第41卷第S2期 Vol.41 No.S2

2018 年 12 月 Environmental Science & Technology Dec. 2018

张巍，杨晓军,钟乐乐，等.宜宾某酸化富镉农田土壤修复试验J].环境科学与技术,2018,41（S2）：29-32. Zhang Wei, Yang Xiaojun, Zhong Lele, et al. Soil remediation test of acidified and rich cadmium farmland in Yibin[J]. Environmental Science & Technology，2018，41（S2）：29-32.

宜宾某酸化富镉农田土壤修复试验

张巍 1,2， 杨晓军1,2， 钟乐乐1,2， 喻福涛1,2， 文涵睿1,2（1. 四川省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心,四川 成都 610081；  
2. 稀有稀土战略资源评价与利用四川省重点实验室,四川 成都 610081）

**摘 要：**针对宜宾某酸化富镉农田土壤的理化性质,通过实验室模拟修复试验、盆栽试验、田间试验开展了土壤修复工艺技术研究, 实现了受污染农田的修复治理。经过2a田间试验修复后，受污染农田土壤中有效态镉含量从0.311 mg/kg降低至0.171 mg/kg,降幅 45.02%,土壤pH值由3.93提高至5.26；所种植水稻亩产量由零增长至400 kg以上,稻米中镉含量平均值0.025 4 mg/kg,低于0.2 mg/kg食 品中重金属镉限量标准。

**关键词：**酸化； 富镉； 农田； 土壤修复

**中图分类号**：X53 **文献标志码:**A doi：10.19672/j.cnki.1003-6504.2018.S2.006 **文章编号：**1003-6504（2018）S2-0029-04

Soil Remediation Test of Acidified and Rich Cadmium Farmland in Yibin  
ZHANG Wei1,2, YANG Xiaojun1,2, ZHONG Lele1,2, Yu Futao1,2, WEN Hanrui1,2（1. Chengdu Analytical & Testing Center, Sichuan Bureau of Geology & Mineral Resources, Chengdu 610081, China;

2. Evaluation and Utilization of Strategic Rare Metals and Rare Earth Resource Key Laboratory of Sichuan Province, Chengdu 610081, China）

Abstract：According to the physical and chemical properties of the soil with acidified and cadmium rich farmland in Yibin, the study of soil remediation technology was carried out through laboratory simulated repair test, pot experiment and field experiment, and the remediation and treatment of contaminated farmland were realized. After 2 years of field experiment, the effective cadmium content in contaminated farmland decreased from 0.311 mg/kg to 0.171 mg/kg, the decrease was 45.02%, the soil pH value increased from 3.93 to 5.26, and the cultivated rice mu yield increased from zero to more than 400 kg, and the average cadmium content in rice was 0.025 4 mg/kg, which was lower than the heavy metal cadmium limit standard in 0.2 mg/kg food.

Key words：acidified；rich cadmium；farmland；soil remediation

随着矿产资源的大量开发利用,工业生产的迅 猛发展和各种化学产品、农药及化肥的广泛使用,不 同种类污染物通过各种途径进入环境,造成土壤,尤 其是农田土壤污染日益严重,严重威胁我国的粮食产 量及安全［1-5］。

宜宾市某受污染农田,为废弃煤矿产生的强酸性 废水污染灌溉水导致的耕地土壤污染。2015年,四川 省地质矿产勘查开发局成都综合岩矿测试中心对其 进行了环境初步调查，调查显示，土壤pH平均值为 3.93,土 壤 被严 重酸 化 ；土 壤中 总镉 含 量 在 0.37~ 1.65 mg/kg之间，平均值为0.554 mg/kg,为《土壤环境 质量标准》（GB 15618-1995）二级标准值（pH<6.5,镉 含量^0.3 mg/kg）的1.84倍，存在重金属镉污染风险。 造成当地主要农作物水稻和玉米已连续多年绝收，耕 地荒废，农民经济损失较大。

2015-2017 年，成都综合岩矿测试中心组织研发 人员针对宜宾污染目标区域的土壤性质，开展了土壤 调理剂的研发及土壤修复技术研究。根据污染目标 区域的土壤性质，成都综合岩矿测试中心以石灰、某 种类改性黏土矿物材料、含磷材料、硅肥为基材开发 出新型土壤调理剂“施钝一号”。向污染土壤中施加 土壤调理剂“施钝一号”后，通过 4 种基材各自的功能 特性和深度协同作用，一方面调整土壤 pH 值至适宜 于农作物生长的范围；另一方面通过吸附、沉淀、络 合、离子交换和氧化还原等一系列反应，促使土壤中 重金属镉形态由可交换态转化为有机物结合态和残

**《环境科学与技术》编辑部：（**网址）http://fjks.chinajournal.net.cn（电话）027-87643502（电子信箱）hjkxyjs@vip.126.com **收稿日期：**2018-07-11 ；修回2018-09-25

**基金项目：**四川省重点研发计划项目（2017NZ0045）;成都市科技惠民项目（2016-HM01-00421-SF）

**作者简介:**张巍（1987-），男，硕士，工程师**，主**要从事土壤修复研究,（电子信箱）349975166@qq.com。

| 项目 | Cr | Cu | Zn | As | Cd | Hg | Pb | Ni |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 含量/(mg・kg-1) | 115.075 | 60.14 | 116.4 | 16.61 | 0.554 | 0.11 | 36.025 | 62.115 |

表 1 试样土壤重金属含量

表2 试样总镉、有效镉及pH测试结果

项目 Cd/(mg・kg-1) 有效态Cd/(mg・kg-1) pH值

含量 0.554 0.311 3.93

渣态，从而降低重金属镉的生物有效性和可迁移性， 保证农产品符合国家食品安全标准［6］。经过实验室试 验、盆栽试验和田间试验最终成功解决了受污染农田 的修复治理难题。

1. 材料与方法
   1. 试验材料 供试土壤样采自宜宾污染农田，样品的采集和制

备依照《土壤环境监测技术规范》(HJ/T 166-2004)。

从表1、表2中可以看出，土壤主要为重金属镉 (Cd)污染*，*总Cd含量为0.553 mg/kg，有效态Cd含量 为0.311 mg/kg，pH值3.93，为强酸性轻中度镉污染土 壤，现场调查发现该区块农田已连续多年绝收。

土壤重金属污染风险不仅与重金属全量有关，更 与其存在形态密切关联。一些专家研究认为［7］，形态 分析是生物有效性的基础，而生物有效性是形态分析 的延伸。目前大多数生物有效性的研究方法是通过 采用20 mx20 m网格法布点采样,采样深度0~0.2 m, 共采集样品8 件。样品采集后置于风干室中，适时压 碎、翻动，拣出杂物。风干后的样品粗磨过2 mm筛， 每件样品取等质量均匀混合作为试验样品。试验样 品经过粗磨过孔径20目尼龙筛，用于土壤pH、元素有 效态分析；细磨过孔径100目筛，用于土壤元素全量分 析。土壤重金属含量分析结果见表1,有效态镉(Cd) 含量及土壤pH值分析结果见表2，镉(Cd)形态分析 结果见表 3。

确定污染物在环境中的形态和分布，再将这些形态分 布与生物体中污染物的富集量通过单元回归或多元 回归等进行统计分析。表3为采用Tessier［8］五步连续 提取法测得的重金属镉(Cd)在供试土壤中的形态分 布，将重金属赋存形态分为可交换态、碳酸盐结合态、 铁锰氧化物结合态、有机物结合态和残渣态。该方法 是目前研究最彻底、应用最广泛的重金属形态分析方 法。表3显示，供试稻田土壤重金属镉各形态分布率 由高到低关系依次为：可交换态＞残渣态＞铁锰氧化物 结合态＞碳酸盐结合态＞有机物结合态，其中，可交换 态占比达到44.98%，具有较高的生物可给性。

表3 土壤中重金属镉(Cd)形态分布

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 项目 | 可交换态 | 碳酸盐结合态 | 铁锰氧化物结合态 | 有机物结合态 | 残渣态 | 总计 |
| 含量/(mg・kg-1) | 0.249 | 0.042 | 0.065 | 0.062 | 0.136 | 0.554 |
| 分布率/% | 44.98 | 7.58 | 11.73 | 11.24 | 24.47 | 100.00 |

* 1. 试验方法
     1. 实验室模拟修复试验

本试验旨在实验室中模拟真实农田土壤环境，对 施钝一号”的土壤修复效果进行优化验证。

称取供试污染土壤100 g，分别按照土壤样品质 量的1%、2%、3%、4%、添加“施钝一号”土壤调理剂并 混合均匀；通过加水方式，模拟保持田间最大持水量 80%；在玻璃器皿中静置养护7 d；每组试验设置3组 平行样；7 d后取土样，自然风干，过2 mm筛后，制样 送检。

* + 1. 盆栽试验

为了验证施钝一号土壤调理剂对农作物的影响， 开展了实验室盆栽试验。选取大小合适同一规格的 塑料桶，加入相同重量的受污染土壤，高度20 cm。编 号A、B组，种植水稻。其中A组为对照组,B组施加 土壤质量3%(实验室模拟修复试验结果最优)的土壤 调理剂，同一编号重复3个处理。待水稻成熟期，采集 水稻植株送检分析。

* + 1. 田间试验

田间试验的目 的在于验证土壤调理剂施钝一 号在大田自然环境条件下应用效果及推广应用前 景。成都综合岩矿测试中心分别于2016年和2017年 以一地 2 年的方式，在宜宾开展田间试验，试验田共 1 733.33 m2，种植水稻*。*按每 666.67 m2 300 kg 投放土 壤调理剂，翻耕养护3 d后栽种水稻。土壤调理剂撒 施方法按图1 的流程进行。

水稻栽种结束后，委托当地有经验的农民对试验 田进行管理。待水稻收割季节，采集修复后的土壤及 成熟的农作物样品送检分析。

* + 1. 有效态Cd的提取和测定

土壤有效态Cd按照《土壤质量有效态铅和镉的 测定原子吸收法》(GB/T 13739-2009)进行测定。

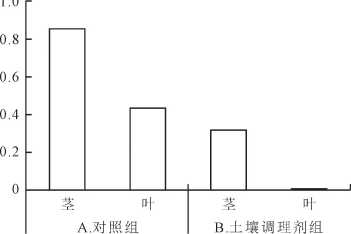
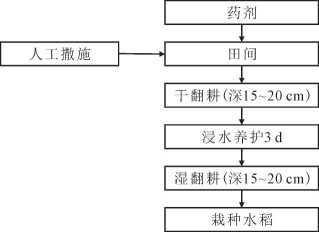
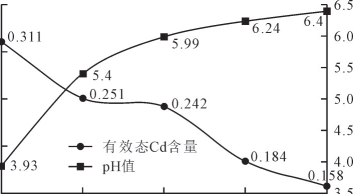
* + 1. 土壤pH值的测定

图1田蘭试验工艺流程

析水稻植株的茎和叶。试验结果见图3所示。

土壤pH值的测定采用《土壤检测第2部分:土壤 pH 值的测定》(NY/T 1121.2-2006)。

1. 结果与讨论
   1. 试验室模拟修复试验

廻

*9*

试验结果如图2所示。

厂 0.35

to

苣0 30

嗣

驾 0.25

滦 0.20 憧

+1 0.15 ...

0 12 3 4

土壤调理剂用量/%

图2 土壤调理剂用量与土壤有效态Cd含量及  
土壤pH变化关系

从试验结果来看，添加土壤调理剂后，土壤中有 效态Cd含量随着土壤调理剂用量的增加而降低，降 幅最高达49.06%； 土壤pH值随着土壤调理剂用量的 增加而升高，由原土的强酸性(pH=3.93)提高至适宜农 作物生长的弱酸性(pH=6.4)。试验表明施钝一号土壤 调理剂实现了修复宜宾酸化富镉农田土壤的效果，一方 面提高了土壤pH值，另一方面降低土壤中重金属镉的 生物有效性，综合性能良好。综合考量试验效果和经 济成本，土壤调理剂适宜用量为供试土壤质量的3%。

* 1. 盆栽试验

由于盆栽试验所得稻米产量较少，本次试验仅分

图3盆栽试验指标对比

盆栽试验结果表明，施钝一号土壤调理剂,可有效 阻止重金属镉从土壤向植物体内迁移，降低了水稻植株 茎、叶中镉的含量。与对照组相比，施加土壤调理剂可 使水稻茎中镉含量由0.860 mg/kg降至0.322 mg/kg， 叶中的镉含量由0.438 mg/kg降至0.009 mg/kg。

图4为盆栽试验水稻分蘖初期A组空白对照(左 侧3盆)与B组施加土壤调理剂(右侧3盆)，水稻生长 情况对比图。从图4看出，二者生长状况差异显著。

田间试验结果见表4、表5所示，所列数据皆为多 点取样检测值的平均。

2.3 田间试验

从表4和表5可以看出，经过2 a的持续修复改 良，土壤中有效态Cd含量得到大幅降低，从2015年 修复前的0.311 mg/kg降低至2017年修复后的0.171 mg/kg，降幅达45.02% ； 土壤pH值由3.93提高至5.26， 土壤对于农作物生长的适宜性得到大幅提高；水稻产量 达到6 330 kg/hm2；稻米中的镉含量为0.025 4 mg/kg，

表 4 宜宾田间试验土壤指标

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 田间修复试验时间 | 有效态Cd含量/(mg • kg-1) | 有效态Cd降幅/% | pH值 |
| 2017年修复后 | 0.171 | 45.02 | 5.26 |
| 2016年修复后 | 0.234 | 24.76 | 5.05 |
| 2015年修复前 | 0.311 | - | 3.93 |

表 5 宜宾田间试验农作物及产品指标

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 田间修复试验时间 | 水稻根中Cd/(mg・kg-1) | 水稻茎叶中Cd/(mg・kg-1) | 糙米中Cd/(mg・kg-1) | 稻米产量/(kg・hm-2) |
| 2017年修复后 | 0.285 | 0.107 | 0.025 4 | 6 330 |
| 2016年修复后 | 0.332 | 0.179 | 0.041 | 4 785 |
| 2015年修复前 | - | - | - | 0 |

远低于0.2 mg/kg 的国家食品中重金属限量标准。

1. 结论
2. 宜宾市受污染农田土壤 pH 值为 3.93，总镉含 量0.553 mg/kg，有效镉含量为0.311 mg/kg；为严重酸 化富镉土壤，土壤污染导致农田连续多年绝收。
3. 经过2a田间试验持续修复，受污染农田土壤 中有效态Cd含量从0.311 mg/kg降低至0.171 mg/kg, 降幅 45.02%，土壤 pH 值由 3.93 提高至 5.26；所种植水 稻产量由零增长至6 330 kg/hm2,稻米中镉含量平均 值0.025 4 mg/kg,低于0.2 mg/kg的国家规定的食品中 重金属限量标准。
4. 试验结果证明,成都综合岩矿测试中心所研 发的土壤调理剂“施钝一号”能够有效实现该类型土 壤污染的修复改良,具备良好的应用前景。

[参考文献]

1. 陈卫平,杨阳,谢天,等. 中国农田土壤重金属污染防治挑 战与对策[J]. 土壤学报,2018,5(2):261-272.

Chen Weiping, Yang Yang, Xie Tian, et al. Challenges and countermeasures for heavy metal pollution control in farm­lands of China[J].Acta Pedologica Sinica, 2018,55(2):261- 272.

1. 刘晨,贾凤安,吕睿 . 我国耕地重金属污染现状及固氮菌 在其修复中的作用[J].江苏农业科学，2018,46(3):21- 27.

Liu Chen, Jia Fengan, Lyu Rui, et al. China's farmland heavy metal contaminate situation and effect of azotobacter in its remediation[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2018,46

1. :21-27.
2. 蔡美芳,李开明,谢丹平,等 . 我国耕地土壤重金属污染现 状与防治对策研究[J].环境科学与技术，2014,37(S2): 223-230.

Cai Meifang, Li Kaiming, Xie Danping, et al. The status and protection strategy of farmland soils polluted by heavy met- als[J]. Environmental Science & Technology, 2014,37(S2): 223-230.

1. 陈桂荣,曾向东,黎巍. 金属矿山土壤重金属污染现状及修 复技术展望[J].矿产保护与利用，2010(2):41-44.

Chen Guirong, Zeng Xiangdong, Li Wei, et al. Overview on current situation of heavy metal pollution in soils and reme­diation technology of contaminated soils in metal mines[J]. Conservation and Utilization of Mineral Resources, 2010(2): 41-44.

1. 张继舟,王宏韬,倪红伟,等 . 我国农田土壤重金属污染现 状、成因与诊断方法分析[J]. 土壤与作物，2012,(4):212- 218.

Zhang Jizhou, Wang Hongtao, Ni Hongwei, et al. Current situation, sources and diagnosis method analysis of heavy metal contamination in agricultural soils[J]. Soil and Crop, 2012, 1(4):212-218.

1. 徐露露,马友华,马铁铮,等 . 钝化剂对土壤重金属污染修 复研究进展[J].农业资源与环境学报，2013,0(6):25- 29.

Xu Lulu, Ma Youhua, Ma Tiezheng, et al. Passivating agents on remediation of heavy metal pollution in soils[J]. Journal of Agricultural Resources and Environment, 2013, 30(6)：25-29.

1. 王陈丝丝,马友华,于倩倩,等. 钝化剂对农田土壤重金属 形态与其稳定性影响研究[J].中国农学通报，2016,32 (1)：172-177.

Wang Chensisi, Ma Youhua, Yu Qianqian, et al. Effect of passivation agent on morphology and stability of heavy met­als in cropland soil[J]. Chinese Agricultural Science Bulle­tin, 2016,32(1)：172-177.

1. Tessier A, Campbell P G C, Bisson M, et al. Sequential ex­traction procedure for the speciation of particulate trace met- als[J]. Journal of Analytical Chemistry, 1979,51(7):844-851.