

Reflektancia alkalmazhatósága a komposztérettség meghatározására

Hunyadi Gergely – Biró Györgyi – Tamás János

Debreceni Egyetem Agrár- és Gazdálkodástudományok Centruma, Mezőgazdaság-, Élelmiszertudományi és Környezetgazdálkodási Kar, Víz- és Környezetgazdálkodási Intézet, Debrecen
ghunyadi@agr.unideb.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

A komposztok felhasználhatósága érettségüktől és stabilitásuktól függ. Az érettség meghatározására alkalmazott módszerek egy része csak laboratóriumi körülmények között valósítható meg, vagy bonyolult előkészítési folyamatokat igényel. Kutatásaink célja, egy olyan gyors módszer kidolgozása, amely a szervesanyagok eltérő fényvisszaverő tulajdonságain alapulva lehetőséget biztosít az érettség meghatározására.

Kutatásunk során szennyvíziszapból és fanyesedékből, valamint szalmából kialakított komposztprizmák lebomlását vizsgáltuk a hőmérséklet, valamint a reflektancia változásának nyomon követésével.

Vizsgálataink alapján megállapítottuk, hogy a 645 nm-nél nagyobb hullámhossztartományban mért reflektancia alkalmas a komposzt érettségének meghatározására a hőmérséklet mérésével kiegészítve.

Kulcsszavak: szennyvíziszap, komposzt, reflektancia, komposzt-érettség

SUMMARY

The utilisation of composts depends on their maturity and stability. A great part of the determination methods can be set in laboratory and needs complicated sample preparation. The aim of this paper was introduce an effective and fast method which based on the different reflectance of the different organic compounds.

During our research we examined the degradation process of compost prisms based on sewage sludge, wood-clipping and straw with temperature and reflectance measurements.

As a result, we came to the conclusion that the reflectance, measured at 645 nm or higher, is applicable to determine compost maturity if it is used with temperature measurements.

Keywords: sewage sludge, compost, reflectance, compost-maturity

BEVEZETÉS

A talajok kedvező tulajdonságainak fenntartásához elengedhetetlen a kivont szerves-anyagok pótlása. A szervesanyag-igény biztosításának egyik lehetőségét adja a komposztálás. Az alapanyagok helyes megválasztásával, a degradációs folyamatok kontrollálásával, a meghatározó paraméterek folyamatos ellenőrzésével stabil, a tápanyag-visszapótlásban felhasználható végterméket nyerhetünk (Filep, 1999). A komposztálás széles alapanyagbázisa ráadásul lehetővé teszi – szigorú feltételek betartása mellett – különböző szerves hulladékok ártalmatlanítását is.

Számos kutatás igazolja, hogy a szennyvíziszap – mint szerves hulladék – önmagában is jelentős növényi tápanyag potenciállal bír, de szántóföldi elhelyezhetőségét káros mikroelem tartalma, valamint patogén kórokozói nagymértékben korlátozhatja.

Komposztalapanyagként ugyanakkor jól hasznosítható, ugyanis az aerob folyamatok, illetve a magas hőmérséklet hatására a nehézfémtartalom kivételével kedvezőtlen tulajdonságait elveszíti, viszont szerves vegyületei a talaj számára fontos humuszanyagokká alakulnak át (Szili-Kovács, 1985; Tamás, 1990; Simon et al., 2000; Uri, 2007).

A szennyvíziszap komposztálása nem kizárólag hulladékártalmatlanítási eljárás, hanem célja egy olyan kezelés, amely a termelő szennyvíziszap térfogatát csökkenti, szervesanyag-tartalmát stabilizálja, ráadásul a tápanyag-gazdálkodásban kedvező tulajdonságokkal rendelkező végterméket eredményez (Uri et al., 2005; Kanat et al., 2006; Banegas et al., 2007).

A komposztálás hatékonyságát elsősorban a degradálható anyaghoz adott adalékanyagok mennyisége és összetétele (fűreszpor, fanyesedék, szalma, stb.) határozza meg. Az adalékanyagok mellett, a komposzt-receptura homogenitása, szemcseeloszlása, oxigénháztartása, nedvességtartalma, valamint C/N aránya is befolyásolja a végtermék minőségét (Petróczi és Késmárki, 2003; Guardia et al., 2008).

Az optimális degradációs körülmények meghatározásának alapját a kiindulási anyagok helyes megválasztása jelenti (Aleksza és Dér, 1998). A degradációs folyamatot, illetve a termelő toxikus gázok mennyiségét, a termelődés ütemét a komposzt-receptura – azaz a kiindulási anyagok keverési aránya –, valamint a megfelelő előkezelési technológiák alkalmazása jelentősen befolyásolják (Kocsis, 2005; Smith és Hughes, 2004).

A komposztok felhasználhatósága érettségüktől és stabilitásuktól függ. Az érettségen a komposztok fizikai, kémiai és biológiai stabilitását értik (Mathur et al., 1993). A komposztok eltérő érettsége azon alapul, hogy a különböző összetevők hogyan cserélődnek ki, főleg az oldható komponensek, az oldható szén, az oldható frakció C/N és respirációs hányada (Golueke, 1986). Az érettség meghatározása meglehetősen nehézkes folyamat, ráadásul általánosan elfogadott, hatékony, kidolgozott módszere nincs (Haug, 1993).

A komposztérettség meghatározásának egyik leggyakoribb módja a hőmérséklet nyomon követése. A mikroorganizmusok biooxidációja energiatermelés mellett megy végbe, ami a hőmérséklet emelkedésében tapasztalható (Jimenez és Garcia, 1992). A komposzt akkor tekinthető érettnek, ha a hőmérséklete többé-kevésbé állandó marad a komposzt átkeverését követően is (Harada, et al., 1981; Golueke, 1986; Inbar et al., 1993).

Harada és Inoko (1980a, 1980b), valamint Lax et al. (1986) foglalkoztak a komposzt kationcsere-kapacitásának vizsgálatával, mint a komposztérettség meg-

határozásának egyik lehetséges módjával. A vizsgálat alapját a humuszsavak funkciós csoportjai, főleg a karboxil és fenol csoportok képezik. A humifikáció folyamán ugyanis a humuszanyagok felépülésével a funkciós csoportok száma nő, így a kationcsere-kapacitás is megnő.

A C/N arány a kémiai módszerek közül a legáltalánosabban alkalmazott eljárás. Általában a komposztálási folyamat elején és végén mérik (Gouleke, 1977). A kezdeti érték általában 30 körüli, amely az érés végére 20 alá csökken. Morel et al. (1985), Jimenez és Garcia (1992), Senesi és Brunetti (1996), és Iwegbue et al. (2006) szerint a kiindulási és a folyamat végén mért C/N arány önmagában nem elegendő az érettség meghatározásához, ezért egy érettségi indexet vezet be, ami a kezdeti és a végstádiumban mért C/N arányt viszonyítja egymáshoz.

A komposztálás aerob körülmények között végmenő oxigénigényes folyamat. Ennek alapján a felhasznált oxigén mennyiségéből, illetve a degradáció során keletkezett széndioxid mennyiségéből következtethetünk a komposzt érettségére. Morel et al. (1985), valamint Jimenez és Garcia (1989) szerint a 4 hetes érési stádiumban lévő komposztanyag oxigénigénye 30-szorosa az érett komposzténak.

Jimenez és Garcia (1989), Gallenkamper et al. (1993), Kovács et al. (2007) az önhevülési tesztet említi a komposztérettség vizsgálatának módszereként. A komposztban képződő hőt a komposzt érettségének (a mikrobiológiai lebontás meglétének) tartják.

A spektroszkópia alapját a nagyobb mennyiségben előforduló polimerek képezik. Az aromás, illetve bonyolult humusz-vegyületek spektrális görbéje eltér a kiindulási anyagok, valamint a közepes érési stádiumban lévő komposzt spektrális görbétől (Sugahara és Inoko, 1981; Watanabe és Kurihara, 1982; De Oliveira et al., 2002; Simándi, 2008).

A fent felsorolt vizsgálati eljárások közül főleg a mikrobiológiai eljárások (respiráció, önhevülés és enzimaktivitás vizsgálata) adnak átfogó képet a komposzt érettségéről, azonban vizsgálatuk nehézkes, szakértelmet igényel, csak laboratóriumi körülmények között megvalósítható. A kémiai eljárások elvégzéséhez szintén laboratórium szükséges, ráadásul a komposztalom homogenitását a reprezentatív mintavétel érdekében biztosítani kell.

Kutatásunk célja, egy olyan gyors és könnyen alkalmazható módszer kidolgozása, amely direkt módon nyújt lehetőséget a komposzt érettségének meghatározására. A vizsgálatok során szennyvíziszapot, szalmát, valamint fanyesedéket használtunk alapanyagaként. A tartózkodási idő folyamán a komposztprizma hőmérséklete mellett a komposzt reflektancia-értékét vizsgáltuk.

ANYAG ÉS MÓDSZER

A vizsgálatok során nyílt prizmas komposztálási technológiát alkalmaztunk a debreceni A.K.S.D. Kft. komposztáló telepén. A telephelyen 2 komposztprizmát állítottunk be; az 1. prizma 50% szennyvíziszapot és 50% fanyesedéket, a 2. prizma pedig 50% szennyvíziszapot és 50% gabonaszalmát tartalmazott. Az alkalmazott tartózkodási idő 6 hét volt. A degradáció

folyamán a prizmák hőmérsékletét, illetve reflektancia értékét mértük. A helyszíni mérésre, valamint a mintavételezésre hetente kétszer került sor. A hőmérsékletet közvetlenül, kazalhőmérővel határoztuk meg a prizmák 2–2 szelvényében 50 cm-es és 100 cm-es mélységben. A reflektancia meghatározásához ugyanabból a 2–2 szelvényből vettünk mintát 50, illetve 100 cm-es mélységből. A vett mintákból 3 kisebb mennyiséget vettünk, melyeket egyenként háromszoros ismétlésben vizsgáltunk.

A reflektancia meghatározásához ALTA II. terepi, hordozható spektrofotométert alkalmaztunk. A műszer feszültségkülönbségek alapján mér. A készülék hátulján a különböző színspektrumok előállítására különböző színű izzók szolgálnak (Burai et al., 2008). A készülék az alábbi szín-spektrumokban képes mérni (1. táblázat).

1. táblázat

Mérhető színtartományok és a hozzá tartozó hullámhosszok

Színtartomány(1)	Hullámhossz(2)
Kék(3)	470 nm
Cián(4)	525 nm
Zöld(5)	560 nm
Sárga(6)	585 nm
Narancs(7)	600 nm
Vörös(8)	645 nm
Sötétvörös(9)	700 nm
Infravörös 1(10)	735 nm
Infravörös 2(11)	810 nm
Infravörös 3(12)	880 nm
Infravörös 4(13)	940 nm

Table 1: The measurable color spectrums and wave-length Color spectrum(1), Wavelength(2), Blue(3), Cyan(4), Green(5), Yellow(6), Orange(7), Red(8), Deep red(9), Infrared 1(10), Infrared 2(11), Infrared 3(12), Infrared 4(13)

A reflektancia kiszámításához szükséges az egyes hullámhosszon mért feszültségértékek mérésén kívül egy úgynevezett „dark” feszültség ismerete is. A „dark” feszültség-értéket a műszer alapállapotában – színspektrum kiválasztása nélkül – méri fehér papíron. A vakpróba standard mérései szintén fehér lapon történnek az egyes hullámhosszokon. Az egyes hullámhosszokhoz tartozó reflektancia értéket az alábbi képlet segítségével számíthatjuk ki (1. ábra).

1. ábra: A reflektancia számítás egyenlete

$$R = \left[\frac{\text{Minta feszültség(1)} - \text{„Dark” feszültség(2)}}{\text{Standard feszültség(3)} - \text{„Dark” feszültség(2)}} \right] * 100$$

Figure 1: Equation of reflectance Sample voltage(1), Dark voltage(2), Standard voltage(3)

Az előző vizsgálataink során megállapítottuk, hogy a szennyvíziszapra alapozott komposztminták esetében a 645 nm-nél nagyobb hullámhossz-tartomány alkal-

mazható hatékonyan (Hunyadi, 2010), ezért a degradáció nyomon követésére a vörös, sötétvörös és infravörös tartományokat használtuk.

Az adatok kiértékeléséhez SPSS 15. statisztikai szoftvert, valamint Microsoft Excel programot használtunk.

EREDMÉNYEK

A vizsgálatok során az érettség meghatározásának elvi alapját a komposztálás hőmérsékleti változása adta. A reflektancia változását a degradáció klasszikus hőgörbéjével hasonlítottuk össze, valamint értékeltük az esetleges eltéréseket a két eltérő alapanyagra alapozott prizma esetében.

A két prizma hőmérsékletének változását szemlélteti a 2. ábra.

2. ábra: A prizmák hőmérsékletének változása a tartózkodási idő függvényében

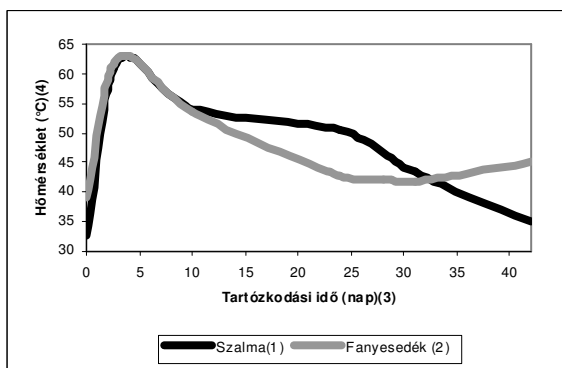


Figure 2: Changes of the temperature of the prisms during retention time
Straw(1), Wood-clipping(2), Retention time(3), Temperature(4)

A hőmérsékleti görbéken megfigyelhető a prizma érésének 4 stádiuma: (1.) a kezdeti beindulási szakasz, amikor a prizma hőmérséklete hirtelen megemelkedik; (2.) a következő néhány napra jellemző, magas hőmérsékletű lebomlási szakasz, amikor a könnyen bontható szerves vegyületek egyszerűbb vegyületekre esnek szét; (3.) ezt követően az átalakulási szakasz, amikor a nehezen bontható vegyületek degradációja zajlik; (4) illetve a felépülési szakasz, amikor a hőmérséklet egy viszonylag állandó értéket vesz fel, és kialakul az érett komposzt.

A két görbe lefutása hasonló, amelyet a 0,72-es korrelációs együttható is igazol (10%-os hibahatár mellett). Eltérés főleg a folyamat második felében figyelhető meg, melynek oka lehet a mérési pont átnedvesedése, anaerob körülmények kialakulása, vagy a kiindulási anyagok bonthatósága közötti eltérések.

A degradáció során vizsgált, különböző hullámhosszokon számított reflektancia-értéket szemlélteti a 3. ábra a fanyesedékkal beállított prizma esetében.

A reflektancia-értékek lefutása hasonló trendet mutat a vizsgált hullámhossz-tartománytól függetlenül, amelyet a görbék 0,97–0,99 között változó korrelációs együtthatója is igazol (10%-os hibahatár mellett). A trendet vizsgálva a reflektancia-értékek alapján a szervesanyagok degradációját szintén 4 folyamatra bont-

hatjuk. Az értékek változását a szervesanyagok eltérő fényvisszaverő tulajdonsága adja. A folyamat kezdeti szakaszában nagy mennyiségű, hosszú szénláncú, bonyolult szerves vegyület áll rendelkezésre, melyet a magas reflektancia is mutat. A második szakaszban az intenzív degradáció révén egyszerűbb vegyületek vannak jelen, amelyet az alacsonyabb reflektancia is alátámaszt. A harmadik szakaszban a humusz-anyagok beépülésével ismét összetett szerves vegyületek képződnek, melynek hatására a reflektancia megemelkedik. A folyamat végén a reflektancia ismét csökkent, ami a komposzt érettségére utal.

Mivel a görbék lefutása szinte megegyezik az egyes hullámhosszokon, ezért a szalmával, valamint fanyesedékkal beállított prizmák reflektanciájának összehasonlítását a vörös (645 nm) színtartományban végeztük (4. ábra).

3. ábra: A vizsgált hullámhosszokon mért reflektancia-értékek változása a tartózkodási idő függvényében fanyesedékkal beállított prizma esetében

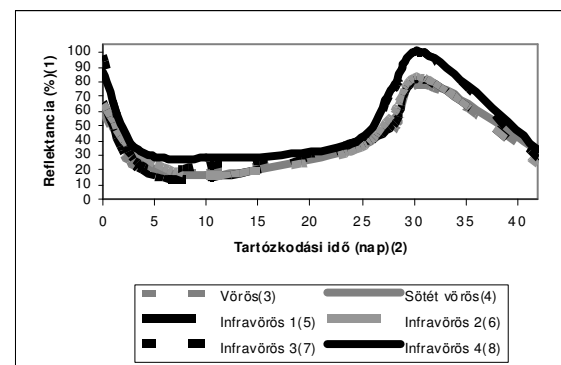


Figure 3: Reflectance values of different wavelengths during retention time in the case of prism based on wood clipping
Reflectance(1), Retention time(2), Red(3), Deep red(4), Infrared 1(5), Infrared 2(6), Infrared 3(7), Infrared 5(8)

4. ábra: A két prizmában 645 nm hullámhosszon tapasztalt reflektancia-értékek változása a tartózkodási idő függvényében

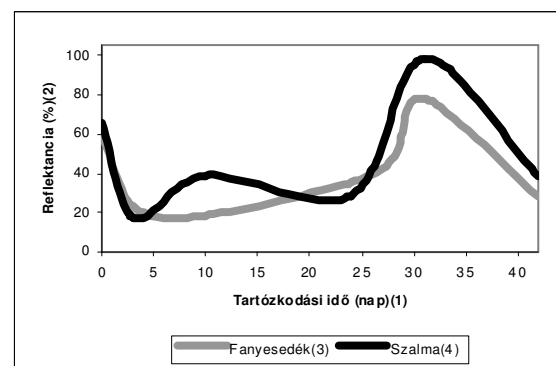


Figure 4: Changes of the reflectance values of the 2 prisms on 645 nm during retention time
Retention time(1), Reflectance(2), Wood-clipping(3), Straw(4)

A két prizma reflektanciájának változását összevetve megállapíthatjuk, hogy a görbék lefutása hasonló (a két adatsor korrelációs koefficiense 0,92; 10%-os hibahatár mellett), a 4 degradációs stádium mindkét esetben elkülöníthető.

A reflektancia alkalmazhatóságát – a komposzt-érettség meghatározására – a hőmérséklet-tendenciájával együttesen kiértékelt regressziós modell segítségével vizsgáltuk. A modellben a 645 nm-en mért reflektancia-értékeket alkalmaztuk. A vizsgált adatokra mindkét prizma esetében másodfokú polinom függvényt illesztetünk. A modell r^2 értéke 0,72 (10%-os hibahatár mellett), amely közepesen erős összefüggésnek mondható, azaz a hőmérséklet változása összefügg a reflektancia változásával. A változás negatív előjelű (a korrelációs együttható -0,84), hőmérséklet növekedése, azaz az intenzív degradáció a reflektancia csökkenését vonja maga után.

A kapott eredményeinket összehasonlítva Som et al. (2009) vizsgálataival megállapíthatjuk, hogy bár eltérő alapanyagok kerültek felhasználásra, a kapott görbék lefutása hasonló a tartózkodási idő során. Fontos azonban megemlíteni, hogy az általunk alkalmazott eljárás terepi, közvetlen meghatározást szolgál, míg az általuk vizsgált mérési módszer laboratóriumi körülmények között valósulhat meg.

KÖVETKEZTETÉSEK, JAVASLATOK

Kutatásaink során a reflektancia alkalmazhatóságát vizsgáltuk a komposztérettség meghatározására szennyvíziszap és fanyesedék, valamint a szennyvíziszap és szalma alapanyagokra alapozott prizmák esetében. A reflektancia változását együttesen értékeltük a prizmák hőmérsékletének változásával.

Az eredmények alapján megállapítható, hogy a prizmák hőmérséklete, illetve reflektanciája alapján is 4 degradációs szakaszt különíthetünk el. A reflektancia változása a hőmérséklettel ellentétes irányú. Ennek oka, hogy az intenzív degradáció a hőmérséklet emelkedését eredményezi, viszont a szénláncok szétesésével a reflektancia csökken. A prizmák degradációs görbéit összehasonlítva nem tapasztaltunk szignifikáns különbséget.

A vizsgált hullámhossztartományok között nem tapasztaltunk számottevő különbséget, ezért azok közül bármelyik alkalmazása megfelelő a reflektancia értékelésére.

A reflektancia, valamint a hőmérséklet felhasználásával készített másodfokú polinom regressziós függvény alapján megállapíthatjuk, hogy a reflektancia-analízis hatékonyan és gyorsan alkalmazható a komposztérettség meghatározására szennyvíziszapra alapozott nyílt prizmás komposztálási technológia esetén. Célszerű azonban a hőmérséklet mérése mellett párhuzamosan vizsgálni, így a két eljárás együttes alkalmazásával biztosabb eredményt kapunk az érettségi állapotra vonatkozóan. A mérések gyakoriságát a degradációs folyamat második szakaszában (25. naptól) célszerű növelni, mert a reflektancia növekedését, majd újbóli csökkenését tapasztalva következtethetünk a humuszanyagok beépülésére, az érett komposzt kialakulására. A továbbiakban célunk a kapott eredmények összevetése a komposzt szervesanyag-tartalmának változásával, így megbízhatóbb eredményt kaphatunk az érettségre vonatkozóan.

IRODALOM

- Aleksza L.–Dér S. (1998): A komposztálás elméleti és gyakorlati alapjai. Bio-Szaktanácsadó Bt. Gödöllő.
- Banegas, V.–Moreno, J.L.–Moreno, J.I.–García, C.–León, G.–Hernández, T. (2007): Composting anaerobic and aerobic sewage sludges using two proportions of sawdust. *Waste Management*. 27: 1317–1327.
- Burai P.–Lénárt C.–Kovács E.–Nagy A.–Tamás J. (2008): Hiper-spektrális légi távérzékelt adatok és laboratóriumi spektrofotometriás klorofill-tartalom összefüggés-vizsgálata. [In: VIII. Magyar Biometriai és Biomatematikai Konferencia. Összefoglalók gyűjteménye.] Corvinus Egyetem. Budapest. 37.
- De Oliveira, S.C.–Provenzano, M.R.–Silva, M.R.S.–Senesi, N. (2002): Maturity degree of composts from municipal solid wastes evaluated by differential scanning calorimetry. *Environmental Technology*. 23: 1099–1105.
- Filep Gy. (1999): Talajtani alapismeretek I. Általános talajtan. DATE Mezőgazdaságtudományi Kar. Kari Jegyzet. Debrecen. 64.
- Gallenkamper, B.–Becker, G.–Kötter, A. (1993): Criteria for judging the decomposition maturity of biowaste compost. [In: Conference report.] Ministry for Research and Development (BMFT). 22–23.
- Golueke, G.G. (1977): *Biological Reclamation of Solid Wastes*. Rodale Press. Emmaus. USA.
- Golueke, G.G. (1986): Compost research accomplishments and needs. *BioCycle*. 27. 4: 40–43.
- Guardia, A.D.–Petiot, C.–Rogeu, D.–Druihe, C. (2008): Influence of aeration rate on nitrogen dynamics during composting. *Waste Management*. 28: 575–587.
- Harada, Y.–Inoko, A. (1980a): Relationship between cation-exchange capacity and degree of maturity of city refuse compost. *Soil Science/Plant Nutrition*. 26: 353–362.
- Harada, Y.–Inoko, A. (1980b): The measurement of the cation-exchange capacity of composts for the estimation of the degree of maturity. *Soil Science/Plant Nutrition*. 26: 357–364.
- Harada, Y.–Inoko, A.–Tadaki, M.–Izawa, T. (1981): Maturing process of city refuse compost during piling. *Soil Science/Plant Nutrition*. 27. 3: 57–64.
- Haug, R.T. (1993): *The practical handbook of compost engineering*. Lewis Publishers. 3–10.
- Hunyadi G. (2010): Komposzt keverési-arány meghatározásának módszertani kidolgozása. *Acta Agraria Debreceniensis*. 42: 29–33.
- Inbar, Y.–Hadar, Y.–Chen, Y. (1993): Recycling of cattle manure. The composting process and and characterization of maturity. *Journal of Environmental quality*. 22: 857–863.
- Iwegbue, C.M.A.–Egun, A.C.–Emuh, F.N.–Isirimah, N.O. (2006): Compost maturity evaluation and its significance to agriculture. *Pakistan Journal of Biological Sciences*. 9. 15: 2933–2944.
- Jimenez, E.I.–Garcia, V.P. (1989): Evaluation of city refuse compost maturity. *Biological Wastes*. 27: 115–142.
- Jimenez, E.I.–Garcia, V.P. (1992): Determination of maturity indices for city refuse composts. *Agriculture, Ecosystems and Environment*. 38: 331–343.
- Kanat, G.–Demir, A.–Ozkaya, B.–Bilgili, M.S. (2006): Addressing the operational problems in a composting and recycling plant. *Waste Management*. 26: 1384–1391.
- Kocsis I. (2005): *Komposztálás*. Szaktudás Kiadó Ház. Budapest. 43–44.
- Kovács D.–Rózsáné Szűcs B.–Füleky Gy. (2007): Komposztok érettségének meghatározása oxigénfogyasztás, szén-dioxid termelés mérésével és önhevülési teszttel. *Agrokémia és talajtan*. 56. 2: 301–316.

- Lax, A.–Roig, A.–Costa F. (1986): A method for determining the cation-exchange capacity of organic materials. *Plant Soil*. 94: 349–355.
- Mathur, S.P.–Owen, G.–Dinel, H.–Schinitzer, M. (1993): Determination of Compost Biomaturity I. Literature Review. *Biological Agriculture and Horticulture*. 10: 65–85.
- Morel, J.L.–Colin, F.–Germon, J.C.–Godin, P.–Juste, C. (1985): Methods for the evaluation of the maturity of municipal refuse compost. [In Gasser, J. K. R. ed. *Composting of Agricultural and other Wastes*.] Elsevier Applied Science Publishers. London and New York. 56–72.
- Petróczi F.–Késmárki I. (2003): A komposztálás jelentősége. *Acta Agronomica Óváriensis*. 45. 2: 203–213.
- Senesi, N.–Brunetti, G. (1996): Chemical and Physico-Chemical Parameters for Quality Evaluation of Humic Substances Produced during Composting. *The Science of Composting*. Blackie Academic & Professional. 4: 243–248.
- Simándi P. (2008): Különböző szerves hulladékok és kezelésük után keletkezett termékek kémiai vizsgálata. Doktori értekezés. Debreceni Egyetem. Debrecen.
- Simon L.–Prokisch J.–Győri Z. (2000): Szennyvíziszap komposzt hatása a kukorica nehézfém-akkumulációjára. *Agrokémia és Talajtan*. 49: 247–255.
- Smith, D.C.–Hughes, J.C. (2004): Changes in maturity indicators during the degradation of organic wastes subjected to simple composting procedures. *Biology and Fertility of Soils*. 39: 280–286.
- Som, M.P.–Lemée, L.–Amblés, A. (2009): Stability and maturity of a green waste and biowaste compost assessed on the basis of a molecular study using spectroscopy, thermal analysis, thermodesorption and thermochemolysis. *Bioresource Technology*. 100: 4404–4416.
- Sugahara, K.–Inoko, A. (1981): Composition analysis of humus and characterization of humic acid obtained from city refuse compost. *Soil Science and Plant Nutrition*. 27. 2: 213–224.
- Szili-Kovács T. (1985): A szennyvíziszap elhelyezés talajmikrobiológiai problémái. *Agrokémia és Talajtan*. 34: 486–493.
- Tamás J. (1990): Újabb lehetőségek a szennyvíziszap elhelyezés káros hatásainak csökkentésére. *Debreceni Agrártudományi Egyetem. Tudományos Közlemények*. Debrecen. 223–230.
- Uri Zs. E. (2007): Települési Szennyvíziszapok termesztett növényekre és talajra gyakorolt hatásának vizsgálata. Doktori Értekezés. Debreceni Egyetem.
- Uri Zs.–Lukácsné Veres E.–Káta J.–Simon L. (2005): Települési szennyvíziszapok hatása a talaj mikroorganizmusaira és enzimaktivitására. *Agrokémia és Talajtan*. 54: 439–450.
- Watanabe, M.–Kurihara, K. (1982): Physico-chemical characteristics of municipal refuse compost for agricultural use. *Bulletin of the National Institute of Agricultural Sciences*. Japan. 33: 95–164.

