

污水处理后的陶粒废料改良土壤的机理及农用效果

罗沛聪^{1,2,3}, 谌建宇^{1,3*}, 罗隽^{1,3}, 庞志华^{1,3}, 王振兴^{1,3}, 张燕^{1,3}

(1.中国环境保护部 华南环境科学研究所, 广东 广州 510655; 2.华南农业大学 资源环境学院, 广东 广州 510642; 3.国家环境保护水环境模拟与污染控制重点实验室, 广东 广州 510655)

摘 要: 为探索陶粒废料的农业资源化处置途径, 对污水处理后的陶粒废料进行电子显微镜(SEM)观察和 X 射线扫描(XRD)分析, 并将陶粒废料(350 g)和土壤(1.2 kg)混合, 用于华农 2008 糯玉米(T1 处理)和珍甜 1 号甜玉米(T2 处理)盆栽试验, 与未施加陶粒废料的空白对照组 CK1、CK2 进行比较, 对陶粒废料改良土壤的效果、原理及其对玉米生长的影响进行研究。结果表明: 污水处理后的陶粒废料含有碱性物质, 表面附着有一定量的磷酸钙水合物、三斜磷钙石和磷酸氢钙钠等含磷矿物; 施加陶粒废料能显著提高土壤的 pH 值, 显著增加有效磷和全磷含量, 其中, T1 处理土壤的有效磷含量比 CK1 提高 27.9%, T2 处理较 CK2 提高了 27.3%; T1 处理土壤的全磷含量较 CK1 提高了 17.7%, T2 处理的较 CK2 提高了 14.3%; T1 处理玉米的株高比 CK1 提高 14.5%, 茎粗增大 16.2%, 叶面积扩大 75.9%, 根长增长 17.2%; T2 处理玉米的株高比 CK2 提高 23.6%, 茎粗增大 24.5%, 叶面积扩大 64.6%, 根长增长 24.1%, 且更能促进植株的干物质积累。

关 键 词: 陶粒废料; 土壤改良; 农用效果; 玉米

中图分类号: X705

文献标志码: A

文章编号: 1007-1032(2012)00-0198-05

Mechanism of soil amelioration by used sewage-treating ceramsite and its agricultural value

LUO Pei-cong^{1,2,3}, CHEN Jian-yu^{1,3*}, LUO Jun^{1,3}, PANG Zhi-hua^{1,3}, WANG Zhen-xing^{1,3}, ZHANG Yan^{1,3}

(1.South China Institute of Environmental Sciences, Ministry of Environmental Protection, Guangzhou 510655, China; 2. College of Natural Resources and Environment, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 3.State Environmental Protection Key Laboratory of Water Environmental Simulation and Protection Control, Guangzhou 510655, China)

Abstract: To explore the way of agricultural recycling, the used sewage-treating ceramsite was first observed by Scanning electron microscope(SEM) and X-ray diffraction(XRD) analysis. Then the ceramsite (350 g) was mixed with soil (1.2 kg) and applied on pot cultivation of two kinds of maize, referred as treatment T1 and T2, at the same time, the two kinds of maize cultivated without ceramsite were served as control group, namely, CK1 and CK2 to study the effect of ceramsite on soil amelioration and on growth of maize, and the underlying mechanisms were also explored. The results showed that after treating the sewage, alkaline substance was found in ceramsite and phosphorite was detected on the surface of ceramsite. Soil pH, available phosphorus and total phosphorus in soil were obviously enhanced. The available phosphorus and total phosphorus in T1 respectively increased 27.9% and 17.7%, compared to CK1, and those in T2 respectively increased 27.3% and 14.3%, compared to CK2. Maize growth under T1 and T2 treatments were all better than that under CK1 and CK2. Compared to CK1 and CK2, maize height increased 14.5% and 23.6%, stem diameter increased 16.2% and 24.5%, leaf area increased 75.9% and 64.6% and length of root increased 17.2% and 24.1%

收稿日期: 2012-01-11

基金项目: 国际科技合作项目(2009DFA91780); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07211-004)

作者简介: 罗沛聪(1986—), 男, 广东惠州人, 硕士研究生, 主要从事水处理功能材料研发与资源化处置研究, luopc@vip.qq.com; *通信作者, cjj@scies.com.cn

correspondingly in T1 and T2. In addition, accumulation of dry matter in the plant was also promoted in T1 and T2. These results suggest used sewage-treating ceramsite could be applied on soil amelioration, which would be an important and prosperous way for disposing the ceramsite after municipal sewage-treating.

Key words: used sewage-treating ceramsite; soil amelioration; agricultural effect; maize

陶粒以其轻质多孔、易挂膜和廉价易得等优点被广泛应用于水处理领域。随着生物滤池、生态滤床等生活污水处理工艺的推广应用^[1-5]和人工湿地的不断兴建^[6-7], 水处理后的陶粒废料急剧增加^[8]。目前, 污水处理后的陶粒废料主要被运到填埋厂进行填埋处理, 但陶粒堆积空隙率大, 含水率较高, 质地坚硬难破碎, 占用空间较多, 且土地日渐短缺, 填埋厂基建投资大, 运行费用高, 填埋处理将会带来较大的环境压力和经济压力。如何对污水处理后的陶粒废料进行科学有效的处理, 使其缓解环境压力, 产生环境、经济和社会效益将成为重要的环境课题^[9]。

水处理陶粒通常含有碱性成分, 废料表面附着有生物膜, 富含有机质, 其多孔特性使之在长期的污水处理中通过吸附、沉淀和沉积等理化作用富集了一定量的氮、磷等营养元素, 这些物质可以降低土壤酸度, 增强土壤肥效, 提高土壤通透性, 使陶粒废料在改良土壤方面具有一定的应用价值。农用资源化具有投资少, 能耗低, 运行费用低等优点, 符合可持续发展战略, 是具有较好应用前景的处理方式^[10-11]。国内外有关陶粒废料农用的研究报道较少, 已有的研究^[12-15]主要集中在陶粒用作植物栽培基质上。笔者对陶粒废料进行了微观结构和矿物成分分析, 并以陶粒废料作为土壤改良剂进行了玉米盆栽试验, 考察其对土壤 pH 值、有效磷和全磷含量及对玉米生长的影响, 旨在为有效利用水处理陶粒废料提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试陶粒废料取自实验室处理过生活污水的尾废料, 干容重为 877 kg/m^3 , 其外型为直径约 4~6 mm 的均匀球状颗粒; 供试土壤取自广州市某地, 干容重为 1.0 kg/L , pH 值为 5.49, 有机质 29.4 g/kg , 有效磷 6.1 mg/kg , 全磷 0.7 g/kg , 全氮 1.45 g/kg ; 供试玉米品种为华农 2008(糯玉米)和珍甜 1 号(甜玉

米), 由华南农业大学农学院育种中心提供; 花盆盆口外径 14.5 cm, 盆底内径 11.0 cm, 高 13.0 cm, 容积 1.6 L。

1.2 陶粒废料的微观结构观察和物相组成

采用扫描电子显微镜(日本 HITACH 公司, S-3700N)观察处理污水后陶粒废料的微观结构; 采用 X 射线衍射仪(德国 Bruker 公司, D8 ADVANCE)对其进行物相组成分析, 2θ 为 $10^\circ \sim 80^\circ$ 。

1.3 盆栽试验

试验在国家环境保护部华南环境科学研究所大棚实验基地内进行, 设 T1 处理: 350 g 陶粒废料与 1.2 kg 土壤充分混匀后播种华农 2008 玉米; T2 处理: 350 g 陶粒废料与 1.2 kg 土壤充分混匀后播种珍甜 1 号玉米; CK1: 不施加陶粒废料直接播种华农 2008 玉米; CK2: 不施加陶粒废料直接播种珍甜 1 号; 共 4 个处理, 每个处理设 4 个重复, 共 16 盆, 随机排列。

于 2011 年 5 月 19 日采用直播方式按上述处理方式种植玉米, 每盆播 3 粒种子, 待玉米出苗 5 d 后定植, 每盆保留长势最好的 1 株。玉米种植期间每天浇水 1 次, 并保证每盆浇水量相同。在收割玉米植株后将土样风干、研磨、过 0.149 mm 孔径筛, 备用。

1.4 测定项目与方法

从 6 月 20 日起于每周同一时间测定每株玉米的株高和茎粗, 共测定 6 次; 于 7 月 26 日将玉米按不同器官收获, 分别用自来水和去离子水洗净, 用吸水纸吸干表面水, 测定叶长、叶宽、叶面积(长宽比例法, 叶面积系数取 0.75)、根长、根数等指标^[16]。将茎于 90°C 下杀青 30 min, 70°C 干燥至恒重, 测定茎干重; 叶和根于 80°C 下杀青 15 min, 60°C 干燥至恒重, 分别测定叶干重和根干重, 并依此计算根冠比^[17]。

土壤 pH 值、有效磷和全磷含量参照文献^[18]中的方法进行测定。

1.5 数据分析

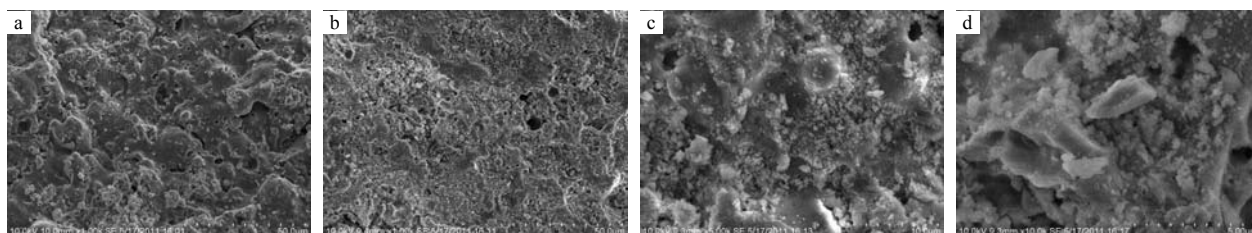
采用 Excel 2010 进行数据处理 ;采用 SPSS 12.0 进行多因变量方差分析 , 并进行 LSD 检验。

2 结果与分析

2.1 污水处理陶粒废料表面的微观结构

由图 1-a 可见 , 污水处理前陶粒表面较光滑 ,

附着物少 , 孔隙清晰可见 ; 污水处理后(图 1-b)陶粒表面布满了细小的颗粒 , 孔隙大多被填满 ; 放大 5 000 倍(图 1-c)和 10 000 倍(图 1-d)后 , 陶粒废料表面微孔吸附了大量的细小颗粒物质和少量大颗粒物 , 可能是在长期处理污水过程中通过吸附、沉淀和沉积等作用逐渐形成的。



a 污水处理前陶粒表面结构($\times 1\,000$) ; b、c、d 分别为污水处理后放大 1 000、5 000、10 000 倍的陶粒表面结构。

图 1 污水处理陶粒废料表面的微观结构

Fig.1 Microstructure of the used sewage-treating ceramsite

2.2 污水处理陶粒废料的物相成分

由图 2 可知 , 陶粒的主要矿物成分为莫来石($\text{Al}_6\text{Si}_2\text{O}_{13}$)和钙钠长石($(\text{Na,Ca})\text{Al}(\text{Si,Al})_3\text{O}_8$) , 此外还有少量的磷酸钙水合物($\text{Ca}_2(\text{P}_4\text{O}_{12})_4\text{H}_2\text{O}$)、三斜磷酸石($\text{CaPO}_3(\text{OH})$)和磷酸氢钙钠($\text{NaCa}(\text{H}_2\text{PO}_2)_3$)等矿物晶体。这些少量的含磷类矿物晶体很可能是在

处理污水过程中陶粒吸附磷素而形成的。在湿润的酸性土壤条件下 , 钙钠长石和含磷矿物晶体能与酸性物质发生反应 , 起到降低土壤酸性、增加土壤磷素含量、提高肥效的作用。由此可知 , 陶粒废料具备降低土壤酸性 , 增强土壤肥力的物质基础 , 可用于改良土壤。

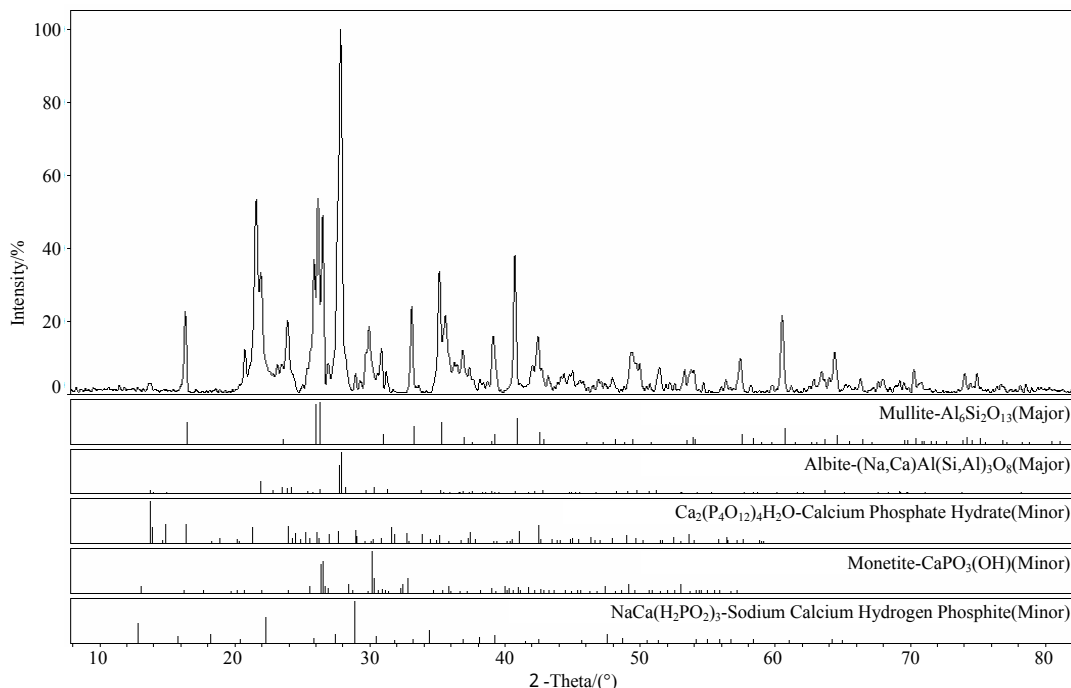


图 2 污水处理陶粒废料的物相成分

Fig.2 Phase analysis of the used sewage-treating ceramsite

2.3 用陶粒废料处理土壤对玉米生长的影响

由表 1 可知，T1、T2 处理玉米的叶面积分别比 CK1、CK2 处理的增大了 75.9%和 64.6%，地上部质量分别增加了 185%和 150%，根部质量分别增

加了 309%和 378%。综合分析可知，经过陶粒废料改良后的酸性土壤具有一定的农用价值，种植玉米的生长状况优于未经改良的对照组，其相关农艺性状均优于对照组。

表 1 不同处理玉米的农艺性状

Table 1 Effects of different treatment on maize growth							
处理	株高/cm	茎粗/mm	叶面积/cm ²	根长/cm	地上部质量/g	根部质量/g	根冠比/%
T1	55.3a	5.53a	480.68a	22.15	6.92a	0.27a	3.94a
CK1	48.3b	4.76b	273.22b	18.90	2.43b	0.07b	2.71a
T2	52.3a	6.31a	409.92a	26.40	8.94a	0.86a	9.67b
CK2	42.4b	5.07b	249.09b	21.27	3.57b	0.18b	4.95b

2.4 不同处理对土壤 pH 值、有效磷和全磷含量的影响

由表 2 可知，CK1、CK2 处理土壤的 pH 值约为 5.5，呈酸性，具有南方土壤的酸性特质，而 T1、T2 处理土壤的 pH 值接近于 7，已使酸性土壤转变成中性土壤，且 T1 与 CK1、T2 与 CK2 处理间差异显著，T1、T2 处理土壤的有效磷含量分别比 CK1、CK2 处理提高了 27.9%和 27.3%，全磷含量分别提高了 17.7%和 14.3%，且 T1 与 CK1、T2 与 CK2 处理间差异显著。依据文献[16]中对土壤有效磷含量高低的分级标准，CK1、CK2 处理土壤的有效磷浓度为低等级别，T1、T2 处理土壤有效磷含量提升到了中等级别，表明施用陶粒废料增强了土壤磷素肥力。

从第 2 次全国土壤普查资料来看，中国南方酸性土壤全磷含量一般低于 0.56 g/kg，与其他地区相比含量较低^[19]。相关统计结果^[18]表明，中国不同气候区的土壤有效磷含量与全磷含量呈正相关，在全磷含量很低(0.44 g/kg)的情况下，土壤有效磷的供应也不足。本研究结果表明，陶粒废料在提高土壤全磷含量的同时，有助于改善磷素的供应能力。

表 2 不同处理土壤的 pH 值和有效磷、全磷含量
Table 2 The effect of different treatments on available phosphorus and total phosphorus in soil

处理	pH 值	有效磷含量/(mg·kg ⁻¹)	全磷含量/(g·kg ⁻¹)
T1	6.77a	7.25a	0.73a
CK1	5.52b	5.67b	0.62b
T2	6.83a	6.83a	0.72a
CK2	5.51b	5.38b	0.63b

3 结论与讨论

本研究结果表明，处理生活污水后的陶粒废料表面含有少量的磷酸钙水合物、三斜磷钙石和磷酸氢钙钠等矿物晶体；添加陶粒废料能提高酸性土壤的 pH 值，有效降低土壤酸化度，显著增加土壤有效磷和全磷含量；施加陶粒废料的 T1、T2 处理组玉米生长状况明显优于未施陶粒废料的 CK1、CK2 对照组，对株高、茎粗、叶面积、地上部质量和根部质量等生理指标的提高具有明显的促进作用。

改良酸性土壤的传统方法是施加石灰，虽然对酸度有明显改善，但容易使复酸化程度加强和造成土壤板结^[20]。使用粉煤灰作为土壤改良剂也有一定效果，但粉煤灰往往含有大量的有毒重金属，处理不当容易造成二次污染；且粉煤灰的再利用途径越来越广泛，如用于生产水泥、陶粒、烧结砖等，用于土壤改良相对于其他回收利用的价值性并不高。陶粒本身含有碱性物质，在长期的污水处理过程中吸附沉积了一定量的含磷矿物，这些成分为提高土壤的 pH 值和土壤肥力提供了物质基础，可以用于改良酸性土壤。

南方土壤黏粒含量较高，通透性较差，不利于耕作和根系生长。郭超等^[21]针对根际通气对盆栽玉米生长与根系活力的影响进行了研究，认为通气处理能提高玉米株高、叶面积、叶绿素含量，促进地上部分和地下部分干物质的积累，有利于提高玉米根冠比和根系活力，促进植株生长发育。本研究中陶粒废料为直径约 5 mm 的球型小颗粒，其外型特点降低了同等体积条件下土壤的比表面积，使土壤

颗粒,尤其是黏粒间的接触面大大降低,可有效减少土壤中的黏粒含量。在土壤中掺杂陶粒可增强土壤的通透性,可作为密实度较高的南方红壤的有效改良剂。

参考文献:

- [1] Han S, Yue Q, Yue M, et al. The characteristics and application of sludge-fly ash ceramic particles (SFCP) as novel filter media[J]. Journal of Hazardous Materials, 2009, 171(6): 809-814.
- [2] Yue Q, Han S, Yue M, et al. The performance of biological anaerobic filters packed with sludge-fly ash ceramic particles (SFCP) and commercial ceramic particles (CCP) during the restart period: Effect of the C/N ratios and filter media[J]. Bioresource Technology, 2009, 100(21): 5016-5020.
- [3] Zhao Y, Yue Q, Li R, et al. Research on sludge-fly ash ceramic particles (SFCP) for synthetic and municipal wastewater treatment in biological aerated filter (BAF) [J]. Bioresource Technology, 2009, 100(21): 4955-4962.
- [4] 童晶晶, 籍国东, 周游, 等. 高效功能陶粒生物滤池处理农村生活污水研究[J]. 农业环境科学学报, 2009, 28(9): 1924-1931.
- [5] 马兴元, 牛艳芳, 吕凌云, 等. 轻质陶粒滤料生态滤床的挂膜与启动研究[J]. 生态环境学报, 2009, 18(6): 2118-2121.
- [6] 蒋廷杰, 齐增湘, 罗军, 等. 人工湿地水质净化机理与生态工程研究进展[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2010, 36(3): 356-362.
- [7] 李明, 周巧红, 武俊梅, 等. 不同填料对人工湿地模拟柱中指示菌的去除[J]. 生态与农村环境学报, 2010, 26(1): 68-72.
- [8] 郑俊, 吴浩汀. 曝气生物滤池工艺的理论工程应用[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 61.
- [9] 王国贞, 刘贵明, 何亚利. 固体废物资源化处理与人类发展的关系[J]. 中国资源综合利用, 2002, 20(5): 35-37.
- [10] 马娜, 陈玲, 熊飞. 我国城市污泥的处置与利用[J]. 生态环境, 2003, 12(1): 92-95.
- [11] 蓝佩玲, 廖新荣, 李淑仪. 燃煤烟气脱硫副产物在酸性土上的农用价值与利用原理[J]. 生态环境, 2007, 16(4): 1135-1138.
- [12] 吕品. 陶粒在花卉无土栽培中的应用研究[J]. 国土与自然资源研究, 2004, 26(3): 96.
- [13] 叶建军, 余世孝, 刘文利, 等. 屋顶绿化初绿化基材配方研究[J]. 水土保持通报, 2010, 30(4): 157-162.
- [14] 梁金凤, 齐庆振, 王胜涛, 等. 基于有机废弃物资源化利用的红掌栽培基质研制及效应研究[J]. 北方园艺, 2010, 34(21): 54-58.
- [15] 肖恩, 张启翔, 潘会堂, 等. 栽培基质对三棱虾脊兰生长发育的影响[J]. 北方园艺, 2010, 34(13): 59-61.
- [16] 李小勇, 李迪秦, 唐启源. 种植密度对春玉米超试 1 号产量及源库特性的影响[J]. 湖南农业大学学报: 自然科学版, 2011, 37(4): 361-366.
- [17] 齐健, 宋凤斌, 刘胜群. 苗期玉米根叶对干旱胁迫的生理响应[J]. 生态环境, 2006, 15(6): 1264-1268.
- [18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 3 版. 北京: 中国农业出版社, 2000: 76-78, 81-87.
- [19] 全国土壤普查办公室. 中国土壤[M]. 北京: 中国农业出版社, 1998: 901-918.
- [20] 易杰祥, 吕亮雪, 刘国道. 土壤酸化和酸性土壤改良研究[J]. 华南热带农业大学学报, 2006, 12(1): 23-28.
- [21] 郭超, 牛文全. 根际通气对盆栽玉米生长与根系活力的影响[J]. 中国生态农业学报, 2010, 18(6): 1194-1198.

责任编辑: 杨盛强