

Biológiai úton lebomló szerves hulladékok komposztálása és a komposztok hasznosulása a talajban

Composting biodegradable wastes and the utilization of composts in the soil



Absztrakt

A biológiai eredetű hulladékokra erőforrásként kell tekinteni. Egyre növekszik jelentőségük, hiszen fontos növényi tápanyagokat tartalmaznak (nitrogén N, foszfor P, kálium K). Széntartalmuk egyrészt a komposzt humuszban kötött állapota miatt nem terheli CO₂ kibocsátással a légkört, másrészt a táphumusz által serkenti a talajéletet, növeli a termőképességet és az erózióval szembeni ellenálló képességet. Az így nyert trágya alkalmazásával csökkenhet a műtrágya-felhasználás, a humusz szénmegkötő képessége hozzájárul a klímavédelemhez. Komposztálásuk révén a tárolás során keletkező üvegházhatású gázok termelődése elkerülhető és olyan termék képződik, melynek segítségével a növényi tápanyagok és a szén a természetes körforgásba visszailleszthető. A tanulmány célja bemutatni a szántóföldi komposzttrágyázásos kísérlet hatását a természetett növények mennyiségi és minőségi paramétereire, valamint a talaj penetrációs ellenállására.

Kulcsszavak: szerves anyag, humusz, komposzt, tápanyagok, talajtömörödés

Abstract

Wastes of biological origin should be considered as a resource. Their importance is increasing as they contain essential plant nutrient elements (nitrogen N, phosphor P, potassium K). Since the carbon content, on the one hand, is bound in the compost, it does not put a burden on the atmosphere because it has no carbon dioxide emission. On the other hand, it is good for soil microorganisms; it increases soil fertilisation and resistance to soil erosion. With the application of manure produced this way, the amount of artificial fertilizers used can be reduced; the carbon absorption ability of the hummus contributes to climate protection. By their composting, the production of greenhouse gases produced during their storage can be avoided and the result is such a product which can recycle plant nutrients and carbon. The purpose of this paper is to present the results of a compost treatment in field experiment and the effect on the main quality and quantity parameters of plants and on the soil compaction.

Keywords: organic matter, humus, compost, nutrient elements, soil compaction

BEVEZETÉS

Talajaink állapotának megóvása, javítása elemi érdekünk, hiszen a talaj a növénytermesztés, tágabb értelemben véve az élelmiszertermelés alapvető termelőeszköze. Ezen túlmenően a szervesanyag-tartalom növelése, a szerves kötésben lévő szén megtartása nem csak a művelhetőségre és a tápanyag-szolgáltató képességre van pozitív hatással, hanem a közvetetten a klímavédelemben is szerepet játszik. A nagy mennyiségben termelődő, biológiai úton bontható szerves hulladékok hasznosítása is fontos kérdés. Ezen hulladékok ártalmatlanításának egyik módja a komposztálás. Az így keletkezett anyag, amennyiben minőségi paraméterei megfelelőek, felhasználható a mezőgazdaságban szerves trágyaként. A tanulmány ezt a kérdéskört vizsgálja, különös tekintettel a komposzt-trágyázás vegetatív fejlődésre, beltartalmi értékekre és a talaj mechanikai ellenállására gyakorolt hatására.

A tanulmány szakirodalmi források feldolgozásával körüljárja a talaj szerkezetének, illetve annak leromlásának kérdéskörét, különös tekintettel a talajtömörödéssre. Tárgyalja továbbá a biológiai úton lebomló hulladékok komposztálásának lehetőségeit, a komposztálás folyamatát, a komposzttrágyázás hatását a talajra. A módszertani fejezet írja le a szántóföldi kísérlet körülményeit, tárgyalja a vizsgált terület talajtulajdonságait, a kísérlet során felhasznált komposztok fontosabb paramétereit, az alkalmazott kezeléseket, vizsgálatokat. Az eredmények fejezetben a vizsgált paraméterekre (LAI, cink tartalom, hektolitertömeg, penetrációs ellenállás) gyakorolt hatás mértékét írjuk le, és az eredményekkel összhangban javaslatot fogalmazunk meg arra vonatkozóan, hogy miért érdemes a látszólagosan elhanyagolható hatás ellenére mégis felhasználni a komposztokat szervesanyag-pótlás céljából a szántóföldi növénytermesztésben.

1. A TALAJ ÉS A SZERKEZETLEROMLÁS VESZÉLYEI, VALAMINT A KOMPOSZTTRÁGYÁZÁS TALAJRA GYAKOROLT HATÁSÁNAK SZAKIRODALMI ÁTTEKINTÉSE

A talaj a mezőgazdaság legfontosabb termelőeszköze, amely élőhelyet biztosít a vadonélő állat, növény és mikroorganizmus populációknak is, és ezáltal válik a szárazföldi ökoszisztémák legfontosabb stressz hatásokat tompító alrendszerévé. A talajvízzel és tápanyaggal látja el a növényeket, az elpusztult állatokat és növényeket pedig a benne élő organizmusok segítségével lebontja (Füleki, 1988). Annak, hogy a talaj ezeket a funkcióit maradéktalanul ellássa, alapfeltétele a megfelelő talajszerkezet.

A talaj különböző ásványi és kémiai összetételű, méretű, alakú és térbeli elrendeződésű részecskék halmaza, s ez teszi lehetővé a víz, a levegő, valamint a felvehető formában lévő (oxidált, oldott) tápanyagok egyidejű jelenlétét, többé vagy kevésbé biztosítva ezzel a talaj élővilágának, valamint a természetes növényzetnek és termesztett növényeknek a talajökológiai feltételeit (Várallyay, 1999).

A talaj, mint három (négy) fázisú, négydimenziós, polidiszperz rendszer (különböző méretű, alakú és térbeli elrendeződésű részecskék horizontálisan és vertikálisan egyaránt heterogén, struktúrába rendeződött, s időben is dinamikusan változó halmaza) képes ugyanis a talajjal közvetlen vagy közvetetten kapcsolatban álló élő szervezetek, így a természetes növényzet és a termesztett kultúrák talajökológiai igényeit (leegyszerűsítve levegő-, víz- és tápanyag-igényét) többé vagy kevésbé kielégíteni. Mégpedig úgy, hogy e tevékenysége közben a talaj nem fogy, állagában nem változik alapvetően, minősége nem romlik szükségszerűen. A talaj feltételelesen megújuló (megújítható) természeti erőforrás. Nemcsak termékenységgel rendelkezik, hanem egy csodálatos megújuló képességgel („soil resilience”) is. Azonban ez a folyamat nem megy végbe automatikusan, feltételekhez kötött, amelyek közül a legfontosabbak az ésszerű földhasználat, a megfelelő agrotechnika, s bizonyos esetekben a melioráció, azaz talajjavítás. Ezek tudatos teljesítésével a talaj zavartalan – a társadalom részéről egyre sokoldalúbban használt – multifunkcionalitása hosszú távon is biztosítható. A talaj termékenysége fenntartható, sőt fokozható, a nem megfelelő talajhasználat káros talajtani és környezeti hatásai (talajtermékenységet gátló tényezők, talajdegradációs folyamatok stb.) eredményesen megelőzhetőek, kivédhetőek, de legalább bizonyos tűrési határig mérsékelhetőek (Várallyay, 2003).

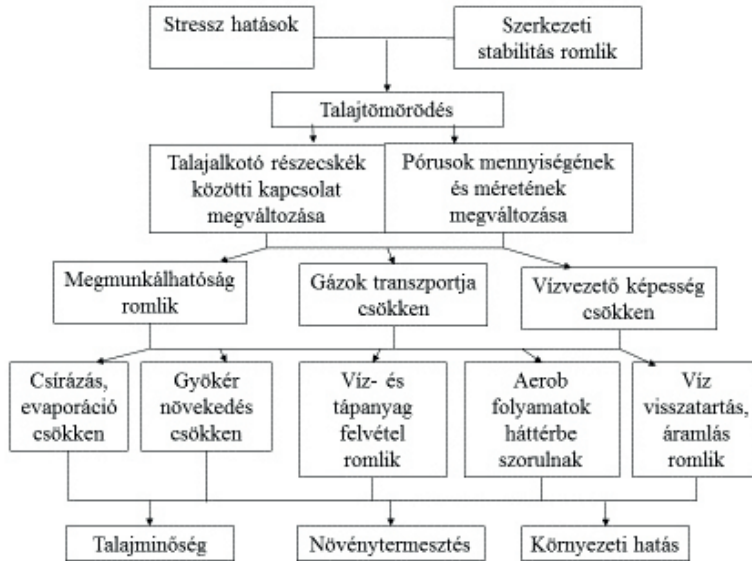
A talaj szerkezetének, illetve a szerkezet leromlásának egyik fokmérője a tömörödés, amely gátat szab a kedvező porozitásvizonyok, víz-levegő arány, illetve mikrobiológiai élet kialakulásának, ami a tartós szerkezet, illetve beéredés feltétele is. A tömődöttség a talajban természetes és mesterséges tényezők hatására alakulhat ki. A mesterséges tényezők közül több a nem megfelelő körülmények között és a nem megfelelő minőségben végrehajtott műveléssel függ össze. Az erő- és munkagépek kerekei tömörítik a talaj felszínét, és ez a tömörítő hatás a gépek tömegétől és a talaj nedvességtartalmától függően a 30–60 cm-es mélységig terjedhet. A művelés szempontjából az optimálisnál nedvesebb talajon a művelés-eszközök többsége tömöríti, gyúrja és keni a talajt. A tömődött talajban szünetelnek a biológiai folyamatok, nem alakítható ki a talaj érettségével össze-függő morzsás szerkezet.

Az 1. ábrán látható folyamat a különböző stressz faktorok hatását szemlélteti a talaj tulajdonságaira, minőségére, a termésre és a környezetre (Lipiec et al., 2003). Amint ezen az ábrán is látszik, a talaj tömörödését kiválthatják különböző stressz faktorok és a szerkezeti stabilitás változásai. A már kialakult tömörödés megváltoztatja a talajalkotó részek közötti kapcsolatot, a pórusok méretét és mennyiségét. Ez a talaj vízgazdálkodására van komoly befolyással, hiszen a gravitációs pórusok mennyiségének csökkenésével párhuzamosan csökken a talaj vízbefogadó és vízvezető képessége. A pórusok számának csökkenése maga után vonja a gázok transzport folyamatainak csökkenését. A részecskék közötti kapcsolat megváltozásával romlik a talaj megmunkálhatósága is. A tömörödött rétegben lemezessé válik a talaj szerkezete, és ezen a lemezes rétegen a gyökerek nem, vagy csak akadályozottan tudnak áthatolni, ezáltal csökken a víz és tápanyagfelvétel, és maga a

gyökérnövekedés is. Levegőtlené válhat a talaj, amely gátat szab az aerob folyamatoknak. Mindezek együttesen okozzák a talajminőség romlását, a terméshozam csökkenését, és utat nyitnak a különböző degradációs folyamatok előtt.

1. ábra: Különböző stressz faktorok hatása a talajra

Figure 1 Effect of different stress factors on soil



Forrás: Saját szerkesztés Lipiec et al., 2003 alapján

Megállapítható tehát, hogy a művelés közvetlenül és közvetve egyaránt hat a talajszerkezet-képződés és -pusztulás folyamataira. A biológiai beéredés a romlás ütemét mérsékli ugyan, de a szerkezetpusztulás folyamatát megállítani nem képes. A legfontosabb törekvés a kiváló okok megszüntetése, semlegesítése kell, hogy legyen.

Művelés hatására módosul a talaj térfogattömeggel és összes pórustérfogattal jellemezhető állapota. Ez a két mutató a talaj adott időpillanatban jellemző fizikai állapotának számszerű értékelésére alkalmas. A művelés hatása a talajellenállás értékeivel is jellemezhető. A nem művelt, vagy erősen tömörödött talaj térfogattömege $1,5 \text{ g/cm}^3$, vagy ennél nagyobb, pórustérfogata 40%, vagy ennél kisebb, talajellenállása pedig 2,5–5,5 MPa értékkel jellemezhető. Lazító művelés hatására a térfogattömeg $1,2 \text{ g/cm}^3$ értékre, vagy ez alá csökken, a pórustérfogata 50% fölé emelkedik, talajellenállása pedig 0,5–2,5 MPa-os értéktartományban marad. A talaj tömörödöttnek minősül, ha összpörözítése 40% alá csökken, térfogattömege meghaladja az $1,50 \text{ g/cm}^3$, ellenállása pedig a 2,5 MPa értéket (Birkás, 1997).

A helytelen művelés miatt elporosodott talaj a csapadék hatására eliszapolódik, majd kiszáradás után cserepesedik. A cserepesedés a vízálló morzsák hiányának,

a talajszerkezet leromlásának következménye. A cserepedés akadályozza a talaj levegőzését és biológiai folyamatait. Művelés során törekednünk kell a talaj szerkezetének kímélésére, a porosodást kiváltó tényezők háttérbe szorítására (Birkás-Szemők, 1999).

A talajműveléssel közvetlenül avatkozunk be a talaj fizikai állapotába. Hatása lehet kedvező, de kedvezőtlen is, és az általa elért talajállapot változás időtartama is eltérő (Schmidt et al., 1998). A talajművelést ezért mindig nagy körültekintéssel és odafigyeléssel kell végezni, mivel helytelen alkalmazása esetén a talajszerkezet leromlásával kell számolnunk. Ennek elsődleges következménye a talaj pórusainak térfogateloszlás szerinti megváltozása, pórusrendszerének funkcionális átalakulása, amely kedvezőtlenül hat a talaj víz- és levegőgazdálkodására, ezen keresztül pedig a talaj számos termékenységi tényezőjére (Tóth-Beke, 2003).

A talajnak, mint növényi élőhelynek alapvető feladata a természetett kultúrák vízzel, oxigénnel és tápanyagokkal való ellátása. Ezt a funkcióját csak akkor képes maradéktalanul betölteni, ha a három fázis (szilárd, légnemű, folyadék) aránya eléri a kívánt mértéket (Eitziger, 1991; Ouwerkerk-Soane, 1994; Birkás, 1995).

Tömörödött talajon a termésmennyiség szoros kapcsolatban áll a gyökérzet kiterjedésével és működésével. A legtöbb modellben a gyökérnövekedést figyelembe veszik a talaj penetrációs ellenállásának és nedvességi állapotának megítélésekor. Megbecsülhető az a kritikus talajjellenállás érték, amely már akadályozza a gyökerek növekedését (Dexter, 1987; Diggle, 1988; Bengough-Mullins, 1990). Ez a kritikus érték változhat a talajtextúra, a makroporozitás, a mélység és a növényfaj függvényében (Glinski-Lipiec, 1990; Pabin et al., 1998).

A talajtömörödés közvetlenül befolyásolja a növényi tápelemek felvehetőségét a talaj levegőzöttségének, vízgazdálkodási tulajdonságainak és a növény gyökere felé irányuló anyagmozgás sebességének változása miatt (Kemper et al., 1971). A növény tápanyagfelvételére gyakorolt közvetett hatása a gyökérzet térbeli eloszlásának és a gyökér-talaj kapcsolat megváltoztatásán keresztül mutatkozik meg.

Győri (1984) szerint a talajszerkezet a növény életét direkt, illetve indirekt úton egyaránt befolyásolja. Direkt hatásról akkor beszélünk, ha a növény gyökere eléri a talajban kialakuló eketalp réteget. A gyökér ezen réteg pórusain áthatol ugyan, megvastagodni azonban nem tud, csupán a pórusok által megszabott vastagságot éri el. Gyapot esetében figyelték meg azt, hogy míg a gyökér átmérője az eketalp réteg alatt és felett 10–20 mm volt, addig az eketalp rétegen belül az átmérő csupán az 1 mm-es vastagságot érte el.

Tömörödés hatására csökken a porozitás (Shafer-Landefeld et al., 2004; Shestak-Busse, 2005) és ezzel együtt a beszivárgás sebessége (Siyal et al., 2002; Woltemade, 2010), ami együttesen nagyfokú eróziós kártételhez vezethet (Boot-Jackson, 1997; Violin et al., 2011). A talaj vízbefogadó képességét javíthatja a művelés (Lipiec et al., 2006), különösen, ha szerves trágyát – komposztot – is kijuttatunk (Bazzoffi et al., 1998). Olson és társai (2013) vizsgálatai szerint a városi parkok tömörödött talajainak vízbefogadó képességét a mélyművelés önmagában, komposzt kijut-

tatása nélkül, tartósan nem volt képes javítani. Hasonló eredményekre jutottak Somerville és társai (2018) is, amikor zöldhulladékból készült komposztok hatását vizsgálta a fák növekedésére tömörödött városi talajokon. Schmid és társai (2017) vizsgálatai szerint a művelés kezdetben önmagában is segíti a gyepterület megerősödését homoktalajon, de komposzttrágyázás nélkül ez a hatás két év leforgása alatt elmúlik. A komposztok romtalajokra gyakorolt pozitív hatását Sumono és társai (2018) is kimutatták. Baldi és szerzőtársai (2018) szerint komposzttrágyázással egyidejűleg tudjuk növelni a talajban raktározott szén mennyiségét, és ezáltal elősegíthető a növények fejlődése és hasonló termésmennyiség elérése, mint műtrágyák használatával. Arról sem szabad megfeledkezni, hogy komposzt hozzáadásával emelkedik a talaj pH értéke, tápanyagtartalma és csökkenthető a potenciálisan toxikus nehézfémek mennyisége, tehát összességében jól használható szennyezett területeken a vegetáció megtelepedésének elősegítésére és a talajok egészségének megtartására (Farrell-Jones, 2010; Lima et al., 2018; Brennan-Acosta-Martinez, 2018). Ugyanakkor Mehta és társai (2014) megállapítása szerint a komposztnak szerepe lehet a talajban élő kórokozók, kártevők elleni harcban is.

A biológiai úton lebomló szerves hulladékok komposztálás utáni mezőgazdasági hasznosítása hozzájárul a talajok szervesanyag-készletének gyarapításához, a talajszerkezet javításához, valamint a szénveszteség csökkentésével közvetett módon a klímavédelemhez.

A talaj megújítható természeti erőforrás, mely nemzeti vagyonunk 1/5-ét képezi (Kádár, 1998). Megújulása nem megy végbe automatikusan. Állandó és aktív tevékenységet követel, melynek legfontosabb elemei az ésszerű földhasználat, a talajvédelem, az agrotechnika és a melioráció (Várallyay, 2000; 2002). Talajkészletünk nemzeti vagyon, nem emberi léptékű kategória, azaz már az emberiség kialakulása előtt is létezett, és minden generáció kötelessége, hogy termékenységét továbbra is fenntartsa és az újabb generációk számára megőrizze úgy, hogy jelenlegi igényeinket is kielégítse (Németh, 2002). A földművelés legrégebb és egyik legértékesebb tevékenysége a szervestrágyázás és komposztálás. Hatása sokoldalú, alapanyaga szinte teljes mértékben önállóan megtermelhető a mezőgazdaságban (Kismányoky, 1993).

Korunk nagy problémája a folyamatosan termelődő hulladék. Ennek a kérdésnek a megoldása az ártalmatlanításban, az elhelyezésben, a hasznosításban kereshető. A fogyasztói társadalomban nagyobb létszámú településen élő emberek nagy mennyiségű szerves hulladékot termelnek. A hulladék szerves anyagának körforgalomba való visszajuttatása már a természetes ökoszisztémában nem valósítható meg. Ezért a visszajuttatást az ember irányított humuszgyártással (komposztálás) és biogáz termeléssel valósítja meg (Kocsis, 2011).

A természetben nincsen hulladék abban az értelemben, ahogy mi felfogjuk (Vermes, 2005, 75): „...az anyag megmarad, legfeljebb átalakul, az élőlények átalakítják; a lehullott falevél elkorhad, az elhullott állat felbomlik, más élőlé-

nyek táplálékává lesz, az anyagi építőkövek a természetes körfolyamatok részeivé válnak, igazában tehát semmi sem válik fölöslegessé.”

Ez a lebontás aerob és anaerob úton valósulhat meg. A végső átalakulás, a mineralizáció folyamán a kiindulási anyag teljes oxidációjával víz és szén-dioxid keletkezik. A különböző anyagok (pl.: egyszerű cukrok, növényi polimerek vagy szennyező anyagok) a mikroorganizmusok anyagcsere-tevékenysége révén hasonlóképpen degradálódnak. A több lépésben lejátszódó mineralizációs folyamat szénforráshoz és energiához juttatja a mikrobákat (Maier, 2009).

Kerényi (1990) meghatározása szerint a komposztálás a hulladékártalmatlantítás, illetve hulladékhasznosítás egyik módszere, amellyel a nagy szerves anyag hányadú hulladékok aerob mikroorganizmusok közreműködésével, hőfejlődés közben lebonthatók. A komposztálás olyan biológiai folyamat, amely a hulladékok, melléktermékek szerves anyagait stabil, tovább könnyen már nem bomló, humuszszerű terméké alakítja át. A mezőgazdaságban, különösen a kertészetekben régóta ismert és alkalmazott módszer (Vermees, 1998).

A komposztálás az intenzív, iparszerű mezőgazdálkodás időszakának vége óta kezd újra elterjedni. Talajtani jelentőségét, közvetlen hasznát az adja, hogy a helyesen végrehajtott komposztálás után olyan anyagi rendszert juttathatunk a talajba, amely humuszban és ásványi anyagokban gazdag, mindemellett elősegíti a talaj nehezebben oldható tápanyagainak feltáródását, valamint a víz- és tápanyagmegkötésben is jelentős (Forró, 1998; Kluger, 2002).

A folyamat eredményeként keletkezik a komposzt, ami humifikált szerves anyagokat, ásványi tápanyagokat és mikrobiális termékeket, fermentumokat tartalmaz, földszerű, nedvességtartalma 40–50% között változik, humuszképző szerves anyag és növényi tápanyag is egyben (Czupy-Vágvölgyi, 2011).

Komposztálással csökkenthető az általunk megtermelt hulladék mennyisége. Így relatív alacsony beruházási költséggel, oly módon tudunk fertőző ágensektől mentes, a mezőgazdaságban felhasználható, a talaj fizikai állapotára kedvező anyagot előállítani, amely nem ütközik a lakosság ellenállásába (Varga et al., 1999).

2. MÓDSZERTAN

A véletlen blokk elrendezésű, négy ismétléses, -2011től 2013-ig tartó, a bécsi és győri forrásból származó, különböző adagokban kijuttatott (8 t/ha, 15 t/ha és 24 t/ha) komposztok hatását összehasonlító szántóföldi kísérlet a Széchenyi István Egyetem, Mezőgazdaság- és Élelmiszertudományi Kar (a vizsgálat idejében még Nyugat-magyarországi Egyetem) tangazdaságában került beállításra.

A kísérleti területen Duna menti öntés csernozjom talaj található 130 cm mély termőréteggel, melynek Arany-féle kötöttségi száma (ami a mechanikai összetételét mutatja) 52, pH-ja 7,2 (semleges). A humusztartalom a talaj felső rétegében 3–4%, azonban ez az érték lefelé haladva fokozatosan csökken. A csernozjom talaj jellemzően az agyagos vályog, illetve az agyag textúra csoportba sorolható. Szerkezete morzsás, de az öntés jelleg miatt néhol kevésbé jó. Vízvezető, víztartó

képessége közepes, szervesanyag-gazdálkodása pedig a szerves kötésben található nitrogén mennyiségétől és az ásványosodás ütemétől függően változik. A csernozjomok összességében jó termőképességű talajok, melyeken a gazdálkodás korlátja a csapadékhiány, illetve a tavaszi időszakban előforduló nedvességtöbblet lehet. A nedvességtöbblet vagy -hiány kialakulásához elegendő lehet a mikrodomborzat változatossága, amely a tökéletesen simának tűnő táblán is jelentős különbséget eredményezhet a természetett növény fejlettségi állapotában.

A szántóföldi kísérletben két eltérő helyről származó komposzt hatását vizsgáltuk. A „B” jelű komposztot a bécsi MA48 állította elő, ennek főbb minőségi paramétereit a következők: N (nitrogén) tartalom (m/m% sz.a.): 0,6%, P_2O_5 (foszfor-pentoxid) tartalom (m/m% sz.a.): 0,12%, K_2O (kálium-oxid) tartalom (m/m% sz.a.): 0,5%. A „G” jelű komposztot a győri komposztálótelep állította elő, főbb minőségi paramétereit a következők: N tartalom (m/m% sz.a.): 1,2%, P_2O_5 tartalom (m/m% sz.a.): 6%, K_2O tartalom (m/m% sz.a.): 1%. Egy kontroll parcellát is tartalmazott a kísérlet (K).

A véletlen blokk elrendezésű négy ismétléses kísérletben mindkét vizsgált komposztból a következő adagok kerültek kijuttatásra: 8 t/ha (B1, G1), 15 t/ha (B2, G2), 24 t/ha (B3, G3). Tehát mind a bécsi (B), mind a győri (G) komposztból azonos mennyiséget alkalmaztunk az egyes parcellákon. A komposztokat nem kevertük, olyan kezelést, ahol az adott kísérleti parcellára mindkét komposztot felhasználtuk volna, nem volt. A kísérleti parcellák 225 m² nagyságúak voltak. A természetett növény DKC 3511 (FAO 310) kukorica volt, illetve a negyedik évben a kukoricát tavaszi árpa követte. A kukorica vetése a vizsgálat éveiben (2011–2013) április hónap harmadik dekádjában történt, a tavaszi árpáé pedig március hónap végén. A kukorica tőszáma 70 ezer db ha⁻¹ volt, ásványi trágyázás nem történt. A vegetatív fejlődés nyomán követése érdekében a tenyészidőszak alatt öt alkalommal mértük a növény magasságát, a levélszélességet és levélhosszúságot. A LA és LAI értéket a Montgomery-képlet [$LA (m^2 \cdot db^{-1}) = \text{levélhosszúság} (m) \cdot \text{levélszélesség} (m)$; $LAI (m^2 \cdot m^{-2}) = LA(m^2 \cdot db^{-1}) \cdot PPD(db \cdot m^{-2})$] segítségével számoltuk.

A növény minta-vételezés a csövek megjelenése után, a csővel szemközti levelek begyűjtésével történt. Kezelésenként 1 kg-os átlagmintát szedtünk. Vizsgálatra került a növény makro- és mikroelem-tartalma (nitrogén (N), foszfor (P), kálium (K), vas (Fe), mangán (Mn), magnézium (Mg), cink (Zn), kalcium (Ca), réz (Cu)). A kukorica szemtermés összes nitrogén tartalmát VARIO-MAX CNS elem-analizáló készülék segítségével vizsgáltuk.

A penetrációs ellenállás méréseket a 3T System rétegingdikátorral kezelésenként 5 ismétlésben végeztük 50 cm mélységig. A berendezés 1 cm-es talajrétegenként folyamatosan és összetartozóan méri a talaj nedvességtartalmát és tömődöttségét, illetve penetrációs ellenállását. A talaj nedvességtartalmát a szántóföldi vízkapacitás (pF 2,5) százalékban kifejezett részarányaként, a penetrációs ellenállását kPa-ban méri, amit az adatok feldolgozása során MPa-ba váltottunk át. A talajelőkészítés tarlóművelés tárcsával, felületlezárás gyűrűs hengerrel; az alpművelés közép mély szántás, elmunkálás simítóval, a komposzt bedolgozása tárcsával történt.

3. EREDMÉNYEK ÉS KÖVETKEZTETÉSEK

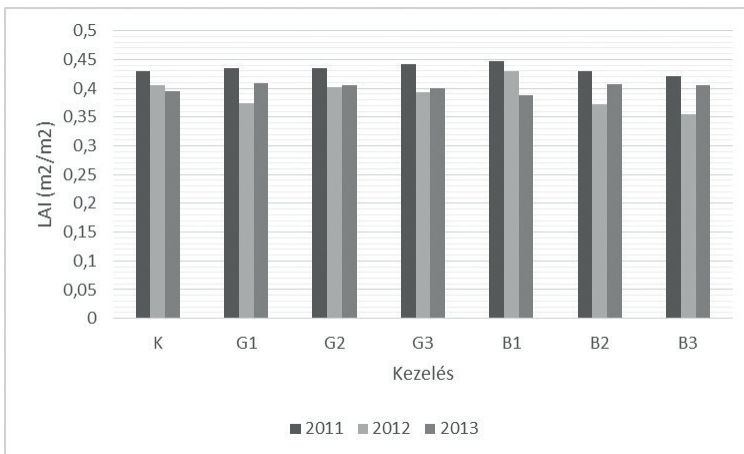
3.1. A VIZSGÁLATOK EREDMÉNYEI

A tápelemek közül egyik sem mutat olyan erős hajtás és termésmnövelő hatást, mint a nitrogén, és a hiányában fellépő növekedésgátlás is a legjelentősebb. A növényi hormonokkal kölcsönhatásban képes a növény megfelelő nagyságú asszimilációs felületet kialakítani, magas klorofill tartalommal, ami előfeltétele a szénhidrát vegyületek képzésének. (Debreczeni, 1999).

Az elvégzett vizsgálatok alapján azt a következtetést lehet levonni, hogy a kukorica vegetatív fejlődésére (a kelés és a virágzás közötti időszak), növekedés ütemére, növénymagasságra és a levélterület indexre (LAI, amely megadja az asszimilációs felület méretét és a fényadaptációt, hiszen ez a növényenkénti levélterület (LA) és a tenyészterület (P) közötti arány) az (2. ábra) a komposztkezelések nem voltak szignifikáns hatással. Mivel ásványi trágyát nem juttattunk ki a kísérletben, elmondható, hogy az alkalmazott komposztok önmagukban nem képesek erre a paraméterre mérhető hatást gyakorolni. A növényeken a korai öregedés tüneteit nem lehetett felfedezni, tehát a talajban műtrágyázás nélkül is volt a növények fejlődéséhez elegendő nitrogén.

2. ábra: Kukorica levélterület index

Figure 2 LAI of maize



Forrás: Saját szerkesztés saját vizsgálat alapján

Magyarázat: 8 t ha⁻¹ (B1, G1), 15 t ha⁻¹ (B2, G2), 24 t ha⁻¹ (B3, G3)

K: kontroll, B: bécsi komposzt, G: győri komposzt

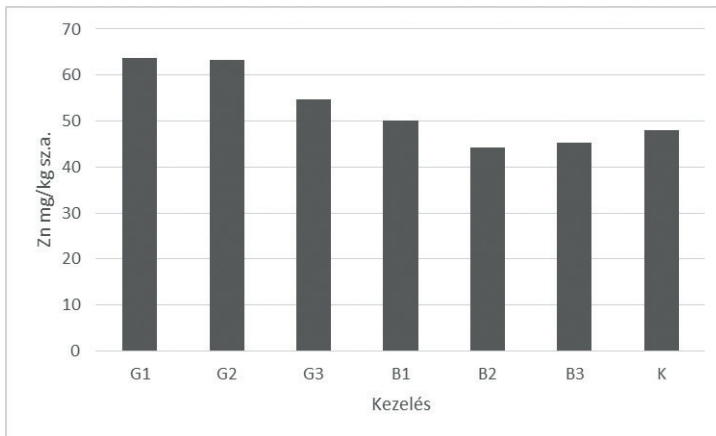
A vizsgálati eredmények alapján elmondható, hogy a komposztkezelések a makroelemek tekintetében csak a nitrogén tartalomnál fejtettek ki hatást (0,1%-os összes nitrogén tartalom növekedés), de ez nem tekinthető szignifikáns különbség-

nek. A mikroelemeknél a kontrollhoz viszonyítva bármely komposztnál, bármely dózisban az elem-tartalom növekedését figyeltük meg. A növényminták vastartalma a kontrollhoz viszonyítva, melyben 94,2 mg/kg sz.a. (szárazanyag) értéket mértünk, a kezelésekben 111,089–116,6 mg/kg sz.a. értékig emelkedett. A legnagyobb emelkedés a G3 kezelésben, a legkisebb mértékű a B1 kezelésben volt mérhető. A mangán tartalomnál is hasonló emelkedés volt tapasztalható a kontrollhoz viszonyítva (57,038 mg/kg sz.a.). A B1 kezelésben 69,556 mg/kg sz.a., a G3 kezelésben 68,088 mg/kg sz.a. mangán tartalmat mértünk. A vas és a mangán egyaránt esszenciális mikroelem. A vasnak legnagyobb szerepe a fotoszintézisben, a légzésben és az oxidációs-redukciós folyamatokban van. A mangán számos enzimelekciót aktivál a citromsavciklusban, de a vashoz hasonlóan szerepet játszik a fotoszintézisben és az oxidációs-redukciós folyamatokban.

A legnagyobb mértékű növekedést a cinktartalomnál tapasztaltuk a győri komposzt alkalmazásakor (3. ábra). Ez előrevetítheti annak a lehetőségét, hogy a mikroelem hiányos talajokon különösen kedvező hatású lehet a komposzt alkalmazása, hiszen a cink a növény szervezetében fontos enzim-aktivátor, szerepet játszik a nitrogén anyagcserében, valamint funkcionális szerepet tölt be az auxin szintézisben, tehát a hajtásnövekedéshez nélkülözhetetlen. Ezen kívül esetleges humán- vagy állategészségtani hatása is lehet a komposzttrágyázásnak, hiszen a természetes forrásból származó mikroelemek bevitelének az élettani hatása kedvezőbb.

3. ábra: A kukorica cink tartalma

Figure 3 Zn content of maize



Forrás: Saját szerkesztés saját vizsgálat alapján

Magyarázat: 8 t ha⁻¹ (B1, G1), 15 t ha⁻¹ (B2, G2), 24 t ha⁻¹ (B3, G3)

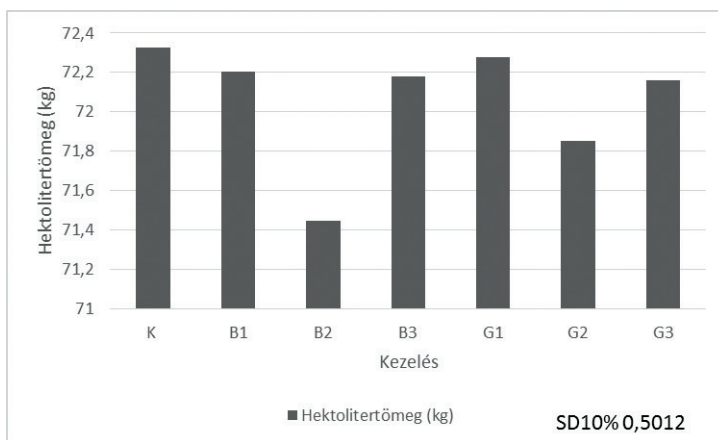
K: kontroll, B: bécsi komposzt, G: győri komposzt

Vizsgáltuk a komposzt utóhatását a tavaszi árpa növényen is. A mért paraméterek közül (betakarításkori nedvességtartalom %, termésmennyiség

t/ha és hektolitertömeg kg) a hektolitertömegnél (ami száz liter mennyiségű gabona tömege) tapasztaltuk a kezelések szignifikáns hatását (4. ábra). A mért paraméterből következtetni lehet a betakarított szemtermés minőségére, hiszen a hektolitertömeget befolyásolja a szemek alakja, teltsége, a szemnagyság, a szemek sűrűsége, valamint nedvességtartalma. A hektolitertömegeből következtetni lehet a gabonából kinyerhető liszt mennyiségére és a nagyobb hektolitertömeg általában jobb minőséget is előre jelez.

4. ábra: Tavaszi árpa hektolitertömege

Figure 4 Mass per storage volume of barley



Forrás: Saját szerkesztés saját vizsgálat alapján

Magyarázat: 8 t ha⁻¹ (B1, G1), 15 t ha⁻¹ (B2, G2), 24 t ha⁻¹ (B3, G3)

K: kontroll, B: bécsi komposzt, G: győri komposzt

Az elvégzett penetrációs ellenállás mérések alapján megállapítható, hogy az ismételt tárcsás művelés hatására a felső 10 cm-es talajrétegben szinte mindenhol megtalálható az ún. tárcsatalp réteg, hiszen már ebben a mélységben eléri, illetve meghaladja az ellenállás a kritikus 2,5–3,0 MPa értéket. Mivel ez a tömör réteg a felszínhez nagyon közel helyezkedik el, a magágykészítés sikerét döntően befolyásolhatja. Művelésekor a talaj szerkezete romlik, porképzéssel kell számolni, valamint a talaj vízelvezető képessége is csökken.

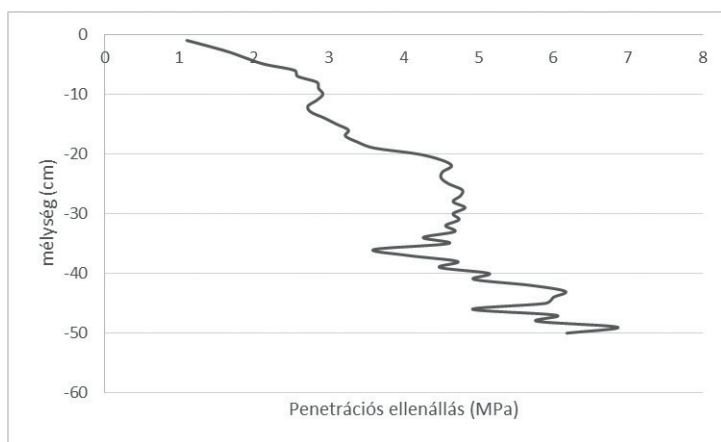
Az alpművelés mélységében minden kezelésnél és mindegyik területen talá-lunk művelőtalp réteget, mely a gyökérzet növekedésére, a növények tápanyag- és vízfelvételére is káros hatással lehet a talajszerkezet romlásán keresztül. A tömörödés során jellegzetesen kialakuló lemezes talajszerkezet a növényi gyöke-rek számára nehezen átjárható, valamint a nedvesség beszivárgási sebessége lényegesen kisebb, mint kedvező morzsás szerkezetű talajállapot mellett. A nedvességforgalom kedvezőtlené válása a kijuttatott komposztok mineralizá-

ciójára is káros hatással lehetett, ezért azok tápanyagszolgáltató-képessége lényegesen kisebb lehetett a vártnál.

Az erő- és munkagépek tömegéből adódó tömörödés káros hatása is megfigyelhető a kísérleti területeken, tehát a talaj mélyebb rétegei sincsenek jó állapotban. Ez azért is jelentős, mivel a kukorica átlagos gyökerezési mélysége 100 cm. Azaz, ha már a felső 50 cm-es talajrétegben három károsan tömörödött réteget is találunk, akkor a talajállapot nem tekinthető a kukorica termesztése szempontjából kedvezőnek, és ezen sajnos a komposzt kijuttatása sem segít, bármilyen dózisban alkalmazzuk is (5. ábra). Ezt a problémát mélyműveléssel (mélyszántás, vagy középmély lazítózás) lehetne megszüntetni és ez után a beavatkozás után már lehetne számítani arra, hogy regenerálódik a talaj és a kijuttatott szervesanyag (pl.: komposzt) ki tudja fejteni a szerkezet stabilizálásában, a vízgázdalkodás javításában és a szervesanyag-mérleg javításában pozitív hatását. Amennyiben a károsan tömörödött rétegek átmunkálása nem történik meg, konzerváljuk a talajállapot hibát és hiába várjuk a kijuttatott trágyaszerek hatását.

5. ábra: A talaj penetrációs ellenállása

Figure 5 Penetration resistance of soil



Forrás: Saját szerkesztés saját vizsgálat alapján

3.2. A VIZSGÁLATOK ALAPJÁN LEVONT KÖVETKEZTETÉSEK ÉS JAVASLATOK

A szántóföldi kísérlet eredményeiből látszik, hogy tömörödés megszüntetése nélkül a komposzt alkalmazásától nem várhatunk látványos pozitív hatást sem a termesztett növények fejlődése, sem a termés mennyiségi és minőségi paramétereire vonatkozásában.

Ez újabb bizonyítékkal szolgál arra nézve, hogy az okszerű talajművelés, a talajállapot hibák felszámolása, a talaj szerkezetének megóvása kulcsfontosságú a termékenység megőrzése, fokozása szempontjából. A vizsgált területen tapasztalható magas penetrációs ellenállás értékekből egyértelműen látható, hogy a talajban több, vertikálisan jelentősen megvastagodott és állandósult tömör réteg található. Ezek a művelőtalp rétegek, ahol a talaj szerkezete jellemzően lemezessé válik, akadályozzák a vízforgalmat a talajban, hiszen a tömör rétegben a gravitációs pórusok részaránya jelentősen csökken így a beszivárgás sebessége is csökken, vagy bizonyos esetekben szinte teljesen akadályozottá válik. Ugyanakkor a felszínhez legközelebb eső rétegben nagyobb mennyiségű csapadék felszínre érkezésekor víztöbblet alakulhat ki, aminek következtében a levegő kiszorul a talaj pórusaiból, a levegőtlen körülmények pedig kedvezőtlenül hatnak a talaj biológiai aktivitására, melynek egyenes következménye a szervesanyagok vontatott bomlása, esetlegesen a rothadási folyamatok beindulása. Az ilyen leromlott állapotban lévő talajoknál a trágyák hatékonysága is csökken, a gyökérszóna gyorsan kiszárad, hiszen a talaj nem tudja kezelni a nedvesség hiányból és többletből adódó feladatokat. A tömörödött talaj szerkezete a művelés következményeként – különösen akkor, ha a művelőeszköz megválasztásánál nem veszik figyelembe a talaj nedvességtartalmát – tovább romolhat (rögösödik, porosodik, cserepesedik).

Ahogy a vizsgálati eredmények is mutatják a szerves trágya (jelen esetben komposzt) használatától, különösen állandósult talajtömörödés esetében, nem várhatunk különösebb pozitív hatást. Amennyiben a talajban jelen lévő tömör rétegeket mélyműveléssel megszüntetjük, akkor is közvetett hatást tapasztalhatunk. A talaj szervesanyag tartalmának növelése, mint ismert, hozzájárul a szerkezet stabilizálásához, javításához és mivel azok elbomlása nyomán humuszanyagok keletkeznek, amelyek vízmegkötő képessége nagy, pozitívan hatnak a talaj vízgazdálkodására is.

Sajnos a pillanatnyi célok előtérbe helyezése sok esetben elhomályosítja azt a tényt, hogy a talaj egy feltételeken megújítható erőforrás és szerkezetének megóvása, javítása, termőképességének megtartása, vagy fokozása komoly odafigyelést igényel. A szerves trágya (pl.: komposzt) kijuttatása, talajba dolgozása jelentős szállítási és egyéb költséggel jár, viszont a termésmenővelő hatás nem azonnali és látványos. Kicsit hasonló a helyzet ahhoz, mint amikor a gazdálkodók (különösen az állattartással nem foglalkozók) a szalmára csak úgy tekintenek, mint értékesíthető anyagra, nem pedig mint értékes szerves és tápanyag forrásra.

Az elvégzett vizsgálatok eredményei alapján mindenképpen javasolható a talajokban fellelhető károsan tömörödött rétegek megszüntetése, az okszerű (a talaj és a természeti kívánt növény igényeit egyaránt figyelembe vevő) talajművelés. Ezzel együtt, annak érdekében, hogy a talaj termőképessége hosszútávon fenntartható legyen és a szervesanyag tartalma ne csökkenjen, egyértelműen javasolt a különböző szerves trágyák használata, legyen az komposzt, istállótrágya vagy zöldtrágya.

Érdemes lenne a vizsgálatokat olyan területen újra elvégezni, ahol nem található meg a tömörödés kártétele, hogy pontosabb képet lehessen kapni

a talajra gyakorolt pozitív hatásról. Javasolt lenne ezt a kísérletet hossz távon fenntartani és különböző műtrágya dózisek alkalmazásával kiegészíteni, hogy meg lehessen határozni azt az ideális dózist mind a szerves, mind a műtrágyából, amelynek alkalmazása hosszú távon rentábilis.

A talaj megóvásának fontosságát már egészen korán az oktatási rendszerbe beépítve hangsúlyozni kell, hiszen csak így várható el, hogy a gazdálkodók tudatosan vállalják a szerves trágyák használatával járó esetleges pillanatnyi többlet terhet annak érdekében, hogy termőtalajaink még sok nemzedéken keresztül megőrizték termőképességüket és biztosítsák az élelmiszer alapanyag előállítás biztos bázisát.

4. ÖSSZEZÉS

Termőtalajaink védelme, a szervesanyag-készlet csökkenésének mérséklése, megállítása és a keletkező hulladék mennyiségének csökkentése, valamint újrahasznosításának kérdése mindannyiunk érdeke. A biológiai úton lebomló, komposztálható hulladék szántóföldi felhasználása ezen célok elérésének a szolgálatában állhat.

A tanulmányban összefoglalt szántóföldi vizsgálatokkal arra kerestük a választ, hogy a különböző eredetű és eltérő összetételű komposztok talajba dolgozása milyen hatást gyakorol a növények vegetatív fejlődésére, minőségi paramétereire, makro- és mikroelem tartalmára, valamint a talaj mechanikai ellenállására.

A véletlen blokk elrendezésű, négy ismétléses szántóföldi kísérletben a vetett növények kukorica és tavaszi árpa voltak. A vizsgált komposztok egyike a bécsi MA48, másik a győri komposztáló üzemből előállított termék volt. A vegetatív fejlődés nyomon követése érdekében a tenyésztési időszak során öt alkalommal mértük a kukorica magasságát, levelének szélességét és hosszúságát, majd a Montgomery-képlet segítségével levélterület-indexet számoltunk. A növények beltartalmi mutatóinak meghatározása akkreditált laboratóriumban történt. A penetrációs ellenállás méréseket pedig a termőhelyi talajteszter segítségével mértük.

Vizsgálataink alapján arra a következtetésre jutottunk, hogy a különböző alapanyagokból (városi zöldhulladék, szennyvíziszap) előállított, eltérő adagokban kijuttatott komposztok használatuk első három évében adott kísérleti körülmények között nem fejtenek ki olyan pozitív hatást a termés mennyiségére és minőségére, amely arra inspirálná a gazdálkodókat, hogy vállalják a komposzt beszerzésével és talajba dolgozásával jelentkező plusz költségeket. Ezt alátámasztja az is, hogy a győri komposztáló üzem (elmondásuk alapján) küzd az előállított kertészeti, szántóföldi, valamint rekultivációs célokra egyaránt felhasználható komposzt értékesítésével. A talaj penetrációs ellenállására a szakirodalmi forrásokkal összhangban szintén nincs hatással a komposztok használata. A talaj ezen paramétereit elsősorban a talajművelés mikéntje és a talajon közlekedő gépek terhelése, valamint a természetes talajtulajdonságok határozzák meg. Ezzel együtt a hosszú távú, közvetett pozitív hatások miatt mégis javasolt alkalmazásuk. Megfelelő marketing

stratégia és környezeti nevelés nélkül azonban problémás a használat széleskörű elfogadása és elterjedése.

KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmány elkészítését az EFOP-3.6.3-VEKOP-16-2017-00008 számú „Innovatív tudományos műhelyek a hazai agrár felsőoktatásban” című projekt támogatta. A projekt az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

IRODALOMJEGYZÉK

- Baldi, E.-Cavani, L.-Margon, A.-Quartieri, M.-Sorrenti, G.-Marzadori, C.-Toselli, M. (2018) Effect of compost application on the dynamics of carbon in a nectarine orchard ecosystem. *Science of The Total Environment*, 637–638, pp. 918–925.
- Bazzoffi, P.-Pellegrini, S.-Rocchini, A.-Morandi, M.-Grasselli, O. (1998) The effect of urban refuse compost and different tractors tires on soil physical properties, soil erosion and maize yield. *Soil Tillage Research*, 48, pp. 275–286.
- Bengough, A. G.-Mullins, C. E. (1990) Mechanical impedance to root growth, a review of experimental techniques and root growth responses. *Journal of soil Science* 41, pp. 341–358.
- Birkás M. (1995) *Energiatakarékos, talajvédő és kímélő talajművelés*. Egyetemi jegyzet. ATE, Gödöllő
- Birkás M. (1997) *A talajlazítás szükségességének okai és technológiai feltételei*. Kutatási és Fejlesztési Tanácskozás, Gödöllő.
- Birkás M.-Szemők A. (1999) Talajállapothibák és orvoslásuk. *Gyakorlati Agroforum*, 10, 7, 19–22.
- Booth, D. B.-Jackson, C. R. (1997) Urbanization of aquatic systems: degradation thresholds, stormwater detection, and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association*, 33, pp. 1077–1090.
- Brennan, E. B.-Acosta-Martinez, V. (2018) Soil microbia biomass and enzyme data after six years of cover crop and compost treatments in organic vegetable production. *Data in Brief*, 21, pp. 212–227.
- Czupy I.-Vágvolgyi A. (2011) *Mezőgazdasági (növénytermesztés, állattartás, erdészeti) hulladékok kezelése és hasznosítása*. Szaktudás Kiadó Ház Zrt., Budapest.
- Debreczeni B-né (1999) Növényi tápanyagok. In: Fülek Gy. (szerk.): *Tápanyag-gazdálkodás*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 30–44.
- Dexter, A. R. (1987) Mechanics of root growth. *Plant Soil*, 98, pp. 303–312.
- Diggle, A. J. (1988) ROOTMAP - a model in three-dimensional coordinates of the growth and structure of fibrous root systems. *Plant Soil*, 105, pp. 169–178.
- Eitzinger, J. (1991) *Einflüsse unterschiedlicher Primärbodenbearbeitungssysteme auf ausgewählte bodenphysikalische Eigenschaften*. Dissertation, Univ. F. Bodenkultur, Wien.
- Farrell, M.-Jones, D.L. (2010) Use of composts in the remediation of heavy metal contaminated soil. *Journal of Hazardous Materials*, 175, 1–3, pp. 575–582.
- Forró E. (1998) *A komposztálási eljárások biológiai és talajtani alapjai*. Öko-Fórum Alapítvány, Budapest.

- Fülek Gy. (1988) *A talaj*. Gondolat Könyvkiadó, Budapest.
- Glinski, J.-Lipiec, J. (1990) *Soil physical conditions and plant roots*. CRC Press, Boca Raton.
- Györi D. (1984) *A talaj termékenysége; A talaj szerkezete és termékenysége*. Mezőgazdasági Kiadó, Budapest.
- Kádár I. (1998) Savanyú talajok meszezésének szükségessége teljes körű állami támogatással. In: Schmidt R.-Szakál P. (szerk.): *Talajsavanyosodási helyzetkép és megoldások*. PATE-MTK, Mosonmagyaróvár.
- Kemper, W. D.-Steward, B. A.-Porter, L. K. (1971) Effects of compaction on soil nutrient status. In: Barnes, K. K.-Carleton, W. M.-Taylor, H. M.-Throckmorton, R. I.-Vanden Berg, G. E. (eds.): *Compaction of agricultural soils*. ASAE monograph. pp. 178-189.
- Kerényi E. (1990) *Környezetvédelem*. Műszaki Értelmező Szótár 69. Akadémiai Kiadó. Budapest. 7-16.
- Kismányoky T. (1993) Szervestrágyázás. In: Nyíri L. (szerk.): *Földműveléstan*. Mezőgazda Kiadó, Budapest. 203-236.
- Kluger, R. (2002) Application Guidelines for Sustainable Use of Compost in the Agricultural Crop Production. In: Kleine, M.-Bidlingaier, W. (eds.): *Biological Waste Treatment*. Erich Schmidt Verlag Gmb, Berlin. pp. 176-189.
- Kocsis I. (2011) *Komposztálás, biogáztermelés*. Szent István Egyetem, Gödöllő.
- Lima, J. Z.-Raimondi, I. M.-Schalch, V.-Rodrigues, V. G. S. (2018) Assessment of the use of organic compost derived from municipal solid waste for the adsorption of Pb, Zn and Cd. *Journal of Environmental Management*, 226, pp. 386-399.
- Lipiec, J.-Arvidsson, J.-Murer, E. (2003) Review of modelling crop growth, movement of water and chemicals in relation to topsoil and subsoil compaction. *Soil and Tillage Research*, 73, pp. 15-29.
- Lipiec, J.-Kus, J.-Stowinska-Jurkiewicz, A.-Nosalewicz, A. (2006) Soil porosity and water infiltration as influenced by tillage methods. *Soil Tillage Reserch*, 89, 2, pp. 210-220.
- Maier, R. M. (2009) Microorganisms and Organic Pollutants. In: Maier, R. M.-Pepper, I. L.-Gebra, C. P. (2009) *Environmental Microbiology* (Second Edition). London. Elsevier Inc. 387-419.
- Mehta, C. M.-Palni, U.-Franke-Whittle, I. H.-Sharma, A. K. (2014) Compost: Its role, mechanism and impact on reducing soil-borne plant diseases. *Waste Management*, 34, 3, pp. 607-622.
- Németh T. (2002) Agrokémia jelentősége a többfunkciós növénytermesztésben. In: 50 éves az *Acta Agronomica Hungarica*. A növénytermesztés szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságban, Jubileumi tudományos ülés, Martonvásár. 27-37.
- Olson, N. C.-Gulliver, J. S.-Nieber, J. L.-Kayhanian, M. (2013) Remediation to improve infiltration into compact soil. *Journal of Environmental Management*. 117, pp. 85-95.
- Ouwerkerk, C. van-Soane, B. D. (1994) Soil compaction problems in world Agriculture. In.: Soane, B. D.-Ouwerkerk, C. van (eds.): *Soil compaction in crop production*. Elsevier Science B.V. Amsterdam. pp. 1-21.
- Pabin, J.-Lipiec, J.-Wlodek, S.-Biskupski, A.-Kaus, A. (1998) Critical soil bulk density and strength for pea seeding rot growth as related to other soil factors. *Soil and Tillage Research*, 46, pp. 203-208.
- Schafer-Landefeld, L.-Brandhuber, R.-Fenner, S.-Koch, H.-J.-Stockfisch, N. (2004) Effects of agricultural machinery with high axle load on soil properties of normally managed fields. *Soil Tillage Research*, 75, pp. 75-86.

- Schmid, C. J.-Murphy, J.A. – Murphy, S. (2017) Effect of tillage and compost amendment on turfgrass establishment on a compacted sandy loam. *Journal of Soil and Water Conservation*, 72, pp. 55–64.
- Schmidt R.-Szakál P.-Kerekes G.-Bene L. (1998) A talajok tömörödöttségének vizsgálata művelőutas cukorrépa-termesztési technológia alkalmazása esetén. *Cukorrépa*, XVI, 1, 8–14.
- Shestak, C. J.-Busse, M. D. (2005) Compaction alters physical but not biological indices of soil health. *Soil Science Society of America Journal*, 69, pp. 236–246.
- Somerville, P. D.-May, P. B.-Livesley, S. J. (2018) Effects of deep tillage and municipal green waste compost amendments on soil properties and growth in compacted urban soils. *Journal of Environmental Management*, 227, pp. 365–374.
- Sumono-Loka, S. P.-Nasution, D. L. S. (2018) Revamping of entisol soil physical characteristics with compost treatment. IOP Conference Series: *Earth and Environmental Science*. 122, 1, art. no. 012090
- Siyal, A. G.-Oad, F. C.-SamoZia-Ul-Hassan, M. A.-Oad, N-L. (2002) Effect of compactions on infiltration characteristics of soil. *Asian Journal of Plant Sciences*, 1, pp. 3–4.
- Tóth Z.-Beke D. (2003) Tillage and Rotation Effect on the Physical Condition of Soil. Soil Management for Sustainability. In: Tullberg, J.-Hoogmoed, W. (eds.): *Proceedings of the 16th Triennial Conference of International Soil Tillage Research Organisation*. 13-18 July. The University of Quesland, Brisbane, Australia. pp. 1259–1264.
- Várallyay Gy. (1999) A talajfizika gyakorlati alkalmazásai a fenntartható talajhasználatban. *Gyakorlati Agroforum*, 10, 7, 4–7.
- Várallyay Gy. (2000) A korszerű agrár-környezetvédelem talajtani alapjai. In: *XIV. Országos Környezetvédelmi Konferencia*. Siófok. 105–115.
- Várallyay Gy. (2002) A talaj multi funkcionálisának szerepe a jövő fenntartható mezőgazdaságában. In: 50 éves az *Acta Agronomica Hungarica*. A növénytermesztés szerepe a jövő multifunkcionális mezőgazdaságában. Jubileumi tudományos ülés, Martonvásár. 13–25.
- Várallyay Gy. (2003) Növényi tápanyagellátás és a talaj vízgazdálkodása.. In: Csorba Zs.-Jolánkai P.-Szöllősi G. *Proceedings. III. Növénytermesztési Tudományos Nap, Gödöllő*. 7–15.
- Varga L.-Avarosiné Krönung L.-Alexa L.-Brányi E. (1999) *Kommunális szennyvíziszap ártalmatlanítása komposztálással*. Döntésselkészítő tanulmány.
- Vermes L. (1998) *Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás*. Mezőgazda Kiadó, Budapest.
- Vermes L. (2005) *Hulladékgazdálkodás, hulladékhasznosítás*. Szaktudás Kiadó Ház Zrt.
- Violin, C. R.-Cada, P.-Sudduth, E. B.-Hassert, B. A.-Penrose, D. L.-Bernhardt, E. S. (2011) Effects of urbanisation and urban stream restoration on the physical and biological structure of stream ecosystems. *Ecological Applications*, 21, pp. 1932–1949.
- Woltemade, C. J. (2010) Impact of residential soil disturbance on infiltration rate and stormwater runoff. *Journal of the American Water Resources Association*, 46, pp. 700–711.

