



SOPRONI
EGYETEM

ERDŐMÉRNÖKI
KAR



Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Kiadványa

Szerkesztette: Czimber Kornél



Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Kiadványa

Szerkesztette:
Czímber Kornél



SOPRONI EGYETEM KIADÓ

SOPRON, 2023

Az Erdőmérnöki Kar Tudományos Kiadványa

Felelős kiadó: **Prof. Dr. Fábián Attila**

a Soproni Egyetem rektora

A kiadványt szerkesztette:

Dr. Czimber Kornél

A kiadványban megjelent cikkeket lektorálták:

Dr. Bartha Dénes, Dr. Bazsó Tamás, Dr. Bidló András, Dr. Brolly Gábor,
Dr. Czimber Kornél, Dr. Czupy Imre, Dr. Csiszár Ágnes, Dr. Gribovszki Zoltán,
Dr. Herceg András, Dr. Hír János, Dr. Hofmann Tamás, Dr. Jánoska Ferenc,
Dr. Kalicz Péter, Kemenszky Péter, Dr. Korda Márton, Kóhalmy Tamás,
Dr. László Richárd, Dr. Major Tamás, Dr. Péterfalvi József,
Dr. Rétfalvi Tamás, Szakálosné Dr. Mátyás Katalin, Szalai Áron,
Dr. Tóth Viktória, Dr. Tuba Katalin, Varga Zoltán, Visiné Dr. Rajczi Eszter,
Dr. Winkler Dániel, Zagyvainé Dr. Kiss Katalin Anita

A kiadvány a Soproni Egyetem Erdőmérnöki Karának
tudományos publikációit tartalmazza.

Címlapon: Kőszegi-hegység, Kereszt-kút, fotót készítette: Dr. Czimber Kornél

Soproni Egyetem Kiadó

Sopron, 2023.

ISBN 978-963-334-496-5 (pdf)

<https://doi.org/10.35511/978-963-334-496-5>

Creative Commons licenc: BY-NC-SA 2.5

Az online verzió elérhetősége:

[https://emk.uni-sopron.hu/images/dekani_hivatal/Kiadvanyok/
KariPub2023.pdf](https://emk.uni-sopron.hu/images/dekani_hivatal/Kiadvanyok/KariPub2023.pdf)

Ajánlott hivatkozás:

Czimber K. (szerk.) (2023): Az Erdőmérnöki Kar
Tudományos Kiadványa 2023, Soproni Egyetem Kiadó, Sopron.

Tartalomjegyzék

Alnazeer A. M. Ahmed, Imre Czupy, Nagwa K. M. Salih: Indigenous Knowledge On Biomass Fuel Quality At Dry Lands Of Southern Darfur State, Sudan	6
Balázs Pál, Bidló András, Végh Péter, Horváth Adrienn: Erebe-szigetek Erdőrezervátum felszínborításának változása történeti térképek alapján	13
Balázs Pál, Horváth Adrienn, Végh Péter, Bidló András: Szabó-völgy Erdőrezervátum (Felsőszölnök) felszínborításának változása történeti térképek alapján	19
Balázs Pál, Horváth Adrienn, Végh Péter, Bidló András: Tóth-árok Erdőrezervátum (Fenyőfő) felszínborításának változása történeti térképek alapján	25
Bartha Dénes: A Magyarországon inváziós dendrotaxonok értékelése	31
Bidló András, Balázs Pál, Végh Péter, Horváth Adrienn: Egy Duna sziget talajának vizsgálata.....	36
Brolly Gábor: Távérzékeléssel előállított térbeli pontthalmazok átszámítása ETRS89 és HD72 vonatkozási rendszerek között.....	44
Brolly Gábor, Ferenczi Noémi, Mentés Mátyás: A Hidegvíz-völgyi hidro-meteorológiai mérőkert 3D modelljének elkészítése földi lézeres letapogatás adatai alapján.....	49
Czibula György: A hazai erdei turizmus keresleti és kínálati oldalának elemzése a Covid-19 járványhullámok idején megnövekedett igények tükrében, soproni és Balaton-felvidéki példákon keresztül	54
Czupy Imre: Precíziós erdészet – a jövő útja	62
Csiszár Ágnes: Adventív növényfajok a Soproni-hegység lékjeiben.....	67
Dominkó Emese, Rétfalvi Tamás: Agrárerdészeti rendszerekből származó méz minták pollenanalízise.....	74
Elekne Fodor Veronika, Kerese András, Polgár András: A cséri hulladéklerakó monitoring rendszerének vizsgálata.....	80
Elekne Fodor Veronika, Rauch Richard, Polgár András: Sárvár környezetállapotának vizsgálata.....	87
Fehér Kristóf, Horváth Tamás: A Nelder-kísérlet 2021. évi felvételezése, növekedésének értékelése.....	94
Fejes Richárd, Zagyvai Gergely: Inváziós fafajok felmérése a fertődi Lés-erdőben	100
Gribovszki Zoltán, Gribovszki Katalin: Utánpótlódás és a napi talajvízszintingadozás... 106	
Mohamed Hemida, Zeinab Hammad, Andrea Vityi: A Taungya rendszer hatása a szudáni száraz övezet gazdálkodóinak mezőgazdaságból származó jövedelmére.....	111
Hofmann Tamás, Albert Levente: Az összes polifenoltartalom magasság szerinti változása álgesztes és álgesztmentes bükkben (<i>fagus sylvatica</i> L.).....	116
Hofmann Tamás, Albert Levente, Visiné Rajczi Eszter: Erdészeti melléktermék mint antioxidáns forrás	120
Horváth Ida – Kessler Jenő: Ritka madárkarom lelet a Nógrád-megyei hasznosi vár-hegy közép-miocén lelőhelyről.....	127

Horváth Attila László: Keménylombos állományok harveszteres fakitermelésének időszükséglete.....	133
Horváth Tamás, Gál János: Szögszámláló mintavétel használata átmérőeloszlás becslésére erdőrezervátumokban.....	138
Jánoska Ferenc: Szent Imre herceg, a vadász, magyar és lengyel legendaköre.....	143
Janzsó Milán Gábor – Czimber Kornél – Végh Péter - Vágvölgyi Andrea_ Szelektív hulladékgyűjtési lehetőségek térbeli felmérése és elemzése a lakossági környezettudatosság fejlesztéséhez.....	150
Kalicz Péter, Csáki Péter, Zagyvainé Kiss Katalin Anita, Nevezi Csenge, Herceg András, Gribovszki Zoltán: A Hidegvíz-völgyi kutatási terület (Sopron) csapadékmérés feldolgozásának kérdései	156
Korda Márton: A nagytétényi Kakukk-hegy természetvédelmi célú botanikai felmérése	162
Kui Biborka Rozália: Természeti környezet fontossága a gyermekjog tükrében Magyarországon.....	170
Kulcsár Alexandra, Zagyvai Gergely_ Dolomitbányák spontán növényzetének elemzése szociális magatartás típusok segítségével a Vértes és a Gerecse térségében.....	178
Major Tamás, Szily Attila: Fakitermelési munkák kíméletességének értékelése a Mecsekerdő Zrt. területén.....	184
Budi Mulyana, Andrea Vityi, András Polgár: Energiafa vagy épületfa? Szimuláció a CO2FIX modellel	189
Péterfalvi József, Primusz Péter: Talajstabilizáció alapú pályaszerkezetek hatékony tervezése és építése	197
Porcsin Alexandra, Keserű Zsolt, Szakálosné Mátyás Katalin: Az akácméz termelésére ható időjárás tényezők	202
Rétfalvi-Szabó Piroska, Helena Hybská, Rétfalvi Tamás: A nyomelem adagolás hatásainak értékelése a metántermelésre és ökotoxikológiai tulajdonságokra a cukorrépa préselt szelet anaerob fermentációjában.....	208
Schmidt Dávid: Adatok Táplánszentkereszt (Vas megye) gombavilágához I.....	213
Jóna Zoltán, Schmidt Dávid: A méhbangó (<i>Ophrys apifera</i> Huds.) állománydinamikai vizsgálata a Pannonhalmi-dombságban.....	219
Szalai Áron, Király Géza: A Soproni-hegyvidék erdőállományának elemzése hiperspektrális felvétel alapján.....	223
Tuboly Krisztián István, Fera Gábor, Szépligeti Mátyás, Csiszár Ágnes: A fehér akác (<i>Robinia pseudoacacia</i> L.) injektálásos visszaszorításának vizsgálata a szőcei lápréttel határos erdőrészekben.....	232
Vágó Sára, Tari Tamás: Alsó állkapocs mérésen és pontozásán alapuló korbecslési módszerek alkalmazhatóságának vizsgálata gímszarvas (<i>Cervus ELAPHUS</i>) esetében	237
Vágvölgyi Andrea, Takács Krisztián: Cséri hulladéklerakó optikai válogatóművének bemutatása	245
Vágvölgyi Andrea, Szűcs Zsolt: Háztartási szerves hulladék házi komposztálási kísérletének bemutatása	252

Varga Rita, Horváth Tamás: Erdőpedagógia és kommunikáció megjelenése az erdész gyakorlatban.....	258
Visiné Rajczi Eszter, Martina Vršanská, Nikola Schlosserová, Stanislava Voběrková, Hofmann Tamás: Lucfenyő (<i>Picea Abies</i> (L.) H. Karst.) És Kanadai Hemlokfenyő (<i>Tsuga Canadensis</i> (L.) Carrière) Toboz Extraktumainak antioxidáns és Antibakteriális Hatása.....	264
Volford Anna, Andrési Dániel, Vadász Csaba, Tóth Viktória: A fekvő holtfa mennyiségi és minőségi meghatározása különböző kezelésű erdőterületeken a Kiskunságban	269
Winkler Dániel, Novák Eszter: Idegenhonos fafajú és természetserű erdők összehasonlító talajfaunisztikai vizsgálata a Soproni-hegységben.....	276

A NYOMELEM ADAGOLÁS HATÁSAINAK ÉRTÉKELÉSE A METÁNTERME- LÉSRE ÉS ÖKOTOXIKOLÓGIAI TULAJDONSÁGOKRA A CUKORRÉPA PRÉ- SELT SZELET ANAEROB FERMENTÁCIÓJÁBAN

Evaluation of microelement supplementation on methane yield and ecotoxicological features of anaerobe digestion of sugar beet pressed pulp

RÉTFALVI-SZABÓ PIROSKA¹, HELENA HYBSKÁ², RÉTFALVI TAMÁS³

¹Soproni Egyetem, Erdő és Természeti Erőforrás-gazdálkodási Intézet, Sopron

²Zólyomi Műszaki Egyetem, Ökológiai és Környezettudományi Kar, Környezetmérnöki Intézet, T.G. Masaryka 24, 96001, Zólyom, Szlovákia

³Soproni Egyetem, Környezet és Természetvédelmi Intézet, Sopron

szabo.piroska@uni-sopron.hu

Kivonat

Kutatásunk célja a nyomelem adagolás hatásainak vizsgálata volt, fél-folyamatos rendszerű anaerob fermentációban, mely során alapanyagként cukorrépa préselt szeletet alkalmaztunk. Elemeztük továbbá a fermentiszap fitotoxicitási tulajdonságait fehér mustár és tavaszi árpa ökotoxikológiai vizsgálatain keresztül. Eredményeink azt mutatták, hogy az átlagos fajlagos metánkihozatal 11,0% és 11,7%-kal nőtt a nyomelem adagolás, a nyomelem és vas adagolás hatására a kontroll mintákhoz képest. A fehér mustár gyökérnövekedés gátlási tesztje alapján a legmagasabb stimuláló hatást a tízszeres hígítású, nyomelemmel és vassal dúsított fermentiszap érte el, -59,41%-kal. Jelentős stimulációt figyeltünk meg a tavaszi árpa teszt során a biomassza termelésben, a legerősebb hatást a nyomelemmel és vassal kezelt minták esetében, -62,80%.

Abstract

Aim of this study was to evaluate the effects of microelement addition on semi-continuous anaerobic digestion. as substrate sugar beet pressed pulp was applied. Furthermore, fitotoxicity aspects of fermented sludges were analysed by ecotoxicological tests of white mustard and spring barley. Results showed significant benefits in case of specific methane yield of microelement addition and microelement + Fe addition, 11.0% and 11.7%, respectively. Based on white mustard root elongation test highest stimulation effect was occurred in case of 10-fold diluted, microelement + Fe treated sludge. Major stimulation was observed in biomass production of spring barley test, 62.8%, in case of microelement + Fe treated sludge as well.

Bevezetés

A cukorrépa préselt szelet, mint a cukorgyártás mellékterméke másodnyersanyagként történő hasznosításának egyik lehetősége az anaerob fermentáció. Az így nyert megújuló energiát elektromos energia vagy hőenergia előállítására fordíthatjuk, ezen felül egy másodlagos „energiahordozó”,kierjedt fermentiszap is keletkezik, amely jelentős potenciállal bír a mezőgazdasági és erdészeti területek tápanyag utánpótlásában (GOVASMAR et al. 2011, DEMIREL et al. 2013, DONG et al. 2013). Az anaerob fermentáció optimális működéséhez a mikrobiális összetétel alapján nyomelem adagolás szükséges (ZHANG-JAHNG 2012, QIANG et al. 2013). A metántermelésre gyakorolt pozitív hatások mellett azonban a nehézfémek akkumulációja kedvezőtlen folyamatokat indíthat el a talaj ökoszisztémában (WALTER et al. 2006, SALAZAR et al. 2012), amely további negatív hatásként jelentkezhet az élelmiszerláncban (WAHSHA et al. 2014, LE et al. 2015). A lehetséges következmények azonosítása érdekében ökotoxikológiai tesztek elvégzése indokolt.

Anyag és módszer

Anaerob fermentáció

A lebontást 2,5 liter térfogatú, sötétített üvegekben (Merck, Germany) végeztük 1 liter térfogatú fermentiszappal. A fermentorokat vízfürdők (Memmert WNB 14 Basic, Memmert GmbH. & Co.) segítségével folyamatos mezofil tartományon, 38 °C-on tartottuk. Az alkalmasított, cukorrépa préselt szeletre adaptált inoculum a kaposvári biogáz üzemből származott. A fermentorokat naponta háromszor manuálisan kevertük, a keletkezett biogázt Tedlar® gázgyűjtőben gyűjtöttük, mennyiségét gáztömör fecskendővel naponta mértük (Sigma Aldrich Co). A megtermelt biogáz összetételét Ecoprobe 5-IR (RS Dynamics Ltd, Czech Republic) gázanalizátorral elemeztük.

A titrált savtartalom meghatározásához a fermentiszap 10 ml-ét 10 percen keresztül centrifugáltuk (3,420 RCF (EBA 21, A. Hettich Co, Germany)). A híg fázisból 5 ml-t használtunk a titrimetriás meghatározáshoz, amit ecetsav egyenértékre számoltunk (RÉTFALVI et al. 2011).

Kísérleti elrendezés

A kísérleteket három párhuzamos ismétlésben végeztük mind a nyomelem adagolás nélküli, a nyomelem adagolással ($2 \mu\text{LL}^{-1}\text{d}^{-1}$) és a nyomelem adagolás plusz vas ($2 \mu\text{LL}^{-1}\text{d}^{-1}$ nyomelem utánpótló oldat és $\mu\text{LL}^{-1}\text{d}^{-1}$ of Fe(III)-klorid 40%-os vized oldata – technikai tisztaságú) hozzáadás melletti tesztek során.

A fermentáció során 19 napig $5,2 \text{ gVSL}^{-1}\text{d}^{-1}$. Ezt követően a magas titrált savtartalmi értékek miatt 2 napra szüneteltettük a szervesanyag adagolást, A 22. és 44. nap között egy mérsékelt alapanyag adagolást hajtottunk végre, a maximum érték $3,8 \text{ gVSL}^{-1}\text{d}^{-1}$ volt, amit stabilan tartottunk a 81. napig.

Ökotoxikológiai tesztek

Fehér mustár (Sinapis alba) gyökérnövekedés gátlása

Az akut ökotoxikológiai tesztet az STN 83 8303:1999 számú szlovák szabvány alapján hajtottuk végre az anaerob fermentációból származó, különböző nyomelem kezelésű fermentiszapokon. A kiválogatott, ép mustármagok 1,5 és 2,5 mm közötti átmérőjűek voltak, 99% feletti csírázóképesseggel. 30 db magot Petri csészébe helyeztünk és 10 ml különböző hígítású fermentiszappal kezeltük. A tesztek során minden hígítást: 10, 50, 100 és 200-szoros, három párhuzamos mintával teszteltünk. Kontrollként a szabványban meghatározott oldatot alkalmaztuk.

Az inhibíciós és stimuláló hatásokat a mustármagok átlagos gyökérhosszainak lemérése után az alábbi képlettel határoztuk meg.

$$IC\% = \frac{L_k - L_v}{L_k} \cdot 100$$

ahol

L_v kísérleti mintákban a mustármagok átlagos gyökérhossza cm-ben

L_k kontroll mintákban a mustármagok átlagos gyökérhossza cm-ben

Tavaszi árpa

A mikroelem akkumulációját egy szárazföldi növényfajon, a tavaszi árpán (*Hordeum vulgare* L.) vizsgáltuk az STN EN 14735:2006-03 (83 8300) számú szlovák szabvány alapján. A tenyészedényes vizsgálatok során statikus, akut toxicitási teszttel a tavaszi árpa biomasza hozamát mértük. A teszteket 500 g mesterségesen összeállított termőfölddel (10% tőzeg, 20% kaolinos agyag, 70% homok) megtöltött cserepekben végeztük. A kísérletet kontrollált körülmények között hajtottuk végre, állandó 22°C, 28-30%-os páratartalom, amelyet naponta nedvességmérővel ellenőriztünk (Delta-T Devices of Cambridge, England). A talajokhoz a különböző nyomelem kezelésű fermentiszapokból adagoltunk, kontrollként

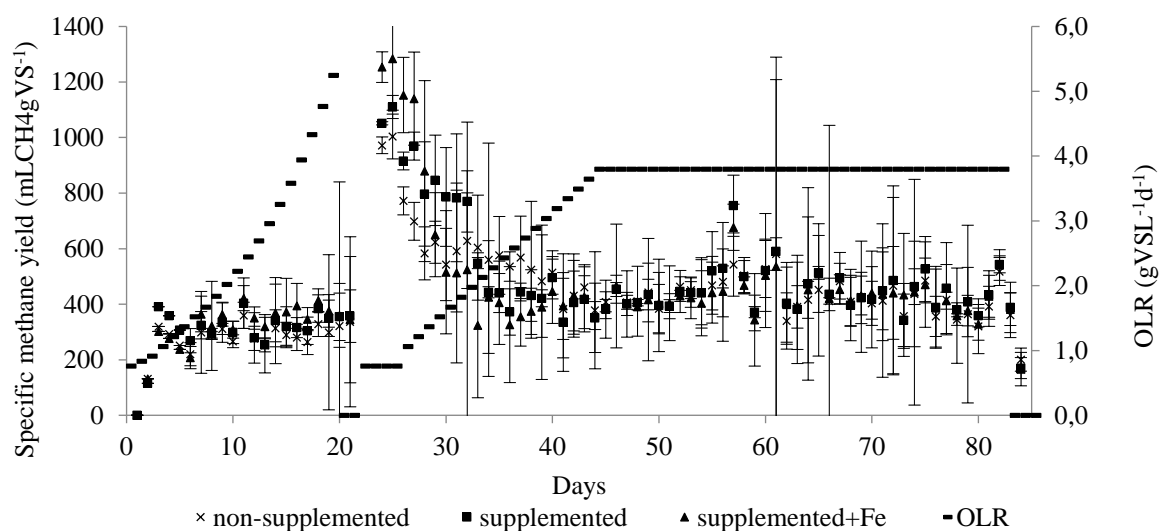
desztillált vizet alkalmaztunk. Cserepenként 6 db árpamagot ültettünk, majd a 21 napos inkubációs idő után lemértük a biomassza hozamokat.

Eredmények

Metántermelés

A metántermelés vizsgálatakor az u.n. specifikus metánhozamot (SMY) érdemes figyelembe venni, amely a beadagolt szervesanyag függvényében mutatja a metántartalmakat. A különböző nyomelem kezelésű fermentiszapok anaerob lebontási folyamataiban a következő SMY értékeket kaptuk; a kezeletlen minta esetében $403,8 \pm 4,51$ a $\text{mLCH}_4\text{gVS}^{-1}$, a nyomelem adagolás esetében $448,3 \pm 9,91$ b $\text{mL CH}_4\text{gVS}^{-1}$ és a nyomelem adagolás mellett vas pótlással kiegészített minták esetében $451,1 \pm 9,16$ b $\text{mLCH}_4\text{gVS}^{-1}$. Az indexált betűk szignifikáns eltérést jelentenek $P \leq 0,05$ -on. Eredményeink hasonlóságot mutatnak WALL et al. (2014) által leírtakkal. A kezelt minták SMY értékei 11,0%-kal, a nyomelemmel és vassal kezelt minták 11,7%-kal nőttek a teljes lebontás alatt a kezelés nélküli, kontroll fermentorokhoz képest.

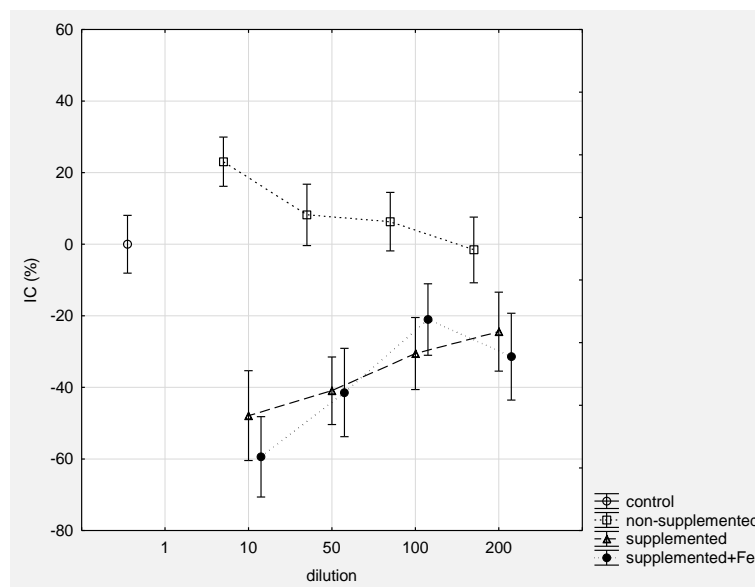
A termelt biogáz metántartalmára szignifikáns hatást nem tudtunk azonosítani.



1. ábra Különböző mikroelem kezelésekre metánkihozatalra gyakorolt hatása a szervesanyag terhelés függvényében

Ökotoxikológiai tesztek

A fehér mustár gyökérnövekedés gátlási tesztek során csökkent inhibíciós hatást azonosítottunk a kezeletlen minták esetében a hígítási arány növekedésével. A legerősebb stimuláló hatást (-59,41%) a 10-szeres hígítású, nyomelem és vas adagolással kezelt fermentiszap esetében kaptunk.



2. ábra Az anaerob fermentiszapok különböző hígításainak hatása a fehér mustár gyökérnövekedésére

A tavaszi árpa statikus akut tesztjei során az anaerob iszapra gyakorolt hatást elemezzük a fermentiszapra vonatkozóan. Inhibíciós hatást nem tapasztaltunk a megtermelt biomassza tekintetében, azonban jelentős stimuláló hatás jelentkezett mindegyik minta esetében, aminek aránya a kezelésekkel összhangban nőtt. Legerősebb stimulációs hatás (-62,80%) itt is a nyomelemmel és vassal kezelt minta esetében jelent meg. A vas az enzimek aktív csoportjain keresztül számos fiziológiai folyamatban vesz részt, legfontosabb ezekből a klorofil képzés.

1. táblázat Az anaerob iszapok tavaszi árpa biomassza termelésére gyakorolt stimuláló hatásai (0 és 100 IC%: inhibíció, 0 és -100 IC%: stimuláció)

Minta	Stimuláció (%)			
	Átlag	Szórás	-95,00%	95,0%
Kezeletlen	-10,17	0,12	9,65	10,68
Nyomelemmel kezelt	-26,37	0,27	25,22	27,51
Nyomelemmel és vassal kezelt	-62,80	0,76	59,54	66,06

Következtetések

Kutatásunk az anaerob fermentáció nyomelem adagolásának jelentőségét hangsúlyozta a cukorrépa préselt szelet alapanyag tekintetében. Vizsgáltuk továbbá az ökotoxikológiai hatásokat gyökérnövekedési és akkumulációs tesztekkel.

Az átlagos specifikus metánhozam értékei alapján a nyomelem adagolás 11,0%-os, a nyomelem és vas hozzáadás 11,7%-os többletet eredményezett a nyomelem adagolás nélküli mintákhoz képest. A metántartalomra a különböző kezelések nem gyakoroltak szignifikáns hatást. Összegezve megállapítható, hogy az anaerob lebontás folyamata a nyomelem adagolás mellett stabilabb és rugalmasabb, mivel egy szervesanyag túlterhelési stressz következtében kialakult zavar 9-11%-kal alacsonyabb titrált savtartalmat eredményezett. Ezáltal a rendszer gyorsabb regenerációra képes.

Az ökotoxikológiai szempontok különösen fontosak annak érdekében, hogy a kiejert fermentiszapok a továbbiakban erdészeti vagy mezőgazdasági területeken tápanyag utánpótlásként alkalmazhatóvá váljanak. Az alkalmazott tesztek megfelelőnek bizonyultak az inhibíciós, stimulációs hatások azonosításához. A fehér mustár gyökérnövekedés gátlási tesztje során a 10-szeres hígítású, nyomelemmel és vassal kezelt fermentiszap érte el a legmagasabb stimuláló hatást (-59,41%). A tavaszi árpa biomassza termelését szintén ez a kezelés stimulálta leginkább, -62,80%-kal.

Irodalomjegyzék

- DEMIREL B. – GÖL N.P. – ONAY T.T. (2013): Evaluation of heavy metal content in digestate from batch anaerobic co-digestion of sunflower hulls and poultry manure. *J. Mater. Cycles Waste Manage.* 15: 242–246.
- DONG B. – LIU X.G. – DAI L.L. – DAI X.H. (2013): Changes of heavy metal speciation during high-solid anaerobic digestion of sewage sludge. *Bioresour. Technol.* 131: 152–158.
- GOVASMAR E. – STÄB J. – HOLEN B. – HOORNSTRA D. – NESBAKK T. – SALKINOJA-SALONEN M. (2011): Chemical and microbiological hazards associated with recycling of anaerobic digested residue intended for agricultural use. *Waste Manage.* 31: 2577–2583.
- LE T.T.Y. – SWARTJES F. – RÖMKENS P. – GROENENBERG J.E. – WANG P. – LOFTS S. – HENDRIK A.J. (2015): Modelling metal accumulation using humic acid as a surrogate for plant roots. *Chemosphere* 124: 61-69.
- QIANG H. – NIU Q. – CHI Y. – LI Y. (2013): Trace metals requirements for continuous thermophilic methane fermentation of high-solid food waste. *Chem. Eng. J.* 223: 330–336.
- RÉTFALVI T. – TUKACS-HÁJOS A. – ALBERT L. – MAROSVÖLGYI B. (2011): Laboratory scale examination of the effects of overloading on the anaerobic digestion by glycerol. *Bioresour. Technol.* 102: 5270–5275.
- SALAZAR M.J. – RODRIGUEZ J.H. – NIETO G.L. – PIGNATA M.L. (2012): Effects of heavy metal concentrations (Cd, Zn and Pb) in agricultural soils near different emission sources on quality, accumulation and food safety in soybean [*Glycine max (L.) Merrill*]. *J. Hazard. Mater.* 233–234: 244–253.
- WAHSHA M. – FONTANA S. – NADIMI-GOKI M. – BINI C. (2014): Potentially toxic elements in foodcrops (*Triticum aestivum L.*, *Zea mays L.*) grown on contaminated soils. *Journal of Geochemical Exploration.* 147: 189-199.
- WALL D.M. – ALLEN E. – STRACCIALINI B. – O’KIELY P. – MURPHY J.D. (2014): The effect of trace element addition to mono-digestion of grass silage at high organic loading rates. *Bioresour. Technol.* 172: 349-355.
- ZHANG L. – JAHNG D. (2012): Long-term anaerobic digestion of food waste stabilized by trace elements. *Waste Manage.* 32: 1509–1515.