

生物质灰渣粒径及净化柱高径比对沼液净化效果的影响

李 刚, 崔燕平, 张 浩, 李 玲, 岳建芝, 焦有宙

(1. 河南农业大学机电工程学院, 郑州 450002; 2. 农业部农村可再生能源新材料与装备重点实验室, 郑州 450002;
3. 河南省农村可再生能源重点实验室, 郑州 450002; 4. 生物质能源河南省协同创新中心, 郑州 450002)

摘 要:为解决生物质灰渣利用和沼液排放引起的污染环境问题,以生物质灰渣为滤料采用自然渗滤对沼液进行了净化处理试验。结果表明:灰渣对沼液具有较好的净化能力,粒径是影响灰渣对沼液净化效果的重要因素,灰渣粒径越小净化效果越明显,相同质量灰渣粒径 $>3\text{ mm}$ 时,渗滤速率为 4.17 mL/s ,出水 COD 为 $1\ 880\text{ mg/L}$,出水 TS 为 1.46 g/L ,COD 和 TS 去除率为 58.71% 和 67.69% ;而粒径 $<0.5\text{ mm}$ 时,渗滤速率为 0.46 mL/s ,出水 COD 为 221 mg/L ,出水 TS 为 0.61 g/L ,COD 和 TS 去除率达到 94.07% 和 87.16% 。净化柱的高径比直接影响沼液流通过程,以 COD 去除率作为评价指标时,为获得较好的沼液净化效果,不同粒径灰渣(<0.5 、 $0.5\sim 1$ 、 $>1\sim 1.5$ 、 $>1.5\sim 2$ 、 $>2\sim 3\text{ mm}$)所采用净化柱的高径比应不小于 1.34 、 2.3 、 2.68 、 5.01 、 10.66 ,此时对应出水 COD 值分别为 236 、 276 、 305 、 315 、 342 mg/L ,COD 去除率分别达到 94.82% 、 93.94% 、 93.3% 、 93.08% 和 92.49% ,出水水质接近农田灌溉用水要求。不同粒径(<0.5 、 $0.5\sim 1.0$ 、 $>1.0\sim 1.5$ 、 $>1.5\sim 2.0$ 、 $>2.0\sim 3.0$)灰渣对沼液的最大过滤能力分别为 $9\sim 10$ 、 $10\sim 11$ 、 $8\sim 9$ 、 $4\sim 5$ 、 $3\sim 4\text{ mL/g}$ 。

关键词:净化; 渗滤; 水质; 生物质灰渣; 沼液; 过滤能力

doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.18.031

中图分类号: S216; X77

文献标志码: A

文章编号: 1002-6819(2017)-18-0237-06

李 刚, 崔燕平, 张 浩, 李 玲, 岳建芝, 焦有宙. 生物质灰渣粒径及净化柱高径比对沼液净化效果的影响[J]. 农业工程学报, 2017, 33(18): 237-242. doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.18.031 http://www.tcsae.org

Li Gang, Cui Yanping, Zhang Hao, Li Ling, Yue Jianzhi, Jiao Youzhou. Effect of biomass ash size and high-diameter ratio of filter on purification effect of digested slurry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(18): 237-242. (in Chinese with English abstract) doi: 10.11975/j.issn.1002-6819.2017.18.031 http://www.tcsae.org

0 引 言

生物质发电在提供清洁电力的同时也解决了广大农村地区秸秆和木质废弃物处置问题,但随着生物质电厂不断发展,生物质燃烧后形成的灰渣处置和利用成为新的问题^[1-3]。生物质灰渣主要由 Si、Al、Mg、K、Ca、Na 及微量/痕量 Cu、Cr、Mn、Zn 等元素组成,常以 SiO₂、Al₂O₃、CaO、MgO、K₂O 等化合物形态存在^[4-8]。生物质灰渣可用于生产建筑材料、制备土壤改良剂,也可用于提取 K、P、Si 等元素,实现生物质灰渣的资源化利用,但受成本限制都不易得到推广和应用^[9-13]。相对于其他固废而言,生物质灰渣具有多孔、比表面积大、吸附能力强、环境有害物质含量低的特点,可以用作吸附净化材料。谢杰等研究证明生物质灰对有机污染物和 Cu、Hg、Pb、Cd 具有显著的吸附作用^[14-18]。刘彬彬等^[19-20]的试验表明生物质灰渣对生活污水中 COD、氨氮有较好的去除能力。黄蓉等^[21-22]研究证明了锯木、谷壳、玉米秸秆、稻壳等不同材料形成的灰渣对 P 均有较好的吸附能力,且吸附能力随着加入磷浓度的增加而增加;纪俊敏等^[23-24]利用处理后稻壳灰对食用油中的胡萝卜素和叶黄素等色

素进行了脱色试验,证明稻壳灰具有较强的吸附性,是很好的脱色剂。

近年来,随着规模化养殖快速发展,其环境问题日益突出,沼气工程成为畜禽粪便处理和缓解农村环境污染的主要技术途径。畜禽粪便厌氧发酵处理虽然可去除大部分的有机质,但排出沼液中的有机质含量仍然较高,直接排放存在二次环境污染问题,同时采用土地消纳也需要消耗大量稀释用水和加大消纳土地数量^[25-26]。相对于曝气、膜渗透等高能耗沼液净化技术而言^[27-30],低成本、低能耗的沼液处理技术成为迫切需求^[31-32]。利用生物质灰渣多孔、吸附性强的特点对沼液进行吸附净化处理,既实现了沼液净化的目的,吸附沼液中有有机质、植物活性成分后的生物质灰渣可作为栽培基质或土壤改良剂使用,实现以废治废、循环利用的双重目标^[33]。李刚等测试了生物质灰渣特性和对沼液净化的探索研究,试验表明未经筛分的生物质灰渣对沼液中 COD、TS 的去除率可分别达到 87.35% 和 63.5% ,具有较好的净化效果^[34]。论文研究了不同粒径生物质灰渣对沼液的净化特性,明确生物质灰渣对沼液的负载能力,为生物质灰渣净化沼液的应用及净化装置开发提供参考。

1 试验材料与设备

1.1 试验材料

生物质灰渣:河南省长葛恒光生物质电厂,主要燃料为木材加工剩余物、木质包装材料及秸秆成型燃料,

收稿日期: 2017-04-04 修订日期: 2017-08-13

基金项目: 河南省基础与前沿技术研究项目(14230041014); 河南省科技攻关项目(152102110063)

作者简介: 李 刚, 博士, 副教授, 主要从事生物质能源转换技术研究。郑州 河南农业大学机电工程学院, 450002. Email: energy789@126.com

锅炉炉型为链条炉。取样位置为锅炉出渣口,自然冷却后随机取样,去除金属、大块砖石杂质后作为初始灰渣样,按照灰渣平均粒径在<0.5、0.5~1.0、>1~1.5、>1.5~2.0、>2.0~3.0 mm等范围进行手工筛分后作为试验样。

沼液:河南雏鹰农牧股份有限公司沼气工程沼液储池,发酵原料为猪舍冲洗废水,推流式厌氧反应器采用中温发酵,水力停留时间 HRT(hydraulic retention time)为 17 d。沼液排入沼液储池后静止沉淀 2 d,取上部沼液备用。

活性炭:烟台市双双化工有限公司,化学纯颗粒,粒径 2~3 mm。

1.2 净化装置

试验采用石英玻璃管为净化管,管径分别为 30、40、50、60、70、80 mm,玻璃管下端由装有导流管的胶塞封闭,胶塞上部垫衬 60 目滤网防止灰渣流失;沼液由上端加入,依靠重力自然渗滤,由下端导流管排出,净化装置如图 1。



图 1 沼液净化装置

Fig.1 Purification device for digested slurry

1.3 试验设备

电子天平:0.000 1 g, FA2004N(上海民桥精密科学仪器有限公司);红外鼓风干燥箱:±2 °C (YHW-110+,天津市华北实验仪器有限公司);马弗炉: SX-8-10 型箱式电阻炉控制箱(天津泰斯特仪器有限公司);电导率: DDS-307 哈希水质快速测定仪(上海雷磁有限公司);浊度计: ±5%, 2100N 哈希浊度计(上海京工实业有限公司); 5B-2C 型 COD 快速测定仪: ≤±10%(上海连华科技实业有限公司)。

1.4 测试方法

COD 测定:重铬酸钾法;TS 测定:质量差法。

1.5 试验方法

试验采用重力自然渗滤法考察生物质灰渣对沼液的净化能力。试验时将滤料从净化管上端加入,自然堆实后将顶部抚平,沼液由净化管顶端加入,沼液在重力作用下通过滤料下渗,试验在常温下进行,净化后的沼液由容器收集,每组试验设 3 组重复。为减少生物质灰渣表面微小灰渣脱落影响出水水质,试验前首先将滤料用蒸馏水进行冲洗处理,至出水无浑浊为止,沥水后自然风干备用。

2 结果与分析

2.1 生物质灰渣粒径对吸附性能及渗滤速率的影响

生物质灰渣在净化柱内颗粒之间的间隙由其粒径决定,间隙的大小影响沼液在净化柱中的流动路径和沼液与滤料的接触时间及接触面积,灰渣的表面积尺寸和其对沼液中物质的吸附能力与颗粒大小相关性密切。试验针对生物质灰渣不同粒径对沼液的吸附特性和渗滤速率(截面一定时单位时间内通过净化管液体量)进行分析,试验采用净化管直径为 40 mm,不同粒径的灰渣各 500 g,沼液用量均为 2 000 mL,不同粒径灰渣对沼液中的净化效果如表 1。

表 1 不同粒径灰渣对沼液的净化效果

Table 1 Effect of digested slurry purified by biomass ash in different particle size

粒径 Size/mm	COD/ (mg·L ⁻¹)	TS/ (g·L ⁻¹)	pH 值 pH value	电导率 Conductivity/ (mS·cm ⁻¹)	渗滤速率 Percolating speed/(mL·s ⁻¹)
<0.5	195	0.58	7.14	1.38	0.46
0.5~1.0	221	0.61	7.13	1.68	0.76
>1.0~1.5	197	0.89	7.31	1.47	0.91
>1.5~2.0	260	1.03	7.22	1.71	1.19
>2.0~3.0	290	1.17	7.41	1.89	1.96
>3.0	1 880	1.46	7.31	4.87	4.17
原沼液 Raw digested slurry	4 554.72	4.52	7.42	12.63	

注:净化管直径为 40 mm,不同粒径的灰渣各 500 g,沼液用量均为 2 000 mL。
Note: Purification tube diameter was 40 mm, mass of biomass ash with different size for each test was 500 g, digested slurry was 2 000 mL.

从表 1 可以看出,过滤后沼液的 COD、TS 去除率随着灰渣粒径的增加而下降,粒径<0.5 mm 时,渗滤速率为 0.46 mL/s,出水 COD 为 221 mg/L,出水 TS 为 0.61 g/L, COD 和 TS 去除率达到 94.07%和 87.16%;当灰渣粒径>3 mm 时,渗滤速率为 4.17 mL/s,出水 COD 为 1 880 mg/L,出水 TS 为 1.46 g/L, COD 和 TS 去除率仅为 58.71%和 67.69%,粒径影响较为明显。从试验结果看沼液过滤后参数仍高于排放后农田用水标准(COD<200 mg/L)。生物质灰渣的渗滤速率随着粒径的增加显著提升,这与灰渣颗粒间的孔隙有关,粒径较大的灰渣由于颗粒之间的支撑作用使空隙较大,溶液容易通过甚至形成短流现象,减少了溶液和灰渣的接触时间和接触面积,影响其对物质的吸附作用。过低的渗滤速率虽然对沼液净化具有相对较好的效果,但由于过滤周期长,需要较大的装置容积或者加压才能满足工程需求。

2.2 净化柱高径比对沼液净化效果的影响

净化柱的高径比不仅影响沼液在灰渣中的行程,还影响沼液颗粒物质与灰渣的碰撞几率,从而对沼液的净化效果产生影响。试验采用净化管管径为 30、40、50、60、70、80 mm,不同粒径灰渣各 300 g,沼液用量均为 1 000 mL。300 g 不同粒径灰渣由于容重不同^[34],其不同管径净化管中的高度不同,测量灰渣高度计算其对应的高径比如表 2。沼液通过不同高度灰渣后的水质变化情况如图 2。

表 2 不同粒径灰渣对应的高径比

Table 2 Height-diameter ratios of clarification column with biomass ash in different particle size

内径 Diameter/ mm	高度 Height/mm				
	<0.5	0.5~1.0	>1.0~1.5	>1.5~2.0	>2.0~3.0
30	17.05	18.38	21.45	23.2	25.28
40	7.19	7.75	9.05	9.79	10.66
50	3.68	3.97	4.63	5.01	5.46
60	2.13	2.3	2.68	2.9	3.16
70	1.34	1.45	1.69	1.83	1.99
80	0.9	0.97	1.13	1.22	1.33

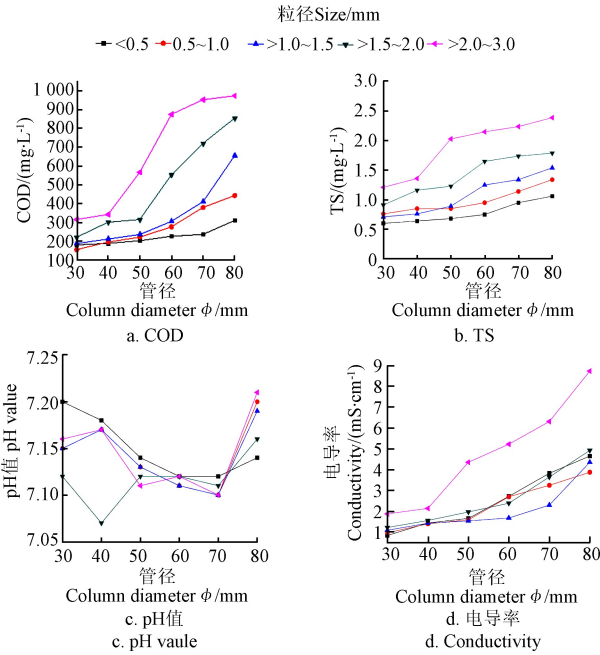


图 2 管径对沼液净化的影响

Fig.2 Purification effects of column diameter on digested slurry

从图中可以看出，净化管高径比对过滤前后沼液的 pH 值影响不大，但净化后沼液的 COD、TS 和电导率则均随着净化管直径的增加（即高径比的减小）而增大，说明同样质量的灰渣装填不同高度时其对沼液的净化作用不同，较大的高径比增加了沼液通过的行程，使其有更多的机会被吸附；而净化管高径比较小时沼液流经行程变小，且在部分灰渣之间空隙处存在局部短流现象，降低了灰渣与沼液的接触，从而使净化效果下降。当以 COD 去除率作为评价指标时，对于粉末性灰渣（粒径 <0.5 mm），当管径达到 70 mm（高径比 1.34）时出水 COD 值增长迅速，即对粒径 <0.5 mm 的灰渣作滤料过滤沼液时，其高径比应大于 1.34 才能获得较好的过滤效果。同样，对于粒径分别为 0.5~1.0、>1.0~1.5、>1.5~2.0、>2.0~3.0 mm 时，其获得较好过滤效果的高径比应不小于 2.3、2.68、5.01、10.66，此时相应出水 COD 去除率分别为 94.82%、93.94%、93.3%、93.08%、92.49%，出水 COD 值为 236、276、305、315、342 mg/L，接近农田灌溉用水 200 mg/L 的使用标准。当以出水中 TS 含量作为评价指标时，各粒径灰渣对应的高径比则应不小于 2.13、

2.3、4.63 和 5.01；而当以出水电导率作为评价指标时，各粒径灰渣对应的高径比则不应小于 3.68、3.97、2.68、5.01 和 10.66。受环保因素影响，当前中国养殖废水一般不做直接排放处理，而是作为农田水肥利用；同时相对于化学肥料而言，沼液中氨氮和磷的含量则较低，仅作为农业生产的补充用肥。3 个评价指标中 COD 是考察出水的有机质含量，其既包含 TS 中所含的有机质部分，也包括可溶性的有机质成分，这是易于植物吸收和土壤改良的主要成分，因此沼液净化中应以 COD 含量作为出水评价指标。

2.3 生物质灰渣对沼液的最大过滤能力

灰渣对沼液的净化主要在于灰渣颗粒的物理拦截作用和微孔的吸附效应，生物质灰渣对沼液的净化效果将随灰渣微孔被吸附物质的侵占及灰渣间隙被颗粒物的填充而减弱，确定灰渣对沼液的最大净化能力不仅是其自身性能的一种表现，也是灰渣对沼液净化工程化应用的重要参考。试验用净化管值为 40 mm，生物质灰渣用量为 500 g，沼液用量分别为 1 000、1 500、2 000、2 500、3 000、3 500、4 500、5 000 mL 不同体积沼液经灰渣处理后的结果如图 3。

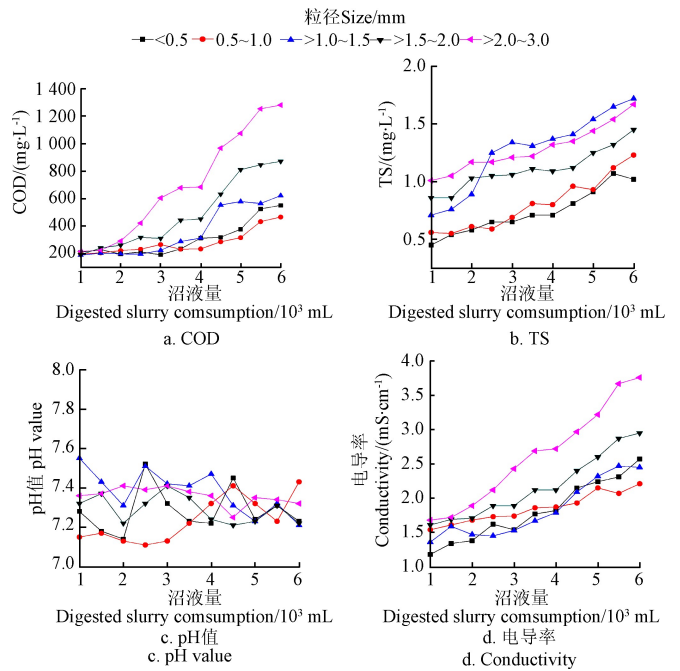


图 3 不同沼液用量对沼液净化的影响

Fig.3 Effect of digested slurry consumption on purification of digested slurry

从图 3 可以看出对于相同质量的灰渣，随着沼液量的增加 COD、TS 等出水指标均随之升高。沼液渗滤过程中上层灰渣微孔和表面吸附首先达到饱和并在灰渣间的孔隙形成累积，随着沼液的添加，累积物质将逐步向下层转移，当下部灰渣微孔达到饱和后则因吸附效果下降将会导致随之流出，使出水指标逐步增高，而当下层灰渣间的孔隙堆积达到饱和后，流经的溶液则会冲刷使其排出，影响出水效果。吸附饱和后的灰渣因有较高的有机质含量，同时吸附丰富的植物活性成分，是作为育苗

基质和栽培基质的良好材料。因此, 吸附饱和后的灰渣不仅对沼液净化效果差, 有机质的流失也不利于后续利用。从试验看不同粒径灰渣的出水分别在 4 500~5 000 mL (<0.5 mm)、5 000~5 500、4 000~4 500、2 000~2 500 和 1 500~2 000 mL 之间出现快速增长, 其对应最大过滤能力分别为 9~10、10~11、8~9、4~5、3~4 mL/g, 即随着粒径的增加, 其过滤能力下降, 此时对应出水 COD 值分别 311~318、315~432、312~553、260~317、223~290 mg/L。

3 结 论

1) 生物质灰渣对沼液具有一定的净化作用, 可以作为沼液净化处理的一种形式。

2) 灰渣粒径是影响沼液净化效果的重要因素, 粒径越大净化效果越差。当灰渣粒径<0.5 mm 时, 获得沼液中 COD 和 TS 的最大去除率分别为 94.07%和 87.16%, 此时渗滤速率为 0.46 mL/s; 当灰渣粒径>3 mm 时, 最小 COD 和 TS 去除率仅为 58.71%和 67.69%, 相应渗滤速率为 4.17 mL/s。

3) 净化柱的高径比直接影响沼液流通过程, 以 COD 去除率作为评价指标时, 为获得较好的沼液净化效果, 不同粒径灰渣 (<0.5、>0.5~1.0、>1.0~1.5、>1.5~2.0、>2.0~3.0 mm) 所采用净化柱的高径比大于 1.34、2.3、2.68、5.01、10.66。

4) 不同粒径 (<0.5、>0.5~1.0、>1.0~1.5、>1.5~2.0、>2.0~3.0 mm) 灰渣对沼液的最大过滤能力分别为 9~10、10~11、8~9、4~5、3~4 mL/g。

[参 考 文 献]

- [1] 温彦锋, 蔡红, 边京红, 等. 灰渣的化学性质及贮放对环境的影响[J]. 水利学报, 2000(4): 19-23.
Wen Yanfeng, Cai Hong, Bian Jinghong, et al. chemical characteristics of fly ash and slag and the effect of disposal on environment[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2000(4): 19-23. (in Chinese with English abstract)
- [2] 谢宏波. 秸秆生物质发电环境影响问题的分析[J]. 湖南农机, 2014, 41(11): 106-108.
Xie Hongbo. Straw biomass power generation and environmental impact analysis of the problem[J]. Hunan Agricultural Machinery, 2014, 41(11): 106-108. (in Chinese with English abstract)
- [3] Stanislav V Vassilev, David Baxter, Lars K. Andersen, et al. An overview of the composition and application of biomass ash. Part2. Potential utilization, technological and ecological advantages and challenges[J]. Fuel, 2013, 105: 19-39.
- [4] Marcia Freire, Helena Lopes, Luis A C Tarelho. Critical aspects of biomass ashes utilization in soils: Composition, leachability, PAH and PCDD/F[J]. Waste Management, 2015, 46: 304-315.
- [5] Nunes L J R, Matias J C O, Catalao J P S. Biomass combustion systems: A review on the physical and chemical properties of the ashes[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2016, 53: 235-242.
- [6] Sklivaniti V, Tsakiridis P E, Katsiotis N S, Velissariou D, et al. Valorisation of woody biomass bottom ash in portland cement: A characterization and hydration study[J]. Journal of Environmental Chemical Engineering, 2017(5): 205-213.
- [7] 韩宗娜. 生物质燃烧电厂灰渣特性及其利用的研究[D]. 南京: 东南大学, 2012.
Han Zongna. Study on Characteristics and Utilization of the Ashes from Biomass Fired Power Plant[D]. Nanjing: Southeast University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [8] 龙兵. 基于灰成分的生物质灰渣特性研究[D]. 长沙: 中南大学, 2012.
Long Bing. Research of Biomass Ash Characteristics Based on Ash Composition[D]. Changsha: Central South University, 2012. (in Chinese with English abstract)
- [9] 王世永. 秸秆电厂灰渣中钾磷元素及 SiO₂ 回收的研究[D]. 北京: 华北电力大学, 2015.
Wang Shiyong. Experimental Study on Recycling of Potassium, Phosphorus and SiO₂ from The Ash of Power Plant Firing Agro-residue[D]. Beijing: North China Electric Power University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [10] 黄蓉. 生物质灰渣对退化土壤修复作用研究[D]. 重庆: 西南大学, 2015.
Huang Rong. Study on the Effect of Biomass Ash on Repairing Degraded Soils[D]. Chongqing: Southwest University, 2015. (in Chinese with English abstract)
- [11] 张德恒, 孙树林, 徐奋强. 秸秆灰渣改良膨胀土三维膨胀特性试验研究[J]. 长江科学院院报, 2014, 31(10): 128-133.
Zhang Deheng, Sun Shulin, Xu Fenqiang. Experimental research on three dimensional swelling characteristics of expansive soil improved with straw ash[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2014, 31(10): 128-133. (in Chinese with English abstract)
- [12] Shi Renyong, Li Jiuyu, Xu Renkou. Ameliorating effects of individual and combined application of biomass ash, bone meal and alkaline slag on acid soils[J]. Soil & Tillage Research, 2016, 162: 41-45.
- [13] 易珊. 生物质灰渣的资源化利用研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2014.
Yi Shan. Study on Resource Utilization of Biomass Ash[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [14] 谢杰, 陈天虎, 庆承松, 等. 稻壳发电残余物稻壳灰对有机物的吸附作用[J]. 农业工程学报, 2010, 26(5): 283-287.
Xie Jie, Chen Tianhu, Qing Chengsong, et al. Adsorption of organic by using rice husk ash of power generation residue[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2010, 26(5): 283-287. (in Chinese with English abstract)
- [15] 左海强, 刘艳, 张彦博, 等. 稻壳灰吸附剂对重金属铜离子的吸附性能研究[J]. 工业用水与废水, 2012, 43(4): 58-61.
Zuo Haiqiang, Liu Yan, Zhang Yanbo, et al. Adsorption capability of rice husk ash adsorbent on Cu²⁺[J]. Industrial

- Water and Wastewater, 2012, 43(4): 58—61. (in Chinese with English abstract)
- [16] Feng Qingge, Lin Qingyu, Gong Fuzhong. Adsorption of lead and mercury by rice husk ash[J]. Journal of Colloid and Interface Science, 2004, 278: 1—8.
- [17] Ghosh Sandip K, Bandyopadhyay Amitava. Characterizing acidic fly ash with and without biomass combustion residue for adsorptive removal of crystal violet with optimization of mixed adsorbent by response surface modeling[J]. Environmental Earth Science, 2016, 75(9): 1—19.
- [18] 李旭东, 毛志成, 谢翼飞, 等. 草木灰对 Cd^{2+} 废水吸附性能和动力学特性研究[J]. 东北农业大学学报, 2013, 44(80): 39—42.
- Li Xudong, Mao Zhicheng, Xie Yifei, et al. Study on adsorption capacity and kinetic characteristics of plant ash for Cd^{2+} in sewage water[J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2013, 44(8): 39—42. (in Chinese with English abstract)
- [19] 刘彬彬, 高明, 王侃, 等. 不同生物质灰渣填充密度下处理生活污水的效果研究[J]. 水土保持学报, 2015, 29(6): 296—300.
- Liu Binbin, Gao Ming, Wang Kan, et al. Study on the treatment effect of biomass ash on domestic wastewater under different filling density[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2015, 29(6): 296—300. (in Chinese with English abstract)
- [20] 王侃. 生物质灰渣对生活污水处理效果的研究[D]. 重庆: 西南大学, 2014.
- Wang Kan. Study on Sewage Treatment by Biomass Ash [D]. Chongqing: Southwest University, 2014. (in Chinese with English abstract)
- [21] 黄容, 高媛, 高明, 等. 生物质灰渣物质特性和保水性的研究[J]. 水土保持学报, 2013, 27(6): 130—133.
- Huang Rong, Gao Yuan, Gao Ming, et al. study on material properties and water absorption capacity of biomass ash[J]. Journal of Soil and Water Conservation, 2013, 27(6): 130—133. (in Chinese with English abstract)
- [22] 廖艳妮. 生物质灰渣的农业化学行为研究[D]. 重庆: 西南大学, 2013.
- Liao Yanni. Study on Agrochemistry Behavior of Biomass Ash[D]. Chongqing: Southwest University, 2013. (in Chinese with English abstract)
- [23] 纪俊敏. 酸化稻壳灰吸附剂制备及脱色性能的研究[J]. 中国油脂, 2007, 32(8): 70—72.
- Ji Junmin. Preparation of acid treated rice husk ash adsorbent and its bleaching property[J]. China Oils and Fats, 2007, 32(8): 70—72. (in Chinese with English abstract)
- [24] 纪俊敏, 张浩, 赵振宇, 等. 由稻壳发电剩余物制备工业油脂脱色剂的研究[J]. 河南工业大学学报: 自然科学版, 2010, 31(6): 33—35, 39.
- Ji Junmin, Zhang Hao, Zhao Zhenyu, et al. Preparation of industrial oil decolorant from rice hull ash of power generation residues[J]. Journal of Henan University of Technology: Natural Science Edition, 2010, 31(6): 33—35, 39. (in Chinese with English abstract)
- [25] 王忠江, 隋超, 王泽宇, 等. 小球藻对不同沼液添加量培养液的适应性及净化效果[J]. 农业工程学报, 2017, 33(2): 221—226.
- Wang Zhongjiang, Sui Chao, Wang Zeyu, et al. Adaptation of chlorella to culture liquid with different biogas slurry adding proportion and its purified effect[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2017, 33(2): 221—226. (in Chinese with English abstract)
- [26] 王子臣, 梁永红, 盛婧, 等. 稻田消解沼液工程措施的水环境风险分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(5): 213—220.
- Wang Zichen, Liang Yonghong, Sheng Jing, et al. Analysis of water environment risk on biogas slurry disposal in paddy field[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(5): 213—220. (in Chinese with English abstract)
- [27] 张邦喜, 孙巧萍, 李恕艳, 等. 提高沼液生物有效性的曝气参数优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(增刊 2): 226—232.
- Zhang Bangxi, Sun Qiaoping, Li Shuyan, et al. Aeration parameter optimization for improving biological effectiveness of biogas slurry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(Supp.2): 226—232. (in Chinese with English abstract)
- [28] 贺清尧, 王文超, 刘璐, 等. 沼液氨氮减压整理分离性能与反应动力学[J]. 农业工程学报, 2016, 32(17): 191—197.
- He Qingyao, Wang Wenchao, Liu Lu, et al. Ammonia nitrogen separation performance and kinetics from biogas slurry using vacuum distillation method[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(17): 191—197. (in Chinese with English abstract)
- [29] 许美兰, 叶茜, 李元高, 等. 基于正渗透技术的沼液浓缩工艺优化[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 193—198.
- Xu Meilan, Ye Qian, Li Yuangao, et al. Optimization of forward osmosis process for concentration of biogas slurry[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2016, 32(2): 193—198. (in Chinese with English abstract)
- [30] 焦有宙, 关山月, 李鹏飞, 等. 沼液负压蒸发浓缩装置的设计与试验[J]. 农业工程学报, 2015, 31(24): 72—76.
- Jiao Youzhou, Guan Shanyue, Li Pengfei, et al. Design and experiment on system for concentrating biogas slurry with vacuum evaporation[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering (Transactions of the CSAE), 2015, 31(24): 72—76. (in Chinese with English abstract)
- [31] Rusten B, Bjornar E, Ulgenes Y. Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors[J]. Aquacultural Engineering, 2006, 34: 322—331.
- [32] Waeger F, Delhaye T, Fuchs W. The use of ceramic microfiltration and ultrafiltration membranes for particle removal from anaerobic digester clarified digested slurries [J]. Separation and Purification Technology, 2010, 73(2): 271—278.

- [33] 梁胜男, 赵玲, 董元华, 等. 生物质灰渣对红壤中 Cd 含量及其生物有效性的影响[J]. 江苏农业科学, 2016, 44(5): 451—453.
Liang Shengnan, Zhao Ling, Dong Yuanhua, et al. Effects of plant fly ash on Cd content and its bioavailability in polluted red soil[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2016, 44(5): 451—453. (in Chinese with English abstract)
- [34] 李刚, 崔燕平, 李玲, 等. 生物质灰渣特性及其对沼液净化的试验研究[J]. 河南农业大学学报, 2016, 50(3): 331—335.
Li Gang, Cui Yanping, Li Ling, et al. Characteristics of biomass ash and its application in digested slurry purification[J]. Journal of Henan Agricultural University, 2016, 50(3): 331—335. (in Chinese with English abstract)

Effect of biomass ash size and high-diameter ratio of filter on purification effect of digested slurry

Li Gang, Cui Yanping, Zhang Hao, Li Ling, Yue Jianzhi, Jiao Youzhou

- (1. College of Mechanical and Electronic Engineering, Henan Agricultural University, Zhengzhou 450002, China;
2. Key Laboratory of New Materials and Facilities for Rural Renewable Energy, Ministry of Agriculture, Zhengzhou 450002, China;
3. Key Laboratory of Rural Renewable Energy, Henan Province, Zhengzhou 450002, China;
4. Collaborative Innovation Center of Biomass Energy, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: In order to avoid environmental pollution caused by biomass ash piled up on the open air and digested slurry discharged directly, and explore the utilization way, biomass ash was used as filter material to clarify digested slurry in infiltration. The results show that biomass ash can be used as filter material to clarify digested slurry. Particle size is the major influence factor for the cleaning of digested slurry, and the small particles have the better cleaning effect than large particles due to their specific surface area and spatial structure. Under the same experimental conditions, when particle size is large than 3 mm, infiltration rate is 4.17 mL/s, COD (chemical oxygen demand) of clarified digested slurry is 1 880 mg/L, TS (total solid) content of clarified digested slurry is 1.46 g/L, and the removal rates of COD and TS in digested slurry are 58.71% and 67.69%, respectively. When particle size is less than 0.5 mm, infiltration rate is 0.46 mL/s, COD of clarified digested slurry is 221 mg/L and TS of clarified digested slurry is 0.61 g/L, and the removal rates of COD and TS in digested slurry are 94.07% and 87.16%, respectively. The ratio of height to diameter of clarification column not only affects the flow path of digested slurry, but also affects its clarifying effect. When COD removal ratio is used as evaluating indicator, in order to get better cleaning effect, the height-diameter ratio of clarification column is more than 1.34 when particle size of biomass ash is less than 0.5 mm, is not less than 2.3 when particle size of biomass ash is between 0.5 and 1 mm, is not less than 2.68 when particle size of biomass ash is between 1 and 1.5 mm, is not less than 5.01 when particle size of biomass ash is between 1.5 and 2 mm, and is not less than 10.662 when particle size of biomass ash is greater than 3 mm, the COD values of clarified digested slurry were 236, 276, 305, 315 and 342 mg/L respectively, and the removal rates of COD were 94.82%, 93.94%, 93.3%, 93.08% and 92.49%, respectively. The clarified digested slurry quality is close to agricultural irrigation water requirements. The clarifying capacity of biomass ash in different particle sizes is 9-10 mL/g when particle size of biomass ash is less than 0.5 mm, 10-11 mL/g when particle size of biomass ash is between 0.5 and 1 mm, 8-9 mL/g when particle size of biomass ash is between 1 and 1.5 mm, 4-5 mL/g when particle size of biomass ash is between 1.5 and 2 mm, and 3-4 mL/g when particle size of biomass ash is greater than 3 mm, respectively.

Keywords: purification; infiltration; water quality; biomass ash; digested slurry; clarify capacity