

热脱附修复后土壤绿化土再利用改良效果研究

穆晓红¹, 曲辰¹, 王国玉^{1*}, 刘睿¹, 钟重², 宁增平³, 张弛²

(1. 中国城市建设研究院有限公司, 北京 100120; 2. 浙江省生态环境科学设计研究院, 浙江 杭州 310007;
3. 中国科学院地球化学研究所 环境地球化学国家重点实验室, 贵州 贵阳 550081)

摘要: 为探索热脱附修复后土壤作为绿化土的资源化利用方式, 以北京市石景山区某场地热脱附修复后土壤为例, 研究热脱附修复后土壤与复配土壤改良剂(含有固氮菌肥)、种植土按不同配比混配改良后对孔雀草(*Tagetes patula*)、黑麦草(*Lolium perenne*)和月季(*Rosa chinensis*)3种园林植物生长状况的影响, 分析指标包括植株高度、基径、开花率、盖度及增长量等。结果显示, 热脱附修复后土壤、复配土壤改良剂和种植土配比(体积比)为2:1:1时, 植物生长综合效果较好。

关键词: 热脱附; 修复后土壤; 改良方式; 绿化土; 再利用

中图分类号: X 53 **文献标志码:** A

Research on Improvement Effect of Planting Soil Reuse Remediated by Thermal Desorption

Mu Xiaohong¹, Qu Chen¹, Wang Guoyu^{1*}, Liu Rui¹, Zhong Zhong², Ning Zengping³, Zhang Chi²

(1. China Urban Construction Design & Research Institute Co., Ltd., Beijing 100120, China;
2. Eco-Environmental Science Research & Design Institute of Zhejiang Province, Hangzhou 310007, China;
3. State Key Laboratory of Environmental Geochemistry, Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guiyang 550081, China)

Abstract: In order to explore the resource utilization of remediated soil by thermal desorption as planting soil, this paper takes the soil after thermal desorption of a site in Shijingshan District, Beijing as an example, and studies the effects of different proportions of remediated soil, compound soil conditioner (containing nitrogen fixing bacterial fertilizer) and planting soil on the growth of three garden plants of *Tagetes patula*, *Lolium perenne* and *Rosa chinensis*. The analysis parameters are height, basal stem, flowering rate, coverage and amount of growth, etc. The result shows that plants can grow well when the ratio of remediated soil, compound soil conditioner and planting soil is 2:1:1 (volume ratio).

Key words: thermal desorption; remediated soil; improvement methods; planting soil; reuse

城市园林绿地是城市生态系统的重要组成部分[1]。随着我国城市化进程的加快,城市园林绿地建

设水平总体上有很大提高,但内在生态质量较差,尚不能满足城市高质量发展的需求,其重要原因之一

收稿日期: 2022-03-18

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1801402)

作者简介: 穆晓红,女,工程师,硕士,主要从事城市生态与生态修复研究工作。

通讯作者: 王国玉,男,教授级高级工程师,主要从事风景园林设计、城市生态与生态修复研究工作。

引文格式: 穆晓红,曲辰,王国玉,等. 热脱附修复后土壤绿化土再利用改良效果研究[J]. 市政技术, 2022, 40(8): 248-254. (MU X H, QU C, WANG G Y, et al. Research on improvement effect of planting soil reuse remediated by thermal desorption [J]. Journal of municipal technology, 2022, 40(8): 248-254. (in Chinese))

是普遍重视植物部分而忽略了土壤质量。土壤作为绿地植物生长的介质和功能发挥的载体,是整个绿地系统的基础,也是整个城市生态基础设施高质量发展的根基。目前我国多地城市园林绿地在土壤方面存在着“土质差、密实度高、肥力退化、污染严重”等土质性缺土^[2-3]、“回填种植土土源短缺”等资源性缺土和“管理体系不完善”造成的功能性缺土现象,且问题突出^[4-5]。

随着城市规模逐渐扩大,土地资源短缺的问题越来越突出,污染土壤修复成为解决土地资源短缺问题的重要突破口。近年来热脱附修复技术广泛应用于难降解性或持久性有机物污染土壤的修复^[6],该技术通过将污染土壤加热至目标污染物的沸点,使目标污染物气化挥发或裂解,利用抽提手段使目标污染物与土壤颗粒分离、去除,进而达到修复目的^[7-8],主要适用于多环芳烃、多氯联苯、石油烃和 Hg 等污染土壤的修复^[9]。

热脱附修复后土壤作为绿化土再利用仍然存在一定的问题,主要是因为热脱附修复技术对土壤理化性质和生态功能造成了破坏性改变^[10-11],比如土壤层理结构和团粒结构受到破坏,土壤 pH、密度、持水率、肥力、有机质等发生改变^[10]。因此,需要利用有效改良剂对热脱附修复后土壤进行改良。陈宝林等^[12]利用园林绿化修剪废弃物进行土壤改良,改善了土壤的透气透水能力,增加了土壤有机质含量,达到了脱水污泥绿化再利用的目的;章菁熠^[13]采用园林绿化废弃物改良铜污染土壤,结果表明园林绿化废弃物不仅可以满足植物生长的需要,还能降低植物中污染物的浓度。北京、上海、广州等地已将园林绿化废弃物作为土壤改良材料应用于城市绿化中^[14]。

笔者以热脱附修复后土壤绿化土再利用为例,使用园林绿化废弃物配制的复配土壤改良剂对其进行改良,比较园林绿化再利用中不同土壤改良方式下植物生长的差异,探索总结热脱附修复后土壤用作绿化土的优选方式。

1 材料与方法

1.1 材料

1.1.1 土壤

1)热脱附修复后土壤

基于北京市石景山区某受污染场地,采用异位热脱附修复技术对其土壤进行修复处理,土质为粉

质黏土。热脱附修复后土壤 pH 检测结果为 8.20。土壤污染物含量测定采用 GB 36600—2018《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》中的测定方法,污染物含量符合 GB 36600—2018《土壤环境质量 建设用地土壤污染风险管控标准》、CJ/T 340—2016《绿化种植土壤》规定的指标值^[15-16],具体检测结果见表 1。

表 1 热脱附修复后土壤污染物含量
Tab. 1 Soil pollutants contents after thermal desorption remediation

污染物	含量/(mg/kg)	污染物	含量/(mg/kg)
砷	9.25	四氯乙烯	<1.4×10 ⁻³
镉	0.4	氯苯	<1.2×10 ⁻³
铬	<0.5	1,1,1,2-四氯乙烷	<1.2×10 ⁻³
铜	71	乙苯	<1.2×10 ⁻³
铅	156	间二甲苯+对二甲苯	<1.2×10 ⁻³
汞	0.113	邻二甲苯	<1.2×10 ⁻³
镍	45	苯乙烯	<1.1×10 ⁻³
1,1-二氯乙烯	<1×10 ⁻³	1,1,2,2-四氯乙烷	<1.2×10 ⁻³
氯乙烯	<1×10 ⁻³	1,2,3-三氯丙烷	<1.2×10 ⁻³
氯甲烷	<1×10 ⁻³	1,4-二氯苯	<1.5×10 ⁻³
二氯甲烷	<1.5×10 ⁻³	1,2-二氯苯	<1.5×10 ⁻³
反-1,2-二氯乙烯	<1.4×10 ⁻³	苯胺	<0.1
1,1-二氯乙烷	<1.2×10 ⁻³	硝基苯	<0.09
顺-1,2-二氯乙烯	<1.3×10 ⁻³	萘	<0.09
氯仿	<1.1×10 ⁻³	苯并[a]蒽	<0.1
1,1,1-三氯乙烷	<1.3×10 ⁻³	蒎	<0.1
四氯化碳	<1.3×10 ⁻³	苯并[b]荧蒽	<0.2
苯	<1.9×10 ⁻³	苯并[k]荧蒽	<0.1
1,2-二氯乙烷	<1.3×10 ⁻³	苯并[a]芘	<0.1
三氯乙烯	<1.2×10 ⁻³	二苯并[a,h]蒽	<0.1
1,2-二氯丙烷	<1.1×10 ⁻³	茚并[1,2,3-cd]芘	<0.1
甲苯	<1.3×10 ⁻³	2-氯酚	<0.04
1,1,2-三氯乙烷	<1.2×10 ⁻³		

2)复配土壤改良剂

以园林绿化废弃物为主要改良物质原材料,将园林绿化废弃物、发酵禽畜粪便和微生物菌肥按照体积比为 9:1:1 搅拌均匀,配制成复配土壤改良剂。其中,微生物菌肥选用固氮菌肥。

3)热脱附修复改良土

将热脱附修复后土壤、复配土壤改良剂和种植土按不同体积比混合均匀,获得热脱附修复改良土,其中种植土选用试验基地种植原土。

1.1.2 植物

试验中选择适合北方地区生长的 3 种植物,草

本植物选用孔雀草 (*Tagetes patula*) 和黑麦草 (*Lolium perenne*), 灌木植物选用月季 (*Rosa chinensis*)。

1.2 试验设计

设置 5 个 100 cm×100 cm×40 cm 的种植箱, 箱底铺设轻质陶粒(作用是增加土壤底层的透气性), 陶粒上面分别添加不同体积比的热脱附修复后土壤、复配土壤改良剂、种植土并混合均匀(见表 2), 然后参照图 1 种植孔雀草、黑麦草和月季。其中孔雀草种植密度为 250 丛/m²(每丛 3 株), 黑麦草种植密度为 20~30 g/m², 月季按照株间距 12~15 cm 进行种植。孔雀草和黑麦草通过播种后移植的方式进行种植, 月季通过扦插移植的方式进行种植。种植后按照植物正常生长季节分别灌溉、施肥。

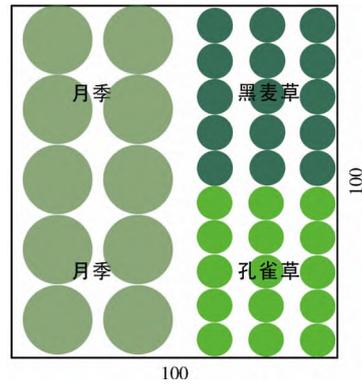


图 1 种植箱植物分布示意图(cm)

Fig. 1 Schematic diagram of plant distribution in planting box

1.3 数据记录与处理

观察周期为 8 个月, 其中刚种植时记录 1 次植物地上部分生长状况, 种植 2 个月 after 记录 1 次植物地上部分生长状况, 之后每个月记录 1 次植物地上部分生长状况, 包括孔雀草的植株高度、开花率(开花率为开花株数与种植株数总量的比值)及花径, 黑麦草的植株高度及盖度, 月季的植株高度、基径及分枝数。植物生长记录照片见表 3。

表 2 土壤改良方式

Tab. 2 Methods of soil improvement

改良方式	配比(体积比)
方式 1	热脱附修复后土壤:复配土壤改良剂:种植土=2:1:1
方式 2	热脱附修复后土壤:复配土壤改良剂:种植土=2:2:1
方式 3	热脱附修复后土壤:复配土壤改良剂=1:2
方式 4	100%热脱附修复后土壤
CK(对照)	100%种植土

表 3 植物生长记录照片

Tab. 3 Plant growth record photos

时间	方式 1	方式 2	方式 3	方式 4	CK(对照)
2020.10					
2020.12					
2021.02					
2021.04					
2021.06					

2 结果与分析

2.1 植物生长效果

2.1.1 孔雀草

不同改良方式下的孔雀草生长变化情况见图 2。

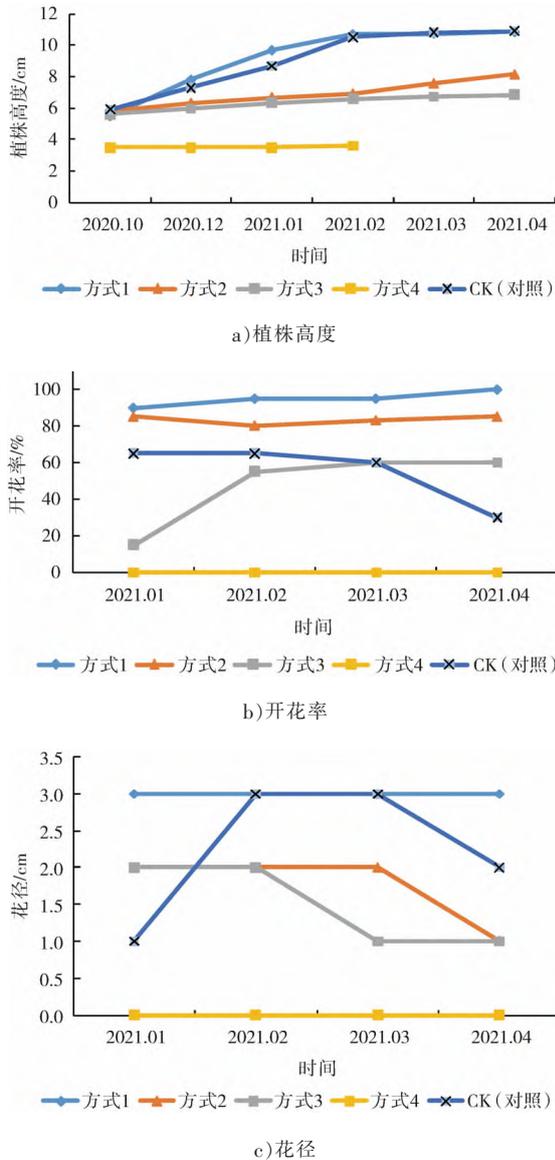


图 2 不同改良方式下的孔雀草生长变化情况
Fig. 2 Growing changes of *Tagetes patula* under different improvement methods

从图 2 可以看出,方式 1 的孔雀草生长表现较稳定,且植株高度增长较其他改良方式多,开花率和花径大小也优于其他改良方式;方式 4 的孔雀草只存活了 4 个月,表明未经改良的热脱附修复后土壤尚不能直接作为绿化种植土使用。

2.1.2 黑麦草

不同改良方式下的黑麦草生长变化情况见图 3。

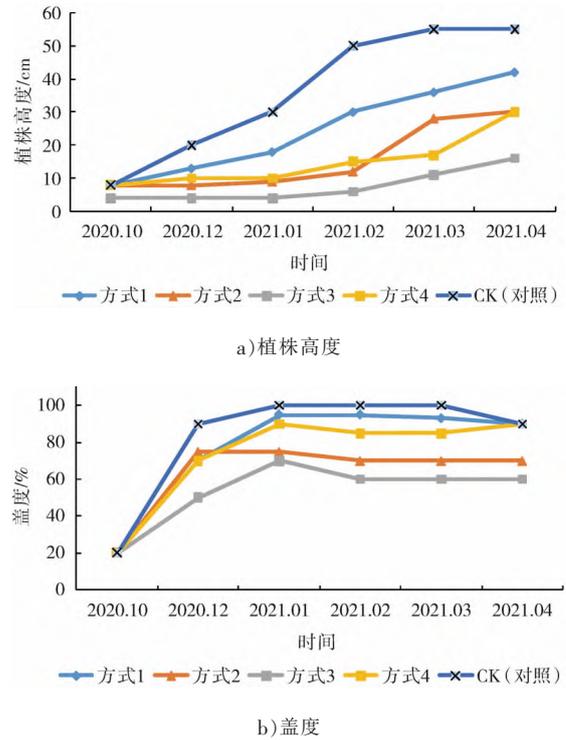


图 3 不同改良方式下的黑麦草生长变化情况
Fig. 3 Growing changes of *Lolium perenne* under different improvement methods

从图 3 可以看出,黑麦草生长状况以 CK(对照)组表现最好。方式 1 的黑麦草植株高度增长较大,盖度达到 100%,基部黄叶占比较低。方式 2、方式 3、方式 4 的黑麦草生长状况略差,从植株高度表现来看,方式 3 优于方式 2,方式 4 与方式 2 基本持平;从叶片性状表现来看,方式 4 的叶片颜色较其他组深。

2.1.3 月季

不同改良方式下的月季生长变化情况见图 4。

从图 4 可以看出,CK(对照)组月季生长状况较差,方式 1 的月季生长变化较稳定;从植株高度、基径、分枝数及生长周期等基本指标表现来看,植株高度和基径在观察周期内均有大幅增长,分枝数变化也较明显,CK(对照)组植株高度虽增长较明显,但是植株存活周期短,表明改良方式 1 下月季的生长效果较好。

2.1.4 综合对比分析

综合比较不同改良方式下植物生长变化情况可知,方式 1 中植物生长状况均良好;方式 2 中孔雀草

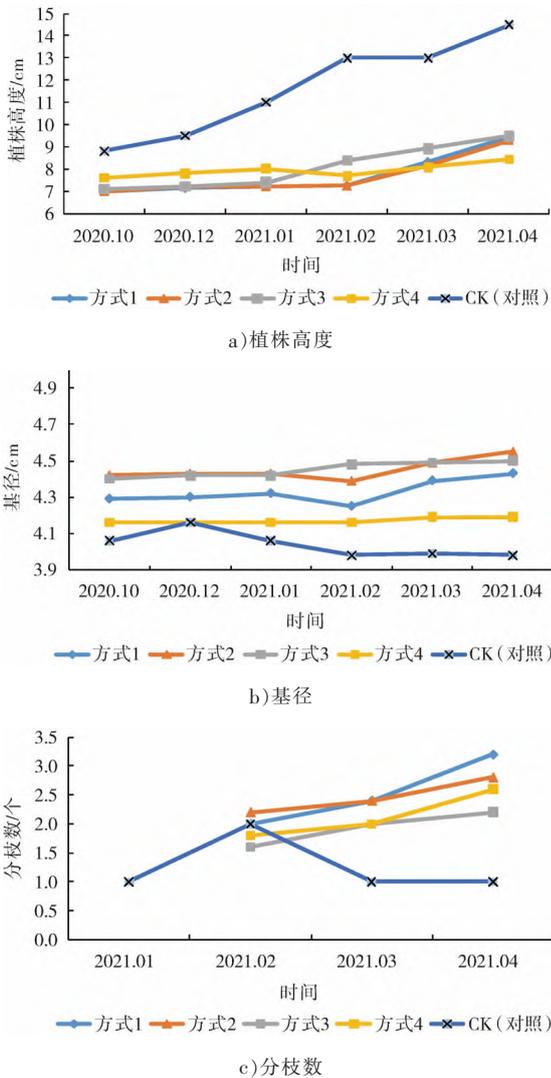


图 4 不同改良方式下的月季生长变化情况
Fig. 4 Growth changes of *Rosa chinensis* under different improved methods

开花率降低,花径减小,黑麦草黄叶占比上升,月季高度变化减小,整体状况差于方式 1;方式 3 中植物生长滞后,孔雀草开花率降低,花径减小,黑麦草基部黄叶占比高于方式 2,整体状况一般;方式 4 中孔雀草生长周期短,植株成活率降低,整体状况较差;CK(对照)组内植物生长状况整体表现较好。试验结果表明,方式 1 与 CK(对照)组的植物生长效果较好,CK(对照)组中黑麦草和月季的生长效果较好,孔雀草的植株高度、开花率及花径与方式 1 相当或略差于方式 1。因此,改良方式 1 下植物生长效果较好。

2.2 不同改良方式对植物生长的影响

选取孔雀草高度平均增长量、黑麦草高度平均增长量及月季高度平均增长量、月季基径平均增长

量作为优选改良方式的判断因子,得到不同改良方式的植物生长增长量对比见图 5。

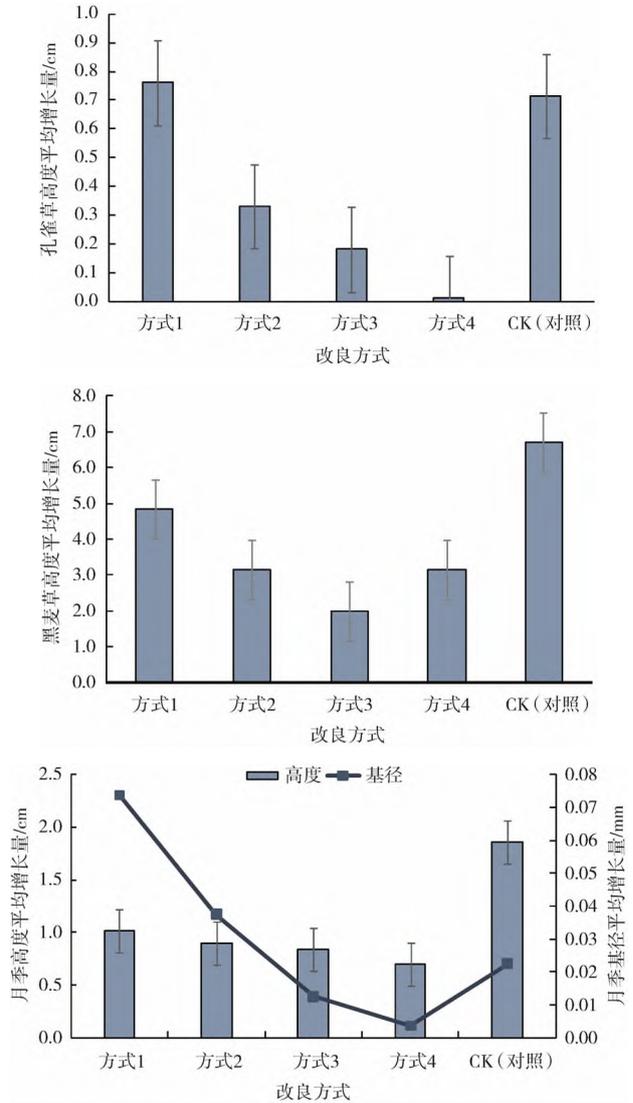


图 5 不同改良方式的植物生长增长量对比
Fig. 5 Comparison of plant growth by different improvement methods

从图 5 可以看出,改良后的热脱附修复后土壤对植物生长具有促进作用,这与江定钦等^[17]、钱新锋^[18]、赵凤莲等^[19]在研究中得出的园林绿化废弃物对植物生长具有促进效果的结论一致。从植物高度平均增长量可以看出,不同改良方式对孔雀草的影响为:方式 1>CK(对照)>方式 2>方式 3>方式 4,对黑麦草的影响为:CK(对照)>方式 1>方式 2=方式 4>方式 3,对月季的影响为:CK(对照)>方式 1>方式 2>方式 3>方式 4;从不同改良方式对月季基径平均增长量的影响可以看出:方式 1>方式 2>

CK(对照)>方式3>方式4。

3 结论与讨论

3.1 结论

研究表明,改良后的热脱附修复后土壤对植物生长具有促进作用;热脱附修复后土壤通过不同配比改良后,改良方式1下植物生长效果较好。综合不同改良方式下植物生长变化情况与修复后改良土壤对植株高度、基径平均增长量的影响,优选热脱附修复后土壤有效改良方式为:热脱附修复后土壤:复配土壤改良剂:种植土=2:1:1(体积比)。

3.2 讨论

从植物生长角度,以月季、孔雀草、黑麦草3种北方适生代表植物为研究对象,对热脱附修复后土壤绿化土再利用改良方式做了初步的研究探索。研究在模拟的小尺度环境下进行,CK(对照)组内黑麦草生长较好,月季、孔雀草生态空间被侵占,导致生长受到影响,生命周期缩短。因此,热脱附修复后土壤再利用与CK(对照)组的对比分析数据欠佳,热脱附修复后土壤较种植土对植物生长效果的影响有待进一步验证。

在复杂的城市绿地生态系统中,植物生长状况只是绿地生态系统的直观表征之一,此外植物与土壤的协同关系以及植物生活、生长、循环的全生命过程等也是绿地健康的重要评价因素。因此,热脱附修复后土壤对植物全生命周期生理变化、“土壤-植物-微生物”生态系统的综合影响是后续研究中应关注的重点。另外,我国气候环境具有多样性特征,因此热脱附修复后土壤园林绿化再利用的环境特点也存在巨大的差异,尚需多区域、长周期的观测研究,以期不断完善热脱附修复后土壤园林绿化再利用的技术途径。MET

[参考文献]

- [1] 李俊翰,高明秀,李沪波. 青岛中心城区绿地土壤养分特征与评价[J]. 山东农业大学学报(自然科学版),2019,50(4):550-558. (LI J H,GAO M X,LI H B. Soil nutrient characteristics and evaluation of green space in Qingdao central urban area[J]. Journal of Shandong Agricultural University (natural science edition), 2019,50(4):550-558. (in Chinese))
- [2] 马想,张浪,黄绍敏,等. 上海城市绿地土壤肥力变化分析[J]. 中国园林,2020,36(5):104-109. (MA X,ZHANG L,HUANG S M,et al. Analysis on the change of soil fertility in Shanghai urban green space[J]. Chinese landscape architecture,2020,36(5):104-109. (in Chinese))
- [3] 伍海兵,何小丽,梁晶. 园林绿化用搬迁地土壤肥力综合评价[J]. 浙江农林大学学报,2021,38(5):1076-1081. (WU H B, HE X L,LIANG J. Comprehensive evaluation of soil fertility in relocated land for landscaping[J]. Journal of Zhejiang A & F University,2021,38(5):1076-1081. (in Chinese))
- [4] 王国玉,栾亚宁,穆晓红,等. 修复后土壤园林绿化再利用难点浅析[C]//中国风景园林学会. 中国风景园林学会2020年会论文集(下册). 北京:中国建筑工业出版社,2020:483-488. (WANG G Y,LUAN Y N,MU X H,et al. Analysis on the difficulties of remediated soil reuse on landscape greening[C]//Chinese Society of Landscape Architecture. Chinese Society of Landscape Architecture 2020 Annual Conference Proceedings (Volume 2). Beijing:China Architecture & Building Press,2020:483-488. (in Chinese))
- [5] 南海宴. 兰州市园林绿地土壤质量管理存在的问题及发展对策[J]. 甘肃林业,2017(2):37-38. (NAN H Y. Problems and development countermeasures of soil quality management in landscape and green space in Lanzhou City[J]. Forestry of Gansu,2017(2):37-38. (in Chinese))
- [6] 骆永明,滕应. 中国土壤污染与修复科技研究进展和展望[J]. 土壤学报,2020,57(5):1137-1142. (LUO Y M,TENG Y. Research progresses and prospects on soil pollution and remediation in China[J]. Acta pedologica sinica,2020,57(5):1137-1142. (in Chinese))
- [7] 张语情,姚佳斌,蒋尚,等. 异位热脱附土壤修复相关影响因素研究[J]. 资源节约与环保,2021(5):29-30. (ZHANG Y Q, YAO J B,JIANG S,et al. Study on related influencing factors of ectopic thermal desorption soil remediation[J]. Resources economization & environmental protection,2021(5):29-30. (in Chinese))
- [8] 梁贤伟,孙袭明,吴晓霞. 原位热脱附土壤修复技术的关键影响因素研究[J]. 广州化工,2020,48(10):79-82. (LIANG X W,SUN X M,WU X X. Study on the key factors of in-situ thermal desorption technology in soil remediation[J]. Guangzhou chemical industry,2020,48(10):79-82. (in Chinese))
- [9] 王开阳,刘龙杰,邵志国,等. 热脱附处理技术在石油污染土壤中的研究进展[J]. 山西化工,2020,40(4):22-25. (WANG K Y,LIU L J,SHAO Z G,et al. Research progress of thermal desorption technology in petroleum contaminated soil[J]. Shanxi chemical industry,2020,40(4):22-25. (in Chinese))
- [10] 叶渊,许学慧,李彦希,等. 热处理修复方式对污染土壤性质及生态功能的影响[J]. 环境工程技术学报,2021,11(2):371-377. (YE Y,XU X H,LI Y X,et al. Effects of thermal treatment on properties and ecological functions of contaminated soil[J]. Journal of environmental engineering technology,2021,11(2):371-377. (in Chinese))
- [11] VIDONISH J E,ZYGOURAKIS K,MASIELLO C A,et al. Thermal treatment of hydrocarbon-impacted soils:a review of technology innovation for sustainable remediation[J]. Engineering,2016,2(4):426-437.

- [12] 陈宝林,许林,傅劭,等.脱水污泥填埋场生态修复方法及园林绿化修剪废弃物的应用;CN110178473A[P].2019-08-30.(CHEN B L,XU L,FU S,et al. Ecological restoration method of dewatered sludge landfill and application of landscaping pruning waste;CN110178473A[P].2019-08-30.(in Chinese))
- [13] 章菁熠.不同改良材料对铜污染土壤的修复研究[D].南京:南京农业大学,2013.(ZHANG J Y. Research on different materials adopted in copper contaminated soil remediation [D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University,2013.(in Chinese))
- [14] 伍海兵.城市绿地土壤物理性质特征及其改良研究[D].南京:南京农业大学,2013.(WU H B. Research on characteristics of soil physical properties and its improvement of urban green space [D]. Nanjing:Nanjing Agricultural University,2013.(in Chinese))
- [15] 生态环境部南京环境科学研究所,等.土壤环境质量建设用土壤污染风险管控标准;GB 36600—2018[S].北京:中国标准出版社,2018.(Nanjing Institute of Environmental Sciences. MEE,et al. Soil environmental quality risk control standard for soil contamination of development land;GB 36600—2018 [S]. Beijing:Standards Press of China,2018.(in Chinese))
- [16] 上海市园林科学规划研究院,等.绿化种植土壤;CJ/T 340—2016[S].北京:中国标准出版社,2016.(Shanghai Academy of Landscape Architecture Science and Planning, et al. Planting soil for greening;CJ/T 340—2016 [S]. Beijing:Standards Press of China,2016.(in Chinese))
- [17] 江定钦,徐志平,阮琳.园林垃圾堆肥化过程中理化性质的变化及堆肥对几种园林植物生长的影响[J].中国园林,2004,20(8):63-65.(JIANG D Q,XU Z P,RUAN L. The physicochemical characteristics changes of green waste during its composting and the effect of compost on the growth of some trees[J]. Chinese landscape architecture,2004,20(8):63-65.(in Chinese))
- [18] 钱新锋.园林绿化废弃物生物炭覆盖土壤对花木生长影响的研究[J].中国城市林业,2015,13(2):10-12.(QIAN X F. Effect of gardening waste biochar on plant growth[J]. Journal of Chinese urban forestry,2015,13(2):10-12.(in Chinese))
- [19] 赵凤莲,刘毓,刘红权.园林绿化废弃物堆肥对土壤肥力因子和地面植物生长影响研究[J].园林科技,2015(4):35-38.(ZHAO F L,LIU Y,LIU H Q. Effects of landscape waste composting on soil fertility factors and ground plant growth[J]. Science & technology of landscape architecture,2015(4):35-38.(in Chinese))
- 其他作者:曲辰,女,工程师,硕士,主要研究方向为景观设计与土壤生态修复。
刘睿,女,副研究员,博士,主要研究方向为土壤地下水污染防治。
钟重,男,高级工程师,主要研究方向为土壤与地下水污染防治。
宁增平,男,副研究员,主要研究方向为土壤污染防治与修复。
张弛,男,工程师,主要研究方向为土壤与地下水污染防治。

(上接第 187 页)

- assessment of PPP projects of urban rail transport based on IAHP-SPA-GCM[J]. Journal of Qingdao University of Technology, 2021,42(2):138-148.(in Chinese))
- [7] 田琦,吕淑然.基于 IAHP 的城市供热管网泄漏风险分析[J].安全,2020,41(11):9-15.(TIAN Q,LYU S R. Risk analysis of urban heating pipe network leakage based on IAHP[J]. Safety & security,2020,9(11):9-15.(in Chinese))
- [8] 李腾.基于层次分析法的 HEP 工法在地铁工程的应用[J].市政技术,2021,39(1):74-77,118.(LI T. Application of HEP method based on analytic hierarchy process in subway engineering[J]. Journal of municipal technology,2021,39(1):74-77,118.(in Chinese))
- [9] 王存暖,宋若领.基于模糊-层次分析法的直眼掏槽爆破效果评价[J].市政技术,2017,35(6):77-79.(WANG C N,SONG R L. Effect evaluation of straight hole cut blasting based on fuzzy hierarchy analysis[J]. Journal of municipal technology,2017,35(6):77-79.(in Chinese))
- 其他作者:冯帆,女,工程师,硕士,主要研究方向为地下建筑结构抗震和软土地基处理。
冯志江,男,教授,学士,主要研究方向为建筑信息模型(BIM)IFC、模型轻量化技术、物联网 NB-IoT 技术。
张宁,男,助理工程师,硕士,主要从事管线及污水处理厂设计工作。
周燕昭,男,工程师,硕士,主要从事暖通设计及 BIM 设计工作。

(上接第 247 页)

- "heat dome"[J]. Disaster reduction in China,2022(4):42-25.(in Chinese))
- [3] 李威,叶殿秀,赵琳,等.从全球气候变化角度看 2021 年河南“7·20”特大暴雨[J].中国防汛抗旱,2022(4):1-7.(LI W, YE D X,ZHAO L,et al. Analysis of the "7·20" heavy rainfall in Henan in 2021 from the perspective of global climate change[J]. China flood & drought management,2022(4):1-7.(in Chinese))
- [4] 吴素良,蔡新玲,张文静,等.汉中市暴雨强度公式推算与适用性分析[J].陕西气象,2021(2):1-6.(WU S L,CAI X L,ZHANG W J,et al. Calculation and applicability analysis of rainstorm intensity formula in Hanzhong City[J]. Journal of Shaanxi meteorology,2021(2):1-6.(in Chinese))
- [5] 崔婷婷,龙玉桥,刘勇,等.城市暴雨强度公式修订对城市排水系统影响研究[J].环境保护前沿,2021(3):1-6.(CUI T T, LONG Y Q,LIU Y,et al. Research on the impact of urban rainstorm intensity formula revision on urban drainage system [J]. Advances in environmental protection,2021(3):1-6.(in Chinese))
- [6] 黄廷林,马学尼.水文学[M].5 版.北京:中国建筑工业出版社,2014:102-140.(HUANG T L,MA X N. Hydrology[M]. 5th edition. Beijing:China Architecture & Building Press,2014:102-140.(in Chinese))
- 其他作者:梁朝旭,女,高级工程师,主要从事特种设备检验检测工作。
肖明慧,女,助理工程师,在读硕士研究生,主要从事城市排水规划和管理的工作。