

# **DOKTORI (PhD) ÉRTEKEZÉS TÉZISEI**

**GAZDAG ORSOLYA**

**GÖDÖLLŐ**

**2019**



**SZENT ISTVÁN EGYETEM**

**KÜLÖNBÖZŐ GAZDÁLKODÁSI MÓDOK HATÁSÁNAK VIZSGÁLATA A  
TALAJMIKROBA-KÖZÖSSÉGEK FUNKCIONÁLIS DIVERZITÁSÁRA**

**GAZDAG ORSOLYA**

**GÖDÖLLŐ**

**2019**

## **A doktori iskola**

**megnevezése:** Szent István Egyetem Környezettudományi Doktori Iskola

**tudományága:** Környezettudomány

**vezetője:** Csákiné Dr. Michéli Erika

egyetemi tanár

SZIE, Mezőgazdaság- és Környezettudományi Kar

Környezettudományi Intézet

Talajtani és Agrokémiai Tanszék

**Témavezetői:** Imréné dr. Takács Tünde

tudományos főmunkatárs, PhD

Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani és Agrokémiai Intézet

Talajbiológiai Osztály

Dr. Szili-Kovács Tibor

tudományos főmunkatárs, osztályvezető, PhD

Agrártudományi Kutatóközpont, Talajtani és Agrokémiai Intézet

Talajbiológiai Osztály

.....  
Az iskolavezető jóváhagyása

.....  
A témavezető jóváhagyása

## 1. A MUNKA ELŐZMÉNYEI, A KITŰZÖTT CÉLOK

A talajmikroba-közösség kulcsfontosságú szerepet játszik az agrárökoszisztémák szolgálatában, melyek működőképessége meghatározza az egészséges élelmiszertermelés minőségi- és mennyiségi paramétereit (WILLIAMSON et al. 2011, van LEEUWEN et al. 2017). Az agrárökoszisztémák kialakításánál nagyon fontos tényező a megfelelő, területspecifikus gazdálkodási mód kiválasztása, mely hozzájárul a talajok egészségének és a talajtermékenységnek a fenntartásához (PETRIC et al. 2011).

A konvencionális gazdálkodás a produktivitásra és a mennyiségre, míg az organikus művelésmód a megtermelt élelmiszerek minőségének biztosítására törekszik. Az intenzív talajművelési rendszereket a mechanizált, specializált talajhasználat, a jelentős mennyiségű trágya-, növényvédőszer- és takarmányhasználat jellemez. Így az agrárökoszisztémák jelentős mértékben ezekkel terheltek.

Az irodalmi adatok bizonyítják, hogy az organikus gazdálkodási módok pozitív hatással vannak a talaj minőségére és termékenységére (pl.: talajtápanyagok feltáródása, endemikus-szimbiotikus talajmikroba-populációk diverzitása, enzimaktivitás), ezért napjainkban egyre nagyobb figyelmet kapnak, mint fenntartható mezőgazdasági rendszerek.

Hazánkban az utóbbi években egyre dinamikusabban nő az ökológiai művelés alá vont területek száma – azonban mind termőterület, mind pedig termelői arány tekintetében eltörpül a konvencionális művelés mellett –, ezért indokolt az ehhez kapcsolódó tudományos kutatási háttér biztosítása, kutatási eredményekre alapozott gyakorlat kialakítása (REEVE et al. 2016, GAZDAG et al. 2018).

A talajminőség és talajegészség meghatározására nincsenek standard módszerek. A talajmikroorganizmusok biomasszája, genetikai diverzitása, aktivitása és ezek talajtermékenységre gyakorolt hatása, valamint a stresszfaktorokra adott válaszok fontos tulajdonságok a talajminőség értékelése során.

Hazánkban alapvetően hiányoznak az eltérő talajtípusok és művelésmódok bevonásával végzett összehasonlító komplex mikrobiológiai vizsgálatok. A rendelkezésre álló szakirodalom többsége csak egy-egy talajra vonatkozóan mutatja be a különböző kezelések hatását, vagy több talajtípust hasonlít össze, de csak egy-egy mikrobiológiai jellemző figyelembevételével. A talajmikrobiológiai és talajfizikai, -kémiai paraméterek monitoring rendszerben való alkalmazásában az eredmények értelmezéséhez egy jól kalibrált referenciabázisra lenne szükség (SZILI-KOVÁCS et al. 2009).

A talajbiológiai indikátorváltozók kiválasztása kulcsfontosságú, ugyanakkor kritikus pontja a talajminőség értékelésének, mert a vizsgált talaj tulajdonságai, illetve a célok nagyban befolyásolják azt (NORTCLIFF 2002). Elterjedt az ún. csökkentett változókészlet (minimum data set (MDS)) (SZILI-KOVÁCS et al. 2011) alkalmazása a talajminőség kiértékelésében (SHUKLA et al. 2006, CHUN-JUAN et al. 2013).

Kutatásomban komplex módon, organikus és konvencionális gazdálkodási módból származó három talajtípuson egy kibővített MDS (extended minimum data set) megközelítéssel átfogó elemzést végeztem el a talajmikroba-közösségeken a klasszikus státusz- (főbb talajfizikai- és kémiai paraméterek) és funkcionális vizsgálatok alapján (genetikai- és funkcionális diverzitás, enzimaktivitás, respiráció).

A talajbaktérium-populációk az egészséges élelmiszertermelésben is hosszútávú hatásokkal bírnak, ezért kulcsfontosságú az eltérő gazdálkodási módokkal összefüggő (SCHLOTTER 2003, GARBISU et al. 2011, GAZDAG et al. 2019b) szakterületnek a kutatása.

A kutatás során az eltérő textúrával rendelkező talajtípusokat és gazdálkodási módokat (Karcag: agyagtalaj (organikus), agyagos-vályogtalaj (konvencionális), Martonvásár: vályogtalaj (organikus), vályogtalaj (konvencionális), Nyíregyháza: homokos-vályogtalaj (organikus), homoktalaj (konvencionális)) vizsgáltam, hogy milyen változást idéznek elő a talajbaktérium-közösségek diverzitásában, azok egymáshoz viszonyított arányában és a talajbaktérium-közösség összetételében.

A doktori kutatás fő célkitűzéseire alkalmazott multikritériumos elemzés a következő összetevőkből épül fel:

- 1. A kísérleti területek talajainak jellemzése főbb talajfizikai és -kémiai tulajdonságok alapján**
  - fizikai talajféleség
  - EC, pH<sub>H<sub>2</sub>O</sub>, nitrogénformák, humusz- és széntartalom
  - AL-oldható tápelemtartalmak, főbb mezo- és mikroelem tartalmak
- 2. A kísérleti területek talajainak funkcionális vizsgálatai**
  - Fluoreszcein-diacetát hidrolitikus-aktivitás (FDA)
  - Alaprespiráció (BRESP)
  - Mikrobiális biomassza (SIR)
  - Közösségi szintű fiziológiai mintázatelemzés (CLPP: MicroResp™)
  - Kitenyészhető mikrobaszámok (CFU)
- 3. A kísérleti területek talajainak molekuláris genetikai vizsgálatai**
  - talajból történő baktérium DNS-izolálás módszertani fejlesztése
  - PCR, nested-PCR optimalizációja
  - DGGE optimalizációja
  - szekvenálás
- 4. Az elemzésbe vont fenti teljesítmény jellemzők több szempontot egyszerre figyelembe vevő, multikritériumos komplex értékelése**
  - egytényezős varianciaanalízis (ANOVA)
  - Pearson-korreláció
  - rangsor-korreláció (SRD)

A jelen doktori értekezés gyakorlati célja, hogy a fenti multikritériumos elemzéssel a mennyiségi és minőségi információn túl egy átfogó elemzést kívánok nyújtani a talajmikrobaközösségek rizoszférában betöltött funkcióiról, teljesítménymutatóiról, az adott gazdálkodási mód fenntarthatóságáról. Ezen eredmények további vizsgálatok alapjait képezhetik. Segítséget nyújthatnak monitoring rendszerek számára indikátorok kiválasztásának tekintetében, melyek — műveléshatás alapján — talajok elkülönítésére alkalmasak.

## 2. ANYAG ÉS MÓDSZER

### 2.1. Mintavételi helyek bemutatása, mintavétel

A mintavételi területek kijelölésénél az egyik fő szempont a talajok különböző fizikai félesége, míg a másik az eltérő gazdálkodási mód (organikus és konvencionális) volt. A három jellegzetesen eltérő fizikai-féleségű talajt reprezentáló mintaterületünk Martonvásár, Karcag és Nyíregyháza területein található. A vizsgálatokba bevont talajminták a rizoszférából származtak. A talajmintavétel 2011-ben ősszel, 2012-ben tavasszal történt. A három területen egy organikus művelésű és egy konvencionális táblát mintáztam. A terület átlója mentén 10 méterenként, 0-20 cm-es talajmélységből vettem a talajmintákat, egy mintavételi területről 12 ismétlésben. A három területről összesen 144 talajmintát gyűjtöttem be a két év alatt. A talajmintákat a nagyobb növényi részek eltávolítása után 2 mm-es szitán átszitáltam, majd a fizikai és kémiai talajvizsgálatokig légszáraz állapotban tároltam. A mikrobiológiai vizsgálatokhoz a talajokat +4 °C-on, molekuláris elemzésekhez pedig -20 °C-on tároltam a mihamarabbi felhasználásig.

A minták talajfizikai vizsgálata alapján azok szemcseméret besorolása a textúraháromszög alapján:

- Karcag, organikus területe agyag talaj=AO
- Karcag, konvencionális területe agyagos vályogtalaj=AVK,
- Martonvásár, organikus területe vályogtalaj=VO,
- Martonvásár, konvencionális területe vályogtalaj=VK,
- Nyíregyháza, organikus terület vályogos homoktalaj=VHO,
- Nyíregyháza, konvencionális terület homoktalaj=HK.

#### 2.1.1. Karcagi kísérleti terület

A talajmintavétel az OMTK Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Karcagi Kutatóintézet telephelyén történt. A mintázott konvencionális terület az OMTK 17, AI. 16. parcellája (5,67 ha) volt. A mintavétel évében cirok és őszibúza (2011) majd ismét őszibúza (2012) volt vetve a parcellákon. Az organikus művelésű területek esetében a minták az M1 tábláról (5,67 ha) származtak, ahol a mintavételkor somkóró (2011; *Melilotus*; Fabaceae) és köles (2012; *Panicum miliaceum*, Poaceae) volt a területen. A táblák GPS koordinátái: é. sz. 47° 16' 47'', k. h. 20° 53' 12''. A karcagi talaj nehézaggyag, agyagos vályog textúrájú, réti csernozjom (STEFANOVITS 1972), (WRB) (FAO 2015).

#### 2.1.2. Martonvásári kísérleti terület

Az MTA Agrártudományi Kutatóközpont martonvásári tanúsított organikus tenyészkertjében 20 éve sem trágyázás, sem növényvédőszer alkalmazása nem történt (MIKÓ et al. 2014). A területen a talajmintavétel éveiben zöldborsót (2011; *Pisum sativum*; Fabaceae) és gabonát (2012), majd ősszel kalászosokat vetettek. Az organikus terület mellett helyezkednek el az üzemi művelési parcellák. Itt a mintavétel évében a területen tavaszi búzát (2011; *Triticum aestivum*; Poaceae) és kukoricát (2012; *Zea mays*; Poaceae) vetettek. A martonvásári talaj agyagos vályog textúrájú, mészlepedékes csernozjom (STEFANOVITS 1972), (WRB) (FAO 2015). Mindkét terület 0,5-0,5 hektáron terül el, melynek GPS koordinátái a következők: é. sz. 47° 18' 38'', k. h. 18° 46' 45''.

### 2.1.3. Nyíregyházi kísérleti terület

A Debreceni Egyetem Agrártudományi Központ Nyíregyházi Kutatóintézet üzemi területén helyezkedik el a Westsik-féle vetésforgó tartamkísérlet. A mintavételkor a 15. parcellából (é. sz. 47° 58' 42'', k. h. 21° 40' 52'') vettünk talajmintákat a domb aljától a domb tetejéig (6,70 ha). A mintavétel éveiben a területen rozst (*Secale cereale*, Poaceae) (2011) valamint rozst és szösös bükkönyt (*Vicia villosa*, Fabaceae) (2012) vetettek. A Nyíregyházi Kutatóintézet ökológiai gazdálkodású területéről a mintavétel a 16-os parcellából történt (14,9 ha) é. sz. 47° 58' 48'', k. h. 21° 40' 33'', ahol 2011-ben tönkölybúzát (*Triticum spelta*, Poaceae) és lucernát (*Medicago sativa*, Fabaceae), míg 2012-ben pohánkát (*Fagopyrum esculentum*, Polygonaceae) és borsót (*Pisum sativum*, Fabaceae) termesztettek. A nyíregyházi talaj humuszos homok (STEFANOVITS 1972), (WRB) (FAO 2015).

## 2.2. Státuszvizsgálatok

### 2.2.1. A talajok főbb fizikai és kémiai vizsgálata

A talajok fizikai-kémiai tulajdonságainak vizsgálata a Magyar Tudományos Akadémia Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézet Központi Laboratóriumában valósult meg. A talajnedvességet szárítószekrényes módszerrel (105 °C-on, súlyállandóságig) határoztuk meg. A talaj fizikai vizsgálatai során meghatároztuk azok szemcseméret eloszlását, ahol az agyag és a vályog frakciók meghatározása pipettázással, a homoktalajé pedig szitálással történt (MSZ 08-0205:1978) (BUZÁS et al. 1993). Az elektromos vezetőképesség (EC 2,5), 1:2,5 talaj:víz arányú szuszpenziójában (mS/cm), a pH<sub>(H<sub>2</sub>O)</sub> az MSZ 08-0206-2:0178 szabvány szerint lett mérve. A talaj KCl-oldható NH<sub>4</sub><sup>+</sup>-N (mg/kg)- és NO<sub>3</sub>-N (mg/kg)-tartalmak meghatározását, az összes N (%) mennyiségét az MSZ 08-0458-80 szabvány szerint mértük meg (TYURIN 1937, BARANYAI et al. 1987). A humusztartalmat (%) TYURIN (1937) alapján mértük. Az AL (ammónium-laktát)-oldható Ca (m/m%), K<sub>2</sub>O (mg/kg), Na (mg/kg), P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (mg/kg) tartalmakat az MSZ 20135:1999 szabvány szerint határoztuk meg (EGNER et al. 1960). A talajminták mezo- és mikroelemtartalom-átlagainak mérése (Mg, B, Cu, Fe, Mn, S, Zn) Lakanen Erviö kioldással (LAKANEN és ERVIÖ 1971), induktívan kapcsolt plazma atomemissziós spektrométerrel (ULTIMA 2 ICP Optical Emission Spectrometer, Jobin Yvon Technology, HORIBA France SAS, Montpellier, Franciaország) az MSZ 21470-50:2006 szabvány szerint történt.

## 2.3. Funkcionális vizsgálatok

### 2.3.1. Tenyésztésen alapuló talaj-mikrobiológiai vizsgálatok, csíraszámbecslés

Valamennyi talajminta esetében tizedelő hígítási sorozatot készítettem (SZEGLI 1979, BORSODI 2018). Az egyes talajmikrobák kitenyésztéséhez az egyes hígítási tagokból végeztem el a kitenyésztést 3 ismétléssel (KÖDÖBÖCZ et al. 2013). A talajban élő *Bacillus* sp. és spórás baktériumot Nutrient agar (Merck Millipore, Németország) segítségével, a mikro-gombákat Bengál rózsza agaron (Merck Millipore, Németország), míg az aktinomiceteseket *Actinomyces* agar segítségével (HiMedia Laboratories, India) tenyésztettem ki. A kinőtt telepek leszámolása után a csíraszám (telepképző egységek, colony forming unit - CFU-k) becslését 1 g száraz talajra vonatkoztatva adtam meg.

## **2.3.2. Talaj enzimaktivitás vizsgálat (FDA)**

A rizoszféra talajmintákban található mikroorganizmusok összes aktivitását fluoreszcenciadiacetát (FDA) hidrolízissel SCHNÜRER és ROSSWALL (1982), valamint az ADAM és DUNCAN (2001) módszerei szerint végeztem el kisebb módosítással (VILLÁNYI et al. 2006).

## **2.3.3. Talajrespirációs vizsgálatok**

### **2.3.3.1. Alap és szubsztrát-indukált respiráció**

A talajmintákban lévő talaj mikrobióta aktivitásának vizsgálatára alap (basal respiration-BRESP) és szubsztrát-indukált respiráció (substrate-induced respiration-SIR) elemzéseket hajtottam végre. Az egyes mintákból 3-3 párhuzamossal dolgoztam ( $n=4$ /kezelés). Előkészítés után a talajmintákban 4 és 24 óra elteltével megmértem a termelődött  $\text{CO}_2$  mennyiségét, majd kiszámoltam a  $\text{CO}_2$ -képződés sebességét és az alaprespirációt ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ). Ugyanabból a talajmintából mértem meg a szubsztrát-indukált respirációt is 200-200  $\mu\text{l}$  D-glükózoldat (Reanal Labor, Budapest) ( $8 \text{ mg glükóz g}^{-1}$  talaj) hozzáadásával. A BRESP és a SIR során képződött  $\text{CO}_2$ -ot gázkromatográf készülékkel mértem (GC 8000, Fisons, Rodano, Olaszország) (SZILIKOVÁCS és TÖRÖK, 2005) és a Clarity 4.0 szoftver (DataApex Ltd., Prága, Csehország) segítségével határoztam meg.

### **2.3.3.2. Mikrorespirációs mérés**

A mikrorespirációs kísérlet során 23 szénforrást és kontrollként desztillált vizet használtam, az egyes mintákból 4-4 párhuzamossal ( $n=4$ /kezelés) (ANANYEVA et al. 2008). Egy-egy szubsztrát plétenként 4 ismétlésben található meg. A szubsztrát oldatok pH-ját 5,00–7,34 közé állítottam be 1n NaOH vagy 1n HCl oldat hozzáadásával.

## **2.4. Tenyésztéstől független, mikrobiális közösség molekuláris vizsgálatok**

### **2.4.1. Talajbaktérium nukleinsav-izolálás**

A tavaszi talajmintákból mikroba DNS-t izoláltam a „Soil Microbe DNA MiniPrep Kit”-tel (Zymo Research, Irvine, USA). A kivont DNS koncentrációját ND 1000 NanoDrop™ spektrofotométer (Thermo Fisher Scientific, Wilmington, USA) segítségével mértem. A nukleinsav koncentráció meghatározásán túl ( $\lambda=260 \text{ nm}$ -en vizsgálva) a kapott abszorbanciákból lemértem a huminsavakat ( $\lambda=230 \text{ nm}$ ) és a fehérje ( $\lambda=280 \text{ nm}$ ) szennyeződések (KÖDÖBÖCZ és MURÁNYI, 2012).

#### **2.4.1.1. Talajbaktérium nukleinsav-izolálás módszertani fejlesztése**

Az őszi és a tavaszi talajmintákból DNS-izolálást végeztem el a fenti kittel. A mennyiségi (koncentráció  $\text{ng}/\mu\text{l}$ ) és minőségi (huminsav 260/230 nm, fehérje 260/280 nm) vizsgálatokat a ND 1000 NanoDrop™ spektrofotométerrel mértem. Ezzel célom volt megállapítani, hogy van-e szignifikáns különbség az egyes évszakok között a vizsgált paraméterek tekintetében. Azt feltételeztem, hogy a „Soil Microbe DNA MiniPrep Kit”-es (Zymo Research) talajból történő DNS feltárás hatékonyságát javítani lehet, melyhez négyféle rázatási módszert teszteltem. Célom volt a talajaggregátumok eredményesebb szétválása, a kivont DNS mennyiségi- és minőségi mutatóinak javítása. Az előkísérletem eredményeit alapul véve a leghatékonyabb évszakkal (tavaszi) és talajtípusokkal (VO) a DNS mennyiségi- és minőségi mutatóinak javítását különböző fizikai talajkezelési eljárásokkal fejlesztettem. Ehhez maximális fokozaton teszteltem a következő készülékeket, háromféle időtartalommal:



A) homogenizáló, FastPrep-24™, (mpbio™, Kuvait, Közel-Kelet, 90-250 V, 50-60 Hz, 1200 W, 1-60 másodperc, sebesség 4,0-6,5 fordulat/másodperc, 1, 3, 5 perc rázatási idő.

B) horizontális vortex, (Pulsing Vortex Mixers, VWR® International, Radnor, Pennsylvania, 120 V, 50-60 Hz, 3200 fordulat/perc), 1, 5, 10 perc rázatási idő.

C) sejtmalom, (Mini-Bead Beater-16 (MIDSCI), St. Louis, Amerika, 115 V, 60 Hz, 3450 fordulat/perc), 1, 3, 5 perc rázatási idő.

D) vortex, (ZX3 Vortex Mixer, VELP Scientifica, Inc., Bohemia, Egyesült Államok, 100-240 V, 50-60 Hz, 3000 fordulat/perc), 1, 5, 10 perc rázatási idő.

Majd a kísérletet megismételtem a leghatékonyabb rázatási időkkel az egyes rázatógépekre a másik két talajtípusra is (AO, VHO). A mérések során 5 párhuzamossal dolgoztam. A rázatást követően az egyes mintákkal a gyártó utasításait követve folytattam a DNS kivonást a fenti kittel. Majd a kapott DNS minőségi- és mennyiségi paramétereit a ND-1000 NanoDrop™ spektrofotométerrel és száloptikás mikroküvetével ellátott (Hellma TrayCell®, Dialab Kft., Budapest) spektrofotométer (Helios Beta, Thermo Spectronic, Thermo Fisher Scientific, Wilmington, USA) készülékkel mértem.

#### **2.4.2. A talajmikroba DNS felszaporítása fészek (nested) - polimeráz láncreakcióval (PCR)**

A tavaszi talajminták 16S rDNS génszakasz analízisére PCR-módszert végeztem. Az első PCR-reakcióban „külső” primerpárként (F203 $\alpha$ ; R1494)  $\alpha$ -proteobaktériumokra specifikusat (nitrogénkötő-baktériumok kimutatása) alkalmaztam. A második PCR-reakcióban a „belső”, baktériumokra univerzális primerpárral (F984GC; R1378) történt a felszaporítás (GOMES et al. 2001). A fészek-PCR első amplifikációja ICYCLER Thermal Cycler készülékben (Bio-Rad Laboratories, Applied Biosystems, Foster, Kalifornia, USA) 25  $\mu$ l végtérfogatban történt. A kezdő denaturációt (95 °C, 4 perc) 30 ciklusban ismétlődő denaturáció (95 °C 30 másodperc), annealációs hőmérséklet (56 °C, 30 másodperc) és extenzió követett (72 °C, 1 perc), 72 °C-os, 10 perces végső extenzióval. A fészek-PCR második amplifikációja hasonló körülmények között történt, mint az első, F984GC; R1378 primerpárral (Biocenter Laboratóriumi szolgáltató Kft, Szeged), 53 °C-os annealációs hőmérséklettel, templátként az előző körben felszaporított PCR-terméket alkalmaztam. A DNS-ek elektroforézises elválasztásakor a kapott fragmentumok méretét DNS molekulatömeg markerrel (GeneRuler™ 1 kb Plus DNA Ladder, Thermo Scientific) határoztam meg. A vizsgált DNS-eket 1,5 %-os agaróz TAE gélben, 1xTAE (50x TAE Buffer (Tris-acetate-EDTA, Lonza, Belgium) futtatópuffer jelenlétében (GR Safe Nucleic Acid Gel Stain, 10000x) fluoreszcens festékkel tettem láthatóvá.

#### **2.4.3. A talajmikroba *nifH* gén felszaporítása polimeráz láncreakcióval (PCR)**

A tavaszi talajminták (kezelésenként n=4) mikrobáinak *nifH* génjét PCR-módszerrel mutattam ki. A PCR-reakcióban a *nifH* FOR és a *nifH* REV primerpárokat alkalmaztam, a nitrogénkötő-baktériumok detektálása céljából. A PCR-es amplifikáció 12,5  $\mu$ l végtérfogatban történt. A PCR-reakció hőprofilja megegyezett a korábban alkalmazott univerzális bakteriális primerekével. A *nifH* gén PCR-termék-elválasztás (457 bp) agaróz gélelektroforézissel történt.

#### **2.4.4. Denaturáló gradiens gélelektroforézis (DGGE)**

A DGGE (Denaturate Gradients Gel Electrophoresis - Denaturáló Gradiens Gélelektroforézis)-hez a nested-PCR-rel felszaporított 16S rRNS génszakaszt használtam fel, a

PCR-termékeket 7 %-os poliakrilamid gélben futtattam meg az INGENYphorU készülékben (Ingeny International, Hollandia), HYBAID PS 250 futtatóegységgel (Thermo Hybaid, USA).

A gél mintázatának kiértékeléséhez a TotalLab TL120 (TotalLab, Anglia) szoftvert alkalmaztam. UV-transzilluminátor fölött steril szikével kivágtam a gélből azokat a különálló elektroforetikus csíkokat, amik a mintázat alapján feltehetően egy-egy taxonnak feleltethetőek meg. Majd a 984GC forward és 1378 reverse primerek felhasználásával, PCR-módszerrel felszaporítottam és 1,5 %-os agaróz gélelektroforézissel ellenőriztem a PCR-termékek jelenlétét, minőségét.

#### **2.4.5. Szekvenálás kapilláris elektroforézissel**

A PCR-termékek szekvenciájának meghatározásához a Magyar Tudományos Akadémia Szegedi Biológiai Kutatóközpont Sanger-féle szekvenáló laboratórium szolgáltatásait vettük igénybe, ahol a kapilláris szekvenálást egy 8 kapillárisos, 3500-as szériájú Genetic Analyzer (Life Technologies) készülékkel végezték el.

#### **2.5. Az adatok statisztikai értékelése**

Az alap adatokat a Microsoft Office Excel 2016-os program segítségével értékeltem. A kiugró értékeket szelektáltam, majd a statisztikai elemzéshez az SPSS 25.0. (IBM Corp., Armonk, NY, USA) programot alkalmaztam. Az adatok kiértékelésénél a 95 %-os ( $p \leq 0,05$ ) megbízhatósági szintet vettem alapul. Az adatok normalitását és szóráshomogenitását vizsgáltam a feltételvizsgálat során. A szóráshomogenitás elemzéséhez a Levenne-tesztet, a normalitás vizsgálatához a Shapiro-Wilk-tesztet alkalmaztam, majd egytényezős varianciaanalízist (ANOVA) használtam a kapott eredmények összevetésére. Szóráshomogenitás esetén az eltérő kezelések páronkénti összehasonlításánál (eltérő évszakok és gazdálkodási módok) Tukey HSD post hoc-tesztet, szórásinhomogenitás esetén pedig Games-Howell-tesztet végeztem el. A talajbaktérium nukleinsav-izolálás módszertani fejlesztéséhez a teljesítménymutatók több paramétert egyszerre figyelembe vevő komplex statisztikai értékeléshez az SRD szoftvert használtam.

A főbb talaj fizikai-, kémiai- és mikrobiológiai tulajdonságok közötti összefüggés jellemzését a Pearson-féle korrelációs együttható értékkel számítottam ki. A fenti paraméterekere a két évszak tekintetében multikritériumos összehasonlítást végeztem az ún. RV koefficiens segítségével.

### 3. EREDMÉNYEK

#### 3.1. Státusz vizsgálatok eredményei

##### 3.1.1. Elektromos vezetőképesség

Az EC értéken belül szignifikáns különbséget mutattam ki az évszakok közt (évszak:  $F(1;125)=63,3$ ;  $p\leq 0,001$ ), a talajtípusok/gazdálkodási módok közt (talaj:  $F(1;125)=112$ ;  $p\leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak  $F(1;125)=22,8$ ;  $p\leq 0,001$ ). 2011 őszén a legnagyobb EC értékekkel az AVK talaj ( $0,418\pm 0,128$  mS/cm), a legkisebbel a HK ( $0,057\pm 0,014$  mS/cm) rendelkezett. 2012 tavaszán a legnagyobb EC értéket a VK szolgáltatta ( $0,258\pm 0,038$  mS/cm), míg a legkisebb megegyezett az őszi HK esetével ( $0,027\pm 0,006$  mS/cm).

##### 3.1.2. $pH_{H_2O}$ -értékek

A összesített  $pH_{H_2O}$ -értékek esetében az évszakok közt (évszak:  $F(1;129)=1,16$ ;  $p=0,284$ ) valamint a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között nem találtam szignifikáns eltérést (talaj\*évszak:  $F(1;129)=1,57$ ;  $p=0,170$ ), ezzel szemben a talajtípusok/gazdálkodási módoknál igen (talaj:  $F(1;129)=282$ ;  $p\leq 0,001$ ). 2011 őszén a legmagasabb  $pH_{H_2O}$ -értéket az VK talajtípus adta ( $7,85\pm 0,12$ ), a legalacsonyabbat pedig a HK ( $5,45\pm 0,24$ ). 2012 tavaszán a legmagasabb  $pH_{H_2O}$ -értéket az VO talajtípusnál ( $7,93\pm 0,14$ ), a legalacsonyabbat az őszihez hasonlóan a HK-nál detektáltam ( $5,40\pm 0,11$ ).

##### 3.1.3. N-formák, humusz- és széntartalom

Az összesített  $NH_4^+$ -N értékeknél szignifikáns eltérést mutattam ki az évszakok közt (évszak:  $F(1;123)=31,7$ ;  $p\leq 0,001$ ), a talajtípusok/gazdálkodási módoknál (talaj:  $F(1;123)=22,6$ ;  $p\leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;123)=10,3$ ;  $p\leq 0,001$ ). 2011 őszén a legnagyobb  $NH_4^+$ -N értéket az AVK talaj ( $5,33\pm 2,23$  mg/kg), míg a legalacsonyabbat a HK adta ( $2,06\pm 1,25$  mg/kg). Tavasszal a legmagasabbat az őszi évszakkal megegyezően az AVK esetében detektáltam, amely a többihez képest kiugróan magas értéket mutatott ( $15,9\pm 8,9$  mg/kg, a legalacsonyabb értéket a VHO-nál mértem ( $2,54\pm 0,91$  mg/kg).

A  $NO_3^-$ -N adatoknál is szignifikáns eltérést mutattam ki az évszakok közt (évszak:  $F(1;129)=70,9$ ;  $p\leq 0,001$ ), a talajtípusok/gazdálkodási módoknál (talaj:  $F(1;129)=17,9$ ;  $p\leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;129)=22,0$ ;  $p\leq 0,001$ ). Összel a legmagasabb értéket a VO talajtípusnál mutattam ki ( $34,4\pm 19,2$  mg/kg), ehhez képest a legalacsonyabbat az AO esetében ( $7,05\pm 1,87$  mg/kg). Tavasszal a legnagyobbat az VK ( $40,2\pm 17,9$  mg/kg), a legkisebbet a HK-nál mértem ( $1,19\pm 0,44$  mg/kg).

Az összes nitrogént tekintve a két évszak között szignifikáns eltérést tapasztaltam (évszak:  $F(1;131)=16,5$ ;  $p\leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módoknál (talaj:  $F(1;131)=961$ ;  $p\leq 0,001$ ), ellenben a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között nem volt eltérés (talaj\*évszak:  $F(1;131)=2,20$ ;  $p=0,058$ ). A 2011-es őszi legnagyobb összes nitrogén-értéket az AO talajnál mértem ( $0,219\pm 0,009$  %), a legkisebbet pedig a HK-nál ( $0,059\pm 0,005$  %). A 2012-es tavaszi értékek is hasonló trendet mutattak, mivel a legmagasabb érték szintén az AO-nál ( $0,207\pm 0,006$  %), míg a legalacsonyabb ugyancsak a HK esetében ( $0,045\pm 0,016$  %) volt.

Az összesített humusztartalmak esetében az évszakok (évszak:  $F(1;132)=0,615$ ;  $p=0,434$ ) közt nem, ellenben az eltérő talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;132)=915$ ;  $p\leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;132)=2,32$ ;  $p\leq 0,001$ ) szignifikáns eltérés mutatkozott. Az őszi humusz értékeknél az AO talaj szolgáltatta a legmagasabb értéket ( $4,07\pm 0,30$  %), a VHO a legalacsonyabbat ( $0,905\pm 0,240$  %). A tavaszi tendencia szinte ezzel megegyezett, az AO ( $4,04\pm 0,17$  %) és a HK ( $0,717\pm 0,130$  %) volt a két szélsőérték.

A széntartalmaknál az évszakok (évszak:  $F(1;131)=0,247$ ;  $p=0,620$ ) közt nem, viszont az eltérő talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;131)=1003$ ;  $p\leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;131)=2,79$ ;  $p\leq 0,001$ ) szignifikáns eltérést detektáltam. Ősszel a legmagasabb széntartalmat az AO ( $2,32\pm 0,11$  %), a legalacsonyabbat a VHO ( $0,525\pm 0,137$  %) produkálta. Ehhez képest hasonló tendenciát észleltem tavasszal is, az AO ( $2,34\pm 0,10$  %) és a HK ( $0,415\pm 0,076$  %) esetében.

Az összes nitrogén-, humusz- és a széntartalmak az agyagos talajtól a homokig csökkenő tendenciát mutatnak.

### 3.1.4. AL-oldható elemtartalmak (Ca, Na, $P_2O_5$ , $K_2O$ )

Az AL-Ca értékek szerint a különböző évszakok (évszak:  $F(1;101)=0,015$ ;  $p=0,903$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;101)=0,094$ ;  $p=0,993$ ) szignifikáns eltérés nem, ellenben a talajtípusok/gazdálkodási módoknál (talaj:  $F(1;101)=122$ ;  $p\leq 0,001$ ) megfigyelhető volt. Ősszel a legmagasabb érték a VO esetében mutatkozott meg ( $16790\pm 5521$  mg/kg), a legalacsonyabb pedig a HK-nál ( $317\pm 49$ ), ehhez hasonlóan alakult tavasszal is a két érték: VO ( $16295\pm 5219$  mg/kg), HK ( $317\pm 49$  mg/kg).

Az AL-Na értékeket tekintve az eltérő évszakok (évszak:  $F(1;115)=39,8$ ;  $p\leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módoknál (talaj:  $F(1;115)=193$ ;  $p\leq 0,001$ ), valamint a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;115)=2,44$ ;  $p\leq 0,001$ ) szignifikáns eltéréseket mutattam ki. A 2011-es őszi minták közül az AO-nál mértem a legnagyobb AL-Na értéket ( $52,5\pm 14,6$  mg/kg), a legalacsonyabbat a HK szolgáltatta ( $8,16\pm 1,83$  mg/kg). Tavasszal ugyanaz a tendencia volt megfigyelhető az AO ( $53,2\pm 13,0$  mg/kg) és a HK ( $2,28\pm 1,03$  mg/kg) átlagok tekintetében. Mind a két évszakban az AO esetében jelentősen magasabb értékeket mértem a többi érték átlagához képest.

Az AL- $P_2O_5$  értékek esetében a talajtípusoknál/gazdálkodási módoknál (talaj:  $F(5;112)=543$ ;  $p\leq 0,001$ ) szignifikáns eltérést tapasztaltam, viszont az évszakok (évszak:  $F(1;112)=1,17$ ;  $p=0,280$ ), és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(5;112)=1,96$ ;  $p=0,089$ ) nem detektáltam ilyen különbséget. Mind a két évszak legmagasabb értékeit a VO talaj adta, ősszel ( $594\pm 49$  mg/kg) is és tavasszal ( $610\pm 51$  mg/kg) is. A legalacsonyabb értékeket egységesen az AO talajokhoz tartoztak, (őszi:  $75,9\pm 18,9$  mg/kg), (tavasz:  $68,6\pm 15,7$  mg/kg).

Az összesített AL- $K_2O$ -nál szignifikáns különbséget mutattam ki a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(5;122)=211$ ;  $p\leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(5;122)=16,7$ ;  $p\leq 0,001$ ), az évszakok esetében szignifikáns eltérést nem tapasztaltam ( $F(1;122)=3,93$ ;  $p=0,051$ ). Az őszi tendencia alapján a legmagasabb értéket a VO talajnál ( $540\pm 74$  mg/kg), ezzel szemben a legalacsonyabbat pedig a VHO talajnál detektáltam ( $167\pm 62$  mg/kg). Az őszi értékek szinte megegyeztek a tavasszal (tavasz: VK  $655\pm 64$  mg/kg; VHO  $163\pm 29$  mg/kg).

## 3.2. Funkcionális vizsgálatok eredményei

### 3.2.1. Tenyésztésen alapuló talajmikrobiológiai csíraszámok

Az *Actinomycetes* csíraszámokat tekintve szignifikáns eltéréseket találtam az évszakok (évszak:  $F(1;128)=252$ ;  $p\leq 0,001$ ) a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;128)=91,7$ ;  $p\leq 0,001$ ), valamint a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;128)=15,2$ ;  $p\leq 0,001$ ). Ősszel a legmagasabb csíraszám értékeket az AVK talajmintában ( $7,91\pm 0,23$  logCFU/g száraz talaj), míg a legalacsonyabbat a HK esetében mértem ( $6,39\pm 0,20$  logCFU/g száraz talaj). Tavasszal viszont a maximális értéket a VO ( $8,39\pm 0,16$  logCFU/g száraz talaj), a minimumot a VHO prezentálta ( $7,33\pm 0,26$  logCFU/g száraz talaj).

A *Bacillus* sp. csíraszámok tekintetében szignifikáns különbséget találtam az évszakok (évszak:  $F(1;99)=15,2$ ;  $p\leq 0,001$ ) a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;99)=48,6$ ;  $p\leq 0,001$ ), valamint a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;99)=19,7$ ;  $p\leq 0,001$ ). A HK talaj esetében 1 g talajra vonatkoztatva ősszel és tavasszal is  $10^4$  csíraszámot detektáltam. A tavaszi esetében a mért  $n=2$  adat, nem alkalmas statisztikai elemzésre, így a két év statisztikailag nem összevethető. Az alacsony csíraszám valószínűsíthető oka a savanyú, tápanyagszegény homoktalaj. Az őszi adatok ( $n=7$ ) tekintetében megállapítást nyert, hogy az egyes talaj\*gazdálkodási mód közt nem, viszont az eltérő talajok közt szignifikáns eltérés volt tapasztalható ( $p\leq 0,001$ ). Az őszi periódusban a legmagasabb értéket a VO talaj szolgáltatta ( $4,41\pm 0,18$  logCFU/g száraz talaj), a legalacsonyabbat pedig az AO ( $4,08\pm 0,18$  logCFU/g száraz talaj), míg tavasszal a maximális érték a VHO-hoz ( $4,80\pm 0,40$  logCFU/g száraz talaj), a minimum pedig – az ősziével megegyező – az AO-hoz tartozott ( $3,41\pm 0,32$  logCFU/g száraz talaj).

A Bengal Rose táptalajon detektált mikrogomba CFU-k esetében az előzőekhez hasonlóan szintén szignifikáns eltéréseket tapasztaltam az évszakok (évszak:  $F(1;132)=143$ ;  $p\leq 0,001$ ) a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;132)=106$ ;  $p\leq 0,001$ ), valamint a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója közt (talaj\*évszak:  $F(1;132)=24,0$ ;  $p\leq 0,001$ ). Az őszi évszakban a legmagasabb csíraszám értékeket az AO és az AVK együttesen prezentálta ( $5,64\pm 0,15/0,36$  logCFU/g száraz talaj), ehhez képest a legalacsonyabbat a VHO adta ( $4,27\pm 0,24$  logCFU/g száraz talaj). Tavasszal a VO talaj esetén mértem a maximális értéket ( $5,70\pm 0,13$  logCFU/g száraz talaj), a minimumot pedig az ősziével megegyező VHO mutatta ( $4,85\pm 0,27$  logCFU/g száraz talaj).

A fentiekhez hasonlóan a spórásoknál is szignifikáns különbséget detektáltam az évszakok (évszak:  $F(1;120)=10,0$ ;  $p\leq 0,001$ ) a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;120)=141$ ;  $p\leq 0,001$ ), valamint a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója közt (talaj\*évszak:  $F(1;120)=78,9$ ;  $p\leq 0,001$ ). 2011 őszén a legjelentősebb csíraszám értékeket az AO szolgáltatja ( $6,51\pm 0,12$  logCFU/g száraz talaj), míg a legalacsonyabbakat a VHO ( $4,30\pm 0,27$  logCFU/g száraz talaj). Ehhez képest a tavaszi évszakban a tendencia következőképpen alakult: max.: VO  $5,52\pm 0,10$  logCFU/g száraz talaj, min.: HK  $4,45\pm 0,30$  logCFU/g száraz talaj).

A tavaszi mintavétel eredményei tendenciájukat tekintve megegyeznek az őszi mintavétel eredményeivel, de értékükben minden esetben szignifikáns eltérés tapasztalható.

### 3.2.2. Talaj enzimaktivitás vizsgálat (FDA)

Az FDA értékek tekintetében szignifikáns eltérést az évszakoknál (évszak:  $F(1;127)=0,013$ ;  $p=0,908$ ) nem mutattam ki, viszont a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;127)=77,2$ ;  $p\leq 0,001$ ), a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;127)=13,3$ ;  $p\leq 0,001$ ) igen. A két évszakban ugyanaz a talajtípus és gazdálkodási mód (AO) adta a legnagyobb (max.: őszi:  $96,3\pm 28,5$   $\mu\text{gFl/g talaj/óra}$ ; tavasz:  $59,2\pm 23,4$   $\mu\text{gFl/g talaj/óra}$ ) és a legkisebb (VHO) értékeket (min.: őszi:  $11,1\pm 5,4$   $\mu\text{gFl/g talaj/óra}$ ; tavasz:  $13,8\pm 6,5$   $\mu\text{gFl/g talaj/óra}$ ).

### 3.2.3. Talajrespirációs vizsgálatok

#### 3.2.3.1. Alap- és szubsztrát-indukált respiráció

Az összesített BRESP értékek tekintetében szignifikáns eltérést tapasztaltam az évszakok (évszak:  $F(1;34)=135$ ;  $p\leq 0,001$ ) a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;34)=4,05$ ;  $p\leq 0,001$ ), a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;34)=3,41$ ;  $p\leq 0,001$ ). Ősszel a legmagasabb BRESP értéket az AVK ( $0,330\pm 0,163$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) és a legalacsonyabbat a VK talaj adta ( $0,044\pm 0,007$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ). Tavasszal az értékek szignifikánsan nagyobbak voltak (max.: VO  $0,814\pm 0,202$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ; min.: VK  $0,448\pm 0,133$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ).

A SIR értékek esetében a BRESP-pel megegyezően szignifikáns eltérést tapasztaltam az évszakok (évszak:  $F(1;36)=134$ ;  $p\leq 0,001$ ) a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;36)=147$ ;  $p\leq 0,001$ ), a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;36)=21,3$ ;  $p\leq 0,001$ ). Az őszi legmagasabb SIR értéket az AO talaj adta ( $6,46\pm 0,39$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ), ehhez képest pedig a legalacsonyabbat a VHO mutatta ( $0,45\pm 0,14$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) értékkel. Tavasszal a legnagyobb SIR aktivitást a VO talaj adta ( $7,74\pm 1,05$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ), a legalacsonyabb értéket pedig az őszi megegyező VHO talaj ( $1,81\pm 0,40$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ).

#### 3.2.3.2. Mikrorespirációs eredmények

A vizsgált 23 szubsztrát összesített katabolikus aktivitása közül a citrát szolgáltatta mind a két évszagnál a legmagasabb értékeket, míg a lizin a legalacsonyabbat. A citrát eredmények tükrében szignifikáns eltérést tapasztaltam a talajtípusok/gazdálkodási módoknál (talaj:  $F(1;36)=4,51$ ;  $p\leq 0,001$ ), ellenben az évszakok (évszak:  $F(1;36)=0,957$ ;  $p=0,334$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között (talaj\*évszak:  $F(1;36)=1,11$ ;  $p=0,369$ ) között nem detektáltam ilyen eltérést. Ősszel a legnagyobb citrátra adott katabolikus aktivitás választ az AVK talaj adta ( $1,84\pm 0,21$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ), míg a legalacsonyabbat a VO nyújtotta ( $0,985\pm 0,550$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ). Tavasszal nagyobb aktivitás detektáltam, ami nem volt szignifikáns. A legnagyobb értéket az AO-nál mértem ( $2,01\pm 0,31$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ), ezzel ellentétben a legalacsonyabbat az őszi megegyező módon a VO szolgáltatta ( $1,13\pm 0,32$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ).

A lizinre adott katabolikus válasz esetében szignifikáns eltérést tapasztaltam az évszakok (évszak:  $F(1;36)=50,5$ ;  $p\leq 0,001$ ) a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;36)=11,5$ ;  $p\leq 0,001$ ), és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója közt (talaj\*évszak:  $F(1;36)=3,37$ ;  $p\leq 0,001$ ). Az őszi folyamán a HK talaj mutatta a legnagyobb katabolikus aktivitást

( $0,708 \pm 0,035$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ), ezzel szemben a legalacsonyabb értéket pedig az AO nyújtotta ( $0,345 \pm 0,137$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ). Ehhez képest a tavaszi időszakban a legnagyobb aktivitással a VHO rendelkezett ( $0,501 \pm 0,033$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) és a legalacsonyabbal az AO, az őszevel egyező módon ( $0,309 \pm 0,032$   $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ).

### 3.3. A főbb talajfizikai, -kémiai és -mikrobiológiai paraméterek közti összefüggések

A főbb talajfizikai, -kémiai és -mikrobiológiai paraméterek közti összefüggés-jellemzés a Pearson-féle korrelációs együttható értékkel történt. Ősszel a legerősebb szignifikáns összefüggést ( $r=0,937$ ) (ref.: nagyon erős korreláció tartomány  $r=0,80-1,00$ ) a szerves szén (%) és a SIR ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ), valamint a humusztartalom (%) és a SIR ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) közt volt. Ez a tendencia annak köszönhető, hogy a humusztartalom a szerves szén értékből lett kalkulálva, ezt mutatja a köztük lévő korreláció is ( $r=0,999$ ). Míg a sorban a leggyengébb korrelációt ( $r=-0,514$ ) (ref.: közepes korreláció tartomány  $r=0,40-0,59$ ) a  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  és a citrát szubsztrát-katabolikus aktivitása ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) közt tapasztaltam.

Tavasszal a legerősebb korreláció a  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$  és az AL-Na (mg/kg) közt mutatkozott ( $r=0,871$ ) (ref.: nagyon erős korreláció tartomány  $r=0,80-1,00$ ). Ehhez szemben a legalacsonyabb szignifikáns összefüggést a BRESP ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) és a citrát szubsztrát-katabolikus aktivitása ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) között detektáltam ( $r=-0,462$ ) (ref.: közepes korreláció tartomány  $r=0,40-0,59$ ).

A fenti paraméterekre az ún. RV koefficiens segítségével multikritériumos összehasonlítást végeztem el az őszi (A mátrix) és a tavaszi (B mátrix) évszakokra. Eredményül azt kaptam, hogy a két évszak (mátrix) változók közti korrelációs hasonlósága szignifikáns ( $p < 0,001$ ).

### 3.4. Tenyésztéstől független talajmikrobiális-közösség diverzitása

#### 3.4.1. Talajbaktérium nukleinsav-izolálás mennyiségi- és minőségi paraméterei

A DNS koncentráció tekintetében elmondható, hogy az évszakok (évszak:  $F(1;130)=9,84$ ;  $p \leq 0,001$ ), a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;130)=3,44$ ;  $p \leq 0,001$ ) közt szignifikáns eltérést mértem, míg a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója közt nem (talaj\*évszak:  $F(1;130)=2,24$ ;  $p=0,054$ ). Az őszi időszakban a legmagasabb nukleinsav koncentráció a HK talajhoz társult ( $28,4 \pm 8,4$  ng/ $\mu\text{l}$ ), ehhez képest a legalacsonyabb értéket a VK szolgáltatja ( $20,7 \pm 3,6$  ng/ $\mu\text{l}$ ) értékkel. Tavasszal viszont a legjobb eredmény a VO-nál volt detektálható ( $34,3 \pm 11,1$  ng/ $\mu\text{l}$ ), a minimum pedig az AO esetében volt mérhető ( $24,5 \pm 3,8$  ng/ $\mu\text{l}$ ).

A fehérjetartalom esetében megállapítható, hogy az évszakok (évszak:  $F(1;132)=25,7$ ;  $p \leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;132)=3,58$ ;  $p \leq 0,001$ ) közt szignifikáns eltérést mutattam ki, ezzel szemben a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között nem (talaj\*évszak:  $F(1;132)=1,15$ ;  $p=0,336$ ). Ősszel a legtisztább fehérjetartalmú minta a VO-nál mutatkozott ( $1,23 \pm 0,09$  260/280 nm, ref.:  $> 1,8$ ; 260/280 nm), a legszennyezettebbet az AO esetében detektáltam ( $1,08 \pm 0,10$  260/280 nm). A tavaszi periódus során az őszihez hasonlóan a VO adta a legtisztább értéket ( $1,11 \pm 0,14$  260/280 nm), míg a legszennyezettebbet a VK ( $0,992 \pm 0,101$  260/280 nm) nyújtotta.

A huminsavnál látható, hogy az évszakok (évszak:  $F(1;132)=0,646$ ;  $p=0,423$ ) közt nem, viszont a talajtípusok/gazdálkodási módok (talaj:  $F(1;132)=10,3$ ;  $p \leq 0,001$ ) és a talajtípusok/gazdálkodási módok és az évszak interakciója között szignifikáns eltérést mértem (talaj\*évszak:  $F(1;132)=2,73$ ;  $p \leq 0,001$ ). A két évszakban detektált legtisztább és

legszennyezettebb talajok megegyeztek (ősz: max.: VO  $0,793\pm 0,330$  260/230 nm (ref.:  $>2$  260/230 nm)); min.: VK  $0,493\pm 0,088$  260/230 nm; tavasz: max.: VO  $0,663\pm 0,096$  260/230 nm, min.: VK  $0,549\pm 0,057$  260/230 nm).

Összességében a tavaszi VO talaj rendelkezett a legnagyobb DNS koncentrációval, melyhez a mindkét évszakban mért legjobb fehérje- és huminsav-mutatók tartoztak. Illetve a legalacsonyabb nukleinsav koncentrációhoz (összesen a VK  $20,7\pm 3,6$  ng/ $\mu$ l) a legszennyezettebb fehérje- (ősz AO  $1,08$  260/280 nm) és huminsav-értékek (ősz VK  $0,493\pm 0,088$  260/230 nm) köthetők.

### **3.4.1.1. Két évszakos DNS-izolálás mennyiségi- és minőségi paramétereinek több szempontot egyszerre figyelembe vevő komplex kiértékelése**

A vizsgált két évszak DNS-mutatói alapján létrehoztam az elméletileg legjobban teljesítő talajtípust és művelésmódot az SRD statisztikai módszer segítségével. A kapott DNS-izolálási módszer hatékonysági rangsor alapján az egyes évszakok és talajminták nukleinsav-mutatói csoportokba sorolhatók. A legjobb DNS-kihozatalt a VO és az AO adta, a második leghatékonyabb csoportot a VK, AVK és a VHO alkotta, míg a legkevésbé hatékony a HK volt.

### **3.4.1.2. Talajbaktérium nukleinsav-izolálás módszertani fejlesztése**

Az SRD-elemzés tükrében a VO talajtípus teljesített a legjobban a nukleinsav mennyiségi- és minőségi paraméterek esetében, ezért erre a talajmintára alapozva végeztem el egy módszertani fejlesztést, mely a mennyiségi- és minőségi mutatók javítására irányult a DNS-izolálás során. A DNS mennyiségi- és minőségi mutatói a VO talajtípuson heterogén tendenciát mutat, attól függően, hogy melyik a leghatékonyabb és a legkevésbé hatékony a 3-féle rázatási időtartam, a 4-féle rázatóberendezés és a 2-féle spektrofotométer szerint.

A legsikeresebb rázatást a sejtmalom készülék szolgáltatta, 3 perces rázatási idővel, ennél mind a nukleinsav koncentráció (TrayCell<sup>®</sup> mikroküvetével mért  $51,5\pm 23,0$  ng/ $\mu$ l), mind a minőségi paraméterek (NanoDrop<sup>™</sup>-el detektált huminsav-érték  $0,638\pm 0,021$  260/230 nm; (NanoDrop<sup>™</sup>) fehérjetartalom  $1,20\pm 0,04$  260/280 nm) is a legjobbnak bizonyultak.

Ezzel szemben a legalacsonyabb értékeket a Pulsing Vortex rázató berendezés eredményezte az 5 perces időtartalommal (TrayCell<sup>®</sup> mikroküvetével mért: DNS koncentráció  $10,8\pm 3,5$  ng/ $\mu$ l; huminsavtartalom  $0,140\pm 0,035$  260/230 nm; detektált fehérje-érték  $0,586\pm 0,080$  260/280 nm).

Kibővítettem a kísérletet 3-féle talajtípusra (AO, VHO, VO). A 4-féle rázatóberendezés ugyanaz volt (BB, FP, PV, ZX), ahol TrayCell<sup>®</sup> mikroküvetta és NanoDrop<sup>™</sup> spektrofotométerrel teszteltem a paramétereket, hogy melyik talajtípus a leghatékonyabb. Rázatási időtartalomnak a korábban mért leghatékonyabb percek/rázatógépet tekintettem.

Az összesített legmagasabb DNS koncentrációt a 10 perces rázatással végzett vortex adta VHO talajon ( $64,5\pm 14,2$  ng/ $\mu$ l) TrayCell<sup>®</sup> spektrofotométerrel mérve, míg a legalacsonyabbat a Pulsing Vortex 1 perces rázatása mutatta az AO talajon ( $7,58\pm 2,03$  ng/ $\mu$ l) NanoDrop<sup>™</sup> készülékkel mérve.

Az összesített huminsavtartalom a következőképpen alakult, a FastPrep rázatókészülék 5 perces homogenizálással NanoDrop<sup>™</sup> készülékkel mérve eredményezte a VHO talaj esetében a legtisztább értéket ( $1,77\pm 0,34$  260/230 nm), ehhez képest a legalacsonyabbat pedig a Pulsing Vortex adta VO talajon 1 perccel (TrayCell<sup>®</sup> mikroküvetével mérve)  $0,164\pm 0,011$  260/230 nm.

A legtisztább fehérjetartalmat az összesítő értékelés alapján az 5 perces AO talaj adta NanoDrop<sup>™</sup> készülékkel mérve ( $1,64\pm 0,52$  260/280 nm), míg a legalacsonyabb értéket a Pulsing Vortex eredményezte 1 perces rázatás során TrayCell<sup>®</sup> mikroküvetével mérve ( $0,652\pm 0,127$  260/280 nm).



Szignifikáns eltérés mutatkozott az egyes talajtípusok izolált nukleinsav paramétereinek között az egyes spektrofotométereket alkalmazva. Ez alól teljes kivételt a NanoDrop™ készülékkel mért fehérjetartalmak jelentettek, ahol szignifikáns eltérés nem mutatkozott.

### **3.4.1.3. A talaj DNS-izolálási módszertan nukleinsav mennyiségi- és minőségi mutatóinak több szempontot egyszerre figyelembe vevő komplex kiértékelése**

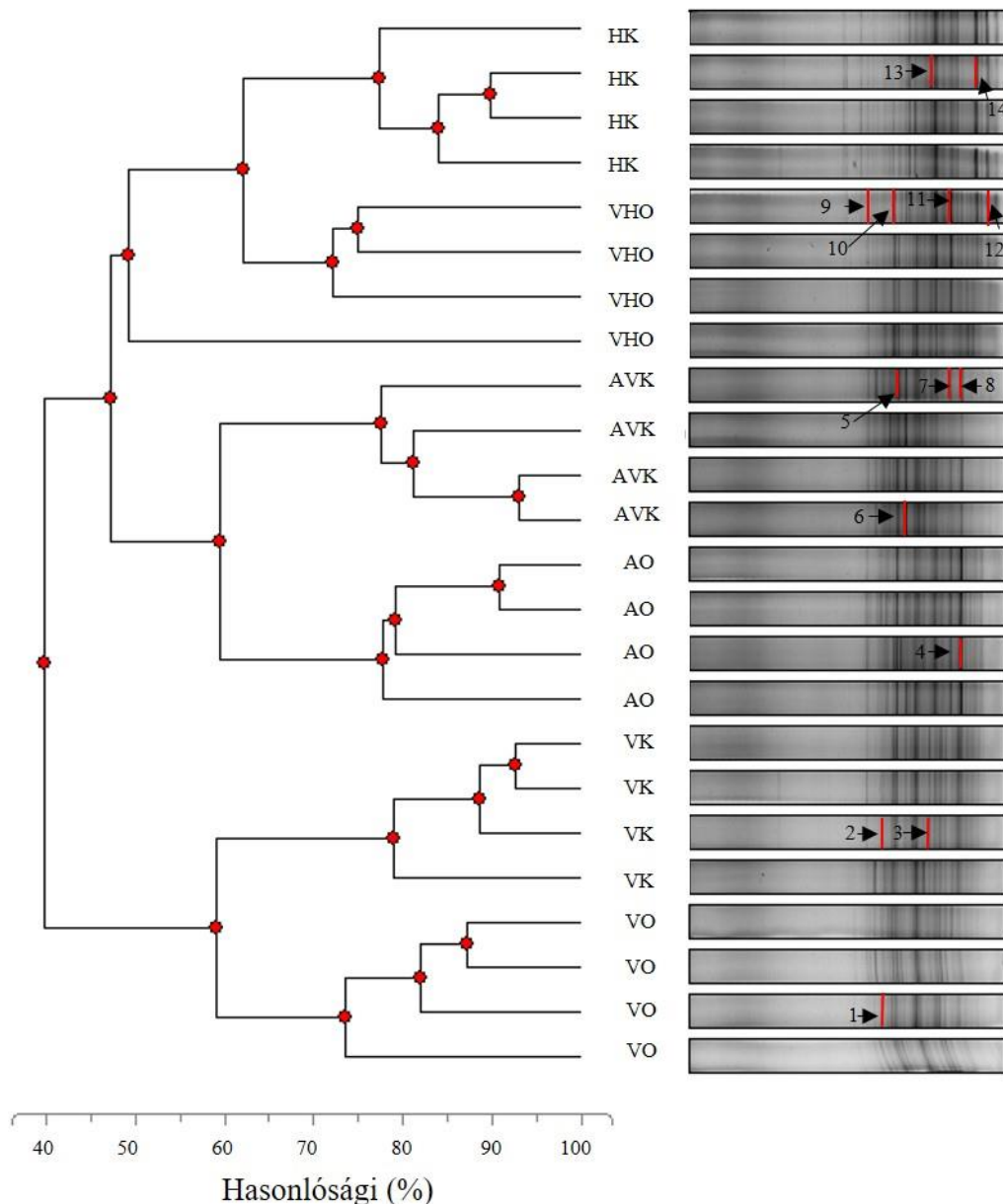
A talajbaktérium nukleinsav-izolálás módszertani fejlesztés adataira korrelációs elemzést hajtottam végre. A vizsgált különféle rázóberendezések, a rázóidőtartamok, a talajtípusok teljesítményei és DNS-mutatói alapján létrehoztam az elméletileg legjobban teljesítő módszert, az SRD statisztikai módszerrel. A legjobb rázóberendezések: a 10 perces vortexes rázás AO és VHO talajjal. A második leghatékonyabb csoportot a 10 perces vortexes rázás nyújtotta VO talajon, a 3 perces sejtmalom AO talajon és az 1 perces Pulsing Vortex AO és VHO talajokon, a legkevésbé hatékony pedig az 5 perces vortex rázás volt VO talajon.

### **3.4.2. Talajmikrobiális-közösség kimutatása PCR- és nested-PCR reakcióval**

A talajbaktériumokat nested-PCR-rel (univerzális és  $\alpha$ -proteobaktérium) mutattam ki, a várt 500 bp-os PCR-termékeket kaptam a tavaszi mintákra. A nifH gének esetében a keresett 457 bp-os terméket kaptam a fenti mintákra.

### **3.4.3. Denaturáló gradiens gélelektroforézis (DGGE)**

A DGGE gélmintázat alapján az  $\alpha$ -proteobaktérium-közösségek elkülönülést mutatnak az eltérő talajtípus és a kétféle gazdálkodási mód alapján (**1. ábra**). Az első csoportot (40 % hasonlóság) a vályogtalajok, míg a másodikat (47 %) az agyag és a homoktalajok szolgáltatják. A legkisebb heterogenitással a vályog talaj rendelkezett, míg a legnagyobb a VHO talaj. Az organikus és a konvencionális talajok közösségalkotói eltérő csoportokba különülnek 60-65 %-os hasonlósági szinten. A DGGE sávmintázatot tekintve a bakteriális diverzitási indexek egymástól szignifikánsan nem különböztek ( $H'$   $p=0,252$ ,  $E'$   $p=0,498$ ). De ennek ellenére a konvencionális gazdálkodású talajok rendelkeztek a legnagyobb bakteriális diverzitással, szemben az organikus talajjal. A legdiverzebb talajtípussal a HK talaj rendelkezett ( $H'=2,82$ ;  $E=0,89$ ;  $R=23$ ). A legkisebb diverzitást az AO adta ( $H'=2,46$ ;  $E=0,87$ ;  $R=17$ ), azonban az AVK ennél magasabb értéket mutatott ( $H'=2,65$ ;  $E=0,87$ ;  $R=20$ ). A vályog talaj közepes diverzitás indexekkel rendelkezett a VK-ra ( $H'=2,68$ ;  $E=0,89$ ;  $R=19$ ) és a VO-ra ( $H'=2,59$ ;  $E=0,87$ ;  $R=19$ ).



Megj.: O=organikus gazdálkodási mód, K=konvencionális gazdálkodási mód, A=agyagtalaj (Karcag), AV=agyagos vályogtalaj (Karcag), V=vályogtalaj (Martonvásár), VH=vályogos homoktalaj (Nyíregyháza), H=homoktalaj (Nyíregyháza).

**1. ábra.** Talajbaktérium-közösség dendrogram ábrája DGGE elválasztást követően

#### 3.4.4. Szekvenálási eredmények

A DGGE sávmintázat közül összesen tizennégy jól elkülönülő erős sáv lett szekvenáltatva és kiértékelve. Megerősítést nyert, hogy a 16S rRNS génszakaszának szekvenációja alapján az azonosított legközelebbi rokon baktériumok mindegyike az  $\alpha$ -proteobaktérium osztály képviselői közé tartozik. A kapott 16S rRNS szekvenciák az adatbázisban lévő ismert baktériumokkal  $\geq 95,78$  %-os hasonlósági szinten egyezést mutattak. Ezek közül hat DGGE sávot faj szinten azonosítottam CHUN et al. (2018) által meghatározott 98,7 %-os határérték alapján (**1. táblázat**) (*Pseudovibrio denitrificans* (VO); *Devosia* sp., *Ancylobacter rudongensis* (VK); *Deviosa insulae* (AVK); *Rhizobium* sp. (HK) az NCBI adatbázissal. 98,7 % alatt pedig a következő baktériumokat

azonosítottam be az NCBI adatbázisban szereplő legközelebbi rokon baktériumokkal: *Azospirillum* sp. (AO), *Devosia lucknowensis*, *Azospirillum* sp., *Devosia* sp. (AVK), *Mesorhizobium* sp., *Rhizobium leguminosarum* (VHO). A VHO talajból két izolátumot rend szinten detektáltam: *Rhizobiales* és *Rhodospirillales*.

**1. táblázat:** A DGGE sávmintázatból izolált 16S rRNS génszakasz szekvenciájának alapján azonosított legközelebbi rokon baktériumok

| Minta | sáv | Legközelebbi rokon baktérium      | Hasonlóság (%) | Élőhely                         | Azonosító  |
|-------|-----|-----------------------------------|----------------|---------------------------------|------------|
| VO    | 1   | <i>Pseudovibrio denitrificans</i> | 99             | Tengeri szivacs                 | JF281743   |
| VK    | 2   | <i>Devosia</i> sp.                | 99             | Erdőtalan rizoszféra            | KC464823   |
|       | 3   | <i>Ancylobacter rudongensis</i>   | 99,51          | <i>Spartina anglica</i> gyökere | AY056830   |
| AO    | 4   | <i>Azospirillum</i> sp.           | 95,78          | Talaj                           | KT619165.1 |
| AVK   | 5   | <i>Devosia lucknowensis</i>       | 96             | Talaj                           | NR132697.1 |
|       | 6   | <i>Devosia insulae</i>            | 99,52          | Talaj                           | EF012357   |
|       | 8   | <i>Azospirillum</i> sp.           | 97,41          | Talaj                           | JF340293.1 |
| VHO   | 9   | <i>Mesorhizobium</i> sp.          | 96             | Gyökérgümő <sup>I</sup>         | KJ000995   |
|       | 10  | <i>Rhizobium leguminosarum</i>    | 96             | Talaj                           | GU201843.1 |
|       | 11  | <i>Rhizobiales</i>                | 96,07          | Talaj                           | AB257851.1 |
| HK    | 13  | <i>Rhizobium</i> sp.              | 99             | Gyökérgümő <sup>II</sup>        | KX097067   |
| AVK   | 7   | <i>Devosia</i> sp.                | 98             | Talaj                           | FN600566.2 |
| VHO   | 12  | <i>Rhodospirillales</i>           | 98             | Talaj                           | MG722008.1 |
| HK    | 14  | <i>Rhizobium</i> sp.              | 99             | Gyökérgümő <sup>II</sup>        | KX097067.1 |

Megj.: O=organikus gazdálkodási mód, K=konvencionális gazdálkodási mód, A=agyagtalaj (Karcag), AV=agyagos vályogtalaj (Karcag), V=vályogtalaj (Martonvásár), VH=vályogos homoktalaj (Nyíregyháza), H=homoktalaj (Nyíregyháza). Hasonlóság (%)=megegyező bázisok száma/a teljes átfedő szekvencia hossza. <sup>I</sup>=*Rhynchosia aurea*, <sup>II</sup>=*Trifolium* sp.

## 4. ÚJ TUDOMÁNYOS EREDMÉNYEK

1. Értékezésemben komplex módon elsőként vizsgáltam három hazai talajtípus (Karcag – agyag-, agyagos vályogtalaj; Martonvásár – vályogtalaj; Nyíregyháza – homoktalaj) organikus és konvencionális gazdálkodású tartamkísérletein a talajmikroba-közösség összetételét és működőképességét klasszikus státusz- és funkcionális vizsgálatokkal, figyelembe véve a szezonális hatásokat is, melynek keretében multikritériumos referenciabázist hoztam létre.

2. Kísérleteimben szignifikánsan nagyobb ( $p \leq 0,05$ ) értékeket detektáltam az organikus talajgazdálkodásnál a konvencionálishoz képest az eltérő talajtípusok és művelési módok tekintetében a főbb talajkémiai és mikrobiológiai paramétereknél: összes nitrogén (%), humusztartalom (%), ammónium-laktát-oldható Ca-tartalom (mg/kg), fluoreszcens diacetát hidrolízis ( $\mu\text{gFl/g talaj/óra}$ ), a kitenyészhető *Bacillus* sp., mikrogomba, spórás baktérium csíraszámok ( $\log\text{CFU/g száraz talaj}$ ), szubsztrát-indukált respiráció-érték ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ), mikrorespiráció (MicroResp<sup>TM</sup>) ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) és a főbb mezo- és mikroelemek esetében (Mg, B, Cu, Zn (mg/kg)). Ezáltal bebizonyítottam, hogy az organikus művelésmód pozitív hatással bír a talajminőségre és a termékenységre, így közvetett módon a talajmikroba aktivitásra és a közösségalkotók számára.

(GAZDAG et al. *Microbes and Environments*, 34 (3) 234-243. p., IF=2,47, Q1)

3. Módszertani fejlesztést végeztem a talajspecifikus DNS-izolálás során a kivont DNS mennyiségi és minőségi paramétereinek javítására. Elsőként elemeztem a fent nevezett DNS-kivonásra vonatkozóan teljesítménymutatókat, több szempontot egyszerre figyelembe vevő komplex értékeléssel (SRD – rangszám különbségek összege). A talajtípus/rázatókészülék/rázatási idő kombinációjában a 10 perces vortexes rázatás bizonyult a leghatékonyabbnak az organikus agyag- és homokos vályogtalaj esetében.

4. A fenti talajok jellemzésére az általam alkalmazott indikátorok érzékenysége tekintetében jelentős különbségek adódtak. A talajok mikrobaközösségeinek funkcionális vizsgálatai jól detektálják a gazdálkodási mód okozta változásokat, – különös tekintettel a mikrorespirációs (MicroResp<sup>TM</sup>) eljárásra – az organikus és konvencionális gazdálkodású talajok között, a mikrobaközösségek lebontó aktivitásának mintázat-elemzése alapján.

(GAZDAG et al. *Microbes and Environments*, 34 (3) 234-243. p., IF=2,47, Q1)

5. A vizsgált talajokban jelenlévő  $\alpha$ -proteobaktérium-közösségek molekuláris ujjlenyomat módszerrel (DGGE) történő vizsgálatai alapján igazoltam, hogy az organikus és a konvencionális talajok közösségalkotói eltérő csoportokba különülnek (60-65 % hasonlósági szinten). A 16S rRNS génszakaszok szekvenciaelemzése alapján, az azonosított legközelebbi rokon baktériumok mindegyike az  $\alpha$ -proteobaktérium osztály képviselői közé tartozott. A kimutatott baktériumok közül hatot sikerült faj szinten is azonosítanom a CHUN et al. (2018) által meghatározott 98,7 %-os 16S rDNS hasonlósági határérték alapján (*Pseudovibrio denitrificans* (VO); *Devosia* sp.,

*Ancylobacter rudongensis* (VK); *Deviosa insulae* (AVK); *Rhizobium* sp. (HK). Megállapítottam, hogy az eltérő talajtípus és a növényzet jelentősebb hatással bírt az  $\alpha$ -proteobaktérium közösségek összetételére/struktúrájára, mint az eltérő gazdálkodási módok.

(GAZDAG et al. Acta Agriculturae Scandinavica, 69 (2), 147-154. p., IF=0,81, Q2)

## 5. KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A különböző talajtípusok és gazdálkodási módok főbb talajkémiai paramétereit a talajokra vonatkoztatott ellátottsági kategóriákhoz viszonyítva azt láthatjuk, hogy a talajok sótartalom szerint a nem sós kategóriába (max.:  $0,418 \pm 0,128$  mS/cm, min.:  $0,027 \pm 0,006$  mS/cm) ( $< 2$  mS/cm;  $< 0,1$  %) tartoznak. Ez a haszonnövények fejlődését nem gátolja, az öntözővíz nem okoz káros sófelhalmozódást a vizsgált talajokban (KÁTAI 2011).

A  $\text{pH}_{\text{H}_2\text{O}}$ -értékek intervallumát tekintve a savanyútól (HK), a gyengén savanyún (VHO), a semlegesén át (AVK) a gyengén lúgos tartományig (AO, VK) mozogtak (KÁTAI, 2011) az alábbi intervallumon belül (max.: tavaszi VO talaj  $7,93 \pm 0,14$ ; min.: tavasz HK  $5,40 \pm 0,11$ ). A vizsgált pH-értékek többsége szignifikánsan nagyobb volt az organikus talajok javára, azonban az értékek még a talajbaktériumok számára az optimális határértékeken belül voltak (JEFFERY et al. 2010). Az egyes kezelések pH- értéke változatlan volt a két évszakban. Az évszakok és a talajtípusok/kezelésmódok és az évszak interakciója között nem detektáltam szignifikáns eltérést, ezzel szemben az egyes évszakokon belül a talajtípusok/kezelésmódoknál igen. A konvencionális területeken kimutatott alacsonyabb pH-értékek a műtrágyák savanyító hatásának tudhatók be (GAZDAG et al. 2019a).

A kapott nitrogén eredmények a megfelelően kialakított vetésforgóknak köszönhetőek, mivel az AO és a VK kivételével mindegyik kísérleti területen pillangós növényt termesztettek, a belőlük származó nitrogénformák lassabban táródtak fel, ezzel folyamatos nitrogénellátást biztosítottak a termesztett növények számára, ami kielégítette a vetésforgó növényeinek nitrogénszükségletét. A konvencionális területeken mért alacsonyabb humusz-értékek valószínű oka a limitált szervesanyagtartalom, mert ezeken a parcellákon nem volt zöldtrágyázás. Ebből kifolyólag kevesebb szervesanyag-dekompozíció ment végbe, ami csökkent mennyiségű nitrogén/humusz ellátást eredményezett a mikrobák számára (BIRKHOFER et al. 2008).

Szakirodalmi adatok alapján elmondható, hogy a pH, a szerves széntartalom, az össznitrogén és a nitrogénformák tekintetében más kutatócsoport is szignifikánsan nagyobb értékeket detektált a dolgozatomban vizsgált nyíregyházi VHO talajon a HK-hoz képest (DEMETER et al. 2018). Megerősítést nyert, hogy az organikus gazdálkodási mód pozitív hatással bír a talajminőségre és a termékenységre, ezáltal közvetett módon a talajmikroba aktivitásra és a közösségalkotók számára. Mind a két évszakban az össznitrogén-, humusz- és a szén-értékek az agyagos talajtól a vályogon át a homokig csökkenő tendenciát mutatnak.

A talajok NPK ellátottsági határtekeit a MÉM NAK (1979) alapján határoztam meg, mely alapján jó nitrogén-ellátottság besorolást kapott az AO, AVK, VO és a VK. Ehhez képest gyenge nitrogén-ellátottsággal jellemezhető a VHO, közepessel pedig a HK terület. A foszfor-ellátottság tekintetében igen jó ellátottsággal rendelkezik az AVK, VO, VK és a HK terület, jó besorolással jellemezhető a VHO talaj, míg közepessel az AO bír. A vizsgált talajok kálium-ellátottságát tekintve megállapítottam, hogy mindkét évszakban túlzott ellátottság jellemzi a VO és a VK (csak a tavaszi), igen jó besorolást kapott a VK (csak az őszi) és a HK, jó ellátottsággal rendelkezik az AVK és a VHO, míg közepessel az AO jellemezhető.

A mikrobiológiai eredmények az organikus gazdálkodás talajmikrobákra gyakorolt kedvező hatásáról tanúskodnak. A szervesanyaglebontó, spóráképző mikrobák képesek a kedvezőtlen környezeti körülményekhez alkalmazkodni, spóraszámuk mindkét területen alacsony értéket mutatott. A fonalas gombák viszont már az összetett szervesanyagok lebontásában töltenek be fontos szerepet. Ezek élő csíraszama szignifikánsan nagyobb volt az organikus területeken a konvencionálishoz viszonyítva, míg az aktinomicéták (korábban sugárgombák) a humifikációs folyamatokban töltenek be kulcsfontosságú szerepet. A legtöbb alacsony csíraszám a savas

homoktalajnál jelentkezett, mely valószínűleg az alacsony pH-érték gátló hatásának köszönhető, mivel csökkent a mikrobiális aktivitás (SAHOO et al. 2010). Értéküket tekintve azonban a tavaszi mintavételből kitenyésztett csíraszámok nagyságrendileg nagyobbak az ősziéknél (mivel az őszi mintavételből származó mikrobák egy nyugvó állapottal, míg a tavasziak aktívabb szakasszal jellemezhetők).

A vályogtalajon az organikus gazdálkodási mód hatására szignifikánsan ( $p \leq 0,05$ ) növekszik a talajmikrobák száma (CFU) és aktivitása (FDA, respiráció), a nagyobb számú és aktívabb mikrobiális közösség a talajok meghatározó elemeként járulhatnak hozzá az ökológiai egyensúly fenntartásához.

A respirációs értékekről elmondható, hogy a BRESP a vizsgált talajok mindegyikénél nagyságrendileg alacsonyabb értékeket adott, mint a SIR. A vizsgált rizoszféra mintákban lévő talajbaktérium-közösség metabolikus potenciálja hozzáadott glükózzal jelentősen aktivizálható volt. Általánosságban elmondható, hogy a tavaszi értékek mind a BRESP, mind pedig a SIR tekintetében szignifikánsan nagyobbak voltak, kivéve az AO talajt, ahol az őszi SIR-érték szignifikánsan nagyobb volt a tavaszinál. A BRESP- és a SIR-értékek egymáshoz viszonyított értékei 4-12-szeres nagyságrendi eltérést mutatnak a SIR javára.

A mikrorespirációs vizsgálat során kapott összesített katabolikus-aktivitás arról ad információt, hogy a vizsgált 23 szubsztrát közül a citrát szolgáltatta mindkét évszaknál a legmagasabb értékeket, ahol csak a talajtípusok esetében volt szignifikáns eltérés. A többi szubsztrát tekintetében a következőknél detektáltam szignifikáns eltérést: az egyes évszakok esetében (arginin, 3,4-dihidroxi-benzoészav, mio-inozitol, mannóz), a talajtípusok/kezelésmódok, az évszakok interakciója között (glükóz, mannóz, Na-szukcinát), valamint a talajtípus/kezelésmódoknál (alanin, arginin, aszparagin-monohidrát, 3,4-dihidroxi-benzoészav, fruktóz).

Következésképpen a SIR-technika hatékonyabbnak bizonyult, ellenben a Mikroresp<sup>TM</sup>-technika esetén a 23 szubsztrát-indukált aktivitás alapján átfogóbb képet kapunk a mikrobiális közösség aktivitásáról és mintázatáról. A szubsztrátok sokfélesége a mikrobaközösség tagjainak számára nagyobb lehetőséggel szolgál potenciális tápanyagok tekintetében.

Kísérleteimmel igazoltam, hogy szignifikánsan nagyobb ( $p \leq 0,05$ ) értékeket mutat az organikus gazdálkodási mód a konvencionálishoz képest az eltérő évszakok, talajtípusok és gazdálkodási módok tekintetében a főbb talajkémiai- és mikrobiológiai paramétereknél: összN (%), humusztartalom (%), AL-Ca-tartalom (mg/kg), FDA ( $\mu\text{gFl/g talaj/óra}$ ), a kitenyészthető baktérium, mikrogomba, spórás baktérium csíraszámok ( $\log\text{CFU/g száraz talaj}$ ), SIR-érték ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ), MicroResp<sup>TM</sup> ( $\mu\text{g CO}_2\text{-C/g talaj/óra}$ ) és a főbb mezo- és mikroelemek esetében (Mg, B, Cu, Zn (mg/kg)).

Ezáltal az irodalmi adatokat megerősítve eredményeimmel bebizonyítottam, hogy az organikus gazdálkodás pozitív hatással bír a talajminőségre és a termékenységre, ezáltal a talajmikroba-aktivitásra és a közösségalkotók számára. Tendenciáját tekintve mindkét évszakban a karcagi agyagos (organikus), agyagos-vályog (konvencionális) és a martonvásári vályog talajnál (organikus és konvencionális) detektáltam magasabb értékeket, szemben a nyíregyházi homokos vályog (organikus) és homoktalajjal (konvencionális).

Eredményeim szakirodalmi adatokkal alátámasztva igazolták azt a tényt, hogy az általam vizsgált kezelések közül az organikus gazdálkodás (tavasz) fenntarthatóbb, szemben a konvencionális kezeléssel. Hiszen az itt detektált nagyobb mikrobiális aktivitás jobb talajminőséget, hatékonyabb tápanyagkörforgást és a haszonnövények megfelelőbb növekedését biztosítja (GE et al. 2013, CREAMER et al. 2016). KÁTAI (2011) szerint az ökológiai területekre jellemző a nagyobb mikrobiális biomassza (MARTÍNEZ-GARCÍA et al. 2018) és az intenzívebb talajlégzés. A megnövekedett enzimaktivitás és ATP-tartalom magyarázhatja azt a tényt, hogy az

ökológiai gazdálkodási módnál az alacsony felvehető foszfortartalom ellenére nincs foszforhiány, mivel ezen talajok nagyobb mikrobiológiailag kötött foszforkészlettel bírnak, ezáltal nagyobb a szerves foszfor mineralizációs potenciáljuk.

Összességében a funkcionális mérésen alapuló mikrobiológiai vizsgálatok jól detektálják a gazdálkodási mód okozta változásokat a talajmikrobiota működőképességére. A funkcionális vizsgálatok eredményei nagyobb érzékenységet mutatnak a gazdálkodási mód hatásának tekintetében, mint a mikrobiota-közösség összetételét jellemző paraméterek. A funkcionális elemzések közül nagyobb indikációs érzékenységgük van azoknak a vizsgálatoknak, amelyek a mikrobaközösség működőképességét átfogóan jellemzik, úgy mint az FDA – összes enzimaktivitás (baktériumok, gombák, algák), MicroResp<sup>TM</sup> – 23 szubsztrát (cukrok, aminosavak és fehérjék) katabolikus aktivitása – lehetőséget adva nagyobb számú mikrobiális taxon működésének indukálására.

A kitenyésztéses eljárásokkal nem lehet kimutatni a mikrobiális közösségen belül esetlegesen lejátszódó közösségi szintű átalakulásokat. Ez is alátámasztja korábban ismertett molekuláris vizsgálati módszerek bevezetésének és fejlesztésének szükségességét.

A talaj DNS-kivonás és a ráépülő mikrobiális-közösségi analízis módszertanának az adott ökológiai körülményekhez való adaptálása elengedhetetlen az ökológiai gazdálkodás kutatási hátterének megalapozásához. Multikritériumos módszertani fejlesztéssel a talajból történő DNS-izolálást, a kapott nukleinsav mennyiségi- és minőségi paramétereit javítottam. Eredményeim szerint a vályogtalajból (organikus gazdálkodási mód, tavaszi mintavétel) izolált minta adta a legerősebb nukleinsav kihozatalt (DNS koncentráció:  $34,3 \pm 11,1$  ng/ $\mu$ l; fehérjetartalom:  $1,11 \pm 0,14$  260/280 nm, (ref.:  $>1,8$ ; 260/280 nm); huminsavtartalom:  $0,663 \pm 0,096$  260/230 nm (ref.:  $>2$ ; 260/230 nm)) a többi talajtípushoz képest ( $p \leq 0,05$ ).

Elsőként elemeztem a nukleinsav teljesítménymutatókat több szempontot egyszerre figyelembe vevő komplex értékeléssel (SRD-rangszám különbségek összege) a talajtípus/rázatókészülék/rázatási idő kombinációjában. A 10 perces vortexes rázatás bizonyult a leghatékonyabbnak az organikus agyag- és homokos vályogtalaj esetében.

A fenti területen elsőként mutattam ki, hogy a genetikai közösségi ujjlenyomat a talajtípus és a gazdálkodási mód szerint elkülönülő csoportokra oszlik. A talajból történő DNS-kivonást követő szekvenálás eredményeként a fenti területeken elsőként detektáltam az  $\alpha$ -proteobaktériumok kimutatására alkalmazott specifikus primerpár segítségével a következő baktériumokat: *Pseudovibrio denitrificans* (vályogtalajon, organikus gazdálkodás mellett, Martonvásár), *Devosia* sp., *Ancylobacter rudongensis* (vályogtalajon konvencionális gazdálkodás mellett, Martonvásár), *Mesorhizobium* sp. (homokos vályogtalajon organikus gazdálkodás mellett, Nyíregyháza), *Rhizobium* sp. (homoktalajon konvencionális gazdálkodás mellett, Nyíregyháza), ezek mindegyike a nitrogénkörforgalom kulcsindikátorai. Ezek a baktériumfajok fontos szerepet töltenek be a szervesanyag-dekompozícióban és a nitrogén- mineralizációban. A nitrogénkötő baktériumok jelenlétét a *nifH* gén kimutatásával is igazoltam. Habár a diverzitási indexek közt nem volt szignifikáns különbség, ennek ellenére a legnagyobb diverzitási indexet ( $H'$ =Shannon-Wiener-diverzitás index; E=eveness egyenletesség; R=richness index) a konvencionális művelésű homoktalajnál (Nyíregyháza) ( $H'=2,82$ ; E=0,89; R=23) és az organikus eredetű homokos vályogtalajnál (Nyíregyháza) ( $H'=2,78$ ; E=0,86; R=25) detektáltam. Ezzel szemben a legkisebb diverzitást az organikus vályogtalaj (Karcag) adta ( $H'=2,46$ ; E=0,87; R=17), melyek azonban szignifikáns módon nem mutatott eltérést a másik kettő talajtípustól.

Összességében a jelen doktori értekezés felhívja a figyelmet arra, hogy a fenti multikritériumos elemzés nélkülözhetetlen a talajmikroba-közösségek rizoszférában betöltött szerepének (funkciók, teljesítménymutatók), illetve az adott gazdálkodási mód fenntarthatóságának mélyreható megismerésében. A fentiek fontos referencia adatokat szolgáltathatnak a talajminőség, talajtermékenység értékelésében, valamint a degradációs



folyamatok indikálásában. Továbbá a sokszempontos elemzés rávilágít arra is, hogy a talajok mikrobiális közösségének jellemzésére használt mutatók érzékenységében jelentős eltérések lehetnek és a változások detektálására elengedhetetlen a megfelelően érzékeny indikátorok kiválasztása, együttes alkalmazása. A doktori munkám során alkalmazott funkcionális vizsgálatok tekintetében - tudomásom szerint hazánkban egyedül az Agrártudományi Kutatóközpont Talajtani és Agrokémiai Intézetben alkalmazott – a mikrorespirációs (MicroResp<sup>TM</sup>) módszer alkalmas a mikrobaközösségek lebontó aktivitásának mintázata alapján az organikus és konvencionális gazdálkodású területek elkülönítésére.

Jelen doktori értekezéssel szeretném a Magyarországi Talajvédelmi Információs és Monitoring Rendszer (TIM) figyelmét felhívni arra, hogy fontolja meg a mikrobiális vizsgálatok körét kulcsindikátorokra specifikus mutatókkal és funkcionális diverzitásvizsgálattal is kibővíteni. Javasolom a TIM által is alkalmazott CO<sub>2</sub>-termelés mérés kibővítését MicroResp<sup>TM</sup> módszerrel az alábbi paraméterek mellett:

- mintavétel: tavaszi évszakban (a talajbaktériumok aktivitása miatt)
- 0-25 cm talajmélység (rizoszféra vizsgálata)
- organikus és konvencionális gazdálkodási módok monitorozása esetében 3 évente is elegendő lenne az analízis, annak érdekében, hogy a gazdálkodási mód mikroba-közösségre kifejtett hatása kimutatható legyen

## 6. FELHASZNÁLT IRODALOM

- 1) ADAM, G., DUNCAN, H. (2001): Development of a sensitive and rapid method for the measurement of total microbial activity using fluorescein diacetate (FDA) in a range of soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 33 (7-8) 943–951. p.  
doi: 10.1016/S0038-0717(00)00244-3
- 2) ANANYEVA, N. D., SUSYAN, E. A., CHERNOVA, O. V., WIRTH, S. (2008): Microbial respiration activities of soils from different climatic regions of European Russia. *European Journal of Soil Biology*, 44 (2) 147–157. p.  
doi: 10.1016/j.ejsobi.2007.05.002
- 3) BARANYAI, F., FEKETE, A., KOVÁCS, I. (1987): A magyarországi talajtápanyag-vizsgálatok eredményei. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. 189 p.
- 4) BIRKHOFER, K., BEZEMER, T. M., BLOEM, J., BONKOWSKI, M., CHRISTENSEN, S., DUBOIS, D., EKELUND, F., FLIEßBACH, A., GUNST, L., HEDLUND, K., MÄDER, P., MIKOLA, J., ROBIN, C., SETÄLÄ, H., TATIN-FROUX, F., VAN der PUTTEN, W. H., SCHEU, S. (2008): Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biology and Biochemistry*, 40 (9) 2297–2308. p.  
doi: 10.1016/j.soilbio.2008.05.007
- 5) BORSODI A. (Szerk.) (2018): Klasszikus és molekuláris mikrobiológiai laboratóriumi gyakorlatok, elektronikus jegyzet, Budapest: Eötvös Loránd Tudományegyetem, Természettudományi Kar, Biológiai Intézet, Mikrobiológiai Tanszék. 277 p.  
ISBN: 978-963-489-064-5
- 6) BUZÁS, I. (Szerk.) (1988): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 2. A talajok fizikai-kémiai és kémiai vizsgálati módszerei. Budapest: Mezőgazdasági Kiadó. 242 p.  
ISBN: 9632326571
- 7) BUZÁS, I. (Szerk.) (1993): Talaj- és agrokémiai vizsgálati módszerkönyv 1. A talaj fizikai, vízgazdálkodási és ásványtani vizsgálata. Budapest: Inda 4231 Kiadó. 357 p.  
ISBN: 963-234-036-1
- 8) CHUN-JUAN, B., ZHEN-LOU, C., JUN, W., DONG, Z. (2013): Quantitative Assessment of Soil Health Under Different Planting Patterns and Soil Types. *Pedosphere*. 23 (2) 194–204. p.  
doi: 10.1016/S1002-0160(13)60007-7
- 9) CREAMER, R., STONE, D., KUIPER, I. BERRY, P., (2016): Measuring respiration profiles of soil microbial communities across Europe using MicroResp<sup>TM</sup> method. *Applied Soil Ecology*, 97 36–43. p.  
doi: 10.1016/j.apsoil.2015.08.004
- 10) CSATHÓ, P., NÉMETH T., KÁDÁR I., ÁRENDÁS T., RADIMSZKY L. (2002): Környezetkímélő növénytaplálás. Gödöllő: Szent István Egyetem, Környezet és Tájgazdálkodás.
- 11) DEMETER, I., MAKÁDI, M., TOMÓCSIK, A., ARANYOS, T. J., MICHÉLI, E., POSTA, K. (2018): Chemical and microbiological properties of Hungarian sandy soils under different management practices. *Applied Ecology and Environmental Research*, 16 (3) 3473–3488. p.  
doi: 10.15666/aeer/1603\_34733488
- 12) EGNÉR, H., RIEHM, H., DOMINGO, W. R. (1960): Untersuchungen über die chemische Bodenanalyse als Grundlage für die Beurteilung de Nährstoffzustandes der Böden. II. Chemische Extraktionsmethoden zur Phosphor- und Kaliumbestimmung. *Kungliga Lantbrukshögskolans Annaler*, 26 199–215. p.

- 13) GARBISU, C., ALKORTA, I., EPELDE, L. (2011): Assessment of soil quality using microbial properties and attributes of ecological relevance. *Applied Soil Ecology*, 49 (1) 1–4. p.  
doi: 10.1016/j.apsoil.2013.10.003
- 14) GAZDAG, O., TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., SZILI-KOVÁCS, T. 2018. Soil metabolic activity profiles of the organic and conventional land use at Martonvásár. *Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences*, 5 (1) 27–35. p.  
doi: 10.18380/SZIE.COLUM.2018.5.1.27
- 15) GAZDAG, O., TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., KRETT, G., SZILI-KOVÁCS, T. (2019a): *Alphaproteobacteria* communities depend more on soil types than land managements. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 69 (2) 147–154. p.  
doi: 10.1080/09064710.2018.1520289
- 16) GAZDAG, O., KOVÁCS, R., PARÁDI, I., FÜZY, A., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., SZILI-KOVÁCS T., INUBUSHI, K., TAKÁCS, T. (2019b): Density and diversity of microbial symbionts under organic and conventional agricultural management. *Microbes and Environment*, Published online: June 13, 2019.  
doi: 10.1264/jsme.2019.06.018138
- 17) GE, T., CHEN, X., YUAN, H., LI, B., ZHU, H., PENG, P., LI, K., JONES, D. L., WU, J. (2013): Microbial biomass, activity and community structure in horticultural soils under conventional and organic management strategies. *European Journal of Soil Biology*, 58 122–128. p.  
doi: 10.1016/j.ejsobi.2013.07.005
- 18) GOMES, N. C. M., HEUER, H., SCHÖNFELD, J., COSTA, R., MENDONÇA-HAGLER, L., SMALLA, K. (2001): Bacterial diversity of the rhizosphere of maize (*Zea mays*) grown in tropical soil studied by temperature gradient gel electrophoresis. *Plant and Soil*, 232 (1–2) 167–180. p.  
doi: 10.1023/A:1010350406708
- 19) IBM CORP. RELEASED (2017): IBM SPSS Statistics for Windows, Version, 25.0. Armonk, NY: IBM Corp.
- 20) IUSS WORKING GROUP WRB. (2015): World Reference Base for Soil Resources 2014. update 2015. International soil classification system for naming soils and creating legends for soil maps. World Soil Resources Reports. 106 FAO, Rome: Italy.
- 21) JEFFERY, S., GARDI, C., JONES, A., MONTANARELLA, L., MARMO, L., MIKO, L., RITZ, K., PERES, G., RÖMBKE, J., VAN der PUTTEN, W. H. (2010): European atlas of soil biodiversity. 332. p. In: LOVELAND, P. (Ed.): *European Journal of Soil Science*, Hoboken: John Wiley and Sons. 333 p.  
doi: 10.1111/j.1365-2389.2010.01335.x
- 22) KÁTAI, J. (2011): *Talajökológia*, Debreceni Egyetem, Nyugat-Magyarországi Egyetem, Pannon Egyetem.
- 23) KÖDÖBÖCZ, L., MURÁNYI, A. (2012): A DNS talajmintából való kivonásának módszertani áttekintése. *Agrokémia és Talajtan*, 61 (1) 227–234. p.  
doi: 10.1556/Agrokem.60.2012.1.16
- 24) KÖDÖBÖCZ, L., GAZDAG, O., FÜZY, A., MURÁNYI, A., TAKÁCS, T. (2013): Szimbionta mikrobák jellemzése és diverzitása organikus és nagyüzemi talajművelési módoknál. In: Janda, T. (Szerk.): *II. ATK Tudományos Nap: Velünk Élő Tudomány* (A Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából). 273 p. Konferencia helye, ideje: Martonvásár, Magyarország, 2013.11.08. Martonvásár: MTA Agrártudományi Kutatóközpont, 2013. 278–281. p. (ISBN:978-963-8351-41-8)
- 25) LAKANEN, E., ERVIÖ, R. (1971): A comparison of eight extractants for the determination of plant available micronutrients in soils. *Acta Agralia Fennica*, 123 223–232. p.

- 26) MÉM NAK. (1979): Műtrágyázási irányelvek és a műtrágyázás üzemi számítási módszere. (Szerk.: Buzás, I. és Fekete, A.) Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- 27) MSZ 08-0205:1978. A talaj fizikai és vízgazdálkodási tulajdonságainak vizsgálata.
- 28) MSZ 08-0206-2:1978. A talaj egyes kémiai tulajdonságainak a vizsgálata. Laboratóriumi vizsgálatok.
- 29) MSZ 08-0458-80:1980. Az összes nitrogéntartalom meghatározása.
- 30) MSZ 20135:1999. A talaj oldható tápelemtartalmának meghatározása.
- 31) MSZ 21470-50:2006. Környezetvédelmi talajvizsgálatok. Az összes és az oldható toxikuselem-, a nehézfém- és a króm (VI) tartalom meghatározása.
- 32) NORTCLIFF, S., (2002): Standardisation of soil quality attributes. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 88 (2) 161–168. p.  
doi: 10.1016/S0167-8809(01)00253-5
- 33) PETRIC, I., PHILIPPOT, L., ABBATE, C., BISPO, A., CHESNOT, T., HALLIN, S., LAVAL, K., LEBEAU, T., LEMANCEAU, P., LEYVAL, C., LINDSTÖRM, K., PANDARD, P., ROMERO, E., SARR, A., SCHLOTTER, M., SIMONET, P., SMALLA, K., WILKE, B.-M., MARTIN-LAURENT, F. (2011): Inter-laboratory evaluation of the ISO standard 11063 "Soil quality – Method to directly extract DNA from soil samples". *Journal of Microbiological Methods*, 84 (3) 454–460. p.  
doi: 10.1016/j.mimet.2011.01.016
- 34) REEVE, J. R., HOAGLAND, L. A., VILLALBA, J. J., CARR, P. M., ATUCHA, A., CAMBARDELLA, C., DAVIS, D. R., DELATE, K. (2016): Chapter Six - Organic farming, soil health, and food quality: Considering possible links. *Advances in Agronomy*, 137 319–367. p.  
doi: 10.1016/bs.agron.2015.12.003
- 35) SAHOO, P. K., BHATTACHARYYA, P., TRIPATHY, S., EQUENUDDIN, S. M., PANIGRAHI, M. K. (2010): Influence of different forms of acidities on soil microbiological properties and enzyme activities at an acid mine drainage contaminated site. *Journal of Hazardous Materials*, 179 (1-3) 966–975. p.  
doi: 10.1016/j.jhazmat.2010.03.099
- 36) SCHLOTTER, M., DILLY, O., MUNCH, J. C. (2003): Indicators for evaluating soil quality. *Agriculture, Ecosystem & Environment*, 98 (1-3) 255–262. p.  
doi: 10.1016/S0167-8809(03)00085-9
- 37) SCHNÜRER, J., ROSSWALL, T. (1982): Fluorescein diacetate hydrolysis as a measure of total microbial activity in the soil and litter. *Applied and Environmental Microbiology*, 43 (6) 1256–1261. p.
- 38) SHUKLA, M. K., LAL, R., EBINGER, M., (2006): Determining soil quality indicators by factor analysis. *Soil and Tillage Research*, 87 (2) 194–204. p.  
doi: 10.1016/j.still.2005.03.011
- 39) STEFANOVITS, P. (1972): Talajtan. Budapest: Mezőgazda Kiadó.
- 40) SZEGI, J. (1979): Talajmikrobiológiai vizsgálati módszerek. Budapest: Mezőgazda kiadó. 310 p.  
ISBN: 9632300815
- 41) SZILI-KOVÁCS, T., ZSUPOSNÉ, O. Á., KÁTAI, J., VILLÁNYI, I., TAKÁCS, T. (2009): Talajbiológiai és talajkémiai változók közötti összefüggések néhány tartamkísérlet talajában. *Agrokémia és Talajtan*, 58 (2) 309–324. p.  
doi: 10.1556/Agrokem.58.2009.2.11
- 42) SZILI-KOVÁCS, T., TÖRÖK, K. (2005): Szénforráskezelés hatása a talaj mikrobiális aktivitására és biomasszájára felhagyott homoki szántókon. *Agrokémia és Talajtan*, 54 (1–2) 149–162. p.  
doi: 10.1556/Agrokem.54.2005.1-2.11

- 43) SZILI-KOVÁCS, T., KÁTAI, J., TAKÁCS, T. (2011): Mikrobiológiai indikátorok alkalmazása a talajminőség értékelésében. 1. Módszerek. *Agrokémia és Talajtan*, 60 (1) 273–286. p.  
doi: 10.1556/Agrokem.60.2011.1.20
- 44) TYURIN, I. V. (1937): *Organicseszkoje vscsesztvo pocsvü. Szelhozgiz. Moszkva.*
- 45) van LEEUWEN, J. P., DJUKIC, I., BLOEM, J., LEHTINEN, T., HEMERIK, L., de RUITER, P. C., LAIR, G. J. (2017): Effects of land use on soil microbial biomass, activity and community structure at different soil depths in the Danube floodplain. *European Journal of Soil Biology*, 79 14–20. p.  
doi: 10.1016/j.ejsobi.2017.02.001
- 46) VILLÁNYI, I., FÜZY, A., ANGERER, I., BIRÓ, B. (2006): Total catabolic enzyme activity of microbial communities by fluorescein diacetate analysis (FDA) method. 441–442. p. In: JONES, D. L. (Szerk.): *Handbook of methods used in rhizosphere research. Understanding and modelling plant-soil interactions in the rhizosphere environment.* Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute. 536 p.  
ISBN: 3905621355
- 47) WICK, B., KÜHNE, R. F., VLEK, P. L. G. (1998): Soil microbiological parameters as indicators of soil quality under improved fallow management system in south-western Nigeria. *Plant and Soil*, 202 (1) 97–107. p.  
doi: 10.1023/A:1004305615397
- 48) WILLIAMSON, K. E., KAN, J., POLSON, S. W., WILLIAMSON, S. J. (2011): Optimizing the indirect extraction of prokaryotic DNA from soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 43 (4) 736–748. p.  
doi: 10.1016/j.soilbio.2010.04.017

## 7. AZ ÉRTEKEZÉS TÉMAKÖRÉHEZ KAPCSOLÓDÓ PUBLIKÁCIÓK

### Idegen nyelvű, impakt faktoros folyóiratban

1. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., KRETT, G., SZILI-KOVÁCS, T. (2019a): *Alphaproteobacteria* communities depend more on soil types than land managements. *Acta Agriculturae Scandinavica, Section B – Soil & Plant Science*, 69 (2) 147–154. p.  
doi: 10.1080/09064710.2018.1520289  
**IF=0,81** (2018)
2. **GAZDAG, O.**, KOVÁCS, R., PARÁDI, I., FÜZY, A., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., SZILI-KOVÁCS T., INUBUSHI, K., TAKÁCS, T. (2019b): Density and diversity of microbial symbionts under organic and conventional agricultural management. *Microbes and Environments*, Published online: June 13, 2019.  
doi: 10.1264/jsme.2.ME18138.  
**IF=2,47** (2019)

### Idegen nyelvű, nem impakt faktoros folyóiratban

1. **GAZDAG, O.**, KÖDÖBÖCZ, L., SZILI-KOVÁCS, T., MURÁNYI, A. (2015): Characterization of the efficiency of soybean inoculation. *Agrokémia és Talajtan*, 64 (2) 453–465. p.  
doi: 10.1556/0088.2015.64.2.11

2. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., SZILI-KOVÁCS, T. 2018. Soil metabolic activity profiles of the organic and conventional land use at Martonvásár. Columella: Journal of Agricultural and Environmental Sciences, 5 (1) 27–35. p.  
doi: 10.18380/SZIE.COLUM.2018.5.1.27

### **Magyar nyelvű, nem impakt faktoros hazai folyóiratban**

1. MUCSI, M., CSONTOS, P., BORSODI, A., KRETT G., **GAZDAG O.**, SZILI-KOVÁCS, T. (2017): A mikrorespirációs (MikroResp™) módszer alkalmazása apajpusztai szikes talajok mikrobaközösségeinek katabolikus aktivitás mintázatának vizsgálatára. Agrokémia és Talajtan, 66 (1) 165–179. p.  
doi: 10.1556/0088.2017.66.1.10

### **Konferencia kiadvány**

1. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., MUCSI, M., KRETT, G., KÖDÖBÖCZ, L., SZILI-KOVÁCS, T. (2018): Különböző gazdálkodási módok hatása a talaj baktérium-közösségeinek diverzitására. In: Bakacsi Zs, Kovács Zs, Koós S (szerk.) Talajtani Vándorgyűlés: Absztrakt és program füzet: Talajhasználat - funkcióképesség. 106. p. Konferencia helye, ideje: Pécs, Magyarország, 2018.08.29-2018.09.01. Magyar Talajtani Társaság, 51. p.

2. MUCSI, M., **GAZDAG, O.**, KRETT, G., BORSODI, A., INUBUSHI, K., SZILI-KOVÁCS, T. (2018): Structure and physiology of soil microbial communities in naturally saline-alkaline soils. In: 32<sup>nd</sup> Annual Meeting of Japanese Society for Microbial Ecology & 10<sup>th</sup> Asian Symposium on Microbial Ecology: Book of Abstracts. Konferencia helye, ideje: Okinawa, Japán, 2018.07.11-2018.07.13. Okinawa: ASME; JSME; SFEN, 407. p. 1 p.

3. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., INUBUSHI, K., SZILI-KOVÁCS, T. (2018): Comparing organic and conventional farming systems at three different soils by physiological profiles of the soil microbial assemblage. In: 32<sup>nd</sup> Annual Meeting of Japanese Society for Microbial Ecology & 10<sup>th</sup> Asian Symposium on Microbial Ecology: Book of Abstracts. Konferencia helye, ideje: Okinawa, Japán, 2018.07.11-2018.07.13. Okinawa: ASME; JSME; SFEN, 409. p. 1 p.

4. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., INUBUSHI, K., SZILI-KOVÁCS, T. (2018): Comparison of two farming systems by soil metabolic activity profiles. Geophysical Research Abstracts 20: Paper 4837. 1. p. (2018) EGU General Assembly 2018. Bécs, Ausztria: 2018.04.09-2018.04.13.

5. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., SZILI-KOVÁCS, T. (2017): Comparison of the different land use management at Martonvásár by soil metabolic activity profiles (2017): In: Makádi Marianna (szerk.) International Conference on Long-term Field Experiments (LOTEX 2017): Proceedings of Abstracts. 55 p. Konferencia helye, ideje: Nyíregyháza, Magyarország, 2017.09.27-2017.09.28. Debrecen: Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Nyíregyházi Kutatóintézet, 2017. 34. p. (ISBN:978-963-473-973-9)

6. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., VILLÁNYI, I., SZILI-KOVÁCS, T. (2017): Comparing organic and conventional land use history at three different hungarian soils by physiological profiles of the soil microbial assemblage. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 64:(Suppl. 1.) 31. p. (2017) 5th Central European Forum for Microbiology. Keszthely, Magyarország: 2017.10.18-2017.10.20.
7. MUCSI, M., **GAZDAG, O.**, KRETT, G., CSONTOS, P., BORSODI, A., SZILI-KOVÁCS, T. (2017): Diversity and catabolic activity profiles of soil microbial communities from saline sodic soils in Hungary. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 64:(Suppl. 1) 62. p. (2017) 5<sup>th</sup> Central European Forum for Microbiology. 2017.10.18-2017.10.20.
8. MUCSI, M., **GAZDAG, O.**, KRETT, G., CSONTOS, P., BORSODI, A., SZILI-KOVÁCS, T. (2017): Study of structural composition and catabolic activities of microbial communities of saline-alkaline soils at Apajpuszta, Hungary. *Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica* 64:(suppl. 1) 151. p. (2017) 5<sup>th</sup> Central European Forum for Microbiology. Keszthely, Magyarország: 2017.10.18-2017.10.20.
9. **GAZDAG, O.**, SZILI-KOVÁCS, T., TAKÁCS, T., KRETT, G., VILLÁNYI, I., KÖDÖBÖCZ, L. (2016): Karcagi eltérő művelési módok összehasonlítása a talajbiológiai aktivitás és bakteriális diverzitás alapján. In: KÁTAI, J., SÁNDOR, ZS., SZÁSZ, G. (szerk.) Talajtani Vándorgyűlés: "Okszerű talajhasználat - Talajvédelem": Program; Az előadások és a poszterek összefoglalója. Konferencia helye, ideje: Debrecen, Magyarország, 2016.09.01-2016.09.03. Debrecen: MAE Talajtani Társaság, 2016. p. 61 (2).
10. MUCSI, M., **GAZDAG, O.**, KRETT, G., CSONTOS, P., BORSODI, A., SZILI-KOVÁCS, T. (2016): Diversity and catabolic activity profiles of soil microbial communities from saline sodic soils in Hungary. In: MÁRIALIGETI, K. (szerk.) A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2016. évi nagygyűlése és a XII. Fermentációs Kollokvium: absztraktkötet. Konferencia helye, ideje: Keszthely, Magyarország, 2016.10.19-2016.10.21. Keszthely: Magyar Mikrobiológiai Társaság (MMT), 43. p.
11. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., KRETT, G., SZILIKOVÁCS, T. (2016): Effect of different land use on soil bacterial communities diversity. In: KERESZTES, G. (szerk.) Tavaszi szél 2016: Nemzetközi multidiszciplináris konferencia: Absztraktkötet. 485 p. Konferencia helye, ideje: Budapest, Magyarország, 2016.04.15-2016.04.17. Budapest: Doktoranduszok Országos Szövetsége, 2016. 7. p. (ISBN:978 615 5586 04 0)
12. **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T., KÖDÖBÖCZ, L., MUCSI, M., VILLÁNYI, I., SZILI-KOVÁCS, T. (2016): Comparing organic and conventional land use history at three different Hungarian soils by physiological profiles of the soil microbial assemblage. In: MÁRIALIGETI, K. (szerk.) A Magyar Mikrobiológiai Társaság 2016. évi nagygyűlése és a XII. Fermentációs Kollokvium: absztraktkötet. Konferencia helye, ideje: Keszthely, Magyarország, 2016.10.19-2016.10.21. Keszthely: Magyar Mikrobiológiai Társaság (MMT), 23. p.

13. FÜZY, A., KOVÁCS, R., CSERESNYÉS, I., **GAZDAG, O.**, TAKÁCS, T. (2015): Párválasztási tanácsadás: szófafajták és mikroszimbionták. In: VEISZ, O. (szerk.) XXI. Növénynevelési Tudományos Napok: Összefoglalók. 155 p. Konferencia helye, ideje: Martonvásár, Magyarország, 2015.03.11-2015.03.12. Martonvásár: MTA ATK, 2015. 77. p. (ISBN:978-963-8351-43-2)
14. **GAZDAG, O.**, KÖDÖBÖCZ, L. (2015): A talaj mikrobióta DNS kivonásának és molekuláris vizsgálatának módszertani fejlesztése. In: Doktoranduszok Országos Szövetsége. Tavaszi szél: absztraktkötet 2015. 485 p. Konferencia helye, ideje: Eger, Magyarország, 2015.04.10-2015.04.12. Budapest: Publio Kiadó, 2015. 33. p. (ISBN:978-963-397-702-6)
15. TAKÁCS, T., CSERESNYÉS, I., KOVÁCS, R., PARÁDI, I., **GAZDAG, O.**, SZILIKOVÁCS, T., FÜZY, A. (2015): Effect of Rhizobium and AM fungi inoculation on soybean. Acta Fytotechnica et Zootechnica 18:(spec.iss.) 131–133. p. (2015) 5<sup>th</sup> International Conference on Organic Agriculture Sciences. Bratislava, Szlovákia: 2015.10.14-2015.10.17.
16. TAKÁCS, T., FÜZY, A., KOVÁCS, R., **GAZDAG, O.**, SZABÓ, K., ENGEL, R. (2014): Effect of managed mycorrhization on the quantitative and quality aspects of aromatic and medical plant production. In: Fiatal Biotechnológusok Országos Konferenciája "FIBOK 2014": Program és összefoglalók. Konferencia helye, ideje: Szeged, Magyarország, 2014.03.07 Szeged: Barabás Zoltán Biotechnológiai Egyesület, 85. p.
17. KÖDÖBÖCZ, L., **GAZDAG, O.**, FÜZY, A., MURÁNYI, A., TAKÁCS, T. (2013): Szimbionta mikrobák jellemzése és diverzitása organikus és nagyüzemi talajművelési módoknál In: JANDA, T. (szerk.) II. ATK Tudományos Nap: Velünk Élő Tudomány (A Magyar Tudomány Ünnepe alkalmából). 273 p. Konferencia helye, ideje: Martonvásár, Magyarország, 2013.11.08 Martonvásár: MTA Agrártudományi Kutatóközpont, 2013. 278–281. p. (ISBN:978-963-8351-41-8)
18. KÖDÖBÖCZ, L., **GAZDAG, O.**, FÜZY, A., MURÁNYI, A., TAKÁCS, T. (2013): Diversity of microbial symbionts under organic and conventional agricultural systems. In: DREXLER, D. (szerk.) 4<sup>th</sup> International Conference on Organic Agriculture Sciences (ICOAS). Konferencia helye, ideje: Budapest; Eger, Magyarország, 2013.10.09-2013.10.13. Budapest; Eger: 85. p.
19. **GAZDAG, O.**, MURÁNYI, A., KÖDÖBÖCZ, L. (2013): Comparison of different mechanical lysis methods for the isolation of soil community DNA. Acta Microbiologica et Immunologica Hungarica 60:(Suppl.) 142–143. p.