

降砷修复剂对砷污染稻田的影响

袁海伟^{1,2}, 胡露^{2*}, 唐守寅², 熊琪², 田一君², 吴霄霄², 董帅厅²

(1. 农业农村部产地环境污染防治重点实验室, 天津市农业环境与农产品安全重点实验室, 农业农村部环境保护科研监测所, 天津 300191; 2. 环保桥(湖南)生态环境工程股份有限公司, 湖南长沙 410205)

摘要 为治理砷污染稻田土壤, 选取湖南省石门县某砷污染稻田, 通过小区对比试验, 研究降砷修复剂(硅灰石+沸石+氯化铁)对早、晚稻田土壤理化性质、稻谷产量、土壤中有效态砷及稻谷中无机砷含量等的影响。结果表明, 在降砷修复剂 2 250、3 750 kg/hm² 的施用水下, 早稻土壤 pH 能提高 0.28~0.40, 土壤阳离子交换量增加 6.86~12.03 cmol/kg, 有机质增加 9.25~18.16 g/kg; 晚稻土壤 pH 能提高 0.32~0.45, 土壤阳离子交换量增加 8.17~12.06 cmol/kg, 有机质增加 10.80~19.91 g/kg; 施用降砷修复剂, 早稻土壤有效态砷含量分别降低 36.94%、55.93%, 晚稻土壤有效态砷含量分别降低 53.21%、63.02%; 早稻稻米中无机砷含量分别降低 75.59%、85.04%, 晚稻稻米中无机砷含量分别降低 79.03%、89.76%, 均达到国家食品污染物限量标准; 同时, 施用降砷修复剂能在一定程度上提高稻谷的产量, 早稻稻谷产量增加 3.76%、6.82%, 晚稻稻谷产量增加 8.52%、11.93%。总体来看, 降砷修复剂在晚稻上的修复效果要优于早稻。

关键词 降砷修复剂; 砷; 有效态; 土壤; 稻谷

中图分类号 X 53 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2020)12-0063-04

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.12.018

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Effects of Arsenic-reducing Repair Agent on Arsenic-contaminated Rice Fields

YUAN Hai-wei^{1,2}, HU Lu², TANG Shou-yin² et al (1. Key Laboratory of Environmental Pollution Prevention and Control, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin Key Laboratory of Agricultural Environment and Agricultural Product Safety, Agro-Environmental Protection Institute, Ministry of Agriculture and Rural Affairs, Tianjin 300191; 2. Climate Bridge (Hunan) Eco-Environmental Engineering Co., Ltd., Changsha, Hunan 410205)

Abstract In order to remediate the soil contaminated by arsenic, the paddy soil in Shimen County Hunan Province were selected. It was investigated for remediation effect of the arsenic reducing repair agent (wollastonite + zeolite + ferric chloride) on soil physical and chemical properties, rice yield, bioavailable arsenic in soil and arsenic contents in early and late rice. The results showed that, under 2 250 and 3 750 kg/hm² arsenic reducing repair agent, the soil pH increased 0.28 – 0.40 units, soil CEC increased 6.86 – 12.03 cmol/kg, organic matter increased 9.25–18.16 g/kg in early rice; the soil pH increased 0.32 – 0.45 units, soil CEC increased 8.17 – 12.06 cmol/kg, organic matter increased 10.80 – 19.11 g/kg in late rice; the contents of available cadmium and available arsenic in early rice soil decreased by 36.94% and 55.93%, in late rice soil decreased by 53.21% and 63.02%. And, the content of inorganic arsenic in early rice grain decreased by 75.59% and 85.04%, in late rice grain decreased by 79.03% and 89.76%, respectively, which achieved the national food pollutant limit standard. At the same time, the application of soil restoration agent could improve the rice growth and yield to a certain extent, and the rice yield in early rice increased by 3.76% and 6.82%, in late rice increased by 8.52% and 11.93%. In general, the effect of arsenic reducing repair agent on late rice was higher than that on early rice.

Key words Arsenic-reducing repair agent; Arsenic; Availability; Soil; Rice

《全国土壤污染状况调查公报》显示, 全国土壤污染总超标率达 16.1%, 耕地土壤点位超标率 19.4%, 其中在 8 种无机污染物中, 砷(As)的点位超标率排第三, 达 2.7%^[1]。As 被公认为是有毒元素之一, 具有隐蔽性、长期性、不可逆性的特点, 它主要来源于砷化物的开采和冶炼、含砷农药的生产和使用及煤的燃烧等^[2]。土壤中过量的 As 会严重阻碍植物的生长发育, 危害植物的正常生长, 如抑制根系的活性、降低蒸腾速度、阻碍植物对水分的吸收等^[3]。另外, 土壤中 As 一旦受污染, 会通过食物链的传播进入人体内, 人体吸收过量的 As 会诱发皮肤癌及导致肾、肝、膀胱等内脏器官的癌变。据报道, 湖南郴州、石门等地近年来发生了严重的 As 污染中毒事件, 导致上百人患癌死亡^[4-5]。因此, 减少或消除土壤 As 的污染和毒害成为了当前环境学科领域的重点。

研究发现, 向土壤中施加含铁材料如氯化铁、氯化亚铁后, 含铁材料能生成铁氧化物或氢氧化物, 吸附土壤中的 As, 随之其表面的 OH⁻、OH₂⁺ 等基团被 As 取代, 生产难溶的次级氧化态矿物^[6-9]。在土壤中最大添加量为 8.00 g/kg 时, 氯化铁、氯化亚铁分别使易溶态砷比对照降低了 86.4%、63.6%, 使毒性浸出 As 比对照降低 96.3%、88.9%^[10]。向土壤中添加吸附剂材料如活性炭、硅灰石、白云石等黏土矿物, 一方面能作为吸附材料吸附土壤中的 As, 吸附材料表面积越大, 单位表面积上的有效吸附点位越多, 吸附效果越好; 另一方面能通过提升土壤 pH, 从而降低重金属的活性^[11]。向土壤中添加沸石, 由于沸石具备表面粗糙、比表面积大、孔隙率高、吸附能力强、比重小以及热稳定好等性能特点, 可以有效地去除土壤中的重金属, 如镉、砷、铅等^[12-13]。

基于前人的研究成果, 环保桥(湖南)生态环境工程股份有限公司研发团队自主研发了一种由硅灰石、沸石、氯化铁溶液等按一定比例组成的降砷修复剂, 用于修复 As 污染土壤。将该修复剂施用于 As 污染的水稻田土壤中, 通过小区试验, 研究修复剂对土壤理化性质、稻谷产量、土壤中有效态 As 含量及稻谷中无机 As 含量的影响。

基金项目 农业农村部产地环境污染防治重点实验室/天津市农业环境与农产品安全重点实验室开放基金“镉、砷复合污染耕地土壤高效修复产品的研发”; 长沙市科技计划(kh1801224); 四川省重大科技专项(2018SZ0029)。

作者简介 袁海伟(1983—), 男, 河南开封人, 助理研究员, 硕士, 从事重金属污染修复研究。*通信作者, 工程师, 硕士, 从事重金属污染修复研究。

收稿日期 2019-11-14; **修回日期** 2019-12-24

1 材料与方法

1.1 降砷修复剂的制备 降砷修复剂由环保桥(湖南)生态环境工程股份有限公司自主研发,由硅灰石、沸石、氯化铁溶液等按一定比例组成。其中,硅灰石有效钙含量 $\geq 20\%$,由湖南省湘潭县某石灰厂提供;沸石的阳离子交换量(CEC) ≥ 200 cmol/kg,比表面积 ≥ 200 m²/g,由宁乡县某矿石粉厂提供;氯化铁溶液的浓度为1~4 mol/L,由郑州凯盈化工有限公司提供。

用粉碎机将硅灰石(有效钙含量为21.45%)和沸石(CEC=248 cmol/kg,比表面积=261 m²/g)分别粉碎成颗粒过35目尼龙筛。称取200 g过35目尼龙筛的硅灰石颗粒和200 g过35目尼龙筛的沸石颗粒加入到1 200 g的浓度为1 mol/L氯化铁溶液中。开启搅拌机和超声波2 h,使氯化铁成分充分浸渍负载到硅灰石和沸石颗粒上。通过过滤将浸渍氯化铁的硅灰石和沸石颗粒从混合物中分离出来,置于烘干机中(70 ℃)烘干12 h(含水量0.69%)。然后用球磨机对负载氯化铁的硅灰石和沸石的混合颗粒进行研磨,过200目筛,即得到所述的用于降低As污染地区农作物中As含量的降砷修复剂,技术指标分别为全铁含量32.50 g/kg、有效硅8.48%、比表面积208.00 m²/g、粒度(<0.075 mm)99.20%、含水量0.69%。

1.2 试验设计

1.2.1 试验场地。选取湖南省石门县某地开展水稻小区修复试验,试验分早晚稻两季进行,早稻种子(湘早籼31号)、晚稻种子(湘晚籼13号)均购自湖南亚华种子有限公司。供试土壤pH为5.78,土壤总As含量为226.1 mg/kg,有效态As含量为2.95 mg/kg,超过了我国《土壤环境质量农用地土壤污染风险管控标准(GB 15618—2018)》(土壤污染风险值总砷 ≤ 30 mg/kg),为重度污染土壤。

1.2.2 试验方法。小区大小为4 m $\times$ 5 m,用高30 cm、宽30 cm的田埂分隔,田埂上敷农膜,小区单排单灌,防止互相串水、串肥。设置2个田块,一个田块用于早稻种植,一个田块用于晚稻种植,每个田块设置3个处理。处理①(CK):不施用任何修复产品;处理②:施用环保桥(湖南)生态环境工程股份有限公司自主研发的降砷修复剂2 250 kg/hm²;处理③:施用环保桥(湖南)生态环境工程股份有限公司自主研发的降砷修复剂3 750 kg/hm²。3个处理均按当地习惯方法种植。每个处理设置3个重复,共9个小区。其中降砷修复剂的使用方法如下:在水稻移栽前5 d,将降砷修复剂分别按照2 250、3 750 kg/hm²均匀撒施到处理组的稻田土壤表面,利用旋耕机将修复剂与土壤搅拌均匀,灌水至淹水状态,淹水厚度5 cm,熟化,然后进行水稻移栽,各处理施肥水平与其他田间管理措施保持完全一致。

(1)样品的采集与分析。土壤、稻谷样品于收获前1~3 d采集,样品采集采用五点取样法。每个分点植株鲜样重量不少于0.4 kg,5分点植株混合成不少于2.0 kg,装入网袋中保存,并编号。同时原位采集土壤样品2.5 kg。采集的水稻植株样品带回实验室风干处理后将水稻籽粒分离出来,

70 ℃烘至恒量,粉碎过100目筛备用。土壤样品风干后过2 mm尼龙筛,然后装入塑料袋备用。

(2)土壤基本理化性质测定。土壤常规理化性质参照《土壤农业化学分析方法》^[14]中的方法测定。土壤pH采用1:2.5的土水比,用酸度计进行测定;土壤有机质采用H₂SO₄-K₂CrO₇外加加热法测定;土壤As有效态含量参照张传琦等^[15]的方法测定;稻谷中无机As含量根据GB 5009.11—2014方法测定。

1.3 数据分析 数据采用Microsoft Office Excel 2003和SPSS 17.0软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 降砷修复剂对土壤理化性质的影响 由表1~2可知,降砷修复剂添加后能对土壤pH、CEC和有机质含量产生影响。在早稻中,与处理①(CK)相比,处理②、处理③分别使土壤pH升高0.28、0.40,土壤CEC分别增加6.86、12.03 cmol/kg,有机质分别增加9.25、18.16 g/kg。在晚稻中,与处理①(CK)相比,处理②、处理③分别使土壤pH升高0.32、0.45,土壤CEC分别增加8.17、12.06 cmol/kg,有机质分别增加10.80、19.91 g/kg。

表1 降砷修复剂添加后早稻土壤理化性质

Table 1 Soil physical and chemical properties after adding arsenic-reducing repair agent in early rice

处理 Treatment	pH	阳离子交换量 CEC//cmol/kg	有机质 OM//g/kg
①(CK)	5.82	28.26	36.53
②	6.10	35.12	45.78
③	6.22	40.29	54.69

表2 降砷修复剂添加后晚稻土壤理化性质

Table 2 Soil physical and chemical properties after adding arsenic-reducing repair agent in late rice

处理 Treatment	pH	阳离子交换量 CEC//cmol/kg	有机质 OM//g/kg
①(CK)	5.83	29.19	35.42
②	6.15	37.36	46.22
③	6.28	41.25	55.33

2.2 降砷修复剂对水稻产量的影响 降砷修复剂的施用对水稻的产量产生了一定的影响。试验结果表明,早稻、晚稻中,相对于未使用降砷修复剂稻田,在施用降砷修复剂后水稻的产量有所增加。不同处理下,早稻产量分别增加0.7、1.3 kg/小区,增产幅度分别为3.76%、6.99%(表3)。晚稻产量分别增加1.5、2.1 kg/小区,增产幅度分别为8.52%、11.93%(表4)。

2.3 降砷修复剂对稻田土壤中有效态砷含量的影响 处理与对照的稻田土壤中有效态As含量对比(图1)显示,早稻季,处理①(CK)的土壤有效态As含量为2.95 mg/kg,处理②、处理③的土壤有效态As含量分别为1.86、1.30 mg/kg,较处理①(CK)分别降低36.94%、55.93%。晚稻季,处理①(CK)的土壤有效态砷As量为2.65 mg/kg,处理②、处理③的土壤有效态As含量分别为1.24、0.98 mg/kg,较处理①(CK)

分别降低 53.21%、63.02%。各处理组间存在显著性差异 ($P<0.05$),这说明降砷修复剂可以有效降低土壤中 As 的有效

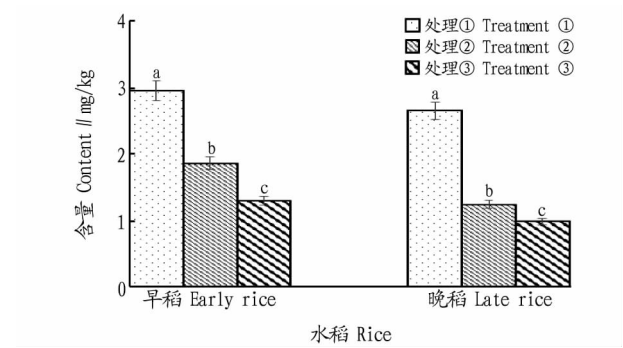
性,且晚稻的修复效果大于早稻。

表 3 不同处理对水稻早稻产量的影响

处理 Treatment	小区产量 Plot yield//kg/小区				与 CK 组比较 Compared with CK group	
	I	II	III	平均 Average	增产 Increase yield//kg/小区	增幅 Increasing range//%
①(CK)	18.3	19.5	17.9	18.6	—	—
②	19.1	19.8	18.9	19.3	0.7	3.76
③	20.1	19.7	19.8	19.9	1.3	6.99

表 4 不同处理对水稻晚稻产量的影响

处理 Treatment	小区产量 Plot yield//kg/小区				与 CK 组比较 Compared with CK group	
	I	II	III	平均 Average	增产 Increase yield//kg/小区	增幅 Increasing range//%
①(CK)	18.2	17.3	17.4	17.6	—	—
②	18.6	19.5	19.1	19.1	1.5	8.52
③	19.4	20.1	19.7	19.7	2.1	11.93



注:不同字母表示 Duncan 检验多重比较处理间差异显著 ($P<0.05$)

Note:The different letters indicate that the Duncan test has significant difference between the multiple ($P<0.05$)

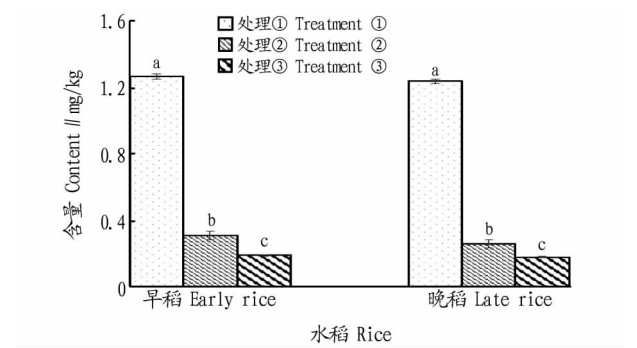
图 1 水稻土壤中有有效态砷含量

Fig.1 Available arsenic content in rice soil

2.4 降砷修复剂对稻米无机砷含量的影响 处理与对照的稻米中无机 As 含量对比(图 2)显示,早稻中,处理①(CK)的稻米中无机 As 含量为 1.27 mg/kg,超过《食品安全国家标准食品中污染物限量》(GB 2762—2017)中限制值 5.35 倍(无机 As ≤ 0.2 mg/kg);处理②、处理③稻米中无机 As 含量分别为 0.31、0.19 mg/kg,较处理①(CK)分别降低 75.59%、85.04%,其中处理②接近食品安全国家标准值,处理③低于食品安全国家标准值。晚稻中,对照的稻米中无机 As 含量为 1.24 mg/kg,处理②、处理③稻米中无机 As 含量分别为 0.26、0.13 mg/kg,较对照分别降低 79.03%、89.76%,这说明施用降砷修复剂可以有效降低早晚稻米中无机 As 的含量,且晚稻修复效果高于晚稻。

3 讨论

植物对 As 的吸收受诸多因素影响,如 pH、氧化 CEC、有机质以及离子间的作用等^[16-19]。通常情况下农作物只吸收土壤中的有效态重金属,不吸收全量重金属,而土壤 pH 是影响土壤重金属有效性的重要因素之一。在一定程度范围内,



注:不同字母表示 Duncan 检验多重比较处理间差异显著 ($P<0.05$)

Note:The different letters indicate that the Duncan test has significant difference between the multiple ($P<0.05$)

图 2 稻米中无机砷含量

Fig.2 Inorganic arsenic content in rice

pH 的提高能降低 As 的活性,但是提高到一定比例时 As 的活性会增强,所以需要将 pH 控制在一个较好的水平。降砷修复剂原料中含有硅灰石起到了调节 pH 的作用,通过控制硅灰石的量,早稻中 pH 提高了 0.28~0.40,晚稻中 pH 提高了 0.32~0.45,达到了降低 As 含量的效果。另外,随着土壤硅灰石中的有效硅缓慢释放,硅与 3 价 As 形成竞争吸收关系,从而降低土壤中有有效态 As 的含量。硅还可以增加水稻细胞壁厚度,降低细胞膜透性,阻碍重金属向籽粒的转移。同时,硅作为水稻重要的营养元素,有利于增加水稻的光合作用,提高水稻抗倒伏和根系氧化能力,增加水稻产量、提高水稻的品质^[20]。

降砷修复剂在施入土壤并加水熟化后,其中的降砷修复颗粒所含的氯化铁在土壤环境作用下会很快释放,生成铁氧化物或氢氧化物,铁氧化物或氢氧化铁聚集发生絮凝作用,在此过程中可以吸附土壤中的 As,被吸附的 As 随之其表面的配位羟基或配位水合基等基团发生交换或取代,生成非晶态的砷酸铁沉淀或难溶的次生矿物^[21],从而造成 As 的有效

态含量降低。在氯化铁释放的同时,由于沸石具有巨大的比表面积,沸石会强烈吸附土壤溶液中残余的砷酸根离子、亚砷酸根离子^[22],降低土壤中 As 有效态含量,进一步降低农作物中无机 As 的含量。另外,降砷修复剂还可以通过离子拮抗、营养平衡等其他途径抑制水稻根部对土壤中 As 的吸收,影响农作物对 As 的富集。

土壤氧化还原电位(Eh)是影响土壤 As 赋存形态和生物有效性的重要因素,稻田土壤 Eh 主要受水分条件影响,淹水可促进土壤 Eh 的降低,使铁(氢)氧化物被还原溶解,As(V)被还原成 As(Ⅲ),As 生物有效态显著升高,大量的 As 被释放到土壤溶液中,促进了作物对土壤 As 的吸收^[23]。早稻较晚稻而言,雨水较多,大多时候处于淹水状态,所以 As 生物有效态较高,且大量的 As 被释放到土壤溶液中,从而导致早稻土壤中 As 有效态高于晚稻土壤,且稻谷中的无机 As 含量也高于晚稻稻谷。

因此该研究中,从产品效果来看,降砷修复剂融合了石灰石、沸石、氯化铁溶液等多种原料,加入土壤后能有效地降低土壤中有效态 As 及稻谷中无机 As 的含量,并能一定程度地提高水稻产量。从产品施用量来看,3 750 kg/hm² 的修复效果相对高于 2 250 kg/hm²,这说明该研究中重度污染土壤更适宜施用 3 750 kg/hm² 的用量。

4 结论

施用降砷修复剂在早稻中能提高土壤 pH 0.28~0.40,土壤 CEC 增加 6.86~12.03 cmol/kg,有机质增加 9.25~18.16 g/kg;晚稻中能提高土壤 pH 0.32~0.45,土壤 CEC 增加 8.17~12.06 cmol/kg,有机质增加 10.80~19.91 g/kg。

施用降砷修复剂能在一定程度上提高稻谷的产量。在 2 250、3 750 kg/hm² 的施用量下,早稻稻谷产量分别增加 3.76%、6.99%,晚稻稻谷产量分别增加 8.52%、11.93%。

施用降砷修复剂能有效地降低土壤有效态砷含量及稻谷中无机砷含量。在 2 250、3 750 kg/hm² 的施用量下,早稻土壤有效态 As 含量分别降低 36.94%、55.93%;晚稻土壤有效态 As 含量分别降低 53.21%、63.02%。早稻稻米中无机 As 含量分别降低 75.59%、85.04%,晚稻稻米中无机 As 含量分别降低 79.03%、89.76%,达到国家食品污染物限量标准。

总体来看,降砷修复剂在 3 750 kg/hm² 施用量的修复效果高于 2 250 kg/hm²,晚稻的应用效果高于早稻。因此该降砷修复剂在有效降低农田土壤中 As 活性的基础上,可同时

显著降低农产品中无机 As 的含量,并能适当地提高水稻的产量,在农田重金属修复过程中,可以根据土壤污染状况适量地施用该降砷修复剂治理 As 污染土壤。

参考文献

- [1] 环境保护部.全国土壤污染状况调查公报正式公布[J].中国环境管理,2014,6(2):26.
- [2] 牛凯莉,刘向昭,朱天明,等.重金属对粮食的危害及防治[J].现代食品,2018(5):12-13,16.
- [3] 杨胜利,王文科,张威,等.砷污染生态效应及水土体系中砷的治理对策研究[J].地球科学与环境学报,2004,26(3):69-73.
- [4] 朱天舒,秦晓微.城镇化路径:转变土地利用方式的根本问题[J].地理科学,2012,32(11):1348-1352.
- [5] 谢柄庚,李晓青.湖南农村土地利用现状及对策初探[J].经济地理,2001,21(6):723-726.
- [6] 赵慧敏.铁盐、生石灰对砷污染土壤固定、稳定化处理技术研究[D].北京:中国地质大学(北京),2010.
- [7] ZHAO H S,ROBERT S.Competitive adsorption of phosphate and arsenate on goethite[J].Environmental science & technology,2001,35(24):4753-4757.
- [8] KUMPIENI J,LAGERKVIST A,MAURICE C.Stabilization of As,Cr,Cu,Pb and Zn in soil using amendment-A review[J].Waste management,2008,28(1):215-225.
- [9] LUO L,ZHANG S Z,SHAN X Q,et al.Arsenate sorption on two Chinese red soils evaluated using macroscopic measurements and extended X-ray absorption fine-structure spectroscopy[J].Environmental toxicology and chemistry,2006,25(12):3118-3124.
- [10] 胡立琼,曾敏,雷鸣,等.含铁材料对污染水稻土中砷的稳定化效果[J].环境工程学报,2014,8(4):1599-1604.
- [11] 汪洪洋,吴涛.活性氧化铝吸附在水体砷污染应急处置中的应用[J].环境科技,2009,22(5):28-31.
- [12] 詹予忠,杨向东,章培培,等.改性斜发沸石吸附除水中铬(VI)的研究[J].中国矿业,2006,15(8):57-59,62.
- [13] 王学松,胡海琼,王静,等.钠型丝光沸石吸附水溶液中铜离子平衡及动力学研究[J].科技导报,2006,24(11):31-36.
- [14] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业出版社,1999.
- [15] 张传琦,程丽娅,黄勤,等.ICP-MS 法测定土壤中有有效态砷的研究[J].分析实验室,2011,30(7):83-86.
- [16] 梁学峰,徐应明,王林,等.天然黏土联合磷肥对农田土壤镉铅污染原位钝化修复效应研究[J].环境科学学报,2011,31(5):1011-1018.
- [17] 刘昭兵,纪雄辉,王国祥,等.赤泥对 Cd 污染稻田水稻生长及吸收累积 Cd 的影响[J].农业环境科学学报,2010,29(4):692-697.
- [18] 王林,徐应明,孙扬,等.海泡石及其复配材料钝化修复镉污染土壤[J].环境工程学报,2010,4(9):2093-2098.
- [19] 朱奇宏,黄道友,刘国胜,等.改良剂对镉污染酸性水稻土的修复效应与机理研究[J].中国生态农业学报,2010,18(4):847-851.
- [20] 任海,付立东,王宇,等.硅肥与基本苗配置对水稻生长发育、产量及品质的影响[J].中国土壤与肥料,2019(1):108-116.
- [21] 黄鑫,高乃云,刘成,等.饮用水除砷工艺研究进展[J].净水技术,2007(5):37-41,70.
- [22] 蒋茂林.膨润土及其复合材料脱除模拟废水中砷(V)的试验研究[D].南宁:广西大学,2013.
- [23] 顾国平,章明奎.水分管理与秸秆还田对作物吸收土壤中砷的影响[J].安徽农学通报,2017,23(12):19-21,52.

(上接第 62 页)

- [7] 金长宏,欧江徽.基于 AHP 法的城镇土地集约化利用评价指标体系研究[J].池州学院学报,2016,30(2):41-44.
- [8] 阮履云.城市土地集约利用潜力分析:以贵州省毕节市为例[D].武汉:华中农业大学,2011.
- [9] 徐飞,张文开.基于权的最小平方方法的闽清县建设用地集约利用现状评

价[J].安徽农业大学学报,2010,37(4):766-771.

- [10] 郭爱请,葛京凤.河北省城市土地集约利用潜力评价方法探讨[J].资源科学,2006,28(4):65-70.
- [11] 聂辰席.创新驱动 融合发展 加快推进广播影视信息化[J].广播与电视技术,2013,40(10):16-18,13.
- [12] 葛全胜,董晓峰,毛其智,等.雄安新区:如何建成生态与创新之都[J].地理研究,2018,37(5):849-869.