

Különböző alapanyagból származó bioszenek

Fahulladék alapanyagú bioszenek

Mukome et al, 2013; Gaskin et al, 2008; Singh et al, 2010 észrevételei szerint a fahulladék alapanyagú bioszenek hamutartalma lényegesen kisebb, mint a nem faalapú bioszéné. A kis hamutartalomnak (<7%) köszönhetően a faalapú bioszén jobban szállítható és könnyebben keverhető a talajba, mivel kevesebb a szél általi anyagvesztés. Tehát a faalapú bioszenek talajra alkalmazva nem növelik a talaj hamutartalmát. Kookana et al, 2011 szerint a hamutartalom növelheti a talaj hidrofobicitását, mely elősegítheti a hidrofób agro-vegyületek megkötését, mint például a növényvédőszeres csoportjába tartozó fenilureázt. A Mukome et al, 2013 által tanulmányozott faalapanyagú bioszén C/N aránya nagyobb, mint az azonos pirolizációs hőmérsékleten gyártott nem faalapanyagú bioszéné. A faalapú bioszén C/N>20, ami azt jelzi, hogy talajba keverve elősegíti a N immobilizációját, ugyanis ez a C/N arány a szerves anyag N immobilizációs hajlamát képes előjelezni (Stevenson et al, 1999). A Mukome et al, 2013, Darmstadt et al., 2000 felszíni felületi vizsgálatai szerint különbségek észlelhetők a kemény- és a lágy faalapanyagú bioszenek között: a lágy faalapú bioszenek felszíni felülete nagyobb, mint a keményfa alapú bioszeneké. Előző tanulmányok (Keiluweit, M. et al, 2010) észrevételeinek megfelelően a felszíni felület nagysága nő a hőmérséklettel. A lágy faanyag kis sűrűségének köszönhetően érzékenyebb a hő-bontásra, melynek eredményeként több pórus és üreg képződik a fa szerkezetében, ezáltal nő a bioszén felszíni felülete. Mukome et al, 2013 észrevételei szerint a fa alapanyagú bioszenek felszíni felülete függ a pirolízis hőmérséklettől is, vagyis alacsony pirolízis hőmérséklet kis felszíni felületet eredményez. Mukome et al, 2013 által vizsgált faalapú bioszenek elemtartalma az alábbi intervallumban változott: C (53–88%), N (0,21–1,96%), O (5,6–31,7%), H (1,64–4,38%). Ezen értékek lehetővé tették a faalapú bioszenek megkülönböztetését más eredetű bioszenektől, melyek esetén ezek az értékek kisebbek voltak. Mukome et al, 2013 vizsgálatai arra utalnak, hogy a faalapú bioszenek pH-ja (6,8–9,5) valamivel kisebb, mint a növényi és más szerves alapanyagú bioszéné, ugyanakkor a faalapú bioszenek tápanyagtartalma, különösképpen a P (0,02–0,42) és a K (0,21–1,2%) is kisebb.

Fornes, F et al, 2014 tanulmányozta a keményfa bioszén (*Quercus* sp.) tulajdonságait mezőgazdasági talajra alkalmazás szempontjából. A vizsgált keményfa bioszén pH-ja bázikus (pH: 9,6), elektromos vezetőképessége $0,7 \text{ dS m}^{-1}$, szervesanyag tartalma 79 % (száraz tömegre vonatkoztatva), ásványi anyag tartalma (szervetlen frakció) 21%, CaCO_3 tartalma pedig 6,2%. A Fornes, F et al, 2014 szerint a keményfa bioszén tápanyagtartalma kicsi, az olivamaradékból bészült bioszénhez képest, amely nagy összes- és vízdoldható K tartalommal rendelkezik és nagyobb P és Mg tartalommal, mint a keményfa bioszén. A Fornes, F et al, 2014 által vizsgált keményfa bioszén nem jelent kockázatot a talajra, annak ellenére, hogy nagy a toxikus fémtartalma, mivel nehézfém- és nyomelem tartalma minden esetben a mezőgazdasági talajokra meghatározott határérték alatt volt (Kabata-Pendias, 2011), bár az Al tartalma nagy, az Al nincs a növények számára felvehető formában.

Victoria Nelissen et al, (2015) által talajjavításra használt kemény és lágy fahulladék keverékből lassú pirolízissel (480C°) gyártott bioszén széntartalma (C) 68,1%, hidrogén tartalma (H) 1,5% és nitrogén tartalma (N) 0,4%. Nelissen et al., 2014 vizsgálatai szerint a

faalapú bioszénben a C:N arány 164, míg a H:C arány 0.257., a pH=8.6, míg a kation-cserélőképesség $46.3 \text{ cmol}_c\text{kg}^{-1}$, illóanyagtartalom 12.0%, a hamutartalom pedig 8.3%. Victoria Nelissen et al, (2015) által vizsgált faalapú bioszén BET felszíni felülete $295 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$, ami nagyobb, mint az EBC (2012) által javasolt $150 \text{ m}^2\text{g}^{-1}$.

Növényi hulladékból készült bioszenek

Dióhéj alapú bioszenek

Mukome et al 2013 tanulmányozta a magas hőmérsékleten (900 C°) pirolizált (elgázosított) dióhéjból gyártott bioszén fizikai és kémiai tulajdonságait. Az általa vizsgált dióhéj alapú bioszén hamutartalma (46.6 wt.%), felszíni felülete (BET $227,1 \text{ m}^2/\text{g}$) és H/C aránya (0.22) nagyobb, mint a vizsgált faalapú bioszeneké. Ugyanakkor a dióhéj alapú bioszén pH-ja 9.7, és az ennek megfelelő bázikussága 11.7 meq/g , ami egy egységgel nagyobb, mint az általa vizsgált faalapú bioszeneké. A vizsgálatok szerint a dióhéj bioszén alkáli fémtartalma, valamint a tápanyagtartalma, különösen a P (0.64%) és K (9.32%). További elemtartalma megkülönbözteti a dióhéjból készült bioszeneket a faalapú bioszenektől: C: 55.3%, N: 0.47%, H: 0.89%, O: 1.6% S: 940 mg/kg, Fe: 1981 mg/kg. Ennek megfelelően, kation-cserélő képessége (CEC) 33.4 cmol/kg , a C/N arány pedig 117.7. A dióhéjból készült bioszén felszíne lemezes szerkezetű és a koromrészecskéket tartalmaz, melynek köszönhetően nagy felszíni felülettel rendelkezik.

Rizsszalma alapú bioszén

Weixiang Wu et al (2012) különböző hőmérsékleten gyártott rizsszalma alapú bioszén kémiai tulajdonságait vizsgálta, különös tekintettel a bioszén talajjavító és termésmenővelő hatására. A rizsszalma bioszén hamutartalma nagyobb, a Keiluweit M et al, 2010 által vizsgált fű alapú (<20%) és fa alapú (2-8%) bioszenekhez képest. A nagy hamutartalom, a rizsszalma nagy Si tartalmának tulajdonítható, más növényi eredetű bioszenekhez képest. A rizsszalma alapú bioszén nagy hamutartalmának köszönhetően tápanyagokat juttat a talajba. Weixiang Wu et al (2012) szerint, a pirolízis hőmérséklet növekedésével a rizsszalma alapú bioszén széntartalma nő, míg a H és O tartalom csökken, ami a H/C és O/C arány fokozatos csökkenéséhez vezetett a bioszénben. A H/C és O/C arány csökkenése a hőmérséklet függvényében a fokozatos dehidrálnási és dekarboxilálási reakcióknak köszönhető, előjelezve az aromás gyűrűs szerkezetek kialakulását. A rizsszalma alapú bioszén N tartalma nőtt 300C° és 400C° között, majd ezt követően lecsökkent. A pirolízis hőmérséklet növekedésével változott a különböző elemek koncentrációja is a bioszénben, hasonlóan Keiluweit et al (2010), fenyőforgácsra, réti perje szalmára, valamint Bonelli et al (2003) mogyoró- és földimogyoróhéjra vonatkozó észrevételeihez. A rizsszalma bioszén pH-ja, tápanyagtartalma és kationcserélő képessége (CEC) nagyobb, mint más szerves anyag alapú, például a zöldhulladék, fahulladék (Chan KY et al, 2007) bioszéné. Ennek köszönhetően a rizsszalma alapú bioszén talajba keverve tápanyagokat visz és köt meg a talajban. A nagy pH-nak és bázikusságának köszönhetően semlegesíti a talaj savas kémhatását és növeli a talaj pH-ját, ezáltal tovább csökkenti a kicserélhető Al mennyiséget a talajban, csökkentve az esetlege toxikus hatást a talajban (Van

Zwieten L et al, 2010). A nagy CEC elősegíti a növények számára felvehető tápanyagok megkötését a talajban. Weixiang Wu et al (2012) észrevette, hogy a pirolízis hőmérséklet 400 C° fölé növekedésével a rizsszalma alapú bioszén tápanyagtartalma, kation-cserélő képessége, növények által felvehető P és kation tartalma csökkent, míg bázikussága és az aromás szerkezetek mennyisége nőtt. Ezért a 400 C° –on gyártott rizsszalma bioszén a legalkalmasabb talajjavításra, míg a hőmérséklet növekedésével a rizsszalma bioszén nehezen bonthatóvá válik.

Egyéb szerves hulladékból készült bioszenek

Marhatrágya alapú bioszenek:

A trágya alapú bioszenekhez hasonlóan, a marhatrágya alapú bioszenek C és N tartalma kisebb a növényi alapú bioszenekhez képest (Gaskin et al. 2008), ugyanakkor Singh et al, 2010 szerint, a pirolízis hőmérséklet növekedésével, a marhatrágya bioszén esetén a C és N tartalom tovább csökken. Ugyanakkor, főleg az alacsony hőmérsékleten gyártott trágya alapú bioszenek, nagy arányban tartalmaznak alifás C-t és csak kis mértékben aromás C-t (McBeath and Smemik 2009). Ezért és főleg a nagy tápanyagtartalom miatt, a trágya alapú bioszenek mineralizálódnak és gyorsabban teszik szabaddá a tápanyagokat a talajban, mint a növényi alapú bioszenek, amelyek nagy mennyiségben tartalmaznak kondenzált aromás szerkezeteket (Novak et al. 2009). Singh et al, 2010 szerint a trágya alapú bioszenek és konkrétan a marhatrágya alapú bioszén nagy koncentrációban tartalmaz foszfort, ugyanis a növények által felvehető foszfor koncentráció az összes foszfortartalom több mint 30-56 %-a, tehát a marhatrágya alapú bioszenek jelentős foszforforrást jelentenek a talajnak. Gaskin et al 2008-hoz hasonlóan, Singh et al, 2010, nagy koncentrációban mutatta ki a K, S és Mg jelenlétét a trágya alapú bioszénben, a növényi eredetű bioszenekhez képest. A trágya alapú bioszén pH-ja nagyobb a faalapú bioszénhez képest, ami az alkáli sók és elemek (Na, K, Ca, Mg) jelenlétét jelzi ebben a bioszénben. Singh et al, 2010 szerint a trágya alapú bioszenek elektromos vezetőképessége nagyon nagy, ami a vízoldható sók jelenlétének tulajdonítható, ugyanakkor a növényi bioszenekhez képest nagyobb kation-cserélő képessége az agyagásványok jelenlétének köszönhető.

Baromfitrágya alapú bioszenek:

A baromfitrágya alapú bioszén, általában, baromfitrágyából és a baromfitartás során használt alomból készül, amely tartalmaz még fűrészport, fanyesedéket, szalmát és egyéb szerves anyagokat, valamint tollat és szétszórt tápanyagokat. A baromfitrágya alapú bioszenek bizonyos mértékben különböznek a növényi hulladékból készült bioszenektől. A baromfitrágyából készült bioszenek tápanyagtartalma, főleg a nitrogén és foszfortartalom nagyobb, mint a növényi alapanyagból készült bioszeneké (Van Zwieten, 2009). Annak ellenére, hogy a pirolízist követően a baromfitrágyából készült bioszén nitrogén tartalma kisebb, mint a más alapanyagból készült bioszeneké, a kezdeti anyag nagy tápanyagtartalma biztosítja a keletkezett bioszénben az összességében nagy tápanyagtartalmat (Gaskin et al, 2008). Az alacsony hőmérsékletű pirolízissel (400 C°) keletkezett baromfitrágya alapú

bioszén kation-cserélő képessége (CEC) általában sokkal nagyobb, mint a hasonló hőmérsékleten gyártott mogyoróhéj és fenyőforgácsból készült bioszéné (Gaskin et al, 2008). Lima et al, 2009 szerint a baromfitrágya erőteljesebben adszorbeál és nyel el fémionokat a növény alapú bioszenekhez képest. Das et al 2008 vizsgálatai szerint a baromfi trágya alapú bioszén hamutartalma 26%, ami nagyobb, mint például a fenyőforgács alapú bioszén hamutartalma (2%). A nagy hamutartalomnak köszönhetően a baromfitrágya bioszén alkalmas savanyú talajok kémhatásának semlegesítésére. Das et al 2008 vizsgálatai kimutatták, hogy a baromfitrágya alapú bioszén széntartalma kisebb (62%), mint a fenyőforgács alapú bioszéné (84%).

Kommunális szennyvíziszap alapú bioszenek

Mustafa K. Hossain et al. 2011 kísérletei alapján a kommunális szennyvíziszapból alacsony hőmérsékleten (300 C° - 400 C°) pirolízissel gyártott bioszén savas kémhatású, míg a magas hőmérsékleten (700 C°) gyártott bioszén bázikus. A kommunális szennyvíziszap bioszénnek N, P, K és mikrotápanyag tartalma van. Mustafa K. Hossain et al. 2011 szerint a kommunális szennyvíziszapból gyártott bioszén N tartalma, különösen a növények által felvehető N tartalma, nagyon kicsi és a hőmérséklet növekedésével tovább csökken, míg a mikrotápanyagok (Ca, Fe, Mg, S, Cu és Zn) koncentrációja (összes) nő a hőmérséklettel. A szennyvíziszapban megtalálható nehézfémek (Zn, Pb, Ni és Cd) többnyire feldúsulnak a bioszénben a hőmérséklet növekedésével, ami talajra hasznosítás esetén kockázatot jelent a fémek növényekben történő bioakkumulációja miatt. Egyes elemek esetén azonban a növények által felvehető elemtartalom lecsökkent a pirolízis hőmérséklet növekedésével (Mustafa K. Hossain et al. 2011). Hwang et al. 2007 kioldási kísérletei szerint az 500 C°-on pirolizált szennyvíziszapból gyártott bioszén csurgaléka sokkal kevesebb kioldott fémeket tartalmazott, a bioszénben mért fémtartalomhoz vagy az eredeti szennyvíziszap alapanyagban mérthez képest. Ugyanakkor, A. Mendez et al, 2012 rámutattak arra, hogy a bioszén, a pirolízis hatására csökkenti a talajban a növények által felvehető fémtartalmat (Ni, Zn, Cd and Pb), ezért a bioszénrel kezelt talajok növény által felvehető fémtartalma kisebb a szennyvíziszappal kezelt talajokhoz képest.

Papírgyártási szennyvíziszap alapú bioszenek

Méndez et al, 2014 vizsgálta a cellulóz rostokban gazdag, nagy karbonát és agyagásvány tartalommal rendelkező papírgyártási szennyvíziszapból pirolízissel, 300 C° és 500 C°-on gyártott bioszén tulajdonságait és a bioszén alkalmasságát nehézfémekkel (Ni²⁺) szennyezett talaj remediációjára. A pirolízis hatására, a hőmérséklet növekedésével a szennyvíziszap alapú bioszén pH-ja a közel semlegesről bázikusra nőtt, ami a karbonátoknak köszönhető (A. Méndez et al, 2009). Ugyanakkor a hőmérséklet növekedésével a bioszén elektromos vezetőképessége, ami az összes oldott sómennyiség függvénye, lassan lecsökkent, összhangban további kutatók észrevételeivel (M.K. Hossain et al, 2011). A. Méndez et al, 2014 szerint a papírgyártási szennyvíziszapból készült bioszén kation-cserélő képessége (CEC) lecsökkent a hőmérséklet növekedésével, míg a toxikus fémek koncentrációja (Cu, Ni, Cd és Pb) nőtt a hőmérséklettel, a hamutartalom növekedésének köszönhetően, bár a Zn koncentráció csökkent a hőmérséklettel.

Cukornád bagassz alapú bioszenek

Mandu Inyang et al, 2010, az anaerob rothasztás hatását vizsgálta, cukornád bagasszból, pirolízissel gyártott bioszén fizikai-kémiai tulajdonságaira és talajjavító adalékként.

Mandu Inyang et al, 2010 szerint, a cukornád bagassz anaerob rothasztása után gyártott bioszén pH-ja nagyobb (pH: 10.9), mint az előzetes rothasztás nélkül cukornád bagasszból gyártott bioszéné (pH: 7.7), ami annak köszönhető, hogy az aerob rothasztás során, a keletkezett hulladékban feldúsulnak a nehezen bontható (Pb, Cd, Zn, Cr, Cu, Ni) és a kicserélhető kationok (Ca, Mg, Na) (Gu and Wong, 2004; Hanay et al., 2008).

Mandu Inyang et al, 2010, mérései alapján az anaerob rothasztás után gyártott cukornád bagassz bioszén felületi feszültsége nagyobb (-61.7 mV) volt a rothasztás nélkülihez képest (-28.1 mV), továbbá a rothasztás után gyártott bioszén fajlagos felszíne nagyobb (18 m²/g), mint a rothasztás nélküli bioszéné (14 m²/g). Mivel a pH, a felületi töltés és a fajlagos felszín együttesen befolyásolják egy anyag kölcsönhatását valamilyen vegyi anyaggal, különös tekintettel a fém kationokra, a rothasztás utáni bioszén alkalmasabb fémek megkötésére, mint a rothasztás nélküli. Mindkét bioszén esetén a Mandu Inyang et al, 2010 által mért kation- (CEC) és anion (AEC) kicserélő-képesség, arra utal, hogy talajra hasznosítva javítaná a talaj ioncserélő és tápanyagmegkötő képességét. Ennek ellenére, a rothasztás utáni bioszén CEC (14.30 cmol/kg) és AEC (11.19 cmol/kg) értéke nagyobb, mint a rothasztás nélküli bioszén CEC (6.64 cmol/kg) és AEC (4.194 cmol/kg) értéke.

Az anaerob rothasztás hatása a gyártott bioszénre a felszíni funkcionális csoportok alapján is megkülönböztethető. Általában, a bioszénben kimutatható funkcionális csoportok jelenléte a pirolízis hőmérséklet és körülmények függvénye (Chun et al., 2004). Mandu Inyang et al, 2010 vizsgálata alapján a nem rothasztott cukornád bagassz alapú bioszén fenol tartalma nagy, míg a csak rothasztott cukornád bagassz alapú bioszén tartalmaz karbonil csoportot (O=C=O).

Nem szokványos alapanyagból gyártott bioszenek:

Fonalas algából készült bioszenek (tengeri hínár)

Több fonalas algafajtából (édesvízi, sósvízi és tengeri) készült bioszén vizsgálata (Bird et al 2011) azt mutatta, hogy az alga alapú bioszenek széntartalma, fajlagos felszíne és kationcserélő képessége kicsi, de a pH-ja, hamutartalma, valamint a nitrogén és a kivonható tápanyagtartalma (P, K, Ca és Mg) nagy. Ezen bioszenek tulajdonságai inkább a baromfitrágyából készült bioszénhez hasonlítanak, mint a ligno-cellulóz alapúhoz. Ez azt jelenti, hogy a baromfitrágyából gyártott bioszénhez hasonlóan, a makroalga bioszén tápanyagot szolgáltat a talaj, ezáltal a mezőgazdasági növények számára és különösen hasznos savanyú talajok esetén. Ezzel szemben, a makroalga alapú bioszenek a térfogat szempontjából kisebb szénmegkötő-képességgel (szén-dioxid elnyelés) rendelkeznek, mint a lignocellulóz alapúak.

Egysejtű tengeri kovamoszatból (*Tetraselmis chui*) készült bioszenek

Grierson et al, 2011 vizsgálatai alapján, a *T chui* egysejtű tengeri kovamoszattól készült bioszén kationcserélő képessége és N tartalma nagy, míg a C:N arány kicsi. Grierson et al , 2011 kimutatta, hogy az egysejtű kovamoszattól gyártott bioszén az alapanyag széntartalmának 9%/wt-át stabilizálja a talajban, ami hozzájárul a légköri CO₂ megkötéséhez a talajban. A *T Chui* alapú bioszén szerves szén koncentrációja (16%) jelzi a bioszénben hőbontás során még nem távozott vagy újra kialakult és a talajjal kölcsönhatásban lévő maradék illékony anyagok, valamint karbonátok és más potenciálisan bioaktív vegyületek jelenlétét. A *T Chui* bioszén nagyon bázikus (pH:12), ezért alkalmas savanyú talajok kezelésére és meszezésére, a hamuban kimutatott nagy CaO tartalma miatt. A *T Chui* bioszén C:N aránya (10:1), a szerves N mobilitását és kicserélhetőségét jelzi (Chan et al., 2007). Általában az algaalapú bioszének kicserélhető P és K kation koncentrációja nagy, míg a kalcium és magnézium kation koncentrációja közepes (6.4 and 1.2 cmol/kg). Összességében, az alga bioszén nagy kationcserélő képességének (200 cmol/kg) és pH-jának köszönhetően elősegíti a tápanyagok talajban tartását és rendelkezésre bocsátását, valamint a pH stabilizálását, bioaktív talaj-adalékanyagként (Lehmann, 2007). A *T. chui*, mint tengeri mikroalga sós vízben nő, ezért talajra alkalmazás és remediáció esetén figyelembe kell venni a nátrium kationok jelenlétét a bioszénben.

Hüvelyes növényekből készült bioszének

Yuan et al 2011 szójabab szalma, földimogyoró szalma, lóbab szalma, zöldborsó szalma, mung bab szalma alapanyagokból gyártott bioszén hatását vizsgálta savanyú talajra, összehasonlítva a hatást nem hüvelyes növényekből készült bioszén hatásával. Yuan et al 2011 vizsgálata alapján a hüvelyes növények szalmájából készült bioszén több bázikus kationt tartalmaz, mint a nem hüvelyes növényekből készült bioszén, ezért talajra alkalmazva csökkentette a talaj savanyúságát és javította a talaj termékenységét.

Hivatkozások

Bird, M. I.; Wurster, C. M.; de Paula Silva, P. H.; Bass, A. M.; de Nys, R., Bonelli PR, Cerrella EG, Cukierman AL. 2003 Slow pyrolysis of nutshells: characterization of derived chars and of process kinetics. *Energ Source* 25:767-78.

Bonelli, P.R., Cerrella, E.G. & Cukierman, A.L. (2003). Slow pyrolysis of nutshells: Characterization of derived chars and of process kinetics. *Energy Sources*, Vol. 25, No.8, (Jun 2003), pp. (767-778), ISSN 0090-8312.

Chan, K. Y., Zwieten, L. V., Meszaros, I., Downie, A., Joseph, S., 2007. Agronomic values of greenwaste biochar as a soil amendment. *Australian J. Soil Res.* 45, 629-634

Chun, Y., Sheng, G.Y., Chiou, C.T., Xing, B.S., 2004. Compositions and sorptive properties of crop residue-derived chars. *Environmental Science & Technology* 38, 4649–4655.

Darmstadt, H.; Pantea, D.; Sümmchen, L.; Roland, U.; Kaliaguine, S.; Roy, C. 2000. Surface and bulk chemistry of charcoal obtained by vacuum pyrolysis of bark: influence of feedstock moisture content. *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, 53, 1–17.

Das, K. C., Garcia-Perez M., Bibens B., and Melear N. 2008. Slow pyrolysis of poultry litter and pine woody biomass: Impact of chars and bio-oils on microbial growth. *Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/hazardous Substances & Environmental Engineering*, Volume 43(7), p.714-724.

EBC, 2012. European Biochar Certificate – Guidelines for a Sustainable Production of Biochar. European Biochar Foundation, Arbaz, Switzerland, <http://www.european-biochar.org/biochar/media/doc/ebc-guidelines.pdf>, Version 4.8 of 13th December 2013 (accessed on 25.11.14).

Fornes, F., et al., 2014. Analysis of two biochars and one hydrochar from different feedstock: focus set on environmental, nutritional and horticultural considerations, *Journal of Cleaner Production*, <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.08.057>

Gaskin, J.W., C. Stiener, K. Harris, K.C. Das, and B. Bibens. 2008. Effect of low temperature pyrolysis conditions on biochar for agricultural use. *Trans ASABE*. 52:2061-2069.

Grierson Scott; Strezov Vladimir; Shah Pushan 2011. Properties of oil and char derived from slow pyrolysis of *Tetraselmis chui*, *Bioresource technology*, Vol. 102, No. 17, p.8232-8240 [10.1016/j.biortech.2011.06.010](http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2011.06.010)

Gu, X.Y., Wong, J.W.C., 2004. Identification of inhibitory substances affecting bioleaching of heavy metals from anaerobically digested sewage sludge. *Environmental Science & Technology* 38, 2934–2939.

Hanay, O., Hasar, H., Kocer, N.N., Aslan, S., 2008. Evaluation for agricultural usage with speciation of heavy metals in a municipal sewage sludge. *B. Environ. Contam. Toxicol.* 81 (1), 42–46

Hwang I.H., Ouchi Y., Matsuto T. (2007) Characteristics of leachate from pyrolysis residue of sewage sludge, *Chemosphere* 68, 1913–1919.

Kabata-Pendias, A., 2011. Trace Elements in Soils and Plants, fourth ed. CRC Press, Taylor & Francis Group, Boca Raton.

Keiluweit, M.; Nico, P. S.; Johnson, M. G.; Kleber, M. 2010. Dynamic molecular structure of plant biomass-derived black carbon (biochar). *Environ. Sci. Technol.* 44, 1247–1253.

Kookana, R. S.; Sarmah, A. K.; Van Zwieten, L.; Krull, E.; Singh, B. 2011. Chapter 3: Biochar Application to Soil: Agronomic and Environmental Benefits and Unintended Consequences. In *Advances in Agronomy*; Donald, L. S., Ed.; Academic Press: San Diego, CA; Vol. 112, pp 103–143.

Lehmann, J., 2007. Bio-energy in the black. *Frontiers in Ecology and the Environment* 5 (7), 381–387.

Lima, Isabel, Akwasi A. Boateng, and K. Thomas Klasson 2009. Pyrolysis of Broiler Manure: Char and Product Gas Characterization. *Ind. Eng. Chem. Res.* 2009, 48, 1292–1297.

Mandu Inyang, Bin Gao, Pratap Pullammanappallil, Wenchuan Ding, Andrew R. Zimmerman. 2010 Biochar from anaerobically digested sugarcane bagasse, *Bioresource Technology* 101, 8868–8872

McBeath AV, Smemik RJ (2009) Variation in the degree of aromatic condensation of chars. *Organic Geochemistry* 40, 1161-1168. doi:10.1016/j.orggeochem.2009.09.006

Méndez A., Gómez A., Paz-Ferreiro J., Gascó G. (2012) Effects of sewage sludge biochar on plant metal availability after application to a Mediterranean soil, *Chemosphere* 89, 1354–1359.

Mukome, F.N.D., Zhang, X., Silva, L.C.R., Six, J., Parikh, S.J., 2013. Use of Chemical and Physical Characteristics To Investigate Trends in Biochar Feedstocks, *J. Agric. Food Chem.*, 2013, 61 (9), pp 2196–2204 <http://dx.doi.org/10.1021/jf3049142>.

Mustafa K. Hossain, Vladimir Strezov, K. Yin Chan, Artur Ziolkowski, Peter F. Nelson (2011) Influence of pyrolysis temperature on production and nutrient properties of wastewater sludge biochar, *Journal of Environmental Management* 92, 223-228

Nelissen, V., Saha, B.K., Ruyschaert, G., Boeckx, P., 2014. Effect of different biochar and fertilizer types on N₂O and NO emissions. *Soil Biol. Biochem.* 70, 244–255.

Novak JM, Lima I, Xing B, Gaskin JW, Steiner C, Das KC, Ahmedna M, Rehrh D, Watts DW, Busscher W J, Schomberg H. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science* 3, 195-206.

Singh, Balwant; Singh, Bhupinder Pal; Cowie, Annette L. 2010, Characterisation and evaluation of biochars for their application as a soil amendment. Australian Journal of Soil Research, Agricultural industry; *Earth sciences* 2010 CSIRO Publishing ISSN: [0004-9573](http://www.csiro.au/journals/0004-9573), Volume: 48, Issue: 6-7

Stevenson, F. J.; Cole, M. A. 1999 Cycles of Soil – Carbon, Nitrogen, Phosphorus, Sulfur, Micronutrients; Wiley: New York.

Van Zwieten L, Kimber S, Morris S, Chan KY, Downie A, Rust J, Joseph S, Cowie A 2010. Effects of biochar from slow pyrolysis of papermill waste on agronomic performance and soil fertility. *Plant Soil* 327:235-246

Victoria Nelissen, Greet Ruyschaert, Delphine Manka'Abusi, Tommy D'Hose, Kristof De Beuf, Bashar Al-Barri, Wim Cornelis, Pascal Boeckx, 2015. Impact of a woody biochar on properties of a sandy loam soil and spring barley during a two-year field experiment Victoria, *Europ. J. Agronomy* 62, 65–78

Weixiang Wu, Min Yang, Qibo Feng, Kim McGrouther, Hailong Wang, Haohao Lu, Yingxu Chen, 2012 Chemical characterization of rice straw-derived biochar for soil amendment, *Biomass and Bioenergy* 47, 268 -276

Yuan, J.-H.; Xu, R.-K.; Wang, N.; Li, J.-Y., 2011 Amendment of acid soils with crop residues and biochars. *Pedosphere* 21, (3), 302-308.

Készítette: Vaszita Emese (BME-ABÉT)