

市政污泥成分分析及其资源化利用研究

梁家明¹ 余寒滢² 叶卓添² 骆玮诗² 邱元凯²

1 河源市七寨生态环境科技有限公司

2 河源职业技术学院

DOI:10.12238/eep.v8i8.2798

[摘要] 本研究通过对市政污泥的理化性质、营养元素含量及重金属等有害物质进行全面分析,评估了污泥土壤改良的效果及环境风险。结果表明,市政污泥含有丰富的有机质和氮、磷、钾等营养元素,经适当预处理后可作为土壤改良剂使用。污泥施用能够显著提高土壤有机质含量,增强保水保肥能力,促进土壤微生物活性,从而提升作物产量和品质。然而,污泥中的重金属和病原菌等有害物质存在潜在环境风险,需要通过合理的预处理技术和科学的施用方式加以控制。

[关键词] 市政污泥; 成分分析; 资源化利用

中图分类号: TU99 文献标识码: A

Analysis of components of municipal sludge and its recycling

Jiaming Liang¹ Hanying Yu² Zhuotian Ye² Weishi Luo² Yuankai Qiu²

1 Heyuan Qizhai Ecological Environment Technology Co., LTD

2 Heyuan Vocational and Technical College

[Abstract] This study comprehensively analyzed the physicochemical properties, nutrient content, and heavy metal levels in municipal sludge to evaluate its effectiveness in soil remediation and associated environmental risks. Results indicate that municipal sludge contains abundant organic matter and essential nutrients including nitrogen, phosphorus, and potassium. When properly pre-treated, it can serve as an effective soil amendment. Applying sludge significantly enhances soil organic matter content, improves water and nutrient retention capacity, and stimulates microbial activity, thereby boosting crop yield and quality. However, the presence of heavy metals and pathogens in sludge poses potential environmental risks, which require controlled pre-treatment techniques and scientific application methods for mitigation.

[Key words] municipal sludge; component analysis; resource utilization

市政污泥是生活污水处理过程中产生的副产物,随着城市化进程的加快和污水处理规模的不断扩大,市政污泥产量急剧增长,其处理处置已成为城市管理的重大挑战。市政污泥富含有机质、氮磷钾等植物营养元素,具有良好的土壤改良潜力,但同时也含有重金属、病原菌等有害物质,直接施用存在环境风险。因此,科学评估污泥成分特征,深入研究其土壤改良机理,系统评价改良效果和环境影响,对于实现污泥资源化安全利用具有重要意义。当前研究多集中于污泥的单一处理技术或某一方面的环境效应,缺乏从成分分析到效果评估的系统性研究。本研究通过全面分析市政污泥的理化性质和化学成分,探讨污泥改良土壤的作用机理和最佳施用方式,旨在为污泥土壤改良技术的推广应用提供理论基础和实践指导,促进污泥资源的可持续利用。

1 材料与方法

以河源地区企业收集的脱水市政污泥为原料,设置原污泥(样品A)与发酵处理污泥(样品B)两组研究对象。参照《农用污泥污染物控制标准(GB 4284-2018)》等多项国家标准,检测两组污泥的理化指标(pH、含水率)、营养学指标(有机质、总养分)、重金属指标等;采用BCR法分析重金属形态分布。将两组污泥分别以0(对照)、10%、20%、40%、60%、80%、100%比例掺入土壤(采自东源县灯塔盆地),种植蔬菜菜心,监测15天及40天生长状况,检测收获期蔬菜重金属含量与土壤EC值等。

2 结果与分析

2.1 污泥基本性质检测结果

为确保污泥安全有效地用于土壤改良,必须采用适当的预处理技术来降解有机污染物、杀灭病原菌并稳定重金属。根据《农用污泥污染物控制标准(GB 4284-2018)》、《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质(GB/T 24600-2009)》、《城镇污水处

理厂污泥处理园林绿化用泥质(GB/T 23486-2009)》等标准对比检测结果, A、B样品的pH分别为7.07和6.10、含水率分别为21.32%和35.52%, 有机质含量分别为24.84%和56.70%, 总养分($N+P_2O_5+K_2O$)为12.23%和18.44%。营养学指标与生物学指标都符合这三个标准的要求, 污泥的总养分经过发酵提升了50.78%, 可以考虑加入合适的菌种辅助发酵。张龙龙^[1]从污泥中筛选出两株菌种, 通过加入筛选的菌种有效提高了发酵污泥的总氮含量, 还减少了NH₃的释放从而减轻了堆肥的臭味; 有研究发现在堆肥中加入生物炭也可以促进腐殖质转化提升营养组分的含量^[2], 同时稳定的腐殖质还有助于络合重金属, 后续可以通过淋滤的方式使重金属溶出, 以降低发酵污泥的重金属含量^[3]。

2.2 形态分析

根据《土壤和沉积物13个微量元素形态顺序提取程序(GB/T 25282-2010)》采用BCR法对两种污泥进行重金属形态分析, 以提取可弱酸提取态(0.11mg/LCH₃COOH, F1)、可还原态(0.5mol/LNH₂OH·HCl, F2)、可氧化态(30%H₂O₂, 1mg/LCH₃COONH₄, F3)以及残渣态(F4), 实验包括空白试验与平行试验。

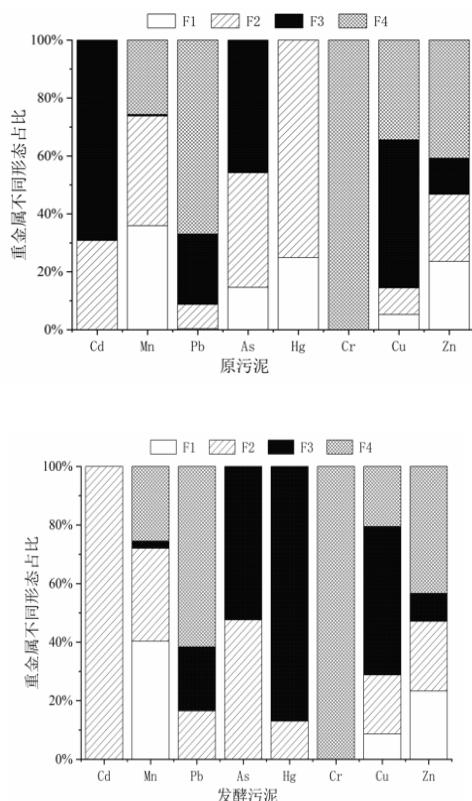


图1 污泥重金属形态分布(F1: 可弱酸提取态; F2: 可还原态; F3: 可氧化态; F4: 残渣态)

有研究表明^[4], 重金属的可弱酸提取态与可还原态较易被溶出属于不稳定态, 可氧化态与残渣态的重金属性质比较稳定, 不容易被植物吸收。如图1所示, 两种污泥的不稳定态占比较小, 加之铬的形态都为稳定的残渣态, 可见无论发酵前后, 这两种污泥中的重金属铬的生物毒性都较弱。污泥中的砷和汞经过发酵,

其中的不稳定态都有一定程度的下降, 其中砷的不稳定态重金属由57.19%降至49.61%, 而汞的不稳定态更是从100%降至13.04%, 发酵显著提升了实验污泥的无害化。锰和锌这两种金属经过发酵其不稳定态没有明显变化, 镉和铅经过发酵后不稳定态增多了, 鉴于这4种金属本身的总浓度较低, 因此浓度的变化对后续的资源化利用影响不大。前期实验检测得知总铜的浓度较高, 经过发酵铜的不稳定态由14.43%增加到27.28%, 前后占比都较低。可以看出, 实验的两种污泥的重金属生物毒性都较低, 后续可以通过改进发酵方法, 使得重金属的稳定性上升。例如郇辉辉等人^[5]通过添加蚯蚓的粘液与秸秆生物炭协同污泥堆肥不但提高了污泥有机质含量与碱度, 还降低了发酵污泥的重金属含量, 使金属钝化, 但是会一定程度上降低营养成分的含量。王兴明等人^[6]添加稻草生物炭对城市污泥进行蚯蚓堆肥, 污泥中总氮、总磷和总钾有一定程度提高的同时, 重金属从易迁移转化形态向稳定态转化。

2.3 作物种植实验

市政污泥营养元素含量分析表明, 其具有显著的肥料价值和潜在的环境风险。实验将两种污泥分别按一定的比例掺入黄泥土, 通过种植菜心观察其对作物的影响。实验表明, 污泥的加入可以加速菜心的生长, 并且发酵污泥的加入对蔬菜的生长促进作用更加明显, 这主要是因为污泥经过发酵, 有机质和总养分的含量提高了, 后续可以考虑提高污泥发酵的效果, 进一步提高发酵污泥的肥力。

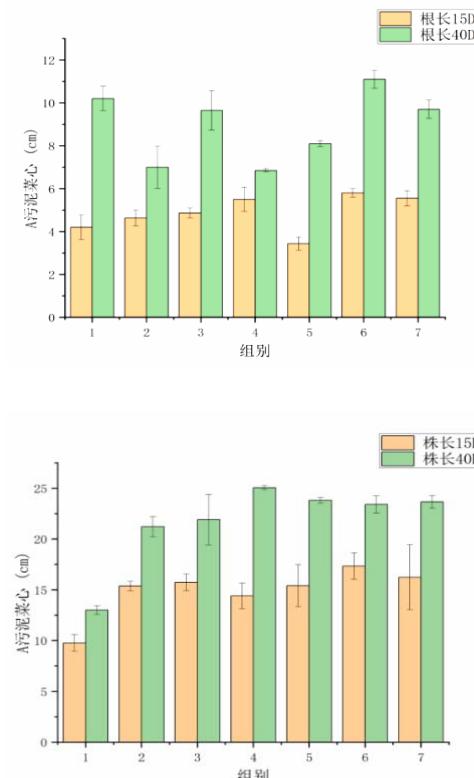


图2 A、B两种污泥种植菜心根长与株长情况

经检测,种植40天后蔬菜中金属Ni、Cu、Cd和Pb含量都未超过0.01mg/kg。Mn、Cr的含量如图3所示,可以看出,掺入两种污泥的黄土种植的蔬菜各种重金属含量均较低,掺入了发酵污泥所种植的蔬菜中重金属的含量都比掺入原污泥的低,这也跟污泥添加了其它生物质有关。

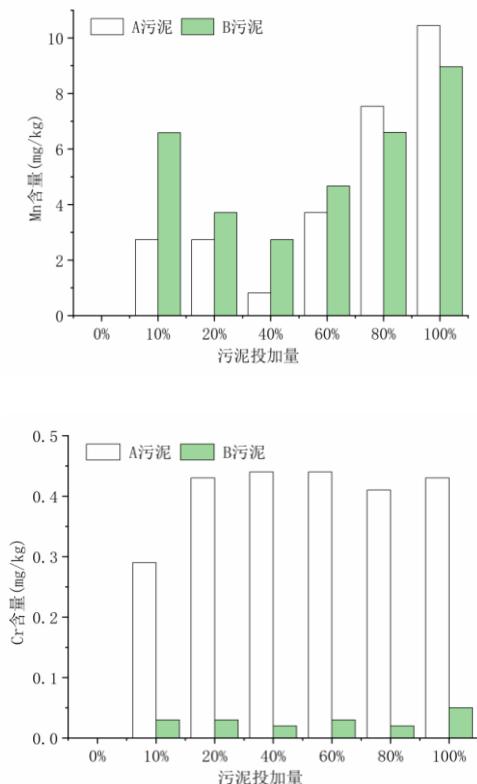


图3 污泥种植蔬菜的重金属含量

混入市政污泥的土壤种植速生蔬菜时,土壤重金属累积量少,蔬菜通常不超标,表明若使用合规污泥,短期适量施用时,蔬菜重金属超标的概率极低。但如果长期、高剂量使用,土壤重金属会持续累积,存在超标风险。

EC值电导率是用来衡量土壤溶液中可溶性盐浓度的一种指标,通常用于液体肥料或种植介质中的可溶性离子浓度的测量。且污泥处理可以降低土壤EC值,改善土壤微生物群落结构,有利于蔬菜生长,实验测定研究了污泥处理对蔬菜种植土壤EC值的影响。采用电位法测定混合土壤的EC值,污泥投加量从0~100%,实验土壤的EC值随着污泥投加量的增加而增加,但都在比较理想的范围内,污泥投加量为60%时投加A、B污泥的实验土壤的EC值分别为 $1.40 \pm 0.28 \text{mS/cm}$ 和 $1.30 \pm 0.42 \text{mS/cm}$,再增加污泥投加量实验土壤会影响种植食物蔬果,严重可能会导致土壤的盐

碱化,一般认为,EC值超过 2.0mS/cm 时可能对盐敏感作物产生胁迫。因此实际应用的时候可以考虑将污泥投加量控制在60%以下,并定期监控土壤的EC值。

3 结论与建议

检测了河源地区市政污泥的成分,可以满足《城镇污水处理厂污泥处置土地改良用泥质(GB/T24600-2009)》、《城镇污水处理厂污泥处理园林绿化用泥质(GB/T 23486-2009)》和《农用污泥污染物控制标准(GB 4284-2018)》的B级污泥产品标准,发酵污泥的营养成分均有所提升。使用污泥按不同比例掺入泥土进行速生蔬菜的种植后,污泥的投加量对蔬菜生长的呈正相关的促进作用,且发酵污泥的效果比原污泥更加明显;蔬菜采收后经检测各种重金属含量均未超标。

课题

河源市社会发展科技计划项目(河科社农社发2023104)、河源职业技术学院校级科技计划课题(2023-KJ03)。

参考文献

- [1] 张龙龙.快速-保氮-除臭城镇污泥堆肥复合菌剂研发及应用[D].华北水利水电大学,2024.
- [2] DUAN Y M, YANG J F, GUO Y R, et al. Pollution control in biochar-driven clean composting: emphasize on heavy metal passivation and gaseous emissions mitigation[J]. Journal of Hazardous Materials, 2021, 420:126635.
- [3] HUANG K, XIA H. Role of earthworms' mucus in vermicomposting system: biodegradation tests based on humification and microbial activity[J]. Science of the Total Environment, 2018, 610/611:703-708.
- [4] 于贺, 邱春生, 王晨晨, 等. Fenton预处理对城市污泥重金属形态及生物淋滤溶出影响[J]. 环境工程学报, 2019(3):7.
- [5] 郁辉辉, 储昭霞, 王兴明, 等. 蚯蚓粘液-秸秆炭共同作用对生活污泥堆肥中重金属的影响[J]. 中国生态农业学报(中英文), 2023, 31(4):10.
- [6] 王兴明, 章珍, 储昭霞, 等. 秸秆炭协助蚯蚓堆肥条件下污泥中重金属时间性变化特征[J]. 环境工程技术学报, 2024, 14(2): 528-537.

作者简介:

梁家明(1991--),男,汉族,广东恩平人,大学本科,河源市七寨生态环境有限公司总经理,助理工程师,研究方向: 固体废物资源化利用。