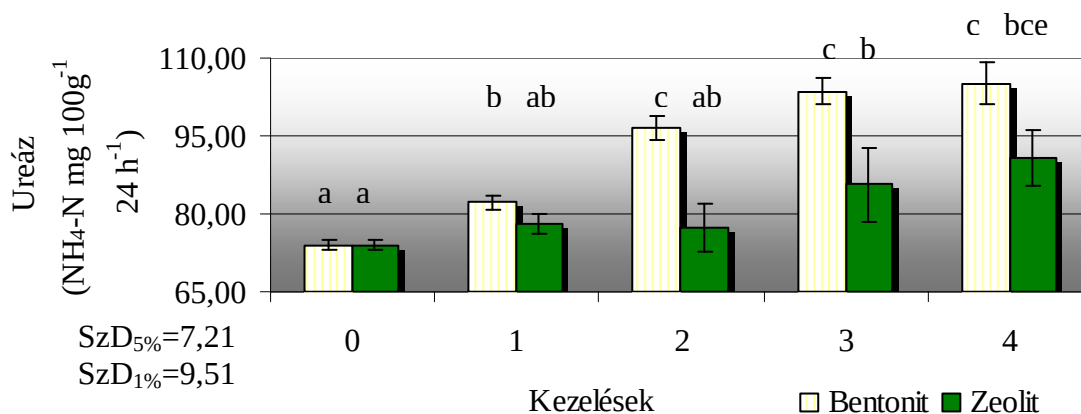
Ureáz (NH_4 mg 100g^{-1} 24h^{-1})				
Bentonit dózisok	2003	2004	2005	Átlag
0.	74,73 a	89,57 a	28,82 a	64,37 a
1.	80,43 a	100,10 b	28,82 a	69,78 b
2.	97,33 b	89,57 a	32,20 b	73,03 c
3.	73,93 a	99,25 b	25,99 a	66,39 a
4.	78,25 a	94,88 b	28,32 a	67,15 ab
SzD_{5%}	6,16	8,27	3,34	3,07
SzD_{1%}	8,76	11,76	4,75	4,37

Az ureáz enzim aktivitása tehát a kisparcellás kísérletben minden bentonit dózis hatására nőtt. Szignifikáns növekedést abban a kísérleti sorozatban a kis és közepes dózisok eredményeztek. A **tenyészedényes kísérlet**ben azonban az ureáz aktivitását leginkább a nagy dózisok befolyásolták szignifikánsan nagyobb mértékben. Mind a négy vizsgálati évben a bentonit kis, közepes és közepes-nagy dózisa mellett az enzimaktivitás nőtt, s igaz ez a nagy dózisok többségére is, egyedül 2009-ben tapasztaltunk kismértékű csökkenést ezen kezelésekben a kontrollhoz képest. 2007-ben az enzimaktivitás szignifikánsan a közepes-nagy és nagy dózis mellett, 2008-ban csak a nagy dózis mellett, 2009-ben a közepes és közepes-nagy, 2010-ben pedig minden dózis mellett szignifikánsan nőtt (*Melléklet 17. Táblázat*). A négy év átlagában (*18. ábra*) szintén mindegyik kezelés szignifikánsan növelte az enzimaktivitást, azonban a nagy dózis(4) bizonyult serkentőbbnek - amely mellett értéke $105,11 \text{ NH}_4\text{-N mg } 100\text{g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$ volt - a bentonit esetében.

A **zeolit** is növelte az ureáz aktivitását. 2007-ben minden kezelésben – ugyan nem szignifikánsan – kismértékű növekedést észleltünk, 2008-ban csak a nagy dózis mellett tapasztaltunk kismértékű csökkenést, a többi kezelés – nem szignifikánsan – növelte az ureáz aktivitását, csakúgy, mint 2009-ben, ahol viszont a kis dózis szignifikánsan emelte az enzimaktivitást. 2010-ben szignifikánsan a kontroll talajhoz mérten csak a közepes-nagy és nagy dózis emelte az enzimaktivitást (*Melléklet 17. Táblázat*). A négy év átlagában (*18. ábra*) az ureáz enzim aktivitása $73,97$ és $90,86 \text{ NH}_4\text{-N mg } 100\text{g}^{-1} 24\text{h}^{-1}$ között változott. Átlageredményeink alapján a zeolit pozitívan befolyásolta az ureáz

aktivitását, a kis(1) és közepes dózisok(2) mellett kismértékű, a nagy dózisok mellett szignifikáns növekedést tapasztaltunk.

Míg kisparcellán a bentonit kis(1) és közepes dózisa(2) bizonyult serkentőnek, addig ellenőrzött viszonyok között mind a bentonit és mind a zeolit kezeléssorozatban a legnagyobb enzimaktivitás értékeket a nagy dózisok(4) mellett határoztuk meg. A bentonit nagy dózisa azonban szignifikánsan nagyobb mértékben emelte az ureáz aktivitását, mint a zeolit.



18. ábra: Bentonit és zeolit hatása az ureáz enzim aktivitására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

5.4. A fizikai, kémiai és biológiai tulajdonságok közötti összefüggések

5.4.1. A szántóföldi, kisparcellás kísérlet paramétereinek korrelációs értékelése (Pearson-féle korreláció analízis)

A korreláció analízis során összefüggéseket kerestünk a vizsgált néhány talajfizikai, talajkémiai és mikrobiológiai tulajdonság között a szabadföldi kísérlet során. A korrelációs együtthatók értékét (r -érték) a *Melléklet 19. Táblázatában* foglaltuk össze.

A talaj nedvességtartalmának változása pozitív közepes összefüggést mutatott a cellulózbontó baktériumok számával ($r=0,549$), a talajlégzés alakulásával ($r=0,588$), valamint a talaj mikrobiális biotomassza-N tartalmával ($r=0,533$).

A talaj kémhatása a semleges irányba tolódott el, mind a vizes, mind a M KCl-os szuszpenzióban, ezek egymással szoros kapcsolatban álltak ($r=0,944$), míg a pH érték növekedésével az y_1 értékei csökkentek ($pH_{(H_2O)}r=-0,798$, $pH_{(KCl)}r=-0,851$). A pH érték változása pozitívan befolyásolta a talaj nitrát feltáródásának mértékét, hiszen a vizes közegben meghatározott kémhatás közepes korrelációt mutatott vele ($r=0,739$), csakúgy, mint a KCl-os közegben meghatározott kémhatás, mellyel szoros kapcsolatot

határoztunk meg ($r=0,769$). A kémhatás ezen túl még a szacharáz aktivitását befolyásolta szintén pozitív irányban, amellyel közepes kapcsolatban állt ($pH_{(H_2O)}r=0,580$; $pH_{(KCl)}r=0,514$). Ugyanezen talajparaméterekkel – vagyis a nitrát-feltáródással ($r=-0,644$) és a szacharáz aktivitással ($r=-0,669$) - a hidrolitos aciditás is negatív közepes összefüggést mutatott.

A talaj tápanyagtartalmának változásával kapcsolatosan néhány közepes összefüggést bizonyítottunk úgy, mint a talaj nitrát-N tartalmának változása és a mikroszkopikus gombák számának változása ($r=0,522$), valamint a nitrát-feltáródás ($r=0,613$), ureáz aktivitás ($r=0,531$) között. A talaj könnyen felvehető foszfortartalma negatív közepes mértékben korrelált a talajlégzéssel ($r=0,526$), illetve pozitív, szintén közepes szinten a foszfatáz enzim aktivitásváltozásával ($r=0,693$). A talaj könnyen felvehető káliumtartalma pedig a talaj CO_2 -termelésével ($r=0,600$), és a szacharáz aktivitásával ($r=0,563$) mutatott közepes pozitív korrelációt.

A talajmikrobiológiai paraméterek között is tapasztaltunk néhány közepes illetve szoros összefüggést. Az összes-csíraszám a mikroszkopikus gombák számával állt negatív közepes ($r=-0,577$), valamint a cellulózbontók számával pozitív közepes korrelációban ($r=0,573$). A talaj nitrát feltáródása ugyancsak pozitív összefüggést mutatott két vizsgált enzim, a szacharáz ($r=0,701$), és az ureáz ($r=0,525$) aktivitásával. A cellulózbontó baktériumok száma közepes kapcsolatban állt a talaj mikrobiális biomassza-N tartalmával ($r=0,671$) és ugyancsak közepes, de ellentétes irányú korrelációban az ureáz aktivitásával ($r=-0,621$). A talaj CO_2 -termelése közepes pozitív kapcsolatot mutatott a talaj mikrobiális biomassza-C ($r=0,641$) és N tartalmával ($r=0,641$), a foszfatáz- ($r=0,748$) és ureáz enzimek aktivitásával ($r=0,694$), valamint hasonló erősségű, de ellentétes irányú kapcsolatot a szacharáz enzim aktivitásával ($r=-0,555$). A talaj biomassza-C tartalma az ureáz aktivitásával negatív közepes kapcsolatot mutatott ($r=-0,543$), míg a szacharáz és ureáz enzimek aktivitása egymással pozitív közepes korrelációban állt ($r=0,643$).

A szabadföldi kísérletünk során a talajmikrobiológiai tulajdonságok között eredményeink alapján csak egy pozitív irányú szoros összefüggést tudtunk megállapítani, és ezt a talaj mikrobiális biomassza-N tartalma, valamint az ureáz enzim aktivitása között bizonyítottuk ($r=0,847$). Ennek értékeit, és egyenletét lineáris regresszió analízissel jellemeztük, és a *Melléklet 2. Ábrán* mutatjuk be.

5.4.2. A tenyészedényes kísérlet paramétereinek korrelációs értékelése (Pearson-féle korreláció analízis)

A tenyészedényes kísérletben a vizsgált kémiai és mikrobiológiai talajtulajdonságok, alakulása között összefüggéseket kerestünk mind a bentonit mind a zeolit kezelések hatására.

A **bentonit** kísérletben (*Melléklet 20. Táblázat*) a talaj kémiai tulajdonságait vizsgálva – csakúgy, mint szabadföldi körülmények között - közepes negatív korrelációt tapasztaltunk a vizes szuszpenzióban mért kémhatás és a hidrolitos aciditás értékei között ($r=-0,638$), valamint szintén közepes, de pozitív irányú összefüggést mértünk a $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}$ és a talaj könnyen felvehető káliumtartalma ($r=0,573$), az összes-gombaszám ($r=0,519$), és a nitrát-feltáródás értékei ($r=0,530$) között. A $\text{pH}_{(\text{KCl})}$ növekedésével a talaj könnyen oldódó foszfor-tartalma is nőtt, hiszen ezek közepes pozitív irányú korrelációban álltak egymással ($r=0,682$), de a KCl-os pH-érték további közepes kapcsolatot mutatott az összes-gombaszám alakulásával ($r=0,565$), a talaj biomassa-C tartalmával ($r=0,611$). A hidrolitos aciditás csökkenésével nőtt a talaj könnyen felvehető káliumtartalma ($r=-0,522$), valamint a foszfatáz aktivitása ($r=-0,563$). A talaj könnyen felvehető foszfortartalma pozitív közepes korrelációban állt a talaj biomassa-C tartalmával ($r=0,602$). További közepes korrelációt mutattunk ki az AL-oldható káliumtartalom és az összes-gombaszám ($r=0,634$) valamint a talaj CO_2 -termelése ($r=0,681$) között.

A **zeolit**-kezeléssorozatban (*Melléklet 21. Táblázat*) közepes pozitív korrelációt mértünk a vizes közegben meghatározott kémhatás és a cellulózbontó baktériumok számának változása ($r=0,515$) között. A hidrolitos aciditás (y_1) értékei negatív szintén közepes korrelációt mutattak a könnyen felvehető kálium ($r=-0,504$), a biomassa-N ($r=-0,637$), és a foszfatáz ($r=-0,759$) enzim aktivitásával. A talaj könnyen felvehető káliumtartalma a talaj CO_2 -termelésével ($r=0,538$) állt közepes korrelációban. A talaj mikrobiológiai tulajdonságai közül az összes-csíraszám a szacharáz aktivitásával ($r=0,558$), a mikrobiális biomassa-C tartalom az ureáz aktivitásával ($r=0,578$) állt közepes korrelációban. A mikrobiális biomassa-N tartalom továbbá a foszfatáz enzim aktivitásával ($r=0,523$) mutattott pozitív közepes korrelációt.

A zeolit-kísérletsorozatban szoros korrelációt a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulása és a talajlégzés között mutattunk ki ($r=0,875$), ennek egyenletét szintúgy lineáris regresszió analízissel jellemeztük, és a *Melléklet 3. Ábrán* mutatjuk be.

5.4.3. A bentonit és zeolit kezelések hatásainak vizsgálata faktoranalízissel

A talajminőséget leíró jellemzők - mint változók - közötti mélyebb összefüggéseket faktoranalízis segítségével kerestük. Céljaink között szerepelt az egyes jellemzők összetartásának igazolása, illetve a mért tulajdonságok mátrix kapcsolatának feltárása. Mivel a cél a változók közötti összefüggések feltárása, és nem a változók számának csökkentése, ezért alkalmaztunk faktoranalízist. A faktoranalízist tenyészedényes kísérleti eredményeink alapján végeztük. Az adatokat a bentonit és zeolit kísérletek szerint összevontan alkalmaztuk az adathalmaz mennyiségének egyezősége miatt, valamint a két ásvány hasonló fizikai, kémiai tulajdonságaira támaszkodva, és hogy lássuk, hogy a talajba vitt ásványi anyagok a talajtulajdonságok megváltozását összefogóan milyen mértékben befolyásolták. A választott módszer a főkomponens analízis volt, mert célunknak tekintettük, hogy az eredeti korrelációs mátrixot néhány olyan komponensre vezessük vissza, melyekkel a tapasztalt korrelációk megmagyarázhatók. A lehetséges eljárások közül a Varimax algoritmust alkalmaztuk (Sajtos – Mitev, 2007). A Kaiser–Meier–Olkin mérték számításával ellenőrizhető az adatmátrixban az adatok szoros összefüggése. Ennek értéke $KMO=0,691$ lett, ami alapján az adatokat faktoranalízisre alkalmasnak tekinthetjük (Sajtos – Mitev, 2007). A Bartlett teszt eredménye is megfelelő volt a faktoranalízis elvégzéséhez ($P=0,00$) (Székelyi – Barna, 2002) (24. táblázat).

24. táblázat: KMO and Bartlett - teszt eredményei (faktoranalízis)

Kaiser–Meier–Olkin mérték		0,691
Bartlett - teszt eredményei	Szabadságfok	136
	Szignifikancia szint	0,00

Mivel előzetes feltételezésünk nem volt a faktorok számát illetően, ezért a Kaiser-kritérium alapján azokat a faktorokat vettük figyelembe, amelyek sajátértéke legalább 1 volt (Melléklet 1. Ábra). Az analízis eredményeképpen a változóink öt faktorba tömörültek (Melléklet 22; 23 Táblázat). A teljes variancia megmagyarázott hányada 69,80% volt (25. táblázat).

25. táblázat: A megmagyarázott varianciarányadok %-os értékei az öt faktornál (faktoranalízis)

Faktorok	A faktor által megmagyarázott varianciarányad a teljes variancián belül (%)	Összesített varianciarányad (%)
I.	24,64	24,64
II.	18,23	42,87
III.	12,11	54,98
IV.	7,85	62,83
V.	6,97	69,80

Az egyszerűbb és értelmezhetőbb faktormegoldás érdekében faktorrotációt végeztünk. A rotált faktorsúly mátrix a 26. táblázatban látható. Az értékelésnél csak a 0,6 fölötti faktorsúlyokat vettem figyelembe. Ez által azt láttuk, hogy a talajban a bentonit és a zeolit kezelések következtében bekövetkező változásokat elsősorban a *kémhatás*, illetve a talaj meghatározott felvehető tápanyagformái közül a *káliumtartalom* megváltozása befolyásolta leginkább. Ezek alkották az **1. faktort** a varianciák 24,64%-ban. A **2. faktorba** a talaj tápanyagtökéjére vonatkozóan a *nitráttartalom* és az ezzel összefüggő *nitrát-feltáródás* került. Ebben a faktorban még jelentős faktorsúllyal szerepelt a talaj *mikrobiális biomassza-C* tartalmának irányadó mivolta. A 2. faktor a varianciát 18,23%-ban magyarázta. A **3. faktor** az *enzimaktivitások* faktora, melyek magyarázási aránya 12,11% volt. A **4. faktort** a talaj harmadik vizsgált tápeleme az *AL-foszfortartalom* képviselte, és jelentős faktorsúllyal jelent meg ebben a faktorban a *hidrolitos aciditás* értékének változása, mely elsősorban a kémhatáshoz köthető, mégis valószínűen értéke nem változott a kezelések hatására olyan mértékben – hiszen a talaj savanyú maradt – hogy az nagyobb meghatározója legyen a talajban lejátszódó folyamatoknak. A 4. faktor a varianciát 7,85%-ban magyarázta. Végül az **5. faktor** a meghatározott fiziológiai csoportok közül a *cellulóz-bontó baktériumok* voltak, 6,97%-os magyarázási aránnyal.

A faktoranalízis vizsgálat tehát azt 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. Az AL-kálium megjelenését az 1. faktorban az alkalmazott anyagok kémiai tulajdonságai, főleg a zeolit magas káliumtartalma magyarázza. Ezeken túl jelennek meg az enziaktivitások, illetve a különböző fiziológiai csoportok súlya a

különböző talajtulajdonságok megváltozásában, ami talán azzal magyarázható, hogy mind az enzimek, mind a fiziológiai csoportok egy-egy talajkémiai folyamatra vannak leginkább specializálódva, és ezért nem elhanyagolható a számuk a talajban, illetve, hogy azok milyen mértékben és arányban járulnak hozzá a különböző talajban lejátszódó folyamatokhoz.

26. táblázat: A bentonit és zeolit kezelések hatásának vizsgálata faktoranalízissel és a vizsgált talajkémiai és talajbiológiai tulajdonságok faktorsúlyai

Paraméterek	Faktorok				
	1	2	3	4	5
pH _(H₂O)	0,861		0,100	0,046	0,192
AL-kálium	0,859	0,146		0,039	
pH _(KCl)	0,703	0,156	0,089	0,083	0,396
Mikr. gombák	-0,547		0,092	-0,513	0,041
Nitrát-N	0,095	0,884	-0,096	0,079	0,134
Nitrát-feltár.	0,421	0,752	0,094	0,212	-0,138
Biomassza-C	0,382	0,747	0,082	0,314	0,030
Biomassza-N	0,395	0,597	0,248	0,307	
Foszfátáz	0,045		0,792	-0,215	-0,113
Szacharáz	-0,063	0,298	0,707	-0,065	0,333
Összes-csíraszám	0,340	0,293	0,550	0,212	-0,036
CO ₂ -termelés	0,361	0,075	0,517	0,106	0,253
Nitrifikáló bakt.	0,397	0,035	0,482	-0,112	-0,372
AL-foszfor	0,149	0,062	0,118	0,895	-0,109
Hidr. acid. (y ₁)	-0,284	-0,145	-0,069	-0,747	0,099
Ureáz	0,383	0,351	0,397	-0,407	-0,309
Cellulózb. bakt.	0,067	0,198	0,072		0,838

Extraction Method: Principal Component Analysis.

Rotation Method: Varimax with Kaiser Normalization

Nem vontuk be az értékelésbe a változók közül, mégis jelentős szerepet kaptak faktorsúlyuk alapján a mikroszkopikus gombák tevékenysége, melyet az 1. faktorba sorolnánk leginkább, ami azzal magyarázható, hogy tevékenységük savanyú talajon kifejezettebb. A 3. faktorba sorolhatnánk ugyanezen indokok miatt a baktériumok tevékenységét – és a CO₂-termelés mértékét – hiszen savanyú talajon ezek tevékenysége kerül háttérbe. A mikrobiális biomassza-N faktorsúlya a mikrobiális biomassza-C tartalommal, illetve a nitrát-N és a nitrát-fetáródás mértékével párhuzamosan jelenik meg a 2. faktorban.

A program az elemzésbe továbbá két változót nem vont be, az egyik a nitrifikáló baktériumok mennyiségi változása, illetve az ureáz enzim aktivitása. Faktorsúlyuk alapján mindkét változó a 3. faktorba sorolható, így tevékenységük a talajfolyamatok

irányának szempontjából – fentebb már említett indokok miatt - kevésbé meghatározónak minősültek.

5.5. Bentonit és zeolit hatása a tesztnövény, angolperje (*Lolium perenne* L.) biomassza mennyiségére

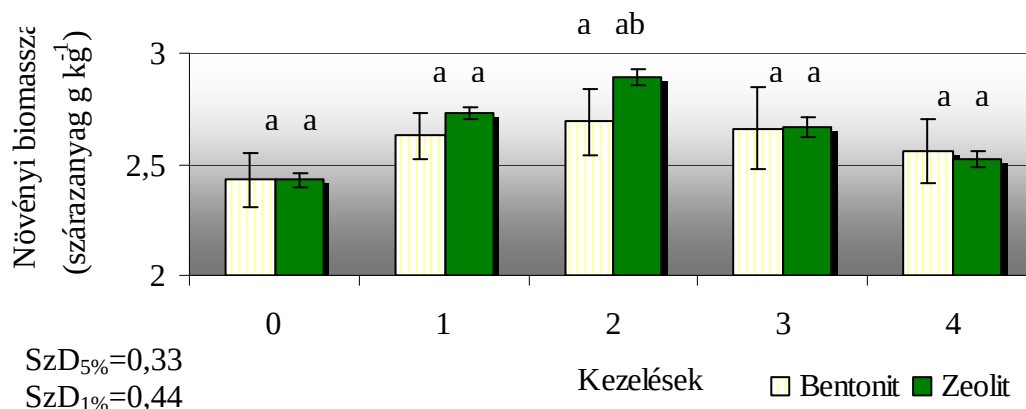
Tenyészedényes kísérletünkben a mintavételek alkalmával vágtuk, szárítottuk, majd mértük a tesztnövény, **angolperje (*Lolium perenne* L.) biomassza mennyiségét**. A négy év során azt tapasztaltuk, hogy csak kis mértékben mértünk nagyobb biomassza mennyiséget a kezelések hatására a kontrollhoz képest mindkét természetes anyag tekintetében.

A **bentonit** hatására 2007-ben csak a közepes és közepes-nagy, 2008-ban csak a közepes-nagy és nagy dózisok növelték szignifikánsan a biomassza mennyiségét. 2009-ben és 2010-ben a kontroll értékétől a biomassza mennyisége jelentős mértékben egyik kezelés hatására sem változott (*Melléklet 18. Táblázat*). A négy év során eredményeink azt mutatták (*19. ábra*), hogy a bentonit-kezelések kismértékű, nem szignifikáns növekedést eredményeztek a növényi biomassza mennyiségét illetően, valamint, hogy a magasabb értékeket szintén a közepes dózis(2) eredményezte ($2,69 \text{ g kg}^{-1}$). A bentonit esetében kisebb mértékben nőtt a száraztömeg, mint a zeolit-kezeléseknél.

A **zeolit**nál a növényi biomassza mennyiségében – a négy vizsgálat év során - szignifikáns változás csak 2007-ben és 2009-ben történt. Mindkét évben a közepes dózis mellett mértük a legnagyobb növényi száraztömeget. 2007-ben azonban már a kis, illetve a közepes-nagy dózis mellett is szignifikánsan nőtt a növényi biomassza mennyisége. A nagy dózis hatására csak kismértékű volt a növekedés. A 2008-as évben minden kezelés növelte – nagyobb mértékben a kis dózis – a növényi száraztömeget, csakúgy, mint 2010-ben, ahol azonban a nagyobb értéket a közepes-nagy dózis hatására mértük (*Melléklet 18. Táblázat*). A négy év átlagában azt tapasztaltuk (*19. ábra*), hogy a zeolit kezelések mindegyike növelte a növényi biomassza értékeit. Hatékonyabbnak a közepes dózis(2) bizonyult – értéke itt $2,89 \text{ g kg}^{-1}$ volt - amelynél a biomassza mennyiség szignifikánsan nőtt.

A növényi biomassza mennyiségét tehát mindkét természetes anyag alkalmazása a homok textúrájú talajon pozitívan befolyásolta. Mind a bentonit esetében, mind a zeolit esetében a közepes dózis(2) bizonyult a legserkentőbbnek, a zeolit közepes dózisának alkalmazása során szignifikáns növekedést láttunk az értékekben. Míg a bentonit

közepes dózisa a kontroll értékéhez viszonyítva 13%-kal, addig a zeolit 19%-kal növelte a növényi produktumot. A zeolit – nem szignifikáns módon ugyan, de – nagyobb mértékben növelte a növényi biotermék mennyiségét, mint a bentonit. Összegezve az agyagásvány tartalmú talajjavítóanyagok hatását a növényi biotermék mennyiségi alakulására kijelenthetjük, hogy alkalmazásukkal átlagosan 16% biotermék szárazanyag mennyiség-növekedést tudunk mérni.



19. ábra: Bentonit és zeolit hatása a teszt növény szárazanyag biotermék mennyiségére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok)

A szántóföldi, kisparcellás bentonit kísérletben nem tűztük ki célul a növény-növekedésre, illetve a termés-eredményekre vonatkozó vizsgálatokat. Az ilyen irányú vizsgálatok elvégzését a Nyíregyházi Kutatóintézet Munkatársai, Makádi, et al. (2003; 2010) végezték. Eredményeik szerint a bentonit 10 és 15 t ha⁻¹-os kezelései növelték a legnagyobb mértékben a termesztett növények termés-mennyiségét, ezen dózisok hatására a zöldborsó termésmennyisége 42%-osnak, a csemegekukoricáé 11%-osnak, a mustaré 13%-osnak, a rozsé közel 12%-osnak bizonyult. A pohánkánál termésmennyiséget nem tudtak kimutatni a dózisok hatására. Végző következtetésük volt, hogy a bentonit 10-15 t ha⁻¹-os kezeléseinek hatására a szántóföldön termesztett növények termésmennyisége átlagosan 10% volt.

A korreláció elemzés során további összefüggéseket kerestünk tenyészedényes vizsgálati eredményeink alapján a vizsgált kémiai, mikrobiológiai talajtulajdonságok, és a teszt növény, az angolperje (*Lolium perenne* L.) szárazanyag mennyisége között, mind a bentonit, mind a zeolit kísérletekben (27. táblázat).

Bentonit kísérletben így a növényi biomassa szárazanyagprodukciónak közepes pozitív irányú kapcsolatot mutatott KCl-os pH-érték ($r=0,680$), valamint a talaj könnyen felvehető foszfortartalmának alakulása ($r=0,595$).

A **zeolit kezeléssorozatban** a vizes közegben meghatározott kémhatás ($r=0,578$), a mikroszkopikus gombák száma ($r=0,503$), illetve az ureáz enzim aktivitása állt a növényi biomassa mennyiségével közepes pozitív összefüggésben ($r=0,699$).

Mindkét tenyészedényes kísérletben csak egy esetben tudtunk szoros pozitív összefüggést kimutatni a növényi biomassa mennyiségi alakulása során, így a növényi biomassa és a talaj mikrobiális biomassa-szén tartalma között ($r=0,848$; $0,832$) (Melléklet 20; 21 Táblázatok). Az értékeket lineáris regressziós egyenlettel ábrázoltuk (Melléklet 4; 5. Ábrák).

27. táblázat: Összefüggés a talaj vizsgált tulajdonságai és a teszt növény biomassa - angolperje (*Lolium perenne* L.) - mennyiségi alakulása között tenyészedény kísérletben (Pearson-féle korreláció analízis)

BENTONIT (n=24)			ZEOLIT (n=24)		
Vizsgált talajtulajdonságok		r-érték	Vizsgált talajtulajdonságok		r-érték
		„Közepes”			„Közepes”
pH _(KCl)	Növényi biomassa	0,680	pH _(H₂O)	Növényi biomassa	0,578
AL-foszfortartalom		0,595	Mikroszkopikus gombaszám		0,500
			Ureáz enzim		0,699
		„Szoros”			„Szoros”
Mikrobiális biomassa-C		0,848	Mikrobiális biomassa-C		0,832

5.6. A bentonit és zeolit dóziszfüggő hatásai

A bentonit-kísérlet összefoglaló táblázata (28. táblázat) magába foglalja a szabadföldi kísérlet három, illetve a tenyészedényes kísérlet négy vizsgálati évének átlagai alapján megjelenő „növelő” (+) és „csökkentő” (-) dóziszfüggő hatásokat, ezáltal a bentonit különböző dózisainak hatását a megvizsgált talajtulajdonságokra, valamint a növényi biomassa szárazanyag mennyiségi alakulására.

28. táblázat: A szabadföldi, kisparcellás és tenyészedényes kísérlet összefoglaló táblázata a vizsgálati évek átlageredményei alapján bentonit-kezelésekben

Sor-szám	X.*	Vizsgált talaj tulajdonságok	Bentonit dózisok				Szignifikánsan meghatározó dózisok
			1x	2x	3x	4x	
1	K	Nedvesség-tart.	++	++	++	++	1x-4x
2	K	pH _(H2O)	++	++	++	++	1x-4x
	T	pH _(H2O)	++	+++	++	++	1x; 2x; 3x; 4x
3	K	pH _(KCl)	++	++	++	++	1x-4x
	T	pH _(KCl)	++	+++	+++	+++	1x; 2x; 3x; 4x
4	K	y ₁	--	---	---	--	2x; 3x
	T	y ₁	--	--	--	---	1x; 2x; 3x; 4x
5	K	NO ₃ -N	--	--	-	---	4x
	T	NO ₃ -N	+	+	+	-	2x
6	K	AL-P ₂ O ₅	---	---	--	--	1x; 2x
	T	AL-P ₂ O ₅	+	++	+	+	2x
7	K	AL-K ₂ O	+	-	++	-	3x
	T	AL-K ₂ O	++	++	++	+	1x; 2x; 3x
8	K	Összes-csíraszám	++	+++	++	++	2x
	T	Összes-csíraszám	++	+++	++	++	1x; 2x; 3x; 4x
9	K	Mikr. gombák	--	-	---	---	3x; 4x
	T	Mikr. gombák	++	+	-	---	4x
10	K	Nitrifikáló bakt.	++	++	+	+	1x; 2x
	T	Nitrifikáló bakt.	++	+++	++	++	1x; 2x; 3x; 4x
11	K	Nitrát – feltár.	+++	++	+	+	1x
	T	Nitrát – feltár.	++	++	+	-	1x; 2x
12	K	Cellulózb. bakt.	-	+	-	--	4x
	T	Cellulózb. bakt.	++	+++	+	-	1x; 2x; 3x
13	K	CO ₂ -termelés	+	-	-	-	2x-4x
	T	CO ₂ -termelés	++	++	+	-	1x; 2x
14	K	Biomassza-C	+	-	-	--	4x
	T	Biomassza-C	++	++	-	-	1x; 2x
15	K	Biomassza-N	+	++	++	++	2x-4x
	T	Biomassza-N	+	++	+	+	2x
16	K	Foszfátáz	+	+	+	++	4x
	T	Foszfátáz	+	++	++	+	2x; 3x
17	K	Szacharáz	++	++	++	-	1x-3x
	T	Szacharáz	++	++	+	-	1x; 2x
18	K	Ureáz	++	+++	+	+	1x; 2x
	T	Ureáz	++	++	++	+++	1x; 2x; 3x; 4x
19	T	Növényi biom.	+	+	+	+	1x; 2x; 3x; 4x
	X.*	Kísérleti körülmények (K=kisparcellás; T=tenyészedényes)					
Jelölések		növekedés: +; Szign. növekedés: ++; Legerősebb pozitív hatás: +++					
		csökkenés: -; Szign. csökkenés: --; Legerősebb negatív hatás: ---					

Összegzőképpen a bentonit dózisfüggő hatásait szabadföldi és tenyészedényes kísérleti átlageredményeink alapján az alábbiakban összegezzük (28. táblázat):

- A homok textúrájú kovárványos barna erdőtalaj és humuszos homoktalaj tizennyolc fizikai, kémiai és mikrobiológiai tulajdonságát vizsgáltuk. A tizennyolc paraméter közül tizenegy esetében a kezelések hatására bekövetkező serkentő hatást tapasztaltunk.
- A fizikai tulajdonságok közül a talaj nedvességtartalmára a kezelések pozitív hatással voltak. A kémiai tulajdonságok közül a kémhatásviszonyok szintén kedvezően alakultak a kezelések hatására, míg a talaj tápanyagtartalmára vonatkozóan az eredmények nem bizonyultak egyértelműnek. Továbbá összesen tizenegy mikrobiológiai talajparamétert vizsgáltunk, amelyek közül a kezelések hét esetben pozitív hatással voltak, bár a mikrobiológiai tulajdonságok közül is vizsgálati évek eredményei sok esetben mutattak eltérő tendenciát.
- A jelentős adszorpciós tulajdonságokkal, illetve a nagy vízmegkötő- és duzzadásképeségű bentonit homok textúrájú talajban növelte a talaj vízmegkötő- és víztartó-képességét, a talaj **nedvességtartalma** a három év során növekvő tendenciát mutatott a kontroll talaj nedvességtartalmához képest. Már a kis dózis is (5 t ha^{-1}) szignifikánsan növelte a talaj nedvességtartalmát. A további dózisoknál is szignifikáns nedvességtartalom növekedést tapasztaltunk, azonban a dózisok hatása között statisztikailag igazolható különbséget nem tudtunk kimutatni.
- A **talaj kémiai tulajdonságai** közül vizsgáltuk a kémhatás alakulását vizes és M KCl-os szuszpenzióban, illetve ezzel kapcsolatosan mértük a hidrolitos aciditás mértékét. Az eredményekből egyértelműen látszik, hogy a talaj kémhatása nőtt, a gyengén savanyú tartományba tolódott el, mellyel párhuzamosan a hidrolitos aciditás értékei is csökkentek. A dózisok hatása között a kémhatásviszonyok esetében sem tudtunk statisztikai különbséget tenni. A nagyobb kémhatásértékeket a kis és közepes – az egy-, két-, és háromszoros - dózisok ($5; 10; 15 \text{ t ha}^{-1}$) okozták. A talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmára vonatkozólag három paramétert vizsgáltunk, a talaj nitrát-N tartalmát, AL-oldható foszfor és káliumtartalmát, amelyekre a kezelések kisparcellás körülmények között kevésbé hatottak, mint a tenyészedényes körülmények között, és elsősorban a kezelések a talaj könnyen felvehető káliumtartalmára gyakoroltak pozitív hatást. Az AL-káliumtartalmat mindkét kísérleti körülmény között a közepes-nagy dózis (15 t ha^{-1}) növelte nagyobb

mértékben. A talaj nitrát-nitrogén és foszfortartalmával kapcsolatosan nem azonos tendenciájú eredményeket kaptunk, kispárcellán mindkét talajparaméter csökkent, azonban még a szignifikáns csökkenést okozó dózisok sem voltak megegyezők, hiszen a talaj nitrát-nitrogén tartalmát a nagy dózis, míg a könnyen felvehető foszfortartalmát a kis és közepes dózisok csökkentették nagyobb mértékben. Tenyészedényben azonban a talaj könnyen felvehető tápanyagtartalma – ellentétben a szabadföldi kísérletben tapasztaltakkal – növekedést mutattak. A talaj nitrát-N tartalma a négy vizsgálati év során csak kismértékben, nem szignifikánsan nőtt. A könnyen felvehető foszfor- és káliumtartalom azonban egyes dózisok hatására szignifikáns növekedést mutattak. A foszfor-értékekben egyértelműen a közepes dózis (10 t ha⁻¹) mellett tapasztaltunk szignifikáns növekedést. A káliumtartalom a négy év során minden kezelésben nőtt, szignifikánsan a kis, közepes, és közepes-nagy dózisok hatására.

- A **mikrobiológiai tulajdonságok** közül az alábbi hét talajparaméternél tapasztaltunk növekedést a kezelések hatására: összes-csíraszám, nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulása, a nitrát-feltáródás mértéke, a mikrobiális biomassza-N tartalom, valamint a három vizsgált enzim esetében, így a foszfatáz, a szacharáz és az ureáz esetében. Tenyészedényben azonban további serkentő hatást tapasztaltunk az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségére, a talajlégzés mértékére, és a mikrobiális biomassza-C tartalomra. Megállapítható, hogy a mikrobiológiai aktivitás értékeit a bentonit kis- és közepes dózisa (5; 10 t ha⁻¹) növelték az esetek többségénél nagyobb mértékben. Azon mikrobiológiai paramétereknél, melyeknél a kezelések nem okoztak növekedést úgy, mint az összes-gombaszám, valamint kispárcellás körülmények között, az aerob cellulózbontó baktériumok, a talajlégzés, a talaj mikrobiális biomassza-C tartalma, ezeknél szignifikáns csökkenést elsősorban a nagy dózisok (15; 20 t ha⁻¹) eredményezték. A nagy dózis csökkentette továbbá az enzimek közül a szacharáz aktivitását. A talaj CO₂-termelésének mértéke, mint a mikrobiológiai aktivitás egyik sajátos jellemzője szabadföldön a kontroll értékétől jelentősen nem tért el az évek során, míg tenyészedényben – a nagy dózis kivételével – minden kezelés hatására növekedett, szignifikánsan a kis és közepes dózisok mellett.
- A mikrobiológiai tulajdonságokat tovább elemezve – függetlenül a kísérleti körülményektől, és a dózisoktól - kiszámoltuk, hogy a kezelésekre legérzékenyebben reagáló paraméterek a nitrifikáló baktériumok mennyisége volt, melyek száma a

kontrollhoz képest 2,4-szeresére nőtt. További leginkább érzékenyen reagáló paramétereknek bizonyult sorrendben: az összes-csíraszám, a nitrát-feltáródás, és az enzimek közül a szacharáz enzim aktivitása.

- A bentonit a **növényi biomassa** mennyiségét kedvezően befolyásolta, tendenciájában a biomassa szárazanyagprodukciója – ugyan nem szignifikánsan – de nőtt. A legmagasabb növényi biomassa mennyiséget a közepes (10 t ha^{-1}) kezelésben határoztuk meg. A növényi biomassa többlet e kezelés hatására 13%-osnak bizonyult.

Hasonlóan a bentonit-kezelések hatásvizsgálatához összegzésképpen a zeolit dóziszfüggő hatásait tenyészedényes kísérleti átlageredményeink alapján a következőkben összegezzük (29. táblázat):

- A **zeolit** kedvezően befolyásolta a savanyú, homok textúrájú talaj **kémiai tulajdonságait**. Mind a vizes, mind a KCl-os közegben meghatározott pH-érték nőtt. A dózisok hatása között statisztikailag igazolható különbséget nem tapasztaltunk. A pH-érték növekedésével a hidrolitos aciditás értékei is csökkentek.

A zeolit a talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmát is kedvezően befolyásolta. A talaj nitrát-N tartalmát kismértékben, azonban a könnyen felvehető foszfor- és káliumtartalmát szignifikánsan növelte. Mind a foszfor-, mind a káliumtartalmat a közepes-nagy és nagy dózisok ($15; 20 \text{ t ha}^{-1}$) emelték leginkább, azonban a kis dózisok mindkét talajparamétert, a közepes dózis pedig a káliumtartalmat serkentette még szignifikánsan.

- A **talajmikrobiológiai tulajdonságok** közül a zeolit minden általunk vizsgált mikrobiológiai paraméterre serkentő hatást gyakorolt. Néhány esetben tapasztaltuk csak, hogy a nagy dózisok kismértékű csökkenést okoztak, ezt tapasztaltuk a mikroszkopikus gombák, a nitrifikáló baktériumok mennyiségét illetően, valamint a szacharáz enzim aktivitásánál. A zeolit dózisok közül a bentonithoz hasonlóan a kisebb dózisok bizonyultak a mikrobák számát és aktivitását illetően hatékonyak, a nagyobb értékeket ezen kezeléseken határoztuk meg. Négy esetben bizonyult szignifikánsan serkentőnek a kis dózis (5 t ha^{-1}) (az összes-csíraszámnál, a nitrát-feltáródásnál, a biomassa-C és N tartalomnál), és ugyancsak négy esetben a közepes (10 t ha^{-1}) (az összes-csíraszámnál, a mikroszkopikus gombáknál, a nitrifikáló baktériumoknál, a nitrát-feltáródásnál). A közepes-nagy és nagy dózis ($15; 20 \text{ t ha}^{-1}$) két-két esetben bizonyult hatékonyak, az aerob cellulózbontók számát és a CO_2 -termelés mértékét a közepes-nagy dózis növelte szignifikánsan, míg a nagy dózis a

foszfatáz és ureáz enzimek aktivitását serkentette. A szacharáz enzim aktivitása csak kismértékben – nem szignifikáns módon - változott a dózisok hatására, stimuláló hatásúnak az enzimaktivitás tekintetében a kis és közepes (5;10 t ha⁻¹) kezelés bizonyult.

- A zeolit-kezelések *legérzékenyebben reagáló mikrobiológiai paramétere* – függetlenül a dózisoktól – az összes-csíraszám volt, amely a kontroll értékének csaknem háromszorosára nőtt. További érzékenyen reagáló paraméter volt még sorrendben a nitrifikáló baktériumok száma, a talaj mikrobiális biotomassza-N tartalma, és a CO₂-képződés.
- A zeolit közepes dózisa (10 t ha⁻¹) a **növényi biotomassza** mennyiségét szignifikánsan növelte. A növényi biotomassza ebben a kezelésben 19%-kal növekedett.

29. táblázat: Zeolit hatásainak összefoglaló táblázata a tenyészedényes négy vizsgálati év (2007-2010) átlageredményei alapján

Sor-szám	Vizsgált talajtulajdonságok	Dózisok				Szignifikánsan meghatározó dózisok
		ZEOLIT				
		1x	2x	3x	4x	
1	pH _(H₂O)	++	+++	++	++	1x; 2x; 3x; 4x
2	pH _(KCl)	+++	+++	+++	++	1x; 2x; 3x; 4x
3	y ₁	--	--	--	-	1x; 2x; 3x
4	NO ₃ -N	+	+	+	-	2x
5	AL-P ₂ O ₅	++	+	++	++	1x;3x;4x
6	AL-K ₂ O	++	++	++	++	1x; 2x; 3x; 4x
7	Összes-csíraszám	++	+++	+	+	1x; 2x
8	Mikr. gombák	++	++	+	-	1x; 2x
9	Nitrifikáló bakt.	++	+++	+	-	1x; 2x
10	Nitrát – feltár.	++	++	+	+	1x; 2x
11	Cellulózb. bakt.	+	++	++	+	2x; 3x
12	CO ₂ -termelés	+	++	++	++	2x; 3x; 4x
13	Biomassza-C	++	++	+	+	1x; 2x
14	Biomassza-N	++	++	+	+	1x; 2x
15	Foszfátáz	+	++	++	++	2x; 3x; 4x
16	Szacharáz	+	+	-	-	2x
17	Ureáz	+	+	++	+++	3x;4x
18	Növényi biom.	+	++	+	+	2x
Jelölések	növekedés: +; Szignifikáns növekedés: ++; a legerősebb pozitív hatás: +++					
	csökkenés: -; Szignifikáns csökkenés: --; a legerősebb negatív hatás: ---					

A két agyagásványtartalmú talajjavítóanyag a talaj vizsgált fizikai, kémiai, mikrobiológiai paramétereire, illetve a növényi biomasszára dóziszfüggő hatásának összehasonlításából tehát az alábbiakra következtethetünk:

- A bentonit minden alkalmazott dózisa (5, 10, 15, 20 t ha⁻¹) szignifikánsan növelte a talaj **nedvességtartalmát**, már a kis dózisu bentonit talajhoz keverése is szignifikáns talajnedvességtartalom növekedést eredményezett. A legmagasabb nedvességtartalmat a legnagyobb dózisu kezelésben mértük.
- Arra vonatkozólag, hogy melyik természetes anyag volt a **talaj kémiai tulajdonságai** közül a kémhatásvizonyokra kedvezőbb hatással, nem adhatunk egyértelmű választ, hiszen a bentonit és zeolit dózisa mellett mért pH-értékek között statisztikailag mérhető különbség nem mutatkozott. A vizes közegben meghatározott pH-értéket a zeolit közepes dózisa (10 t ha⁻¹) csak kismértékben növelte jobban, mint a bentonit ugyanezen dózisa. A hidrolitos aciditás értékei a zeolit kezeléseknél szintén kisebbeknek bizonyultak. A humuszos homoktalaj könnyen oldódó tápanyagtartalmát illetően a zeolit kezeléseket tekinthetjük hatékonyabbnak. Bentonit-kezelésekben a tápanyagok felvehetősége különböző volt a kísérleti körülményektől függően. A talaj nitrát-N tartalmát a bentonit közepes dózisa (10 t ha⁻¹) – ugyan nem szignifikánsan – de nagyobb mértékben növelte, mint a zeolit, de a foszfor- és káliumtartalom a zeolit nagy dózisa (15; 20 t ha⁻¹) mellett szignifikánsan nagyobbak bizonyultak, mint a bentonit ugyanezen dózisa mellett mért értékek.
- A tizenegy **mikrobiológiai tulajdonság** közül – ha mindkét természetes javítóanyagot figyelembe vesszük - hét esetben a közepes dózis (10 t ha⁻¹) bizonyult serkentőnek. A zeolit a tizenegy talajmikrobiológiai tulajdonság közül hat esetben bizonyult serkentőbbnek, mint a bentonit. Szignifikánsan nagyobb mértékben ezek közül is csak az összes-gombaszámot növelte nagyobb mértékben a zeolit, mint a bentonit. A bentonit közepes, illetve nagy dózisa elsősorban az enzimaktivitásokat befolyásolta pozitív irányban. A bentonit és zeolit kezelésekre legérzékenyebben reagáló mikrobiológiai paraméterek – a kísérletek adatait együtt kezelve – sorrendben a nitrifikáló baktériumok száma, az összes-csíraszám, a nitrát-feltáródás, a szacharáz enzim aktivitása, valamint a mikrobiális biomassza-N voltak.
- Azoknál a mikrobiológiai paramétereknél, amelyek esetében mindkét kísérleti körülmény között, mind a bentonitnál és mind a zeolitnál tapasztaltunk szignifikáns

változást a kontroll értékeihez viszonyítottan, a dózisok hatásának vizsgálatára *Cohen-tesztet* végeztünk (Cohen, 1988). A vizsgálat az egytényezős varianciatáblázaton alapszik, és megmutatja a csoportok közötti varianciák részarányát az összes varianciahányadon belül. A Cohen-koefficiens értéke három csoportba osztja a kezelések hatásait. Ha értéke 0,01-0,05 között van, a kezelések hatása kicsi, 0,06-0,13 között közepes, 0,14 felett a kezelések hatása nagy. A Cohen-együtthatók értékét csak azon mikrobiológiai paraméterek esetében számoltuk ki, ahol szignifikáns hatásokat tapasztaltunk mindkét kísérleti körülmény között a kezelések hatására, értéküket a 30. táblázat tartalmazza. A vizsgálati értékek alapján a kezeléseknek nagy hatásuk volt a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulására, valamint a mikrobiális biotomassza-N tartalomra. Közepesen befolyásolták a kezelések az összes-csíraszámot, a nitrát-feltáródás mértékét, valamint a mikroszkopikus gombák mennyiségét. A két alkalmazott agyagásványtartalmú talajjavítóanyag – az alkalmazott statisztikai próba alapján – csak kismértékű hatást gyakorolt az enzimaktivitásokra.

30. táblázat: A bentonit és zeolit hatásának vizsgálata néhány vizsgált talajtulajdonságra Cohen-teszt alapján

Vizsgált paraméterek	Cohen-együttható értéke*	Hatás erőssége
Nitrifikáló bakt.	0,14	nagy
Biotomassza-N	0,14	nagy
Összes-csíraszám	0,12	közepes
Nitrát-feltáródás	0,09	közepes
Mikr. gombák	0,07	közepes
Ureáz	0,04	kicsi
Foszfatáz	0,02	kicsi
*One-way ANOVA alapján		

- A **növényi biotomassza mennyiségét** a zeolit – ugyan nem szignifikánsan – de nagyobb mértékben növelte, mint a bentonit. Mindkét természetes anyag esetében a közepes dózis (10 t ha⁻¹) bizonyult serkentőbbnek, a zeolit esetében szignifikánsan serkentőnek.

5.7. Rövid távú és tartós alkalmazások értékelése

Tenyészedényes kísérletünkben – mint már említettük – a kezelések 2007 tavaszán történtek. A következő kísérleti évek során a kezelések utóhatásait vizsgáltuk. Az 31. és 32. táblázatban foglaltuk össze, hogy a kezeléseknek a vizsgálati évek során milyen

mértékű hatását tapasztaltuk az idő függvényében a vizsgálati eredményeink kontroll értékeitől szignifikánsan eltérő átlagértékek alapján.

A táblázatokban megvizsgáltuk, hogy az évek során hol, és mennyi szignifikáns eltérést tapasztaltunk a vizsgált tulajdonságok kontroll értékétől, és ezek mennyiségét tüntettük fel. A szignifikáns növekedést „+”-al, míg a szignifikáns csökkenést „-” jellel jelöltük.

A **bentonit** az összegző táblázatából kitűnik (31. táblázat), hogy az első két vizsgálati évben, azaz 2007-ben és 2008-ban a tizennyolc vizsgált paraméter esetében harmincöt-harmincöt esetben szignifikánsan növekedtek az értékek a dózisoktól függetlenül. Ez azt jelenti, hogy az első két év során az esetek közel 50%-ban (49%-ában) a kezelések pozitív hatásúaknak bizonyultak, függetlenül a dózisoktól. A bentonit-kezeléseknek a vizsgált talajtulajdonságok, valamint a növényi biomassza tekintetében eredményeink szerint így az első két év bizonyult hatékonyabbnak. A követő években (2009-ben és 2010-ben) is tapasztaltunk szignifikánsan növekedő értékeket, de 2009-ben is lényegesen csökkent, míg 2010-ben fele annyi volt a szignifikánsan pozitív változások száma, mint az első két év során.

31. táblázat: A bentonit-kezelések hatásának vizsgálata az idő függvényében 2007-2010 vizsgálati évek átlageredményei alapján (Debrecen, tenyészedényes kísérlet)

Sor-szám	Vizsgált talajtulajdonságok	Bentonit							
		2007.		2008.		2009.		2010.	
	Kémhatás								
1	pH _(H₂O)	2 +		4 +					
2	pH _(KCl)	3 +		3 +		1 +			
3	y ₁		4 -		4 -		2 -		2 -
	Összesítés	5 +	4 -	6 +	4 -	1 +	2 -		2 -
	Tápanyagtartalom								
4	NO ₃ -N			2 +					
5	AL-P ₂ O ₅	1 +	2 -	1 +					
6	AL-K ₂ O	3 +		1 +				3 +	
	Összesítés	4 +	2 -	4 +				3 +	
	Mikrobiológiai tulajdonságok								
7	Összes-csíraszám	2 +		3 +		4 +			
8	Összes-gombaszám		4 -		1 -	4 +		2 +	1 -
9	Nitrifikáló baktériumok	1 +		3 +		4 +		1 +	
10	Nitrát - feltáródás	3 +		1 +			1 -	2 +	
11	Aerob cellulózbontó baktériumok	2 +		3 +				1 +	
12	CO ₂ -termelés	2 +	1 -	3 +		3 +		1 +	1 -
13	Biomassza-C	4 +		1 +	2 -	1 +			
14	Biomassza-N	3 +		2 +					
	Összesítés	17 +	5 -	16 +	3 -	16 +		7 +	2 -
	Enzimaktivitás								
15	Foszfatáz	3 +		4 +				3 +	
16	Szacharáz	2 +		3 +					
17	Ureáz	2 +				2 +		4 +	
	Összesítés	7 +		7 +		2 +		7 +	
18	Növényi biomassa	2 +		2 +					
	Összesítés	35 +	11 -	35 +	7 -	19 +		17 +	4 -
Jelölés:	+ szignifikáns növekedés								
	- szignifikáns csökkenés								

Ha a tizennyolc talajtulajdonságot külön-külön értékeljük (31. táblázat), megállapítható, hogy a kémhatás a legkedvezőbbnek a 2008-as vizsgálati év során bizonyult, amelyben az esetek közel 13%-ában tapasztaltunk szignifikánsan pozitív pH-érték növekedést. Érdekes megemlíteni még a 2007. évet is, ahol ugyanezen érték 11%-nak bizonyult. 2009-ben a pH-érték már csak 2%-ban nőtt szignifikánsan, míg 2010-ben a talaj kémhatása a kontroll talajétól már nem mutatott statisztikailag is kimutatható különbséget.

A talaj könnyen felvehető tápanyagtartalma szintén az első két év során nőtt ugyanolyan mértékben. Ezen években a talaj tápanyagtartalma az esetek 8%-ában mutatott szignifikáns növekedést. Kismértékű csökkenést a vizsgálati évek közül csak kis mértékben (4%-ban) 2007-ben tapasztaltunk, a több év során szignifikánsan nem csökkent a talaj tápanyagtartalma.

A talajmikrobiológiai tulajdonságokra leginkább szintén a 2007-es év bizonyult a legserkentőbbnek, az esetek 13%-ában itt is szignifikánsan pozitív változásokat tapasztaltunk. Azonos mértékű serkentő hatást tapasztaltunk 2008-ban és 2009-ben, mely években 12,5%-os szignifikáns pozitív hatást bizonyítottunk a bentonit hatására. 2010-ben a pozitív esetek száma mintegy megfeleződött, 5,5%-osnak bizonyult. Kismértékű csökkenést is tapasztaltunk azonban a mikrobiológiai aktivitásértékekben az évek során (kivételt képez ez alól a 2009-es év), mely elhanyagolhatónak - átlagosan 2,6%-os csökkenésnek - bizonyult a szignifikáns növekedő hatás mellett.

Az enzimaktivitások tekintetében az évek közelesen hasonló hatást fejtettek ki, hiszen – kivéve a 2009-es évet – az esetek 15%-ban mutattak szignifikánsan növekedő aktivitásértékeket. Az enzimaktivitások egyik vizsgálati év során sem mutattak szignifikánsan csökkenő tendenciát a kezelések hatására.

A növényi biomaszára egyértelműen és azonos mértékben hatottak a kezelések a 2007 és 2008-as év folyamán. Ezen években a statisztikailag is igazolható pozitív hatások 12,5%-ban érvényesültek. 2009-ben és 2010-ben vizsgálati eredményeink szerint a növényi szárazanyagtartalom nem mutatott a kontroll értékétől szignifikáns különbséget.

Az öt tulajdonságcsoporthoz (a kémhatásviszonyok, a talaj könnyen felvehető tápanyagtartalma, a talajmikrobiológiai tulajdonságok, az enzimaktivitások, a növényi biomsza) tekintetében tehát eredményeink azt bizonyították, hogy a bentonit kezelések - függetlenül a dózisoktól - elsősorban az első két vizsgálati év során közel

azonos mértékben fejtették ki szignifikánsan pozitív hatásukat a vizsgált talajtulajdonságokra, valamint a növényi biotomassza mennyiségi alakulására.

Ha sorrendet állítunk fel a bentonit a vizsgált talajtulajdonságokra, valamint a növényi biotomasszára kifejtett hatásában, a statisztikailag is igazolható pozitív hatások száma alapján - eredményeink szerint - leginkább az enzimaktivitásokat befolyásolta serkentően (15%-ban). Ezt követi a mikrobiológiai tulajdonságokra kifejtett hatásuk (13%), majd azonos mértékben befolyásolták a kémhatásviszonyokat és a növényi biotomassza mennyiségi alakulását (12,5%-ban). A bentonit legkevésbé gyakorolt hatást a talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmára (8%-ban).

A **zeolit**-kezeléseknél (32. táblázat) összegző táblázatunk alapján elmondhatjuk, hogy a vizsgált tizennyolc tulajdonság esetében szintén a 2007. év bizonyult a legserkentőbbnek, mely esetében a statisztikailag is igazolható pozitív hatások 50%-ban érvényesültek. Emellett a szignifikáns csökkentő hatás ezen évben függetlenül a dózisoktól az összes tulajdonságra vetítve csak 6%-ban érvényesült. Hasonló volt a zeolit hatása 2008-ban, valamint 2010-ben, ahol a szignifikánsan pozitív hatások mintegy 42%-osnak bizonyultak. 2009-ben a serkentő hatások 32%-ban érvényesültek.

32. táblázat: A zeolit-kezelések hatásának vizsgálata az idő függvényében 2007-2010 vizsgálati évek átlageredményei alapján (Debrecen, tenyészedényes kísérlet)

Sor-szám	Vizsgált talajtulajdonságok	Zeolit							
		2007.		2008.		2009.		2010.	
	Kémhatás								
1	pH _(H₂O)	1 +		4 +			1 -	1 +	
2	pH _(KCl)	2 +		4 +				2 +	
3	y ₁		3 -		4 -	1 +	1 -		4 -
	Összesítés	3 +	3 -	8 +	4 -	1 +	2 -	3 +	4 -
	Tápanyagtartalom								
4	NO ₃ -N	1 +						1 +	
5	AL-P ₂ O ₅	4 +		2 +				1 +	
6	AL-K ₂ O	5 +		1 +		3 +		3 +	
	Összesítés	10 +		3 +		3 +		5 +	
	Mikrobiológiai tulajdonságok								
7	Összes-csíraszám			2 +		2 +		2 +	
8	Összes-gombaszám	2 +		2 +	2 -	4 +		2 +	2 -
9	Nitrifikáló baktériumok	2 +		2 +		2 +		1 +	
10	Nitrát - feltáródás	1 +		3 +		1 -		2 +	
11	Aerob cellulózbontó baktériumok	1 +			1 -	2 -		4 +	
12	CO ₂ -termelés	1 +	1 -	4 +		3 +		4 +	
13	Biomassza-C	4 +		3 +		2 +			
14	Biomassza-N	3 +		2 +		1 +		2 +	
	Összesítés	14 +	1 -	18 +	3 -	17 +		16 +	2 -
	Enzimaktivitás								
15	Foszfatáz	4 +		1 +				3 +	
16	Szacharáz	2 +						1 +	
17	Ureáz					1 +		2 +	
	Összesítés	6 +		1 +		1 +		6 +	
18	Növényi biomassa	3 +				1 +			
	Összesítés	36 +	4 -	30 +	7 -	23 +	2 -	30 +	6 -
Jelölés:	+ szignifikáns növekedés - szignifikáns csökkenés								

A zeolitnak a *kémhatásra* kifejtett hatása (32. táblázat) leginkább 2008-ban érvényesült. Itt közel 17%-ban tapasztaltunk szignifikánsan növekedő kémhatás értékeket, ezen túlmenően 2007-ben és 2010-ben hasonló 6%-os pozitív hatást, míg 2009-ben a kémhatásviszonyok csak 2%-ban változtak statisztikailag is szignifikáns módon pozitívan.

A talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmát a zeolit leginkább 2007-ben növelte, a szignifikánsan pozitív irányú változások 21%-ban mutatkoztak. A talaj könnyen felvehető tápanyagtartalma az évek során azonban 2007 után nem nőtt lényegesen, 2008-ban és 2009-ben csupán csak 6%-ban, míg 2010-ben 11%-ban tapasztaltunk szignifikánsan növekvő értékeket. A talaj tápanyagtartalma a kezelések hatására egyik vizsgálati évben sem csökkent a kontroll értékeihez viszonyítva.

A talaj *mikrobiológiai tulajdonságait* tekintve 2008-ban tapasztaltuk a legnagyobb pozitív hatást (14%-ost), azonban a 2009-es év viszonyai sem maradtak ettől sokkal le, hiszen itt is 13%-ban bizonyítottunk a zeolitnak ezen tulajdonságcsoportra kifejtett statisztikailag is igazolható serkentő hatását. 2007-ben és 2010-ben a pozitív hatás átlagosan 11%-ban mutatkozott. A dózisoktól függetlenül a mikrobák száma átlagosan a kezelések hatására mindössze 1,5%-ban csökkent, ami elhanyagolhatónak tekinthető a serkentő hatás mellett. Csökkentő hatást 2009-ben nem tapasztaltunk.

A zeolit kezeléseknek egyértelmű pozitív hatása volt az *enzimaktivitásokra*. 2007-ben és 2010-ben a serkentő hatás az esetek 12,5%-ban érvényesült. 2008-ban és 2009-ben azonos mértékű 2%-os enzimaktivitás növekedést tudtunk igazolni. Az enzimaktivitás egyik évben sem csökkent a kezelések hatására.

A *növényi biomassa* 2007-ben a zeolit dózisok hatására 19%-ban nőtt. 2008-ban és 2010-ben a kontroll értékétől szignifikánsan a kezelések hatására nem tért el a növényi biomassa mennyisége, 2009-ben azonban szintén 6%-os növekedést tudtunk kimutatni értékeiben.

Következtetésként levonható, hogy a kémhatásviszonyokat, valamint a talajmikrobiológiai tulajdonságokat a kezelések szignifikánsan 2008-ban növelték, míg a talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmára, valamint a növényi biomassa mennyiségére a kezelések a legnagyobb mértékben 2007-ben hatottak. Az enzimaktivitások egyaránt növekedtek 2007 és 2010-ben. Az esetek többségében tehát - hasonlóan a bentonit hatásához - a zeolit kezelések a 2007. évben bizonyultak a leghatékonyabbaknak a vizsgált tulajdonságokra, de hatásuk hosszabbnak mutatkozott

az évek folyamán, hiszen mind 2009-ben (5,5%-al), mind 2010-ben (18%-kal) nagyobb statisztikailag is igazolható pozitív hatást tudtunk igazolni a zeolit esetében a vizsgált tulajdonságokra.

Eredményeink alapján az öt vizsgált tulajdonságcsoportnál a zeolit legnagyobb mértékben serkentően a talaj könnyen felvehető tápanyagtartalmát befolyásolta (21%-al), ezt követte a növényi biotomassza mennyiségi alakulására kifejtett hatása (19%-ban). Majd 17%-ban befolyásolta a kémhatásviszonyokat, a mikroorganizmusok mennyiségét 14%-ban, és legkevésbé befolyásolta statisztikailag is igazolható módon pozitívan az enzimaktivitásokat (12,5%-ban).

Összehasonlítva a bentonit és zeolit kezelések hatását eredményeink azt mutatták, hogy a zeolit a vizsgált talajtulajdonságok többségét – eltekintve az enzimaktivitásoktól – nagyobb mértékben serkentette, mint a bentonit. A zeolit esetében a serkentő hatás a talajtulajdonságok esetében átlagosan 20%-al bizonyult nagyobbak. A növényi biotomassza mennyiségére is pozitív hatással volt a zeolit, mert míg a bentonit terménynövelő hatása a szignifikáns növelő értékek esetének 12,5%-a, addig a zeolité 19%-a volt. A zeolit így 6,5%-al nagyobb mértékben növelte a növényi biotomasszát, eltekintve a dózisok nagyságától.

6. Eredmények megvitatása

A fenntartható mezőgazdaság irányelveit követve, továbbá a környezetünk megóvásának céljából a különböző természetes anyagok – így a különböző bányászati termékek – mezőgazdasági célú felhasználását, illetve talajjavításra való alkalmasságát számos kutató kutatta, és máig napig is kutatja. Néhányuk eredményeinek felsorakoztatásával, illetve saját eredményeim összefoglalásával, és azok összevételével az eddigi kutatási eredményekkel igazolhatjuk, hogy a bentonit és a zeolit alkalmas lehet a kedvezőtlen adottságú homoktalajok tulajdonságainak javítására, illetve ez által a termesztett növények terméseredményeinek növelésére.

Mindkét általunk alkalmazott agyagásvány tartalmú természetes anyagot az irodalomban a homoktalajok perspektívikus javítóanyagaként emlegetik (Lazányi 2003), melyek alkalmasak a különálló homokszemcsék öszecementálására, ezzel sejtszerű térhálós mikroszerkezet kialakítására. Ha ezek mellé szerves anyagot is adagolunk, akkor szerves anyag – agyag komplexek alakulnak ki, tovább javítva a

talajszerkezetet (Tombácz, et al. 1998). Ezen kedvező szerkezet kialakulásával megjelennek a talaj mikroorganizmusai, és feltehetően kedvezőbb életfeltételek alakulnak ki a talajban (Davet, 2004). Eredményeink közül a baktériumok és gombák mennyiségi előfordulása és a mikrobiológiai aktivitás változása szintén azt bizonyítja, hogy a bentonit és a zeolit kedvezően befolyásolja a talajmikrobiológiai folyamatokat.

Több szerző is bizonyította, hogy a talajnedvesség, a víz szerepe – annak mennyisége, mozgékonysága és kémiai összetétele – szintén alapvető fontosságú a talajtermékenység szempontjából (Filep, 1999; Ivány, et al. 2003; Sárvári, 2000; Sárvári, et al. 2006).

Az agyagásványok vízmegkötő képességük révén kedvezően befolyásolják a **talaj vízgazdálkodási tulajdonságait** (Stefanovits, et al. 1999), hiszen eredményeink bizonyítják, hogy mind a bentonit, mind a zeolit kedvezően befolyásolja a talaj vízemelő- és víztartó-képességét. Mind a bentonit, és mind a zeolit szignifikánsan kisebb mértékben emelte a vizet, mint a homoktalaj. A zeolit vízemelő-képessége $90 \text{ mm } 5\text{h}^{-1}$ -val bizonyult kisebbnek, mint a bentonité. A 20 t ha^{-1} dózisok alkalmazásakor a bentonitnál 8%-kal, a zeolitnál 27%-kal kisebb vízemelést tapasztaltunk, mint a „tisza” homoktalajnál. Ugyanakkor azt is megállapítottuk, hogy a bentonit a homoktalaj vízmegtartó képességéhez mérten 10%-kal több vizet tartott meg, mint a zeolit.

A talajba kevert bentonit (6 kg/m^2) hatására – nem szignifikánsan ugyan, de – nőtt a talajoszlopban visszatartott víz mennyisége Lazányi, (2003) kísérleti adatai szerint. Vizsgálati eredményeink alapján azonban azt tapasztaltuk, hogy mind a bentonitnak, mind a zeolitnak már 2 kg/m^2 -es dózisa is szignifikánsan kedvezően befolyásolja a homok textúrájú talaj víztartóképességét.

Szabadföldi kísérletünk során a bentonit talajba juttatása (5 t ha^{-1}) közel 10%-os talajnedvességtartalom növekedést eredményezett. Ugyanakkor Makádi, (2010) vizsgálatai azt is bizonyították, hogy száraz, csapadékszegény periódusban frissen kijuttatott bentonit örlemény vízmegkötő képessége révén mindinkább csökkentette a növények vízfelvételi lehetőségét. A jelenséget azzal magyarázták, hogy a felső talajrétegbe juttatott bentonit a kis mennyiségű csapadékot erősen megkötötte, és az a növények számára hozzá nem férhető formában fixálódott.

A bentonit háromrétegű agyagásvány tartalmú, a centrális ionok izomorf helyettesítéséből adódóan magas kationmegkötő képességgel rendelkezik. Ezen

anyagok talajba keverésével növeli a tápanyagtartalmat, gátolva azok kimosódását a talajból (Noble, et al. 2000).

Szerkezetükből adódóan kiváló adszorpciós és puffer képességgel rendelkeznek (Amari, et al. 1991; Komárominé, et al. 2008). Használatukkal javítható a talaj szerkezete, jelentős mikroelem tartalmuknak köszönhetően tápanyagokat szolgáltatnak, illetve pufferolják a tápanyag túladagolást és lekötik a toxikus ionok egy részét. Kationcserélő képességük következtében lekötik a feleslegben adagolt NH_4^+ és Mg^{2+} ionok nagy részét, ez által csökkentik a gyökérzónában lévő, felvehető ionok mennyiségét és helyreállítják a tápanyagellátás egyensúlyát (Cyrus & Reddy, 2011; Latifah, et al. 2011).

A kisparcellás és a tenyészedényes kísérleteink során is a kezelések hatására megváltoztak a talaj **kémiai tulajdonságai**. A kémhatás értékei növekedtek, és ezzel párhuzamosan csökkent a hidrolitos aciditás. Már a kis dózisok is szignifikánsan növelték a savanyú homoktalaj kémhatását ($\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O}, \text{KCl})}$), igazolva ezzel Simon, (2001); Jakusné, (2007), valamint Ghair, et al. (2008) szerzők vizsgálati eredményeit. Savvas, et al. (2004) bizonyították, hogy a kőzetörlemények kedvező hatással voltak a talaj tápanyagtartalmára. Eredményeink hasonló tendenciát mutattak, hiszen tenyészedényes, kontrollált viszonyok között hatásukra kismértékben nőtt a talaj nitrát-N tartalma, és szignifikánsan a talaj AL-oldható foszfor- és káliumtartalma. Kisparcellás körülmények között az N, P és K közül a foszfor tartalomra vonatkozóan kisebb mértékű változásokat állapítottunk meg, a kálium felvehetősége pedig főleg a zeolit alkalmazásával nőtt. Az eltérő eredményeket az ásványi anyagok kémiai tulajdonságai közötti különbség is okozhatja.

Az irodalmi adatok hívják fel a figyelmet arra, hogy a megfelelő elővetemény hatása a bentonit kezelések kedvező hatását fokozhatja (Makádi, 2010). Kísérleti tapasztalataink is ezt igazolták, hiszen a talaj vizsgált tápanyagtartalmi paraméterei eltérő képet mutattak a kísérleti körülményektől függően, ami a kísérleti növények eltérő igényével is magyarázható.

Az irodalmi adatok igazolták továbbá, hogy a bentonit kedvező hatását az istállótrágyával kombinált kezelések erősítették (Makádi, 2010). A jelen kísérletek istállótrágyával történő együttes kijuttatást ugyan nem tartalmaztak, azonban hasonlóakat Kappel (2006) és Kátai, et al. (2007) is megállapítottak.

Makádi et al. (2003, Makádi, 2010) a bentonit szabadföldi alkalmazásával kapcsolatosan megállapították, hogy a szántóföldi növénytermesztésben a 10; 15 t ha⁻¹-

os kezelések a legkedvezőbbek, e dózisok hatására 10-50%-os terméstöbbletet értek el. Eredményeink ezt a megállapítást megerősítik, hiszen kísérleteinkben a közepes (10 t ha⁻¹) kezelést tapasztaltuk a legtöbb talajtulajdonság tekintetében serkentőbbnek, e dózis hatására mind a bentonit, mind a zeolit kezelések mellett a legnagyobb **növényi biomassa** mennyiséget határoztuk meg. A növényi biomassa többlet átlagosan 16% volt. Az eredmények igazolták ezzel Schnitzler, et al. (1994) kutatásait is, akik salátafalánták földkeverékéhez 3%-ban adagoltak bentonitot, és megállapították, hogy a kezelések növelték a falánták friss tömegét. Ahmed, et al. (2010), illetve Mahmoodabadi, (2010) megállapították, hogy a zeolit is kedvező hatással van a növényállomány tápanyagfelvételére, fejlődésére. Paprikatermesztésben a legnagyobb termésátlag és a legfejlettebb növényállomány a tőzeg és zeolit 2:1 arányú keverékén képződött (Markovic, et al. 2000). Mátyás (2003. cit. Szopory, 1980) a zeolit paradicsompalánták növekedésére, és fagytűrőképességére kifejtett kedvező hatását igazolta.

A bentonit alkalmazhatóságánál Makádi (2010) még megemlíti a kijuttatásra kerülő bentonit szemcseméret-megválasztásának fontosságát is, hiszen az agyagásvány bevonja a homokszemcsék felületét, csökkentve ezzel a homokszemcsék vízáteresztő képességét. A különböző méretű szemcsék tehát - megállapításai szerint – a talajban lezajló kolloidkémiai folyamatoknak eltérő feltételeket teremtet.

Eredményeink szerint a bentonit a szabadföldi körülmények között hét **talajmikrobiológiai paraméterre**, tenyészedényes körülmények között tíz paraméterre kedvező hatást mutatott. A zeolit esetében mind a tizenegy vizsgált talajmikrobiológiai paraméter nőtt. 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) bizonyult az esetek többségében serkentőnek. A zeolit minden vizsgált talajmikrobiológiai tulajdonságot növelt, négy-négy esetben a kis és közepes dózis (5-10 t ha⁻¹) volt a szignifikánsan serkentő hatású.

Usman, et al. (2005) különböző agyagásványok (Ca-bentonit, Na-bentonit, zeolit) hatását vizsgálták szennyvíziszappal kezelt talajokon inkubációs kísérletben a talaj nehézfém szennyezettségére, és mikrobiológiai tulajdonságára. Eredményeik szerint az agyagásványok, kiváltképpen a Na-bentonit, és a Ca-bentonit hatására csökkent a talaj fémkoncentrációja, nőtt a talajlégzés, a talaj mikrobiális biomassa-C tartalma, a

szervetlen-N tartalma. Összegezve, ezen irodalmi eredmények azt igazolták, hogy az agyagásványok kedvező hatással voltak a talaj mikrobiológiai életére, ezen keresztül a talaj termékenységre, amelyet vizsgálati eredményeink is megerősítettek.

Vizsgáltuk továbbá a *kezelések tartamhatását*, mely során megállapítottuk, hogy 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 talajban lejátszódó folyamatokat leginkább a talaj kémhatásának megváltozása – megerősítve Makádi (2010) megállapításait - illetve a talaj tápanyagtartalma, és ezen belül is a talaj nitrát-N tartalma, és a nitrát-feltáródásának mértéke határozza meg. Az AL-káliumtartalom szintén alapvető fontosságú a bentonit és főként a zeolit alkalmazásánál az anyagok kémiai tulajdonságaiból eredően. Eredményeink alapján kijelenthető, hogy a talaj vízgazdálkodásának, kémhatásának, és tápanyagtartalmának kedvezőbbé válása az alapvető meghatározója a taljtermékenység fenntartásának, illetve megőrzésének.

7. Következtetések, javaslatok

A kedvezőtlen adottságokkal rendelkező homoktalajaink javítása rendkívül fontos feladat, mind a talaj termékenységeinek megőrzése céljából, mind a növénytermesztés sikerességének szempontjából. A talajjavítás gyakorlata azonban ma már össze kell, hogy kapcsolódjon a „fenntarthatóság” fogalmával, amelynek egyik alappillére a környezetvédelem, talajaink védelme. 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 zeolittal végeztünk vizsgálatokat, s tanulmányoztuk, hogy ezek a természetes anyagok hatnak a talaj néhány fizikai, kémiai, és mikrobiológiai tulajdonságára, valamint a növényi biomassa mennyiségi alakulására.

7.1. 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.

7.2. 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 biomasszá**t. 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.

8. Összefoglalás

Kutatásaink során szántóföldi és tenyészedenyes körülmények között vizsgáltuk, hogy a bentonit és zeolit különböző dózisa (alapkezelések mellett) – mint a homoktalajok perspektivikus javítóanyagai - hogyan befolyásolták a kedvezőtlen vízgazdálkodással rendelkező, savanyú, homok textúrájú talajok nedvességmegtartó képességét, és a talaj néhány kémiai és mikrobiológiai tulajdonságát. A tenyészedenyes kísérletben tesztnövényünk az angolperje (*Lolium perenne* L.) volt, melynek biomassa mennyiségét is meghatároztuk. A szántóföldi, kispárcellás kísérlet a DE AGTC Nyíregyházi Kutatóintézetének kísérleti parcelláin 2002-ben került beállításra, míg tenyészedenyes kísérletet a DE AGTC Agrokémiai és Talajtani Intézetének tenyészházában állítottuk be, 2007-ben. A szabadföldi kísérlet talajtípusa kovárványos barna erdőtalaj [$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}=5,3$], míg a tenyészedenyes kísérlet talajtípusa humuszos homok (Pallag) [$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}=5,6$] talaj volt. A laboratóriumi vizsgálatokat az Intézet talajkémiai és talajbiológiai laboratóriumiaiban végeztük.

Szántóföldi vizsgálati eredményeink alapján a bentonit minden alkalmazott dózisa (5, 10, 15, 20 t ha⁻¹) szignifikánsan növelte a talaj **nedvességtartalmát**, már a kis dóziséú bentonit talajhoz keverése is közel 10%-os (9,72 %-os) talajnedvességtartalom növekedést eredményezett. A legmagasabb nedvességtartalmat a legnagyobb dóziséú kezelésben mértük.

Laboratóriumi eredményeink szerint mind a bentonit, mind a zeolit **vízraktóképesége** nagy, a bentonit mintegy 10%-al több víz megkötésre képes, mint a zeolit. A nagy montmorillonit tartalmú, nagy duzzadóképeségű bentonit növelte a talaj vízraktó képeségét, s ez által javította azok vízraktó tartását. A **vízraktó** mértéke mindkét természetes anyag esetében a nagy dózisek mellett volt a legkisebb, azonban a bentonit és zeolit esetében szignifikáns különbség nem mutatkozott a dózisek hatása között. A zeolit nagy dóziséban a vízraktó mértéke közel 4%-al bizonyult kisebbnek, mint a bentonit ugyanezen dózise mellett.

A talaj **kémiai tulajdonságait** illetően a savanyú kémhatású talaj pH értéke nőtt, a hidrolitos aciditás értéke csökkent. A kémhatás minden bentonit és zeolit dózise hatására szignifikánsan nőtt. Már a kis dózisek (5 t ha⁻¹) is szignifikánsan megnövelték a kémhatás értékeit ($\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O}, \text{KCl})}$). A tápanyagok felvehetősége különbözött a szabadföldi

kisparcellás és a tenyészedényes kezelésekben, amely a kísérleti növények eltérő igényével magyarázható. A N, P és K közül a foszfor tartalomra vonatkozóan kisebb mértékű változásokat állapítottunk meg, a kálium felvehetősége pedig főleg a zeolit alkalmazásával nőtt. Az eltérő eredményeket az ásványi anyagok kémiai tulajdonságai közötti különbség okozhatja. A tápanyagtartalom tekintetében a bentonit esetében a közepes dózisok mellett határoztuk meg a magasabb értékeket (10 t ha^{-1}), míg a zeolitnál a nagy dózisok mellett (20 t ha^{-1}).

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}) bizonyult az esetek többségében serkentőnek. A zeolit minden vizsgált talajmikrobiológiai tulajdonságot növelt, négy-négy esetben a kis és közepes dózis ($5\text{-}10 \text{ t ha}^{-1}$) volt a szignifikánsan serkentő hatású. A bentonit-kezelésekben a nagy dózis hat esetben, a zeolitnál három esetben nem bizonyult serkentő hatásúnak. 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 biomasz-N tartalom voltak.

A **növényi biomasz mennyisége** a bentonit kezelése hatására kismértékű növekedést mutatott, a zeolit közepes dózisa (10 t ha^{-1}) a növényi szárazanyag mennyiséget szignifikánsan növelte. A kezelése hatására átlagosan 16% biomasz szárazanyag mennyiség-növekedést tudtunk meghatározni.

A változók közötti összefüggések feltárása során – eltekintve a kísérleti körülményektől - 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 foszfátáz aktivitása között volt (bentonit kísérlet: $r=-0,563$; zeolit kísérlet: $r=-0,759$). Bentonit-kezelések esetében *szoros korrelációt* bizonyítottunk a mikrobiális biomasz-N tartalom és az ureáz aktivitása között ($r=0,847$), zeolit-kezelésekben a nitrifikáló baktériumok mennyisége és a talaj CO_2 -termelése között ($r=0,875$). Mindkét kísérletben

ugyancsak szoros összefüggés volt a mikrobiális biotartalom és a növényi biotartalom mennyisége között (bentonit kísérlet: $r=0,848$; zeolit kísérlet: $r=0,832$). A kémhatás kedvezőbbé válása a növényi biotartalom mennyiségét feltehetően szintén pozitívan befolyásolta (bentonit kísérlet: $r=0,680$; zeolit kísérlet: $r=0,578$).

A *faktoranalízis vizsgálata* azt 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. Ezeket túl jelennek meg az enziaktivitások, illetve a különböző fiziológiai csoportok súlya a különböző talajtulajdonságok megváltozásában.

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 ($5-10 \text{ t ha}^{-1}$)** serkentette. A növényi biotartalmat a **$10-15 \text{ t ha}^{-1}$** dózisok növelték szignifikánsan.

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.

Összefoglalásképpen megállapítottuk, hogy mind a *bentonit*, mind a *zeolit* megfelelő dózisa javította a kedvezőtlen vízgazdálkodású, valamint csekély tápanyagtartalommal rendelkező és tápanyagszolgáltató képességű homoktalajok általunk vizsgált tulajdonságait, s a fizikai és kémiai tulajdonságok javulása a talaj mikrobiológiai életére is kedvező hatással volt.

9. Summary

In our research we examined the effect of the different doses of bentonite and zeolite – as perspective amelioration substances of sandy soils – on the moisture content, the water holding- and fixing capacity, and some chemical and microbiological properties of an acidified sandy soil in field and small-pot experiments. The test plant was the perennial rye-grass (*Lolium perenne* L.), and quantity of the dried biomass of it was measured. A sandy soil amelioration field experiment was carried out by the Research Settlement of UD CASE (University of Debrecen, Centre for Agricultural and Applied Economic Sciences) Research Institute of Nyíregyháza in 2002 with the different dose of bentonite, while the pot experiment was set up in 2007 in the UD CASE Institute of Agrochemistry and Soil Science with the increasing dose of bentonite and zeolite. In the field of the bentonite experiment the examined soil type was brown forest soil with thin layers of clay substances, the “kovárvány” [$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}=5.3$], while soil type of the pot-experiment was humus sandy soil of Pallag [$\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O})}=5.6$]. The examinations were made in the chemical and microbiological laboratories of the Institute.

Based on our field experiment results the **moisture content** of the amended soil increased in the three field-experimental years compared to the control parcels in all bentonite-treatments (5, 10, 15, 20 t ha⁻¹). The different doses of bentonite significantly increased the moisture content of the soil compared to the control, but among the treatments statistical differences couldn't be proved. Already the small-dose of bentonite increased the soil moisture content nearly with 10% (9.72). The highest moisture content caused the large-dose of bentonite.

In our laboratory examination results all the bentonite and the zeolite have good adsorption properties, the bentonite held more water by 10% – compared to **water holding capacity** of a sandy soil - than the zeolite. The bentonite, which mainly consists of montmorillonite significantly enlarged the soil water holding-capacity, and amended the water management of soil. The **water fixing-capacity** of the sandy soil was the least in large-dose by both of natural amendments, but there was no significant difference in the effect of these treatments. The water fixing-capacity proved to be lower by 4% in by the large-dose of zeolite treatment, than it was in the same dose of bentonite.

Among the soil **chemical properties** the pH of the acidic sandy soil increased by the treatments, parallel with it, the hydrolytic acidity decreased. The $\text{pH}_{(\text{H}_2\text{O};\text{HCl})}$ increased in all bentonite and zeolite treatments, but already the small-doses (5 t ha^{-1}) proved to be effective. The quantity of the available nutrients differed in the field and small-pot experiments, that explicable with the different needs of the experimental plants. From among N, P and K, the nitrate-N content changed less during the years only, and only we small change was established in the phosphorus content of soil. The available potassium content increased mainly with the application of the zeolite. A difference between the results may cause the dissimilarity chemical characteristics of the minerals. Regarding the bentonite treatments the medium dose (10 t ha^{-1}), while at the zeolite treatments the large dose (20 t ha^{-1}) proved to be effective on the available nutrient content of soil.

Among the measured eleven soil **microbiological properties** seven parameters in field experiment and ten parameters in small-pot experiment was increased by bentonite significantly. The zeolite increased all the eleven examined soil microbial parameters. Regarding the microbiological characteristics of the soil the zeolite proved to be more stimulating – but not significantly - because it increased in seven cases from the eleven examined microbial parameters in a bigger scale, than the bentonite. All in the field experiment, and the small-pot experiment the middle-dose of bentonite (10 t ha^{-1}), and the small and middle doses of zeolite ($5\text{-}10 \text{ t ha}^{-1}$) proved to be efficient. The large-dose (20 t ha^{-1}) of bentonite didn't prove to be stimulator in six cases, the zeolite in three cases from among the examined microbial parameters. From the microbiological parameters for most sensitive ones were by treatments in an order the number of nitrifying and the total number of bacteria, the nitrate-exploration, the saccharase enzyme activity, and the microbial biomass-N content.

All the bentonite, and zeolite treatments increased the quantity of the **plant biomass** in a small-scale only. The biomass production of the test plant's was significantly increased by the medium dose of zeolite (10 t ha^{-1}). By the effect of the treatments the average increase was 16% in the biomass dry matter.

Correlation analysis was made to seek relations among the different parameters on the bases of the soil physical, chemical, and microbiological results. In all the two treatment-forms there was positive *medium correlation* between the nutrient-forms between the AL-soluble potassium content and the soil respiration (bentonite experiment: $r=0.681$; zeolite experiment: $r=0.538$). Negative medium relationship was

found between the hydrolytic acidity and the AL-soluble potassium content (bentonite experiment: $r=-0.522$; zeolite experiment: $r=-0.504$) as well as the phosphatase enzyme activity (bentonite experiment: $r=-0.563$; zeolite experiment: $r=-0.759$).

In case of bentonite treatments *tight correlation* was proved between the microbial biomass-N content of soil and the urease enzyme activity ($r=0.847$), in zeolite treatments between the number of nitrifying bacteria and the CO_2 -production of soil ($r=0.875$). In the both experiment tight relationship was between the microbial biomass-C and plant's biomass (bentonite experiment: $r=0.848$; zeolite experiment: $r=0.832$). The increased pH relations influenced positively the quantity of plant biomass (bentonite experiment: $r=0.680$; zeolite experiment: $r=0.578$).

The *factor analysis* proved that soil processes were mainly influenced by the changing of acidity and nutrient content of soil, especially the nitrate-N content, and the nitrate-exploration of soil.

The **medium doses of bentonite (10 t ha^{-1})**, and the **large dose of zeolite (20 t ha^{-1})** proved to be more favourable on the *soil physical and chemical characteristics*. In all the field and small-pot experiment the **medium dose of bentonite (10 t ha^{-1})**, and the **small, medium dose of zeolite ($5-10 \text{ t ha}^{-1}$)** stimulated the examined *microbial soil parameters*. The *test plant* biomass was increased by **$10-15 \text{ t ha}^{-1}$ doses** significantly.

On the bases of the experimental results, the *after-effect of treatments* were studied of the function of time and regarding the bentonite in the 50%-of the cases the stimulating effect was experienced in the first two years. In the third and fourth years the stimulating effect of this amendment on the soil properties reduced by 50%. The stimulating effect of zeolite was found to be the most intensive in the first year. The *effect of duration* of the zeolite proved to be longer during the examination years, than the bentonite.

We can stated that the proper doses of *Bentonite* and *Zeolite* amended the properties of the examined sandy soil with unfavourable water- and nutrient management; the improved physical and chemical soil properties had favourable effect on the soil microbiological life.

10. Publikációk az értekezés témakörében

10.1. 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: University of Oradea. 479-484.

10.2. Lektorált magyar nyelvű tudományos közlemény

Tállai M. (2007): Bentonit hatása a talajmikrobák mennyiségi előfordulására, a CO₂-képződésére, 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 tenyészedény-kísérletben. Agrokémia és Talajtan. 60/1. 203-218.

10.3. 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.

Kátai, 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.

Kátai, 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.

10.4. Magyar nyelvű lektorált konferencia kiadvány

Kátai J. – Sándor Zs. – Zsuposné O. Á. – **Tállai M.** (2009): A tápanyagutánpótlás hatása a talaj néhány tulajdonságára és egy tesztnövény 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 tesztnövény 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.

10.5. 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.

10.6. Konferencia előadás

Kátai 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.

10.7. A kutatási témához közvetlenül nem kapcsolódó publikációk

Tudományos közlemény idegen nyelvű, hazai lektorált folyóiratban

Sándor, Zs. – Kátai, 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: Universty 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 mészelepedékes 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.

11. Irodalom

1. AHMED, O. H. - SUMALATHA, G. & MUHAMAD, A. M. N. (2010): Use of zeolite in maize (*Zea mays*) cultivation on nitrogen, potassium and phosphorus uptake and use efficiency. *International Journal Of The Physical Sciences* Vol: 5. Iss: 15. 2393-2401. p.
2. AKBAR, M. – MOHAMMED, E. – SAEED, H. & SHAMSOLLAH, S. (2011): Solid phase extraction–inductively coupled plasma spectrometry for adsorption of Co(II) and Ni(II) from radioactive wastewaters by natural and modified zeolites. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Akadémiai Kiadó, Bp.* 288: 663-669. p.
3. AL-BUSAIDI, A. - YAMAMOTO, T. - INOUE, M. - ENEJI, A. E. - MORI, Y. & IRSHAD, M. (2008): Effects of Zeolite on Soil Nutrients and Growth of Barley Following Irrigation with Saline Water. *Journal of Plant Nutrition.* Vol: 31. Iss: 7. 1159-1173. p.
4. ALTHER, G. R. (1987): The qualifications of bentonite as a soil sealant. *Engineering Geology.* 23, 177-191. p.
5. AMARI, D. – GINOUX, J. L. & BONNETAIN, L. (1991): Heat of adsorption of carbon dioxide and ethene on zeolites exchanged with Li^+ , Ni^{2+} and Cu^{2+} . *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.* Vol 37. No:11-12. 2507-2523. p.
6. ANTAL, J. (1978): Homokjavítás. Egyetemi jegyzet. Gödöllő. 82. p.
7. BAKER LUKE, R. - WHITE PAUL. M. & PIERZYNSKI GARY, M. (2011): Changes in microbial properties after manure, lime, and bentonite application to a heavy metal-contaminated mine waste. *Applied Soil Ecology.* Vol: 48. Iss: 1. 1-10. p.
8. BALOGH I. (1997): Perspektivikus talajjavító anyagok szerepe a tiszántúli talajok javításában és védelmében. In: *Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok kiadványa.* Karcag. 94. p.
9. BALOGH I. (1999): A talajjavítóanyag választék bővítésére irányuló kutatások főbb eredményei. *Debreceni Agrártudományi Egyetem. Tiszántúli Mezőgazdasági Tudományos Napok. Agrokémiai és Talajtani Szekció, “A Debreceni Agrártudományi Egyetem a Tiszántúl mezőgazdaságáért”.* Debrecen, 1999. október 28-29. 57-62. p.
10. BERNARDI, A. C. D. – DE SOUZA, G. B. – POLIDORO, J. C. – PAIVA, P. R. P. & MONTE, M. B. D. M. (2011): Yield, Quality Components, and Nitrogen Levels of Silage Corn Fertilized with Urea and Zeolite. *Communications in Soil Science and Plant Analysis.* Akadémiai Kiadó, Bp. 42 (11): 1266-1275. p.
11. BIRÓ B. (2004): A környezeti állapot megőrzésének, indikálásának és helyreállításának mikrobiológiai eszközei a növény-talaj rendszerben. *Akadémiai doktori értekezés MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet Budapest,* 65-66, 73. p.
12. BIRÓ B. (2007): „Fitotechnológiák a fenntartható földhasználat és az élelmiszerbiztonság szolgálatában”. „Arbuszkuláris mikorrhiza termékek és alkalmazásuk a mezőgazdaságban” (A COST 8. 59. és 8. 70. számú akciói). *Agrokémia és Talajtan,* Vol. 56. No. 1 pp 191-192. p.

13. BIRÓ B. – SZILI-KOVÁCS T. & ANTON A. (2010): A rekultivációtól a remediációig. Az MTA Talajtani és Agrokémiai Kutatóintézet 50 éves Talajbiológiai Osztályának és együttműködő partnereinek fontosabb kutatási eredményei. *Agrokémia és Talajtan*. 59. 409-422. p.
14. BLASKÓ L. (2005): A talajjavítás jelene és jövője. In: A talajok jelentősége a 21. században. Szerk: Stefanovits P. – Michéli E. Bp. MTA Társadalomkutató Központ. 267-289. p.
15. BOLTON, H. - ELLIOTT, L. F. - PAPENDICK, R. I. & BEZDICEK, D. F. (1985): Soil microbial biomass and selected soil enzyme activities: effect of fertilization and cropping practices. *Soil Biology and Biochemistry*. 17/3., 297-302. p.
16. BORA GY. & NEMERKÉNYI A. (1998): Magyarország földrajza. Nemzeti Tankönyvkiadó Budapest. 21. p.
17. BOSCOVIC, R. L. & BOKAN, N. (2004): The Effect of the Acidity – Neutralizing Materials Applied on the Morphological Traits of Maize. *Acta Agriculturae Serbica*, vol. IX., 18 (2004) 55-64. p.
18. BÖHME, L. & BÖHME, F. (2006): Soil microbiological and biochemical properties affected by plant growth and different long-term fertilisation. *European journal of – Soil Biology*. 42/2006, 1, 1-12. p.
19. BÖRGESSON, L. - JOHANNESSEN, L-E. & GUNNARSSON, D. (2003): Influence of soil stucture heterogeneities on the behavior of backfill materials on mixtures of bentonite and chrushed rock. *Applied Clay Science*. 23, 121-131. p.
20. BROOKES, P. C. – LANDMAN, A. – PRUDEN, G. & JENKINSON, D. S. (1985): Chloroform fumigation and release of soil nitrogen: a rapid direct extraction method to measure microbial biomass nitrogen in soil. *Soil Biol. Biochem*. 17: 837-842. p.
21. BUZÁS I. (1988): Talaj – és Agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. Mezőgazdasági Kiadó. 155. p.
22. BUZÁS I. – MURÁNYI A. & RÉDLY L-NÉ (1988): A talaj kémhatásának vizsgálata. In: Talaj-és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. (szerk: Buzás I.) Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 87-102. p.
23. CARTER, D. J. - GILKES, R. J. & WALKER, E. (1998). Claying of water repellent soils: effects on hydrophobicity, organic matter and nutrient uptake. *Proceedings 16th World Congress of Soil Science, Montpellier, France, Vol. II*. p. 747. p.
24. CHOI, G. – PARK, G. – LIM, Y. – PARK, B. - CHOI, G. J. – PARK, G. J. & PARK, B.H. (1995): Studies on the production and utilization of Rhizobium inoculants for alfalfa (*Medicago sativa* L.) I. Preparation and selection of carriers for Rhizobium inoculants. *Journal of the Korean Society of Grassland Science*. 15/4, 245-252 p.
25. COHEN, J. (1988): Statistical power analysis for the behavioral sciences. Hillsdale, NJ: Erlbaum. 219-228. p.
26. CROKER, J. – POSS, R. – HARTMANN, C. & BHUTHORNDHARAJ, S. (2004): Effects of recycled bentonite addition on soil properties, plant growth and nutrient uptake in a tropical sandy soil. *Plant and Soil*. Vol: 267.Iss: 1-2. 155-163. p.
27. CSAPÓ M. J. (1958): Talajtan. Mezőgazdasági és Erdészeti Állami Könyvkiadó, Bukarest. 607-610 p.

28. CSATHÓ P. – ÁRENDÁS T. – FODOR N. & NÉMETH T. (2007): A legelterjedtebb hazai trágyázási szaktanácsadási rendszerek tesztelése szabadföldi kísérletekben. *Agrokémia és Talajtan* 56/1, Akadémiai Kiadó, 173-190. p.
29. CYRUS, J. S. & REDDY, G. B. (2011): Sorption and desorption of ammonium by zeolite: Batch and column studies. *Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering* Vol. 46 Issue: 4. 408-414 p.
30. DAMASKA, J. & KNOZKOVÁ, E. (1972): The effect of organic and mineral fertilisation on the seasonal dynamic of soil respiration. *Ved. Pr. Vyzk. Ust. Rostl. Vyr. Praze-Ruzyni, Praha.* 17. 91-98. p.
31. DAVET, P. (2004): Microbial ecology of the soil and plant growth. Science Publishers, Inc., Enfield, Plymouth.
32. DERMATAS, D. & MENG, X. (2003): Utilization of fly ash for stabilization/solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology.* 70. 377–394. p.
33. DICK, R. P. (1994): Soil enzyme activities as indicators of soil quality. In: Doran, J.W., Colemann, D.C., Bezdicsek, D.F., Stewart, B. A. (Eds.): *Defining soil quality for a sustainable environment.* American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 107-124. p.
34. DINAR ATTIAH, A. - R. – BLACKBURN, R. – DYER, A. & WILLAMS, C. D. (2011): Synthesis of zeolites in the presence of radioisotopes: a novel approach to aqueous nuclear waste treatment. *Journal of Radioanal Nucl. Chem.* Akadémiai Kiadó, Bp. 288: 97-99. p.
35. DONGLIN, Z. – CAICAI, Z. – JUNZHENG, X. & ZHIWEI, N. (2011): Impact of environmental conditions on sorption of ²¹⁰Pb(II) to NKF-5 zeolite. *Journal of Radioanal Nucl. Chem.* Akadémiai Kiadó, Bp. 1-8. p.
36. DÖMSÖDI J. (1989): Talajjavítás és komposztálás a házikertben *Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.* 88. p.
37. EGNÉR, H. – RIEHM, H. & DOMINGO, W. R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung des Nährstoffzustandes der Böden. II. *K. Lantbr. Högsk. Ann.* 26. 199-215. p.
38. ENGLAND, L. S. - LEE, H. & TRAVORS, J. T. (1993). Bacterial survival in soil: Effect of clays and protozoa. *Soil Biology and Biochemistry*, 25. 525-531. p.
39. FALLIK, E. & OKON, Y. (1996): Inoculants of *Azospirillum brasilense*: biomass production, survival and growth promotion of *Setaria italica* and *Zea mays*. *Soil Biology and Biochemistry.* 28/1, 123-126 p.
40. FEHÉR D. (1954): Talajbiológia. Akadémiai kiadó. Bp. 607-821., 1013-1082.p.
41. FEKETE J. & STEFANOVITS P. (2002): Dunántúli vörösayagok fizikai és kémiai tulajdonságai. *Agrokémia és Talajtan.* Vol. 51. No. 3-4. Akadémiai Kiadó. 305-324. p.
42. FELFÖLDY L. (1987): A biológiai vízminősítés. (4. Javított és bővített kiadás). Budapest. 172-174. p.
43. FILEP GY. (1995): Talajvizsgálat. Egyetemi jegyzet. Debrecen, 32-56., 68-71; 93-96., 105-107 p.
44. FILEP GY. (1999): A talaj levegő-és hőgazdálkodása. In: Stefanovits P. – Filep Gy. & Fülek Gy. (1999):*Talajtan.* Mezőgazda Kiadó. Bp. 182-190. p.

45. FILIP, Z. (1977): Effect of Solid Particles on Growth and Metabolic Activity of Microorganisms, New Zealand, (ed. M. W. LOUTIT) 102-104. p.
46. FÖLDESOVÁ, M. – DILLINGER, P. & LUKÁČ, P. (1999): Sorption and desorption of Fe(III) on natural and chemically modified zeolite. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Akadémiai Kiadó, Bp.* Vol. 242. No.1. 227-230. p.
47. FÖLDVÁRI M. & KOVÁCS-PÁLFFY P. (2005): Montmorillonit rétegek közötti térben lévő egy- és kétértékű kationok termoanalitikai vizsgálata. *A Magyar Állami Földtani Intézet Évi Jelentése, 2005. Magyar Állami Földtani Intézet.* 167-175. p.
48. GALAMBOŠ, M. – KUČÁKOVÁ, J., ROSSKOPFOVÁ O. & RAJEC, P. (2010): Adsorption of cesium and strontium on natrified bentonites. *Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. Vol. 283, Number 3. Akadémiai Kiadó.* 803-813. p.
49. GARCÍA-GIL, J. C. - PLAZA, C. - SOLER-ROVERA, P. & POLO, A. (2000). Long-term effects of municipal solid waste compost application on soil enzyme activities and microbial biomass. *Soil Biology and Biochemistry*, 32. 1907-1913. p.
50. GHIACI, M. - AGHEIE, H. - SOLEIMANIAN, S. & SEDAGHAT, M. E. (2009). Enzyme immobilization. Part 2. Immobilization of alkaline phosphatase on Na-bentonit and modified bentonite. *Applied Clay Science*. 43, 308-316. p.
51. GHRAIR, A. - INGWERSEN, J. & STRECK, T. (2008): Immobilization of heavy metals in soil using nanoparticles produced from zeolitic tuff. In: *Book of Abstracts, Eurosoil 2008 (Vienna, August 25–29). Soil-Society-Environment. (Eds.: Blum, W. E. H., Gerzabek, M. H. & Vodrazka, M.) University of Natural Resources and Applied Life Sciences (BOKU). Vienna.* 211–212. p.
52. GOLCHIN, A. - CLARKE, P. & OADES, J. M. (1996): The heterogeneous nature microbial products as shown by solid-state ¹³C CP/MAS NMR spectroscopy. *Biogeochemistry*. 34/2, 71-87. p.
53. GUPTA, S. R. & SINGH, J. S. (1981): Soil respiration in a tropical grassland. *Soil Biol. and Biochemistry*, Oxford, 13/4., 423-429. p.
54. HALÁSZ K. (1978): Laboratóriumi vizsgálat sorozat a homokdigózáshoz szükséges javítóanyag mennyiség meghatározására. *Kézirat. Karcag*. 8. p.
55. HARGITAINÉ TÓTH Á. (1995): A Mn és a Cd kémiai formái Ca-bentonit, Ca kaolinit/Mn(ClO₄) és a Ca-bentonit/ Cd(ClO₄)₂, CdCl₂ rendszerben. *Agrokémia és Talajtan*, 44 (3-4). Akadémiai Kiadó. 409-418. p.
56. HAVASSY A. (1998): A bentonit keletkezése, összetétele, minősége, mennyisége és felhasználása. In: *Komlócska bányászatának története és földtani alapjai*. 3. p.
57. HEDGE, D. M. – DWIVED, B. S. & SUDHAKARA, S. N. (1999): Biofertilizers for cereals production in India – a review – *Indian J. Agric. Sci.* Vol. 69. 73-83. p.
58. HELMECZI B. (1994): *Mezőgazdasági mikrobiológia*. Mezőgazda Kiadó. 280-283. p.
59. HEIJNEN, C. E.- BURGERS, S. & VEEN, J. A. (1993): Metabolic activity and population dynamics of rhizobia introduced into unamended and bentonite-amended loamy sand. *Applied and Environmental - Microbiology*. 59/3, 743-747. p.

60. HEIJNEN, C. E. – HOK, A. - HIN, C. H. & van VEEN, J. A. (1992): Improvements to the use of bentonite clay as a protective agent, increasing survival levels of bacteria introduced into soil. *Soil Biology and Biochemistry*. 24/6. 533- 538. p.
61. HEIJNEN, C. E. & van VEEN, J. A. (1991): A determination of protective microhabitats for bacteria introduced into soil. *FEMS Microbiology Letters*. 85/1. 780. p.
62. HIGASHIDA, S. & HISHIMUNE, A. (1988): Factors affecting CO₂ evolution from the lower plow layer of grassland soil. *Soil Science and Plant Nutrition* (Tokyo) 34/2. 203-213. p.
63. IMSEMECKIJ, A. A. & MURZAKOV, B. G. (1978): Opređenje ugljikislotu, vüdeljajuscsejszja iz pocsvü pri razlicnoj jejo vlaznoszti. *Mikrobiologija, Moskva*, 47/6., 1086-1090. p.
64. IPPOLITO, J. A. - TARKALSON, D. D. & LEHRSCHE, G. A. (2011): Zeolite Soil Application Method Affects Inorganic Nitrogen, Moisture, and Corn Growth. *Soil Science*. Vol: 176. Iss: 3. 136-142. p.
65. IVAN, G. – TOMO, M. – EVICA, M. & LJILJANA, B. R. (2007): The influence of agrozel type of zeolite on the content of macroelements in blackberry leaves. *Cereal Research Communication. Akadémiai Kiad. Bp.* Vol. 35. 409-412.
66. IVÁNY K. – KISMÁNYOKY T. & RAGASITS I. (2003): A növények vízgazdálkodása. In: *Növénytermesztés. Mezőgazda Kiadó. Bp.* 19-28. p.
67. IZSÁKI, Z. (2007): N and P impact on the yield of maize in long-term trial. *Cereal Research Communications*, Vol. 35. No. 4. pp. 1701-1711. p.
68. JAKUSNÉ S. SZ. (2007). Tőzeghelyettesítő anyagok a paprikahajtatásban. Doktori (PhD) értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem, Talajtan és Vízgazdálkodás Tanszék. Budapest.
69. JANG, A. - CHOI, Y.S. - KIM, I. S. & GHOSH M. M. (1997): Batch and column tests for the development of an immobilization technology for toxic heavy metals in contaminated soils of close mines. *Selected Proceedings First International Conference on Environmental Restoration, Ljubljana, Slovenia, 6-9 July. Water – Science – and – Technology*. 1998, 37/8, 81-88. p.
70. JENKINSON, D. S. & POWLSON, D. S. (1976): The effects of biological treatments on metabolism in soils. A method for measuring soil biomass. *Soil Biol. Biochem.* 27/8, 209-213. p.
71. KAPPEL, N. (2006). Zöldérgpalánták nevelésére alkalmas földkeverékek legfontosabb fizikai tulajdonságai. PhD értekezés. Budapesti Corvinus Egyetem Zöldség- és Gabonatermesztési Tanszék, Budapest.
72. KAZÓ B. (1981): Homoktalajok melioratív javítása hígtrágya, barnaszén, zeolit dezaggregátumokkal. *Agrokémia és Talajtan*, 30. Akadémiai Kiadó, 199-200 p.
73. KÁTAI J. (1992): Kölcsönhatások a talajtulajdonságok, néhány agrotechnikai eljárás és a mikrobiológiai aktivitás között. Kandidátusi értekezés. Debrecen, Agrártudományi Egyetem, Mezőgazdaságtudományi Kar, Talajtani és Mikrobiológiai Tanszék. 1-4. p.
74. KÁTAI J. (1994): Javítóanyagok hatása a gyep talajára. A gyepgazdálkodás az állattartás szolgálatában, tudományos tanácskozás előadásai, Debreceni Gyepgazdálkodási Napok 12. Tudományos közlemények (szerk: Nagy Géza) 229-247 p.

75. KÁTAI, J. (2005): The effect of fertilization and irrigation on the soil characteristics in maize monoculture. Simpozion international. Technologii de culture pentru grau si porumb in conditiile sistemului de agriculture durabile. Nagyvárad Kutató Intézet tudományos ülése. Oradea, 7-8. July 2005. 158-167. p.
76. KÁTAI, J. (2006): Changes in Soil Characteristics in Mono-and Triculture Longterm Field Experiment. *Agrokémia és Talajtan*, volume 55., number 1., june. (szerk: Várallyay György) Akadémiai Kiadó, Budapest. 183-192. p.
77. KÁTAI J. - LAZÁNYI J. & LUKÁCSNÉ VERES E. (2004): Bentonit hatása a talaj mikrobiológiai jellemzőire. „Innováció, a tudomány és a gyakorlat egysége az ezredforduló agráriumban” konferencia összefoglalók. „A belépés kapujában.” Debrecen, 2004, április 16. 97-98. p.
78. 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, 247-254. p.
79. KÁTAI J. & VÁGÓ I. (2005): Összefüggések a különböző tápanyagellátottságú talajok néhány tulajdonsága és az angolperje biomasszája között egy modellkísérletben. *Gyep-Állat-Vidék-Kutatás-Tudomány*. Szerk: Dr. Jávor A. DE Agrártudományi Centrum Agrárgazdasági és Vidékfejlesztési Kar. 153-164 p.
80. KÁTAI J. (szerk.) (2008): Az életközeg kémhatása. In: *Talajtan, Talajökológia*. Debrecen, HEFOP 3. 3. 1. P. 132-135. p.
81. KERPELY A. (1964): A pillangós virágú növények rhizobium oltásáról. *Magyar Mezőgazdaság*. 19. 10-11 p.
82. KISS I. (1958): Talajenzimek. In: *Talajtan*. (Ed.: CSAPÓ M. J.) Mezőgazdasági és Erdészeti Állami Kiadó, Bukarest, 495-614.
83. KLÉN GY. & SZÜCS L. (1954): A Nyírség talajviszonyai. *Agrokémia és Talajtan*. 3. Akadémiai Kiadó. 47-66. p.
84. KLIMES-SZMIK A. (1962): A talajok fizikai tulajdonságainak vizsgálata. In: *Talaj- és trágyavizsgáló módszerek* (Szerk. BALLENEGGER R. & DI GLÉRIA J.). Mezőgazdasági Kiadó. pp. 83-161. p.
85. KLIMES-SZMIK A. (1970): A homoktalajok változó fizikai sajátságai. *MTA Agrártudományok Osztályának Közleményei*. 29., 537-565. p.
86. KOBUS, J. - KUREK, E. - CZECHOWSKA, E. - SLOMKA, A. & KULPA, D. (1987): Effect of organic fertilization on the biological activity of degraded loess *Roczniki Gleboznawcze*. 38/1. 133-14. p.
87. KOCJAN, H. (1995): Twenty years of results in the use of bentonite for establishing forest plantations. *Dwudziestopiecioletnie wyniki wykorzystania bentonitu przy zakładaniu upraw lesnych*. Sylwan. 139/4, 57-62. p.
88. KOMÁROMINÉ K. M. – LOKSA, G. – CSEREKJE, K. E. – BARDOCZYNÉ, E. S. & KÁLLAI, S. (2008): Use of zeolite to improve soil amelioration and takes effects on microclimate. *Cereal Research Communications*, Vol. 36. Part 3. 1783-1786. p.
89. KOMÁROMINÉ K. M. (2009): Modifikált zeolit felhasználás vízminőségre és mikroorganizmus populációra gyakorolt hatása az eleveniszapos szennyvíztisztításban. Doktori értekezés. 25-43. p.

90. KÖDÖBÖCZ L. - BIRÓ B. - DUSHA I. - IZSÁKI Z. - SÁRY L. & KECSKÉS M. (2003): Rhizobium törzsek túlélőképessége különböző vivőanyagokban. *Agrokémia és Talajtan*. 52. Akadémiai Kiadó, 395-408. p.
91. KÖHLER M. (2000): Köhler Mihály munkássága II. kötet. Válogatás publikációiból. Melioráció, környezetkímélő és ökológiai gazdálkodás, környezetvédelem. (Szerk.: Nadas Zsuzsanna) Debrecen. 116 p.
92. KÖHLER M. (2001): Mire jó a riolittufa (vulkáni hamu)? *Ökológiai Gazdaság*. I. évf. 8. sz. 7. p.
93. KUTI L. – TÓTH T. – KALMÁR J. – KOVÁCS P. P. (2003): Szikes talajok ásványi összetétele és recens ásványképződés Apajpusztán és Zabszék térségében. *Agrokémia és Talajtan*, 52/3-4. Akadémiai Kiadó. 275-292. p.
94. KRÁMER, M. & ERDEI, G. (1959): Primenyenyie metoda opregyelenyia akgyivnosztyi foszfatazui v agrohímicseszkih isszledovanyijah. *Pocsvovedenyije*. (9) 99-102. p.
95. KREYBIG L. (1956): Az agrokémia tényezői és irányelvei (Második bővített kiadás). Akadémiai Kiadó, Budapest. 35. p.
96. KUREK, E. & JAROSZUK, S. J. (2003): Rye (*Secale cereale*) growth promotion by *Pseudomonas fluorescens* strains and their interaction with *Fusarium culmorum* under various soil conditions. *Biological Control*. 26/1. 48-56. p.
97. LAZÁNYI J. (2003): Bentonitos tufa jelentősége a homoktalajok javításában. *Agrárgazdaság Vidékfejlesztés és Agrárinformatika az évezred küszöbén (AVA)*, DE ATC Debrecen, április 1-2. 4-8. p.
98. LAZÁNYI, J. (2005): Effects of bentonite treatment on the water budget of sandy soils. Ciobanu, G., Domuta, C., Lazányi J. *Technologii de cultura pentru grau si porumb. Simposion International Organizat de Statiunea de Cercetare - Dezvoltare Agricola Oradea*. 7-8 Julie 2005. 293-301 p.
99. LAZÁNYI J. & KARUCKA A. (2003): A bentonit hatása a Nyírségi homoktalaj vízgazdálkodására. EU konform, *Mezőgazdaság és Élelmiszerbiztonság*. I. kötet. Gödöllő. 2003. június 5. 148-154. p.
100. LATIFAH, O. – AHMED, O. H. & MUHAMED A. M. N. (2011): Ammonia loss, ammonium and nitrate accumulation from mixing urea with zeolite and peat soil water under waterlogged condition. *African Journal Of Biotechnology*. Vol: 10. Issue: 17. 3365-3369. p.
101. LOSAKOV, V. G. - EMVEC, V. T. - NICE, L. K. - IVANOVA, SZ. F. & ROGOVA, T. A. (1986): Biológiai szerszakai aktivnoszt pocsvy v szpecinivnogo sziderata i szolomy v kacsesztve udobrenij. Moszkva. 4., 10-17. p.
102. LUKÁCSNÉ VERES, E. & ZSUPOSNÉ OLÁH, Á. (2006): Examination of biological activity in chernozems. *Cereal Research Communications*, Vol. 34. No. 1. 363-366. p.
103. MAHMOODABADI, M. R. (2010): Experimental Study on the Effects of Natural Zeolite on Lead Toxicity, Growth, Nodulation, and Chemical Composition of Soybean. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. Vol: 41. Iss: 16. 1896-1902. p.
104. MAKÁDI M. (2010): Ásványi és szerves adalékanyagok hatása a nyírségi homoktalajok mikrobiológiai tulajdonságaira. *Doktori értekezés*. 1-159. p.
105. MAKÁDI M. – HENZSEL I. & LAZÁNYI J. (2003): Bentonit alkalmazása szántóföldi növénytermesztésben. *Agrárgazdaság, Vidékfejlesztés és Agrárinformatika az évezred küszöbén (AVA)*, DE ATC Debrecen, április 1-2. 303. p.

106. 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. Akadémiai kiadó. 367-378. p.
107. 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 Communications*. Akadémiai Kiadó. Vol. 35. No. 2. 741-744. p.
108. MARKOVIC, V. – DJUROVKA, M. – ILIN, Z. & LAZIC, B. (2000): Effect of seedling quality on yield and characters of plant and fruits and sweet pepper. *Acta-Horticulturae* 533: 113-119. p.
109. MÁRQUEZ, G. E. - RIBEIRO, M. J. P. - VENTURA, J. M. & LABRINCHA J. A. (2004): Removal of nickel from aqueous solutions by clay-based beds. *Ceramics International* Vol. 30 Iss: 1. 111-119. p.
110. MÁRTON Á. (1998): Talajhasznosítás és növénytermesztés a nyírségi homokterületeken. In: Homoktalajok hasznosíthatóságának időszerű kérdései a hazai homok kutatások tükrében. Ed.: Csernyi I. Kecskemét. 92-97. p.
111. MÁRTON Á. & SZABÓNÉ CS. K. (2002): A riolittufa alkalmazásának hatásvizsgálata különböző kémhatású homokzalajokon. In: Tartamkísérletek, tájtermesztés, vidékfejlesztés. Nemzetközi konferencia 2002. június 6-8. I. kötet. 213-219. p.
112. MÁTYÁS E. (1979): A természetes zeolitok és zeolittartalmú kőzetek földtani-teleptani jellemzése, különös tekintettel azok gyakorlati alkalmazás szempontjából fontos tulajdonságaira. Felhasználói szimpózium. Szerencs.
113. MÁTYÁS E. (2003): Természetes zeolitok talajjavítási, növénytermesztési alkalmazásra. *Mád.* 45; 58-68; 52-91 p.
114. MCGILLOWAY, R. L. – WEAVER, R. W. – MING, D. W. & GRUENER, J. E. (2003): Nitrification in a zeoponic substrate. *Plant and Soil* 256 (2): 371-378. p.
115. 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. p.
116. MISHRA, P.K - PRASAD, S. S. – BABU, B. M. & VARALAKSHMI, L. R. (2001): *Journal of Irrigation and Drainage Engineering-Asce.* Vol: 127. Iss: 2. 118-122. p.
117. MOUSAVI, H. Z. & ASGHARI, A. (2009): Removal of Heavy Metal Ions in Wastewater by Semnan Natural Zeolite. *Asian Journal Of Chemistry*. Vol: 21. Iss: 4. 2881-2886. p.
118. MUCSI I. (1997): Juhtenyésztés és -tartás. *Mezőgazda Kiadó*. Bp. 194-196. p.
119. MUHLBACHOVA, G. & SIMON, T. (2003): Effects of zeolite amendment on microbial biomass and respiratory activity in heavy metal contaminated soils. *Plant soil and environment*. Vol. 49. Iss. 12. 536-541. p.
120. MUMPTON F. A. (1999): La roca magica: Uses of natural zeolites in agriculture and industry. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. Vol: 96. Iss: 7. 3463-3470. p.
121. MURRAY, H. H. (2000). Traditional and new applications for kaolin, smectite, and palygorskite: a general overview. *Applied Clay Science*, 17. 207-221. p.
122. MÜLLER G. (1991): Az agroökológia talajmikrobiológiai kérdései és az intenzív mezőgazdasági termelés. *Agrokémia és Talajtan*. 40/3-4, 263-272. p.

123. NÉMETH, T. (2006): Nitrogen in the soil-plant system, nitrogen balances. Cereal Research Communications, Proceedings of the V. Alps-Adria Workshop Opatija, Croatia, 6-11 March, 2006, Vol. 34. No. 1. Akadémiai Kiadó, 61-65. p.
124. NÉMETH T. – SIPOS P. – TÓTH M. – MOHAI I. (2006): Cu-, Pb-, és Cd-adszorpció hatása a talajmontmorillonit kristályszerkezetére és szerkezeti duzzadására. Agrokémia és Talajtan, Vol. 55., No. 2. Akadémiai Kiadó, 381-394. p.
125. NOBLE, A. D. - GILLMANN, G. P. & RUAYSOONGNERN, S. (2000): A cation exchange index for assessing degradation of acid soil by further acidification under permanent agriculture in the tropics. European Journal of Soil Science. 51, 233-243. p.
126. PALLANT, J. (2005): SPSS Survival Manual. A step by step guide to data analysis using SPSS for Windows (Version 12). Kiadó: Allen & Unwin. Australia. 172-193. p.
127. PAPP E. (1953): Közethatórózó. Egyetemi segédkönyv. Tankönyvkiadó, Budapest. 48. p.
128. PAPP J. & VALYON J. (1982): A hazai üledékes zeolitok néhány fizikai-kémiai sajátossága. In: Hazai természetes zeolitok kutatása és felhasználása (Szerk.: Jánossy A.) MTA VAEB, Veszprém pp101-108. p.
129. PATEIRO-MOURE, M. - NÓVOA-MUÑOZ, J.C. - ARIAS-ESTÉVEZ, M. - LÓPEZ-PERAGO, E. – MARTÍNEZ-CARBALLÓ, E., & SIMAL-GÁNDARA, J. (2009): Quaternary herbicides retention by the amendment of acid soils with a bentonite-based waste from a wineries. Journal of Hazardous Materials. 164, 769-775. p.
130. PÁRTAY G. – RAJKAINÉ V. K. & LUKÁCS A. (2006): Kálium- migráció vizsgálata káliföldpáttal kezelt gyökérközegben. Agrokémia és Talajtan. Vol. 55. No. 2. Akadémiai Kiadó. 395-414. p.
131. PEPÓ P. (2001): A kutatás és innováció szerepe a növénytermesztés fejlesztésében. In: Innováció, a tudomány és a gyakorlat egysége az ezredforduló agráriumban. Gödöllő, 2001. máj. 17-18. 19-23. p.
132. PEPÓ P. (2002): A tápanyagellátás szerepe a fenntartható, többfunkciós növénytermesztésben. Acta Agronomica Hungarica (Szerk.: Sutka, J.-Veisz, O.). 245-254. p.
133. PEPÓ P. (2009): A fenntartható növénytermesztés elemei, lehetőségei és feladatai. In: Iszályné Tóth Judit (szerk.) Tartamkísérletek a mezőgazdaság szolgálatában: 80 éves a Westsik vetésforgó. Nyíregyháza, Magyarország, Debreceni Egyetem Kutató Központja 2009.10.11. 14. p.
134. PISAROVIC, A. - FILIPAN, T. & TISMA, S. (2003): Application of zeolite based special substrates in agriculture-ecological and economical justification. Periodicum Biologorum 105 (3): 287-293. p.
135. POCHON, J. - TARDIEUX, P. (1962): Techniques D'Analyse en Micobiologie du Sol. Collection „Techniques de Base”. Masson Co. Paris 102. p.
136. PRINCZ, P. - OLÁH, J. - SMITH, S. E. - KALLÓ, D. - HATFIELD, K.-KUCSÁK, M. (2002): Improvement of The Biological Degradability of Wastewaters Using Modified Zeolites. Zeolite 02, 6th International Conference on the Occurrence Properties and Utilization of Natural Zeolites, 2-7 June 2002. Aristotle University, Editor, Misaelide, P.: Book of Abstracts, 301-302. p.

137. RADICS L. (2003): A tápanyag gazdálkodás. In: Szántóföldi növénytermesztés. Szaktudás Kiadó Ház Zrt. Bp. 25-36. p.
138. REUTER, G. (1996): Influence of application of clay substrate on the yield and risk potential of sandy soils. Management of sandy soils. Yield and risk potential. Proceedings of a conference, 28-29 March 1996, Berlin, Germany. Mitteilungen der Deutschen Bodenkundlichen – Gesellschaft. 79/287-290. p.
139. SAJTOS L. & MITEV A. (2007): SPSS kutatási és adatelemzési kézikönyv. Alinea Kiadó. Budapest 246-327. p.
140. SAVVAS, D. – SAMANTOUROS, K. – PARALEMOS, D. – VLACHAKOS, G. – STAMATAKIS, M. & VASSILATOS, C. (2004): Yield and nutrient status in the root environment of tomatoes (*Lycopersicon esculentum*) grown on chemically active and inactive inorganic substrates. *Acta Horticulturae* 644: 377-383. p.
141. SÁNDOR, ZS. (2006): The effect of some herbicides on microbes and their activity in soil. *Cereal Research Communications*, Vol. 34. No. 1. 275-278. p.
142. SÁROSI L. (1960). Bentonit az építőiparban. Műszaki könyvkiadó, Budapest. 172. p.
143. SÁRVÁRI M. (2000): Fajtaspecifikus kukoricatermesztési technológiák fejlesztése. In: Növény- és talajtudomány a mezőgazdaságban. Talaj, növény és környezet kölcsönhatásai. Debrecen. 163-175. p.
144. SÁRVÁRI M. – EL-HALLOF N. & MOLNÁR ZS. (2006): A kukorica termesztése. *Őstermelő*. 2006/2. Április-május. 60-62. p.
145. SÁRVÁRI M. & BOROS B. (2009): A kukorica hibridspecifikus trágyázása és optimális tőszáma. *Agrofórum Extra* 27. 40-45. p.
146. SCHIMMEL, S. M. & DARLEY, W. M. (1985): Productivity and density of soil algae in an agricultural system. *Ecology* 66 (5) 1439-1447. p.
147. SCHINNER, F. A. – NIEDERBACHER, R. & NEUWINGER, I. (1980): Influence of compound fertilizer and cupric sulfate on soil enzymes and CO₂-evolution. *Plant and Soil*. Vol. 57. Iss. 1. 85-93 p.
148. SCHMIDT R. (2002): Tápanyag-gazdálkodás, termesztett növényeink trágyaigényének meghatározása. 5. fejezet. In: Gyuricza Cs. (szerk.) Szántóföldi talajhasználati praktikum. Gödöllő: SZIE, 2002. 159-175. p.
149. SCHNITZLER, J. – GRUDA, M. & MICHALSKY, T. (1994): Bringt Bentonit Vorteile bei der Anzucht von Gemüsejungpflanzen? *Gartenbau – Magazin* 3. 34-35 p.
150. SEPASKHAH, A. R. & BARZEGAR, M. (2010): Yield, water and nitrogen-use response of rice to zeolite and nitrogen fertilization in a semi-arid environment. *Agricultural Water Management*. Vol. 98. Iss: 1. 38-44. p.
151. SHETA, A. S. – FALATAH, A. M. – AL-SEWAILEM, M. S. – KHALED, E. M. & SALLAM, A. S. H. (2003): Sorption characteristics of zinc and iron by natural zeolite and bentonite. *Microporous and Mesoporous Materials*. Vol: 61 . Iss: 1-3. 127-136. p.
152. SHITINA, E. A. – BOLYSHEV, N. N. (1963): Algal communities in the soils of arid steppes and desert steppes. *Bot Zurn*. 5. 670-680. p.
153. SIMON, L. (2001) Effects of natural zeolite and bentonite on the phytoavailability of heavy metals in chicory. In: *Environmental Restoration of Metals Contaminated Soil*. (Ed. Iskandar, I. K.) Lewis Publishers. Boca Raton. 261-271. p.

154. SIMON, L. (2005): Stabilization of metals in acidic mine spoil with amendments and red fescue (*Festuca rubra* L.) growth. Environ. Geochem. Hlth. Vol. 27. Iss. 4. 289-300. p.
155. SIMON L. & BIRÓ B. (2005): Adalékanyagok, vörös csenkesz és Zn- toleráns arbuszkuláris mikorrhiza gombák szerepe a nehézfémekkel szennyezett gyöngyösoroszi bányameddő remediációjában. Agrokémia és Talajtan. Vol. 54. No. 1-2. Akadémiai Kiadó. 163-176. p.
156. SODA, W. - SUZUKI, S. - CHINABUT, N. - NOBLE, A. D. - SIMMONS, La-Ait S. – SUWANNEE, B. (2005): The role of clay based materials in the rejuvenation of degraded light textured soils from Northeast Thailand: Changes in physical and chemical attributes associated with the application of these materials. LDD Technical Meeting Vol. III. 171-183. p.
157. SOLTI G. (1987): Az Alginit. Magyar Állami Földtani Intézet alkalmi kiadványa, Budapest, 1987. 40 p.
158. SOLTI G. (2000): Talajjavítás és tápanyagutánpótlás az ökológiai gazdálkodásban. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 208 p.
159. STEFANOVITS P. (1977): Talajvédelem, környezetvédelem. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 243. p.
160. STEFANOVITS P. – FILEP GY. & FÜLEKY GY. (1999): Talajtan. Mezőgazda Kiadó. Bp. 18-28. p.
161. STEFANOVITS P. & DOMBÓVÁRI L-NÉ (1985): A talajok agyagásvány-társulásainak térképe. Agrokémia és Talajtan, 34. pp.317-330. p.
162. SÜBMUTH R. (1998): Protecting the soil and preserving it for future generations. In: Towards Sustainable Land Use. (Szerző: Blume H. P. et al. 1998) Vol. 1. Advances in Geoecology 31. Die Deutsche Bibliothek. I.
163. SZEDER, B. – MAKÁDI, M. – SZEGI, T. – TOMÓCSIK, A. & SIMON, B. (2008): Biological and Agronomic indicators of the impact of field-scale bentonite application. VII. Alps-Adria Scientific Workshop, Stara Lesna, Slovakia. Cereal Research Communications, Vol 36. Part II. 911-914. p.
164. SZEGI J. (1979): Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest. 250-256. p.
165. SZEGI T. – CZIBULYA ZS. – MAKÁDI M. & SZEDER B. (2008): Szerves – szervesetlen adalékanyagok hatása a nyírségi homoktalajok talajszerkezeti, nedvességgazdálkodási tulajdonságaira és a terméseredményekre. Talajvédelem különszám (szerk.: Simon L.) 163-168. p.
166. SZEGI T. & MAKÁDI M. (2003): Bentonit hatása a talajok tulajdonságára, különös tekintettel az aggregátum stabilitásra és ezáltal a terméseredményekre zöldborsó és csemegekukorica esetében. http://www.phd.hu/tavas2003/tsz_2003/tudomanyosszekciok/tavas2003/szegitamas.htm
167. SZENDREI G. (1998): Talajtan. Egyetemi jegyzet. ELTE Eötvös Kiadó, Budapest. 258. p.
168. SZENDREI G. (2005): Talajásványtani kutatások. Talajásványtan és talaj-mikromorfológia. III. Függelék. 353-356. p
169. SZÉKELY Á. – SCHLICK B-né & SZABÓ T-né (1960): Szerveskötésű szén fotometrikus és kolorimetrikus meghatározása. Agrokémia és Talajtan 9/1-4., 111-120 p.
170. SZÉKELYI M. & BARNA, I. (2002): Túlélőkészlet az SPSS-hez. Typotex Kiadó. Budapest. 68. p.

171. SZILI-KOVÁCS T. (2006): A talaj mikrobiális biomassza meghatározása kloroform fumigációs módszerrel. *Agrokémia és Talajtan*. Vol. 55. No. 2. Akadémiai Kiadó. 515-530. p.
172. SZILI-KOVÁCS, T. & TÖRÖK, K. (2005): Szénforráskezelés hatása a talaj mikrobiális aktivitására és biomasszájára felfagyott homoki szántókon. *Agrokémia és Talajtan*, Vol. 54. No. 1-2. Akadémiai Kiadó. 149-162. p.
173. SZŰCS I. (2002): Alkalmazott statisztika. AGROINFORM Kiadó, Bp. 251-260. p.
174. TABATABAI, M. A. (1994): Soil enzymes. In: Page, A.L., Miller, R.H., Keeney, D.R. (Eds.): *Methods of soil analysis*. American Society of Agronomy, Madison, WI, pp. 775-833. p.
175. TAKÁCS T. (2011): Arbuszkuláris mikorrhiza gomba oltóanyagok előállításának szempontjai a helyspecifikus fitoremediációban. *Talajvédelem*. (Különszám). Talajtani Vándorülés. Szeged. Kiad: Talajvédelmi Alapítvány. 261-268. p.
176. TOMBÁCS, E. - ABRAHAM-GILDE, M. & SZÁNTÓ, F. (1998): Surface modification of clay minerals by organic polyions. *Colloids surfaces* 49, 71 p.
177. TERZANO, R. – SPAGNUOLO, M. - MEDICI, L – VEKERMANS, B. – VINCZE, L. – JANSSENS, K & RUGGIERO, P. (2005): Zeolite synthesis from pre-treated coal fly ash in presence of soil as a tool for soil remediation. *Applied Clay Science*. 29. 99–110. p.
178. TRCKOVA, M. - MATLOVA, L. – DVORSKA, L. & PAVLIK, I. (2004): Kaolin, bentonite and zeolites as feed supplements for animals: health advantages and risks. *Veterinarni Medicina* Vol: 49. Iss: 10. 389-399. p.
179. USMAN, A. – KUZJAKOV, Y. & STAHR, K. (2005): Effect of clay minerals on immobilization of heavy metals and microbial activity in a sewage sludge-contaminated soil. *Journal of soils and sediments*. Vol. 5. Iss. 4. 245-252. p.
180. UZINGER N. – BARNA S. & ANTON A. (2009): Toxikus fémekkel szennyezett talajok stabilizációja különböző hulladékok alkalmazásával. *Agrokémia és Talajtan* 58./1. Akadémiai Kiadó. 137-148. p.
181. YONG-MEI, Z. - NING, W. - GUO-YI, Z. & WEI-KAI, B. (2005): Changes in enzyme activities of spruce (*Picea balfouriana*) forest soil as related to burning in the eastern Qinghai-Tibetan Plateau. *Applied Soil Ecology*, 30. 215-225. p.
182. VARGA, CS. - HELMECZI, B. & BUBAN, T. (2005): Effect of black polyethylene mulching on cellulose decomposition of sand soil. *Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Rzeszowskiego, Seria Rolnicza, Rrodukcja Roslinna* 2. Zeszyt 27/2005. 21-25. p.
183. VALYON J. - PAPP J. & CZÁRÁN L.-NÉ (1977): A hazai természetes mordenit adszorpciós sajátosságainak vizsgálata. *Magy. Kém. Foly.* 83. 138-143. p.
184. VALYON, J. - PAPP, J. & KALLÓ, D. (1981): Adsorption properties of Hungarian rhyolite tuffs containing mordenite and clinoptilolite. *Acta Chim. Hung.* 106, 131-146. p.
185. VALYON, J. - PAPP, J. & KALLÓ, D. (1983): Zeolitok alkalmazásának lehetősége az energiatermelésben és az energiatárolásban. *Magy. Kém. Lapja*. 38, 344-349. p.
186. VÁGÓ, I. – KOVÁCS BALLA, A. & NAGY P. T. (2007): Effect of boron, calcium and magnesium foliar fertilization on apple (*Malus domestica*) yields. *Cereal Research Communications*, Vol. 35. No. 2. pp. 1261-1264. p.

187. VÁRALLYAY GY. (2005): A talaj és a víz. In: A talajok jelentősége a 21. században. Szerk: Stefanovits P. - Michéli E. MTA Társadalomkutató Központ, Budapest, 61-64 p.
188. VÁRALLYAY GY. & NÉMETH T. (1996): A fenntartható mezőgazdaság talajtani-agrokémiai alapjai. MTA Agrártudományok Osztálya Tájékoztatója, Akadémiai Kiadó. Budapest. 80-92.
189. VÉGH S.-NÉ (1977): Nemércek földtana. Egyetemi tankönyv. Tankönyvkiadó, Budapest. 86. p.
190. VICZIÁN I. (1965): A baranyai bazalt (Basalt aus dem Komitat Baranya). - Földt. Közl., 95, 4. 448-452. p.
191. VIRÁG, G. – GIPPERT, T. & SZABÓNÉ, L. S. (1984): Feeding broiler rabbits with feedstuffs containing zeolite. Magyar állatorvosok lapja Vol: 39. Iss: 10. 629-632. p.
192. WITKAMP, M. (1966): Decomposition of leaf litter in relation to environment microflora and microbial respiration. Ecology, 47. 194-201. p.
193. WYSZKOWSKI, M. & ZIÓLKOWSKA, A. (2009): Role of compost, bentonite and calcium oxide in restricting the effect of soil contamination with petrol and diesel oil on plants. Chemosphere. 74, 860-865. p.
194. ŽELJKO, B. – DAVOR, K. – ZLATA, M. – ZLATA, G. & MARKO, V. (2007): Influence of zeolite application in laying hen breeding on biogas production. Cereal Research communication Vol. 35. No. 2. 301- 304. p.
195. ZSUPOSNÉ OLÁH Á. (2002): Javítás hatása a talajtulajdonságokra és a talajmikrobákra agyagbemosódásos barna erdőtalajon. In: Talaj és Környezet (szerk: Kátai J.- Jávör A.), Talaj és Környezet Tudományos Ülés. ISBN: 9639274313. DE Agrártudományi Centrum. Konf. Kiadvány. 268-280. p.
196. ZSUPOSNÉ OLÁH, Á. (2005): The effect of cultivation methods on the decomposition of cellulose on meadow chernozem soil. Cereal Research Communications, Vol. 33. No. 1. 341-343. p.

12. Melléklet

1. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj vizes közegben meghatározott kémhatására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

		pH _(H₂O)			
*Dózisok		2007.	2008.	2009.	2010.
Jelölések	t ha ⁻¹	Bentonit			
0.	0	5,58 a	5,03 a	5,18 a	5,58 a
1.	5	5,85 c	5,28 b	5,26 a	5,65 a
2.	10	5,96 c	5,75 c	5,25 a	5,66 a
3.	15	5,64 a	5,84 c	5,36 a	5,70 a
4.	20	5,60 a	5,80 c	5,23 a	5,72 a
		Zeolit			
0.	0	5,58 a	5,03 a	5,18 a	5,58 a
1.	5	5,70 ab	5,46 e	5,20 a	5,67 a
2.	10	5,88 c	5,96 cd	5,23 a	5,79 a
3.	15	5,48 a	5,90 cd	4,91 b	5,80 a
4.	20	5,51 a	5,93 cd	5,17 a	5,81 b
SzD_{5%}	-	0,14	0,17	0,24	0,23
SzD_{1%}	-	0,19	0,22	0,32	0,30
* Az alkalmazott dózisok jelölése a táblázatokban					

2. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj M KCl-os közegben meghatározott kémhatására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

		pH _(KCl)			
Dózisok		2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit					
0.		4,80 a	4,00 a	4,18 a	4,19 a
1.		5,15 b	4,02 a	4,21 a	4,31 a
2.		5,42 c	4,36 b	4,25 a	4,33 a
3.		5,03 b	4,91 d	4,42 ab	4,22 a
4.		4,94 ab	4,97 d	4,15 a	4,36 a
Zeolit					
0.		4,80 a	4,00 a	4,18 a	4,19 a
1.		4,96 ab	4,96 d	4,19 a	4,28 a
2.		4,92 ab	4,55 c	4,17 a	4,56 ab
3.		4,98 ab	4,49 bc	4,18 a	4,47 ab
4.		4,73 a	4,51 bc	4,18 a	4,19 a
SzD_{5%}		0,16	0,18	0,20	0,27
SzD_{1%}		0,21	0,24	0,26	0,36

3. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a hidrolitos aciditás (y_1) mértékére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Hidrolitos aciditás (y_1)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	12,68 a	12,67 a	12,56 a	10,50 a
1.	11,93 b	11,29 b	12,56 a	10,31 a
2.	11,85 b	11,66 c	12,25 b	10,03 b
3.	11,93 b	11,69 c	12,03 c	10,04 b
4.	12,18 bc	11,83 c	12,66 a	10,36 a
Zeolit				
0.	12,68 a	12,67 a	12,56 a	10,50 a
1.	10,78 d	11,68 c	12,01 c	10,14 ab
2.	11,07 e	11,70 c	12,49 a	9,97 ab
3.	11,58 f	11,57 cd	12,49 a	9,81 abc
4.	12,93 a	11,25 b	12,96 d	10,04 b
SzD_{5%}	0,26	0,18	0,20	0,27
SzD_{1%}	0,34	0,24	0,26	0,36

4. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj nitrát-N tartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Nitrát-N ($\text{mg } 1000\text{g}^{-1}$)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	4,05 a	3,77 a	3,72 a	3,21 a
1.	4,66 a	5,55 b	4,09 a	3,38 ab
2.	4,80 a	5,62 b	4,18 a	3,64 ab
3.	3,10 ab	4,30 a	4,11 a	3,92 ab
4.	2,63 ab	3,85 a	4,42 a	3,52 ab
Zeolit				
0.	4,05 a	3,77 a	3,72 a	3,21 a
1.	5,91 c	3,23 a	4,07 a	3,59 ab
2.	5,52 ac	3,04 a	4,61 a	4,25 ab
3.	4,66 abc	3,70 a	3,97 a	3,68 ab
4.	3,05 abc	3,61 a	4,42 a	3,47 ab
SzD_{5%}	1,70	1,10	1,44	1,01
SzD_{1%}	2,24	1,45	1,89	1,33

5. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető foszfortartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

AL-P ₂ O ₅ (mg 1000g ⁻¹)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	97,58 a	92,22 a	88,15 a	79,37 a
1.	99,66 a	96,83 a	104,79 a	91,72 a
2.	111,66 b	112,00 b	99,83 a	95,50 a
3.	88,86 c	87,58 c	103,01 a	83,58 a
4.	90,03 c	85,53 c	101,45 a	84,35 a
Zeolit				
0.	97,58 a	92,22 a	88,15 a	79,37 a
1.	131,67 d	112,83 b	92,08 a	82,20 a
2.	106,33 b	109,00 b	96,17 a	85,72 a
3.	154,33 e	97,57 a	94,83 a	93,10 a
4.	130,33 d	100,67 a	104,17 a	104,25 ab
SzD_{5%}	5,81	8,79	17,21	17,75
SzD_{1%}	7,67	11,59	22,69	23,40

6. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető káliumtartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

AL-K ₂ O (mg 1000g ⁻¹)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	223,33 a	248,17 a	243,75 a	203,75 a
1.	283,33 b	312,50 b	249,17 a	238,33 b
2.	280,00 b	271,33 a	240,00 a	310,83 c
3.	270,00 b	259,17 a	250,83 a	253,33 b
4.	253,33 b	244,17 a	257,50 a	220,00 ab
Zeolit				
0.	223,33 a	248,17 a	243,75 a	203,75 a
1.	276,67 b	260,83 a	265,83 a	218,33 a
2.	273,33 b	236,67 a	366,67 b	289,17 c
3.	263,33 bc	274,50 a	369,17 b	345,00 d
4.	246,67 bd	295,00 ab	405,00 c	423,33 e
SzD_{5%}	16,00	32,20	34,00	25,21
SzD_{1%}	21,10	42,47	44,84	33,24

7. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása az összes-csíraszámra
(Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Összes-csíraszám (*10 ⁶ g ⁻¹ talaj)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	2,19 a	2,38 a	3,14 a	2,51 a
1.	2,95 a	4,62 b	5,77 b	2,68 a
2.	4,92 b	4,47 b	9,40 c	3,03 a
3.	3,73 ab	4,00 b	7,82 b	2,60 a
4.	2,25 a	3,43 ab	10,86 c	2,63 a
Zeolit				
0.	2,19 a	2,38 a	3,14 a	2,51 a
1.	3,30 ab	4,87 b	10,97 c	4,27 ab
2.	2,35 ab	6,95 c	12,83 c	6,02 c
3.	1,85 ab	3,23 ab	4,67 ab	3,10 a
4.	1,93 ab	2,50 ab	5,12 ab	2,82 ab
SzD_{5%}	1,39	1,20	2,22	1,51
SzD_{1%}	1,83	1,58	2,93	1,99

8. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a mikroszkopikus gombák mennyiségi előfordulására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Összes-gombaszám (*10 ³ g ⁻¹ talaj)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	61,33 a	58,75 a	55,83 a	46,42 a
1.	56,33 b	58,50 a	63,33 b	58,67 b
2.	50,67 c	59,17 a	60,33 c	55,33 c
3.	50,00 c	58,50 a	67,00 d	45,83 a
4.	50,33 c	51,17 b	67,67 d	27,17 d
Zeolit				
0.	61,33 a	58,75 a	55,83 a	46,42 a
1.	64,00 a	61,83 c	63,33 b	59,67 b
2.	67,67 d	61,33 c	73,00 e	63,67 e
3.	67,33 d	53,83 d	72,33 e	37,50 f
4.	62,33 a	51,50 b	71,00 e	30,17 g
SzD_{5%}	3,45	2,23	2,52	3,28
SzD_{1%}	4,55	2,94	3,32	4,32

9. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Nitrifikáló baktériumok (*10 ³ g ⁻¹ talaj)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	1,53 a	1,22 a	1,26 a	0,44 a
1.	1,55 a	2,65 b	4,20 b	0,52 a
2.	1,95 b	3,60 c	4,55 b	0,80 c
3.	1,40 a	1,70 d	2,91 c	0,23 ab
4.	1,35 a	1,35 ad	2,92 c	0,37 ab
Zeolit				
0.	1,53 a	1,22 a	1,26 a	0,44 a
1.	1,90 b	1,65 d	4,05 b	0,48 ab
2.	2,85 c	2,30 b	3,75 bd	0,75 c
3.	1,55 a	1,09 ad	1,55 a	0,65 ac
4.	0,94 d	0,78 a	1,10 a	0,56 abc
SzD_{5%}	0,33	0,42	0,75	0,22
SzD_{1%}	0,44	0,55	0,98	0,29

10. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a nitrát-feltáródás mértékére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Nitrát-feltáródás (mg 1000g ⁻¹)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	5,22 a	5,93 a	5,37 a	5,39 a
1.	8,19 b	7,63 b	5,39 a	5,68 a
2.	7,66 c	6,97 b	5,54 a	6,73 b
3.	8,87 bc	6,31 abc	4,86 a	5,51 a
4.	4,70 a	4,85 a	3,82 ab	7,59 ab
Zeolit				
0.	5,22 a	5,93 a	5,37 a	5,39 a
1.	6,99 abc	9,25 d	6,20 a	6,06 a
2.	7,78 bc	8,60 d	5,50 a	8,76 c
3.	5,61 ac	8,50 d	3,45 ab	7,00 ab
4.	5,00 abc	7,07 abc	4,61 ab	5,95 ab
SzD_{5%}	2,16	1,23	1,20	1,21
SzD_{1%}	2,85	1,62	1,58	1,60

11. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Aerob cellulózbontó baktériumok (*10 ³ g ⁻¹ talaj)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	2,30 a	2,75 a	2,48 a	3,00 a
1.	8,65 b	4,55 b	3,10 a	3,10 a
2.	8,80 b	6,00 c	3,22 a	6,95 b
3.	2,90 a	4,60 b	1,90 ab	3,60 a
4.	1,49 a	2,30 a	1,79 ab	2,58 ab
Zeolit				
0.	2,30 a	2,75 a	2,48 a	3,00 a
1.	2,40 a	2,75 a	2,38 ab	6,03 b
2.	4,65 c	3,00 a	2,49 ab	4,47 c
3.	2,35 a	3,00 a	1,29 b	8,54 d
4.	1,50 a	1,50 d	1,50 b	8,05 d
SzD_{5%}	1,45	1,04	0,84	1,38
SzD_{1%}	1,91	1,37	1,10	1,82

12. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj CO₂-termelésére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

CO ₂ -termelés (CO ₂ mg 100g ⁻¹ 10 nap ⁻¹)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	4,33 a	4,09 a	4,23 a	4,71 a
1.	5,88 b	4,22 a	6,17 b	5,43 b
2.	5,43 c	5,83 b	5,17 c	5,79 c
3.	4,25 a	5,70 b	5,04 c	4,98 a
4.	3,25 d	4,93 c	4,33 a	4,40 d
Zeolit				
0.	4,33 a	4,09 a	4,23 a	4,71 a
1.	4,48 a	5,17 d	4,30 a	5,76 c
2.	6,98 e	6,35 e	5,11 c	5,78 c
3.	4,63 a	5,20 d	7,12 d	7,84 e
4.	3,55 d	4,67 f	5,07 c	8,10 f
SzD_{5%}	0,31	0,24	0,73	0,29
SzD_{1%}	0,40	0,32	0,96	0,38

13. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj mikrobiális biomassza-C termelésére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Mikrobiális biomassza-C ($\mu\text{g g}^{-1}$)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	141,74 a	169,73 a	144,76 a	186,46 a
1.	188,08 b	197,38 b	156,06 a	186,42 a
2.	175,93 b	181,59 a	181,57 b	186,67 a
3.	171,21 bc	134,75 c	136,69 a	185,91 a
4.	164,41 bc	131,58 c	134,33 a	188,20 a
Zeolit				
0.	141,74 a	169,73 a	144,76 a	186,46 a
1.	172,73 bc	226,59 d	190,73 b	187,52 a
2.	166,97 bc	211,90 e	205,65 bc	187,69 a
3.	166,33 bc	183,01 af	149,92 a	186,84 a
4.	165,69 bc	173,04 af	156,06 a	186,59 a
SzD_{5%}	15,35	12,81	15,69	6,48
SzD_{1%}	20,24	16,89	20,69	8,55

14. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj mikrobiális biomassza-N termelésére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Mikrobiális biomassza-N ($\mu\text{g g}^{-1}$)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	11,21 a	11,22 a	12,26 a	12,38 a
1.	18,68 b	16,48 b	13,33 a	13,74 a
2.	27,40 c	17,93 b	15,06 a	13,07 a
3.	18,37 b	15,17 ab	15,46 a	14,40 a
4.	13,23 ab	12,21 ab	14,61 a	8,98 a
Zeolit				
0.	11,21 a	11,22 a	12,26 a	12,38 a
1.	13,95 ab	17,37 b	15,24 a	29,76 b
2.	17,12 ab	16,31 b	17,56 ab	24,86 b
3.	19,61 b	15,77 ab	13,46 a	15,82 ab
4.	16,50 ab	16,03 ab	10,59 a	13,74 ab
SzD_{5%}	5,07	4,97	5,25	11,78
SzD_{1%}	6,69	6,55	6,92	15,53

15. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a foszfatáz enzim aktivitására
(Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Foszfatáz (mg P ₂ O ₅ 100g ⁻¹ 2h ⁻¹)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	3,51 a	3,73 a	4,17 a	10,16 a
1.	2,66 a	7,69 b	4,25 a	11,92 b
2.	4,87 b	6,90 b	4,55 a	14,24 c
3.	5,70 b	5,32 c	4,53 a	15,19 c
4.	6,14 bc	5,13 c	4,71 a	10,36 a
Zeolit				
0.	3,51 a	3,73 a	4,17 a	10,16 a
1.	5,82 b	5,16 c	4,34 a	10,48 ab
2.	6,01 b	4,84 ac	4,29 a	11,82 ab
3.	5,63 b	4,37 ac	4,57 a	13,35 bcd
4.	5,82 b	4,92 ac	4,27 a	13,82 bcd
SzD_{5%}	1,21	1,25	1,19	1,53
SzD_{1%}	1,59	1,65	1,57	2,02

16. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a szacharáz enzim aktivitására
(Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Szacharáz (glükóz mg 100g ⁻¹ 24h ⁻¹)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	4,50 a	4,61 a	5,26 a	4,14 a
1.	10,03 b	6,78 b	5,62 a	5,39 a
2.	11,21 b	10,21 c	6,92 a	5,47 a
3.	5,65 a	8,20 b	5,70 a	5,06 a
4.	3,75 a	4,85 a	4,47 a	3,84 a
Zeolit				
0.	4,50 a	4,61 a	5,26 a	4,14 a
1.	7,13 c	5,34 ab	4,41 a	5,19 a
2.	6,93 c	5,50 ab	6,29 a	6,25 b
3.	5,21 ac	3,84 ab	4,90 a	3,47 a
4.	3,44 ac	3,96 ab	5,96 a	3,76 a
SzD_{5%}	2,22	1,80	1,69	1,64
SzD_{1%}	2,93	2,37	2,23	2,16

17. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása az ureáz enzim aktivitására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Ureáz (NH ₄ -N mg 100g ⁻¹ 24h ⁻¹)				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	66,95 a	69,92 a	62,00 a	97,00 a
1.	73,31 a	70,87 a	67,69 a	116,62 b
2.	73,95 a	74,67 a	86,78 b	151,34 c
3.	87,85 b	76,27 a	89,44 b	161,00 c
4.	84,90 b	77,80 ab	59,18 a	198,57 d
Zeolit				
0.	66,95 a	69,92 a	62,00 a	97,00 a
1.	70,79 a	74,47 a	76,93 c	90,16 a
2.	69,82 a	72,27 a	62,92 a	104,78 a
3.	74,87 a	71,20 a	68,02 a	128,26 b
4.	67,08 a	65,87 a	59,57 a	170,93 c
SzD_{5%}	9,48	6,70	7,60	15,63
SzD_{1%}	12,50	8,84	10,02	20,61

18. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a tesztnövény szárazanyag biomassza mennyiségére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

Növényi biomassza termés g kg ⁻¹				
Dózisok	2007.	2008.	2009.	2010.
Bentonit				
0.	2,72 a	2,93 a	2,26 a	1,83 a
1.	2,76 a	3,10 a	2,54 ab	2,11 a
2.	3,10 bc	3,19 a	2,58 ab	1,88 a
3.	3,13 bc	3,37 ab	2,35 ab	1,77 a
4.	2,75 a	3,29 ab	2,19 ab	1,99 a
Zeolit				
0.	2,72 a	2,93 a	2,26 a	1,83 a
1.	3,28 b	3,18 a	2,61 ab	1,87 a
2.	3,39 b	3,13 a	2,92 ab	2,12 a
3.	3,02 c	3,03 a	2,47 ab	2,14 a
4.	2,80 a	3,04 a	2,40 ab	1,85 a
SzD_{5%}	0,21	0,30	0,59	0,56
SzD_{1%}	0,28	0,40	0,78	0,74

19. Táblázat: Összefüggés a vizsgált talajtulajdonságok között a szabadföldi, kisparcellás kísérletben (2003-2005) (Pearson-korreláció) (n=18)

Pearson correlations (n=18)																		
		Kémiai talajtulajdonságok						Mikrobiológiai talajtulajdonságok										
Vizsgált talajtulajdonságok	Nedv. tartalom	pH _(H₂O)	pH _(KCl)	y ₁	NO ₃ -N	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O	Ö-csírászám	Ö-gombaszám	Nitrif. bakt.	NO ₃ -feltáródás	Cellulóz.bakt.	CO ₂ -termelés	Biomassza-C	Biomassza-N	Foszfátáz	Szacharáz	Ureáz
Nedv.tartalom	1																	
pH _(H₂O)	0,379	1																
pH _(KCl)	0,444	0,944**	1															
y ₁	-0,249	-0,798**	-0,851**	1														
NO ₃ -N	0,126	0,031	0,199	-0,124	1													
AL-P ₂ O ₅	-0,394	-0,256	-0,413	0,368	-0,436	1												
AL-K ₂ O	-0,401	0,153	0,062	-0,218	0,093	0,350	1											
Ö-csírászám	0,337	0,418	0,321	-0,256	-0,428	0,242	-0,058	1										
Ö-gombaszám	0,038	-0,298	-0,238	0,138	0,522*	-0,257	-0,083	-0,577*	1									
Nitrif. bakt.	0,404	0,456	0,316	-0,371	-0,307	0,174	0,066	0,154	0,110	1								
NO ₃ -feltáródás	0,210	0,739**	0,769**	-0,644**	0,613*	-0,427	0,180	-0,140	0,099	0,130	1							
Cellulóz.bakt.	0,549*	0,207	0,233	-0,268	-0,380	0,022	-0,160	0,573*	0,024	0,409	-0,269	1						
CO ₂ -termelés	0,588*	-0,121	0,097	-0,011	0,001	0,526*	0,600*	0,145	-0,057	-0,129	-0,225	0,462	1					
Biomassza-C	0,473	-0,207	0,040	-0,017	0,053	-0,485	-0,350	0,074	0,075	-0,176	-0,235	0,422	0,641*	1				
Biomassza-N	0,533*	0,280	0,356	-0,155	-0,349	-0,270	-0,266	0,464	-0,326	0,161	-0,194	0,671*	0,641*	0,493	1			
Foszfátáz	0,466	0,114	0,313	-0,071	0,428	0,693**	-0,283	0,004	0,201	-0,199	0,190	0,299	0,748**	0,429	0,438	1		
Szacharáz	-0,225	0,580*	0,514*	-0,669**	0,299	-0,079	0,563*	-0,038	0,164	0,311	0,701**	-0,160	-0,555*	-0,461	-0,441	-0,233	1	
Ureáz	-0,356	0,061	-0,009	-0,036	0,531*	0,015	0,249	-0,421	0,471	0,051	0,525*	-0,621*	0,694**	-0,543*	0,847**	-0,374	0,634*	1
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)																		
**Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)																		

20. Táblázat: Összefüggés a vizsgált talajtulajdonságok és a növényi biomassza mennyiségi alakulása között a bentonit-kezeléssorozatban
Tenyészedényes kísérlet (2007-2010) (Pearson-korreláció) (n=24)

Vizsgált tulajdonságok	Kémiai tulajdonságok						Mikrobiológiai tulajdonságok											Növényi biomassza
	pH _(H₂O)	pH _(KCl)	y ₁	NO ₃ -N	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O	Ö-csíraszám	Ö-gombaszám	Nitrif. bakt.	NO ₃ -feltáródás	Cellulózb.bakt.	CO ₂ -termelés	Biomassza-C	Biomassza-N	Foszfátáz	Szacharáz	Uréáz	
pH _(H₂O)	1																	
pH _(KCl)	0,263	1																
y ₁	-0,638**	-0,166	1															
NO ₃ -N	0,089	-0,066	-0,105	1														
AL-P ₂ O ₅	0,011	0,682**	-0,038	0,108	1													
AL-K ₂ O	0,573**	0,427**	-0,522**	0,197*	-0,042	1												
Ö-csíraszám	0,07	0,406**	-0,325**	0,054	0,374**	0,360**	1											
Ö-gombaszám	0,519**	0,565**	0,327**	0,206*	0,304**	0,634**	-0,124	1										
Nitrif. bakt.	0,132	0,279**	-0,198*	0,189*	0,095	0,291**	0,177	-0,121	1									
NO ₃ -feltáródás	0,530**	0,052	-0,390**	0,412**	0,024	0,406**	0,085	0,331**	-0,046	1								
Cellulózb.bakt.	0,187*	0,055	-0,202*	-0,046	0,144	0,010	0,096	-0,023	-0,007	0,047	1							
CO ₂ -termelés	0,404**	0,491**	-0,251**	0,208*	0,180*	0,681**	0,207*	-0,552**	0,254**	0,258**	0,183*	1						
Biomassza-C	-0,204*	0,611**	-0,075	-0,110	0,602**	0,271**	0,254**	-0,445**	0,091	-0,144	0,291**	0,437**	1					
Biomassza-N	-0,316**	0,049	-0,456**	0,118	0,341**	0,262**	0,079	0,023	0,077	0,110	0,243**	0,062	0,350**	1				
Foszfátáz	0,249**	0,025	-0,563**	-0,112	0,135	0,202*	0,367**	0,063	-0,148	0,031	0,291**	0,013	0,463**	0,413**	1			
Szacharáz	0,006	0,192*	0,066	0,408**	-0,177	0,063	0,510**	-0,031	0,137	0,254**	0,093	0,034	0,088	-0,008	-0,186*	1		
Uréáz	-0,246**	-0,473**	0,169	0,212*	0,398**	0,367**	0,347**	-0,387**	0,210*	-0,066	0,150	0,252**	0,420**	-0,081	0,042	0,262**	1	
Növényi biomassza	-0,473**	0,680**	-0,220*	-0,069	0,595**	0,469**	0,384**	-0,484**	0,053	0,266**	0,158	0,523**	0,848**	0,146	0,207*	0,162	0,529**	1
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)																		
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)																		

21. Táblázat: Összefüggés a vizsgált talajtulajdonságok és a növényi biomassza mennyiségi alakulása között a zeolit-kezeléssorozatban
Tenyészedenyes kísérlet (2007-2010) (Pearson-korreláció) (n=24)

	Kémiai tulajdonságok						Mikrobiológiai tulajdonságok											
Vizsgált tulajdonságok	pH _(H₂O)	pH _(KCl)	y ₁	NO ₃ -N	AL-P ₂ O ₅	AL-K ₂ O	Ö-csírászám	Ö-gombaszám	Nitrif. bakt.	NO ₃ -feltáródás	Cellulóz.bakt.	CO ₂ -termelés	Biomassza-C	Biomassza-N	Foszfátáz	Szacharáz	Uréáz	Növényi biomassza
pH _(H₂O)	1																	
pH _(KCl)	0,312**	1																
y ₁	-0,277**	-0,032	1															
NO ₃ -N	0,116	0,096	-0,196*	1														
AL-P ₂ O ₅	0,147	0,374**	-0,197*	0,408**	1													
AL-K ₂ O	0,453**	0,029	-0,504**	0,228*	0,450**	1												
Ö-csírászám	0,276**	0,106	-0,422**	0,367**	0,06	0,316**	1											
Ö-gombaszám	0,459**	0,294**	0,183*	0,184*	0,203*	-0,186*	-0,23*	1										
Nitrif. bakt.	0,276**	0,210*	-0,148	0,473**	0,279**	0,326**	0,391**	-0,173	1									
NO ₃ -feltáródás	0,226*	0,188*	-0,200*	0,270**	0,238**	0,048	0,068	0,04	0,064	1								
Cellulóz.bakt.	0,515**	0,175	-0,093	0,264**	0,163	0,055	0,038	-0,295**	-0,023	0,259**	1							
CO ₂ -termelés	0,466**	0,278**	-0,371**	0,40(**	0,355**	0,538**	0,476**	0,222*	0,864**	0,047	0,057	1						
Biomassza-C	0,297**	0,342**	-0,408**	0,074	0,142	0,039	0,151	-0,357**	0,462**	0,074	0,065	0,356**	1					
Biomassza-N	0,184*	0,229*	-0,637**	0,192*	0,482**	0,431**	0,231*	0,084	0,116	0,068	0,112	0,411**	0,414**	1				
Foszfátáz	0,330**	0,190*	-0,759**	0,161	0,243**	0,433**	0,365**	0,154	-0,037	0,115	0,077	0,404**	0,306**	0,523**	1			
Szacharáz	0,134	0,026	0,323**	0,495**	0,031	0,033	0,558**	-0,084	0,233*	0,369**	0,316**	0,349**	0,011	0,213*	-0,289**	1		
Uréáz	0,379**	0,282**	-0,149	0,084	0,104	0,100	0,365**	-0,40**	0,468**	0,04	-0,268**	0,313**	0,578**	-0,289**	0,157	0,059	1	
Növényi biomassza	0,578**	0,490**	-0,193*	0,001	0,185*	0,198*	0,333**	0,50**	0,476**	0,185*	0,291**	0,463**	0,832**	0,299**	0,171	-0,051	0,699**	1
* Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed)																		
** Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed)																		

22. Táblázat: A mért változók összetartozásának vizsgálata faktoranalízissel a bentonit és zeolit kísérletekben (a)

Communalities

	Initial	Extraction
pH _(víz)	1,000	,690
pH _(KCl)	1,000	,675
y ₁	1,000	,816
Nitrat-N	1,000	,688
AL-foszfór	1,000	,852
AL-kálium	1,000	,762
Összes-csíra	1,000	,550
Mikr. gomba	1,000	,572
Nitrif. bakt.	1,000	,541
Nitrát-feltár.	1,000	,479
Cellbont. bakt.	1,000	,752
CO ₂ -termelés	1,000	,790
Biom-C	1,000	,810
Biom-N	1,000	,669
Foszfátáz	1,000	,823
Szacharáz	1,000	,708
Ureáz	1,000	,689

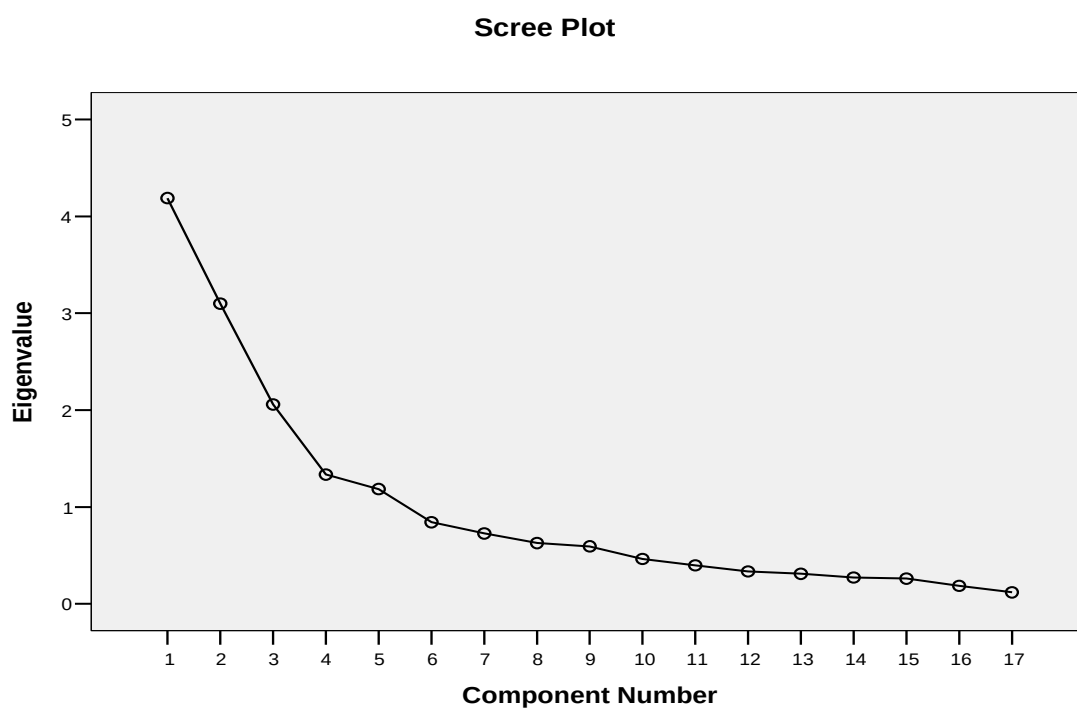
Extraction Method: Principal Component Analysis.

23. Táblázat: A mért változók összetartozásának vizsgálata faktoranalízissel a bentonit és zeolit kísérletekben (b) – főkomponens analízis

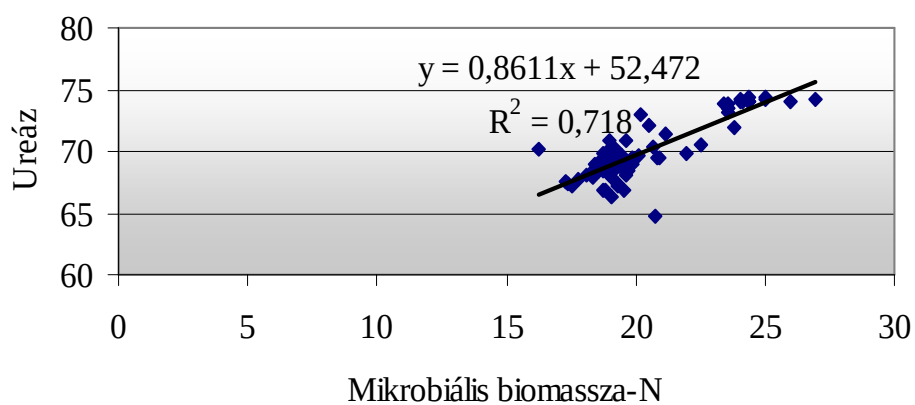
Total Variance Explained

Component	Initial Eigenvalues			Extraction Sums of Squared Loadings			Rotation Sums of Squared Loadings		
	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %	Total	% of Variance	Cumulative %
1	4,189	24,641	24,641	4,189	24,641	24,641	3,425	20,144	20,144
2	3,099	18,230	42,871	3,099	18,230	42,871	2,676	15,741	35,886
3	2,059	12,111	54,982	2,059	12,111	54,982	2,224	13,080	48,966
4	1,335	7,853	62,835	1,335	7,853	62,835	2,163	12,721	61,687
5	1,185	6,970	69,805	1,185	6,970	69,805	1,380	8,118	69,805
6	,842	4,955	74,760						
7	,727	4,276	79,036						
8	,628	3,692	82,727						
9	,593	3,491	86,218						
10	,463	2,725	88,944						
11	,398	2,339	91,283						
12	,335	1,969	93,252						
13	,310	1,826	95,078						
14	,272	1,600	96,678						
15	,260	1,532	98,210						
16	,186	1,092	99,302						
17	,119	,698	100,000						

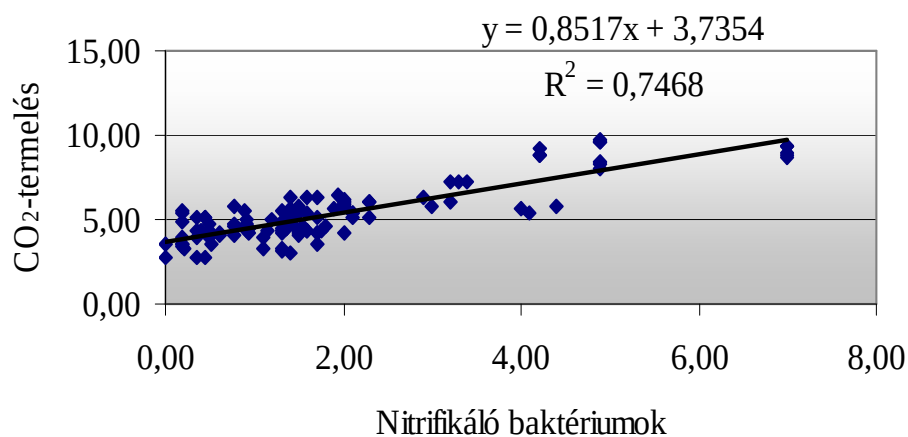
Extraction Method: Principal Component Analysis



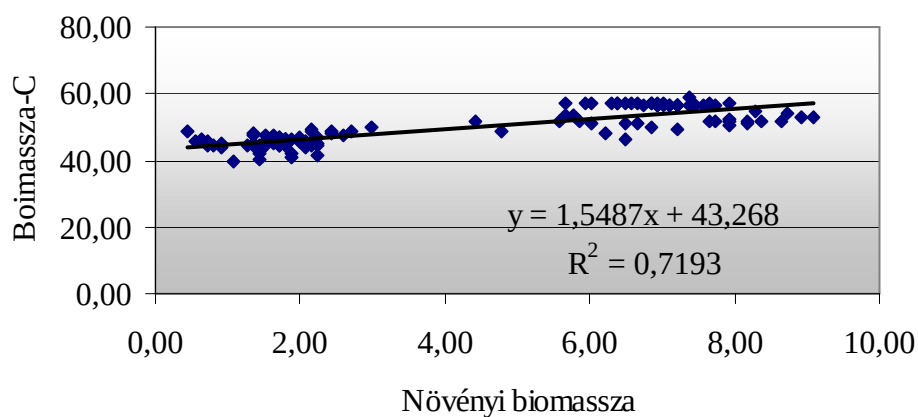
1. Ábra: A faktoranalízis során a komponensek száma, és azok sajátértéke



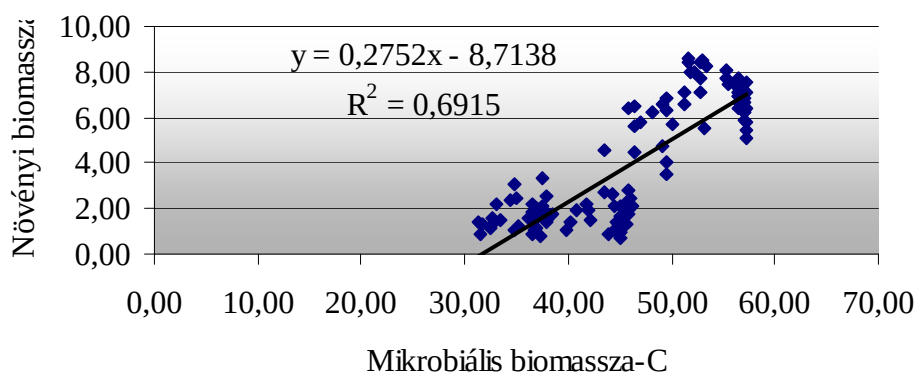
2. Ábra: Línearis összefüggés a talaj mikrobiális biomassza-N tartalma és az ureáz enzim aktivitása között (Nyíregyháza, Szabadföldi, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)



3. Ábra: Línearis összefüggés a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulása és a talaj CO₂-termelése között (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)



4. Ábra: Línearis összefüggés a talaj mikrobiális biomassza-C tartalma és a növényi szárazanyagprodukciónak között (Debrecen, bentonit-tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)



5. Ábra: Összefüggés a talaj mikrobiális biomassza-C tartalma és a növényi szárazanyagprodukciónak mennyisége között (Debrecen, zeolit-tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)

13. Táblázat és ábra jegyzék

Táblázatok

1. táblázat: A kísérletben felhasznált bentonit és zeolit fontosabb	24
2. táblázat: A felhasznált talajok főbb jellemzői.....	25
3. táblázat: A kísérletben alkalmazott kezelések és azok jelölése a táblázatban	26
4. táblázat: Tenyészedényes kísérlet kezelése és a dózisok (2007-2010).....	27
5. táblázat: A bentonit és a zeolit vízemelő képessége és azok hatása a homoktalajra ..	40
6. táblázat: Bentonit és zeolit vízmegtartóképessége és azok hatása a homoktalajra	40
7. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj vizes közegben meghatározott kémhatására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	41
8. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj M KCl-os közegben meghatározott kémhatására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	43
9. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj hidrolitos aciditására.....	45
10. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj nitrát-nitrogén tartalmára.....	47
11. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj könnyen felvehető foszfortartalmára (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	49
12. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj könnyen felvehető káliumtartalmára (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	50
13. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása az összes-csíraszámra.....	53
14. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a mikroszkopikus gombák mennyiségi előfordulására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	55
15. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	58
16. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a nitrát feltáródás mértékére.....	60
17. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségi előfordulására (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	62
18. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj CO ₂ -termelésére	64
19. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj mikrobiális biomassza-C tartalmára (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	66
20. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a talaj mikrobiális biomassza-N tartalmára (Nyíregyháza, kisparcellás kísérlet, 2003-2005)	68
21. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a foszfatáz enzim aktivitására	70
22. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása a szacharáz enzim aktivitására	72
23. táblázat: Növekvő dózisú bentonit hatása az ureáz enzim aktivitására	74
24. táblázat: KMO and Bartlett - teszt eredményei (faktoranalízis).....	78
25. táblázat: A megmagyarázott varianciahányadok %-os értékei az öt faktornál (faktoranalízis)	79
26. táblázat: A bentonit és zeolit kezelések hatásának vizsgálata faktoranalízissel és a vizsgált talajkémiai és talajbiológiai tulajdonságok faktorsúlyai	80
27. táblázat: Összefüggés a talaj vizsgált tulajdonságai és a tesztnövény biomassza - angolperje (<i>Lolium perenne</i> L.) - mennyiségi alakulása között.....	83
28. táblázat: A szabadföldi, kisparcellás és tenyészedényes kísérlet összefoglaló táblázata a vizsgálati évek átlageredményei alapján bentonit-kezelésekben.....	84
29. táblázat: Zeolit hatásainak összefoglaló táblázata a tenyészedényes négy vizsgálati év (2007-2010) átlageredményei alapján.....	88
30. táblázat: A bentonit és zeolit hatásának vizsgálata néhány vizsgált talajtulajdonságra Cohen-teszt alapján.....	90

31. táblázat: A bentonit-kezelések hatásának vizsgálata az idő függvényében 2007-2010 vizsgálati évek átlageredményei alapján (Debrecen, tenyészedényes kísérlet).....	92
32. táblázat: A zeolit-kezelések hatásának vizsgálata az idő függvényében 2007-2010 vizsgálati évek átlageredményei alapján (Debrecen, tenyészedényes kísérlet).....	95

Ábrák

1. ábra: Bentonit hatása a homoktalaj nedvességtartalmának változására.....	39
2. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj vizes közegben meghatározott kémhatására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok).....	43
3. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj M KCl-os közegben meghatározott kémhatására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok).....	44
4. ábra: Bentonit és zeolit hatása a hidrolitos aciditás (y_1) mértékére	46
5. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj nitrát-N tartalmára	48
6. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető foszfortartalmára.....	50
7. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető káliumtartalmára.....	52
8. ábra: Bentonit és zeolit hatása az összes-csírászámra	55
9. ábra: Bentonit és zeolit hatása a mikroszkopikus gombák mennyiségi előfordulására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok).....	57
10. ábra: Bentonit és zeolit hatása a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok).....	59
11. ábra: Bentonit és zeolit hatása a nitrát-feltáródás mértékére	61
12. ábra: Bentonit és zeolit hatása az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok).....	63
13. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj CO ₂ -termelésére	65
14. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj mikrobiális biomassza-C termelésére	67
15. ábra: Bentonit és zeolit hatása a talaj mikrobiális biomassza-N termelésére	69
16. ábra: Bentonit és zeolit hatása a foszfatáz enzim aktivitására	71
17. ábra: Bentonit és zeolit hatása a szacharáz enzim aktivitására	73
18. ábra: Bentonit és zeolit hatása az ureáz enzim aktivitására	75
19. ábra: Bentonit és zeolit hatása a tesztnövény szárazanyag biomassza mennyiségére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010. évi átlagok).....	82

Melléklet

1. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj vizes közegben meghatározott kémhatására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)	128
2. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj M KCl-os közegben meghatározott kémhatására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)	128
3. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a hidrolitos aciditás (y_1) mértékére	129
4. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj nitrát-N tartalmára	129
5. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető foszfortartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)	130
6. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj könnyen felvehető káliumtartalmára (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)	130
7. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása az összes-csírászámra.....	131
8. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a mikroszkopikus gombák mennyiségi előfordulására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010).....	131
9. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulására (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010).....	132
10. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a nitrát-feltáródás mértékére	132

11. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása az aerob cellulózbontó baktériumok mennyiségére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)	133
12. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj CO ₂ -termelésére	133
13. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj mikrobiális biomassza-C termelésére... ..	134
14. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a talaj mikrobiális biomassza-N termelésére ..	134
15. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a foszfatáz enzim aktivitására	135
16. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a szacharáz enzim aktivitására	135
17. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása az ureáz enzim aktivitására	136
18. Táblázat: Bentonit és zeolit hatása a tesztnövény szárazanyag biomassza mennyiségére (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010)	136
19. Táblázat: Összefüggés a vizsgált talajtulajdonságok között a szabadföldi, kiscellás kísérletben (2003-2005) (Pearson-korreláció) (n=18)	137
20. Táblázat: Összefüggés a vizsgált talajtulajdonságok és a növényi biomassza mennyiségi alakulása között a bentonit-kezeléssorozatban Tenyészedényes kísérlet (2007-2010) (Pearson-korreláció) (n=24).....	138
21. Táblázat: Összefüggés a vizsgált talajtulajdonságok és a növényi biomassza mennyiségi alakulása között a zeolit-kezeléssorozatban	139
22. Táblázat: A mért változók összetartozásának vizsgálata faktoranalízissel a bentonit és zeolit kísérletekben (a)	140
23. Táblázat: A mért változók összetartozásának vizsgálata faktoranalízissel a bentonit és zeolit kísérletekben (b) – főkomponens analízis	140
1. Ábra: A faktoranalízis során a komponensek száma, és azok sajátértéke.....	141
2. Ábra: Línearis összefüggés a talaj mikrobiális biomassza-N tartalma és az ureáz enzim aktivitása között (Nyíregyháza, Szabadföldi, kiscellás kísérlet, 2003-2005).....	141
3. Ábra: Línearis összefüggés a nitrifikáló baktériumok mennyiségi előfordulása és a talaj CO ₂ -termelése között (Debrecen, tenyészedényes kísérlet, 2007-2010).....	142
4. Ábra: Línearis összefüggés a talaj mikrobiális biomassza-C tartalma és a növényi szárazanyagprodukciónak között (Debrecen, bentonit-tenyészedényes kísérlet, 2007-2010).....	142
5. Ábra: Összefüggés a talaj mikrobiális biomassza-C tartalma és a növényi szárazanyagprodukciónak mennyisége között (Debrecen, zeolit-tenyészedényes kísérlet, 2007-2010).....	142

Nyilatkozatok

NYILATKOZAT

Ezen értekezést a Debreceni Egyetem Agrár és Gazdálkodástudományok Centruma Mezőgazdasági-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Karán, a Hankóczy Jenő Növénytermesztési-, Kertészeti- és Élelmiszertudományok Doktori Iskola keretében készítettem a Debreceni Egyetem AGTC MÉK doktori (PhD) fokozatának elnyerése céljából.

Debrecen, 2011-11-17.

.....
a jelölt aláírása

NYILATKOZAT

Tanúsítom, hogy Tállai Magdolna doktorjelölt 2006-2010. között a fent megnevezett Doktori Iskola keretében irányításommal végezte munkáját. Az értekezésben foglalt eredményekhez a jelölt önálló alkotó tevékenységével meghatározóan hozzájárult, az értekezés a jelölt önálló munkája. Az értekezés elfogadását javaslom.

Debrecen, 2011-11-17.

.....
a témavezető aláírása

Köszönetnyilvánítás

Ezúton szeretnék köszönetet mondani a Témavezetőmnek, *Dr. Kátai János* Professzor Úrnak munkám során nyújtott biztató és erőt adó támogatásáért, a kísérleti háttér biztosításáért, valamint értékes szakmai segítségéért.

Köszönetem fejezem ki *Zsuposné Dr. Oláh Ágnes* egyetemi docens asszonynak segítőkész támogatásáért és szakmai tanácsaiért.

Köszönöm *Dr. Vágó Imre* egyetemi docensnek a kísérlet beállításánál nyújtott szakmai és gyakorlati segítségét.

Köszönöm *Dr. Csubák Mária* egyetemi docens asszonynak szakmai tanácsait és biztató szavait.

Ezúton szeretném megköszönni *Erdeiné Dr. Kremper Rita* és *Dr. Szőke Szilvia* egyetemi adjunktusoknak a kísérleti eredmények statisztikai feldolgozásában nyújtott segítségüket.

Köszönettel tartozom továbbá *Dr. Sándor Zsolt* egyetemi tanársegédnek munkám során nyújtott segítségéért, gyakorlati tanácsaiért.

Köszönet illeti *Csendő Lászlóné, Horváthné Rácz Mónika,* és *Szöllősi Zsuzsa* laboránsokat, akik laboratóriumi vizsgálataim előkészítésében és elvégzésében segítettek, továbbá a vizsgálatok végzésénél szakmai és gyakorlati tanácsokkal segítették munkámat.

Köszönöm az Agrokémiai és Talajtani Intézet dolgozóinak, továbbá valamennyi munkatársamnak, akik segítő szándékú szakmai tanácsaikkal, támogató együttműködésükkel segítettek, hogy e dolgozat elkészüljön.