

干旱半干旱地区土壤重金属污染微生物修复技术要求

一、工作简况

1. 任务来源

本标准是根据中关村绿色矿山产业联盟下达放入 2022 年与绿色矿山相关的团体标准编写计划制定的。

2. 起草单位、编制单位

本标准起草单位：内蒙古科技大学，内蒙古自治区生态环境科学研究院，上海第二工业大学，浙江工业大学，内蒙古自治区地质调查研究院，辽宁省物测勘察院有限责任公司。

3. 主要起草人

本标准主要起草人：郑春丽、陈敏洁、霍晓君、周燕、王维大，许欣、潘响亮、何崭飞、杨宇亮、武利文、钟仁、岳林浩、包凤琴、张永旺、白昕冉、陈军典、韩晓涛、曹丹、庞浩、徐梓洋、白晶晶。

二、制定（修订）标准的必要性和意义

本标准规定了干旱半干旱地区、高盐碱土壤重金属污染的微生物原位修复的技术规范。包括矿山开采、工业废水灌溉及垃圾渗滤液等造成的农田土壤重金属污染的微生物修复工程技术要求。

本标准适用于干旱半干旱、高盐碱土壤范围内重金属污染农田土壤的微生物原位修复项目工程技术要求。

三、主要起草过程

本项目于 2022 年申报，2022 年 6 月 6 日由中关村绿色矿山产业联盟下达标准立项通知。

（1）2022 年 7 月，《干旱半干旱地区土壤重金属污染微生物修复技术要求》标准编制组在内蒙古包头市成立并召开第 1 次讨论会，制定了标准编制大纲，完成了参编单位任务分工。

（2）2022 年 9 月，编制组进行了讨论，形成了《干旱半干旱地区土壤重金属污染微生物修复技术要求》（讨论稿 1 版）。

(3)2022 年 12 月,编制组在内蒙古包头召开了第 2 次讨论会,形成了《干旱半干旱地区土壤重金属污染微生物修复技术要求》(讨论稿 2 版)。

(4) 2023 年 1 月~2023 年 2 月,编制组内部经多次讨论,形成了《干旱半干旱地区土壤重金属污染微生物修复技术要求》(征求意见稿初稿)。

四、制定(修订)标准的原则和依据

本标准内容引用了下列文件中的条款。凡是不注明日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

- (1) 《河北省农田土壤重金属污染修复技术规范》(DB 13/T 2206-2015);
- (2) 《耕地土壤重金属污染风险管控与修复 总则》(DB/T 2263.1-2020);
- (3) 《耕地土壤重金属污染风险管控与修复 风险评价》(DB44/T 2263.2-2020) ;
- (4) 《耕地土壤重金属污染风险管控与修复安全利用技术》(试行 (DB/T 2263.3-2020) ;
- (5) 《耕地土壤重金属污染风险管控与修复严格管控技术》(DB/T 2263.4-2020) ;
- (6) 《稻田土壤镉、砷污染生理阻隔技术规范》(DB44/T 2264-2020) ;
- (7) 《农田土壤重金属污染修复技术规范》(DB 45/T 2145-2020);
- (8) 《耕地污染治理效果评价准则》(NY/T 3343)
- (9) 《土壤调理剂 通用要求》(NY. T 3034)
- (10) 《农田土壤环境监测技术规范》(NY/T 395)

五、与现行有关法律、法规和标准的关系

本标准不与现行有关法律、法规和强制性标准冲突,是落实有关强制性国家标准的必要补充;标准与国家鼓励农田重金属污染土壤修复可持续发展的政策相一致,有修复场地的分区依据、菌剂的扩培、助剂的施入、辅助设施的铺设、菌剂的活化及扩培、菌剂的喷洒等。

六、标准主要内容说明

1. 风险管控和修复工作流程

2. 环境质量调查及风险评估

- 2.1 资料收集和分析
- 2.2 区域确定及污染识别
- 2.3 风险评估
- 2.4 分区分单元
- 3. 微生物修复技术要点
 - 3.1 修复菌剂的菌种
 - 3.2 菌剂的扩培
 - 3.3 施入助剂
 - 3.4 辅助设施的铺设
 - 3.5 菌剂的活化及扩培
 - 3.6 菌剂的喷洒
 - 3.7 菌剂与土壤的混合
- 4. 修复效果评估
 - 4.1 修复效果评估内容和范围确定
 - 4.2 采样布点方案
 - 4.3 样品采集与分析
 - 4.4 修复效果评估

附录：A 土壤污染风险级别评估方法

(1) 采用内梅罗污染指数法对污染地块按照污染程度进行一个污染程度的分区：

1) 单项重金属污染指数计算公式如下：

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \quad (\text{式 1})$$

P_i —重金属 i 单因子指数

C_i —重金属 i 测定值

S_i —重金属 i 标准值，本文以国家土壤环境质量标准农用地土壤标准为

标准值

2) 内梅罗污染指数:

$$P_n = \sqrt{\frac{P_{均}^2 + P_{最大}^2}{2}}$$

(式 2)

式中：P_n—综合污染指数

P_均 —平均单项污染指数 P_{最大} —最大单项污染指数

表 1 土壤污染风险评价标准分级标准

分级标准			
单项污染指数	污染风险	内梅罗污染指数	土壤质量等级
P _i ≤1.0	无污染	P _n ≤0.7	清洁（安全）
1.0<P _i ≤1.5	轻污染	0.7<P _n ≤1.0	警戒线
1.5<P _i ≤2.0	中污染	1.0<P _n ≤2.0	轻污染
2.0<P _i ≤2.5	高污染	2.0<P _n ≤3.0	中污染
P _i >2.5	重污染	P _n >3.0	重污染

附录：B 土壤修复效果估方法

重金属浸出毒性测定（固体废物水平震荡法、EDTA-2Na 浸提）

1) 固体废物水平震荡法（放在附录里）

将经不同方式处理的土壤烘干后，称取 10 g 于锥形瓶中，并按液固比为 10:1 (L/kg) 的比例加入去离子水，将锥形瓶口封闭后固定在水平震荡摇床上，调节摇床的振荡频率为 110±10 次/min、振幅为 40 mm，在室温下振荡 8 h 后取下锥形瓶，静置 16 h。将样品过滤得上清液，并采用火焰原子吸收法测定重金属的含量。

2) EDTA-2Na 浸提

将风干后的土壤样品采用 2 mm 的筛子进行筛分, 并称取 25.00 g 筛分后的土壤样品置 100 mL 塑料锥形瓶中, 再加入 50.0 mL 0.05 mol/L 的 EDTA-2Na (乙二胺四乙酸二钠) 溶液, 在水平震荡摇床上以 180 次/min 的速率下振荡 1.5 h, 振荡完成后静止并过滤得上清液, 采用火焰原子吸收法测定重金属的含量。

重金属形态测定

采用 Tessier 五步提取法测定土壤中重金属形态

① 可交换态

将 1.0000 g (0.0003 以内) 土样加入到 50 ml 的塑料离心管中, 同时向管中加入 8 ml 1mol/L 的氯化镁 ($\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$), 室温下振荡 1 h (200 r/min), 离心 10 min (4000 r/min), 移出上清液, 将移出的溶液过滤, 用 50 ml 的容量瓶定容。

② 碳酸盐结合态

经①处理后的残余物在室温下用 8 ml 1mol/l 的乙酸钠 (NaAc) 提取, 提取前用醋酸 (HAc) 把 pH 调至 5.0, 振荡 8 h (200 r/min), 离心 10 min (4000 r/min), 移出上清液, 将移出的溶液过滤, 用 50 ml 的容量瓶定容。

③ 铁锰氧化态

在经②处理后的残余物中加入 20 ml 0.04 mol/L 盐酸羟胺 ($\text{NH}_2\text{OH} \cdot \text{HCl}$) 的 25% (v/v) 的醋酸 (HAc) 溶液进行提取, 提取温度在 96 ± 3 °C, 时间为 4 h, 离心 10 min (4000 r/min), 移出上清液, 将移出的溶液过滤, 用 50 ml 的容量瓶定容。

④ 有机态

经③处理的残余物中, 加入 3 ml 0.02 mol/l 硝酸 (HNO_3) 和 5 ml 30% (V/V) 过氧化氢 (H_2O_2), 然后用硝酸 (HNO_3) 调节 pH 至 2, 将混合物加热至 85 ± 2 °C, 保温 2 小时, 并在加热中间振荡几次。再加入 5 ml 过氧化氢 (H_2O_2), 调 pH 至 2, 再将混合物加热至 85 ± 2 °C, 保温 3 小时, 并间断振荡。冷却后, 加入 5 ml 3.2 mol/L 醋酸铵 (NH_4Ac), 用 20 % (V/V) 硝酸溶液稀释到 20 ml, 振荡 30 min。离心 10 min (4000r/min), 移出上清液, 将移出的溶液过滤, 用 50 ml 的容量瓶定容。

⑤ 残渣态

对步骤④处理后的残余物，利用硝酸-氢氟酸-高氯酸消解法消解分析。用 10 %的硝酸将离心管中的残余物洗到坩埚中，加热消煮，直至溶液剩余 3 ml 左右，加入 HNO_3 15 ml、 HF 10 ml、 HClO_4 5 ml，并轻轻摇动，继续加热蒸至白烟冒尽，最终使土壤样品变成白色或淡黄色的胶块状（若消解不完全则，加入 5 ml HF 继续消解至完全）。用 0.5 %的稀硝酸冲洗坩埚内壁，温热溶解，冷却后转移至 50 ml 容量瓶定容。

七、分歧意见的处理过程、依据和结果

无

八、采用国际标准或国外先进标准情况

无

九、贯彻标准的措施建议

无

十、其他应予说明的事项

无