

组配改良剂对土壤和水稻糙米重金属积累的影响

林晓燕, 熊云武, 裴东辉, 黄雷, 刘登彪, 任重*, 龚亚龙, 赵亮, 许建新

(深圳市铁汉生态环境股份有限公司, 广东深圳 518040)

摘要 [目的]研究组配改良剂对Cd污染稻田的修复效果。[方法]在湖南省长沙县春华镇污染稻田进行了组配改良剂的田间试验, 设4个处理, 分别为T₁:未添加改良剂(CK); T₂:生石灰(0.1%)翻耕整地时混施; T₃:TH01(0.4%) + 生石灰(0.1%)翻耕整地时混施; T₄:翻耕整地时混施TH02(0.4%), 分蘖前期撒施生石灰(0.1%)。研究添加改良剂对水稻产量、重金属含量和土壤重金属含量的影响。[结果]4个处理间水稻分蘖情况、子粒生物量差异不明显; T₃处理子粒的Cd含量最低, 且T₃、T₄处理水稻子粒的Cd含量分别降低了45.22%、38.14%, 而与T₂处理相比, T₃、T₄处理水稻子粒Cd含量分别降低36.16%、27.91%; 不同生长期水稻茎叶、根Cd含量与土壤醋酸铵Cd含量呈线性相关关系。[结论]可在孕穗期后水稻进入灌浆期前采取农艺措施或添加稳定剂降低稻田土壤醋酸铵Cd含量, 从而降低水稻子粒Cd含量。

关键词 Cd; 组配改良剂; 水稻; 土壤

中图分类号 S156 文献标识码 A 文章编号 0517-6611(2016)14-232-03

Effects of Improved Agent on Heavy Metal Accumulation in Soil and Brown Rice

LIN Xiao-yan, XIONG Yun-wu, PEI Dong-hui, REN Zhong* et al (Shenzhen Techand Ecology & Environment Co. Ltd., Shenzhen, Guangdong 518040)

Abstract [Objective] The aim was to study remediation effect of improved agent on Cd contaminated paddy soils. [Method] A field experiment of improved agent was conducted on a contaminated paddy soil in Chunhua Town, Changsha County, Hunan Province. Setting up 4 treatments, including T₁: without improved agent (CK); T₂: quick lime (0.1%), fertilizing in soil preparation process; T₃: TH01 (0.4%) + quick lime (0.1%), fertilizing in soil preparation process; T₄: TH02 (0.4%), fertilizing in soil preparation process, quick lime (0.1%) applying at early tillering stage. Effects of adding improved agent on rice yield, heavy metal content and soil heavy metal content were studied. [Result] Rice tiller and grain biomass had no significant difference among 4 treatments; Cd content was lowest in T₃ treatment, Cd content reduced 45.22% and 38.14% in T₃ and T₄, compared with T₂, Cd content reduced 36.16% and 27.91% in T₃ and T₄. In different growth period, stems, leaves and roots Cd content showed linear correlation with ammonium acetate Cd content. [Conclusion] In order to reduce brown rice Cd content, agronomic measures or adding passivator, could be implemented to reduce ammonium acetate Cd content in time after the booting stage of rice into the filling stage.

Key words Cd; Improved agent; Rice; Soil

湖南省作为我国“鱼米之乡”、“有色金属之乡”, 随着长期的矿业活动, 导致稻田和水稻受到严重的重金属污染^[1-3]。近年来, 镉米事件严重威胁人们的身体健康, 同时也造成了巨大的经济损失。因此, 对重金属污染稻田进行修复, 降低水稻中Cd含量, 使其符合食品标准, 是当前亟待解决的问题之一。近年来, 针对农田土壤重金属污染修复治理, 化学稳定化技术或化学改良技术成为研究热点^[4]。常用的改良剂有石灰、海泡石、钙镁磷肥、磷灰石、坡缕石和沸石等^[5-8]。针对单一改良剂降低土壤中重金属有效态含量的不同, 对土壤修复效果不同, 采用多种改良剂配施或组配已有一些研究报道。周歆等^[9]研究表明, 施用组配改良剂石灰石+海泡石可显著降低水稻糙米重金属含量, Cu、Pb和Cd最大降幅分别为37.4%、55.8%和66.9%。周航等^[10]研究表明, 组配改良剂碳酸钙+海泡石、羟基磷灰石+沸石均能显著降低土壤中Cu、Zn、Pb、Cd的生物有效性, 且土壤Cu、Pb、Cd的TCLP提取态含量与水稻根系和糙米中Cu、Pb、Cd的含量之间存在显著或极显著的正相关关系。刘维涛等^[11]

的盆栽试验表明, 组配改良剂石灰+鸡粪+过磷酸钙能显著降低小白菜地上部分中Pb和Cd含量。目前, 石灰因其可有效降低土壤重金属有效态含量, 且成本低廉, 在湖南长株潭重金属污染耕地修复试点已广泛应用。而对于其他改良剂, 更多的停留在实验室研究阶段, 大田应用研究较少。笔者在前人的研究基础上, 以生石灰为基础, 采用自主研发的改良剂TH01、TH02配合生石灰进行施用, 并设置不同阶段的施用方式, 进行大田试验研究, 研究不同改良剂对水稻生长的影响, 土壤重金属的稳定化效果及降低水稻重金属含量的作用, 以期修复Cd污染稻田提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况 试验田位于湖南省长沙县春华镇某污染农田, 属于亚热带季风性湿润气候, 具有春季低温多雨, 夏季高温光强, 秋季温和少雨, 冬季冷湿的特点, 年平均气温为17.2℃, 年均日照时数为1600h, 年平均降雨量1361mm。在试验过程中, 试验田均通过水渠引水灌溉。该试验田土壤基本理化性质: pH 5.64 ± 0.10, 全N含量0.150 ± 0.020 g/kg, 全P含量0.500 ± 0.030 g/kg, 全K含量3.830 ± 1.460 g/kg, 有机质含量17.020 ± 0.530 g/kg, 全Cd含量0.420 ± 0.030 mg/kg, 醋酸铵Cd含量0.113 ± 0.005 mg/kg。与国家土壤环境质量二级标准(GB 15618—1995)相比(Cd含量为0.300 mg/kg), 全Cd含量超标。

1.2 供试材料 供试改良剂: TH01、TH02为深圳市铁汉生

基金项目 广东省科技计划项目(2015B090904008); 广东省软科学研究计划项目(2014B090903015); 深圳市科技计划项目(CXZZ20140418105252027); 深圳市战略性新兴产业发展专项资金(发改办高技[2013]2556号); 广东省工程技术研究开发中心入库项目(粤科函政字[2013]1589号)。

作者简介 林晓燕(1988-), 女, 广东汕头人, 助理工程师, 硕士, 从事土壤污染与修复研究。*通讯作者, 工程师, 博士, 从事土壤污染与修复研究。

收稿日期 2016-04-22

态环境股份有限公司研制,其中,TH01 的主要成分为生物炭、铁粉、海泡石,TH02 的主要成分为生物炭、铁粉、海泡石、钙镁硅肥;生石灰,采购于浏阳市高坪镇鼎鑫石灰厂。供试复合肥:白俄罗斯牌(20-8-12),采购于江西开门子肥业集团有限公司。供试水稻:品种为玉针香,常规中熟晚粳,湖南省水稻研究所研制,育苗后进行移栽。

1.3 试验设计 试验设 4 处理, T_1 :未添加改良剂(CK); T_2 :0.1%生石灰,翻耕整地时混施; T_3 :0.4% TH01+0.1%生石灰,翻耕整地时混施; T_4 :翻耕整地时混施 0.4% TH02,分蘖前期撒施 0.1%生石灰。每处理 5 次重复,共 20 个试验小区。每小区面积为 7.00 m \times 2.86 m,随机排列。

1.4 田间管理 试验开始时,试验田不施任何肥,将田耕作耙平,实行单排单灌,每小区埂下宽 0.30 m,小区埂高出田面 0.10 m,小埂分 3 次做完,做 1 次沉实 1 次,做完小区埂后,在小区埂上盖质量好的地膜(地膜幅宽 0.80 m),防止小区间串肥串水。移栽前 1 周,分区基施复合肥,每小区施 1.5 kg,并将每处理施加改良剂到相应的小区中,人工用六齿耙将复合肥、改良剂均匀混入泥中并用木烫板烫平稻田。水稻种子浸种、催芽后,于 2015 年 6 月 18 日播种,7 月 15 日移栽,种植密度 20 cm \times 23 cm,每蔸移栽 4~5 株基本苗。在植物生长期按常规方法进行管理。

1.5 样品采集与分析测定

1.5.1 植物样品采集与分析测定。于水稻生长分蘖期,每 7 d 调查水稻分蘖情况,每个观察记载点定 8 蔸;于水稻成熟期收割、脱粒,调查每个小区子粒生物量。分别于种植前、分蘖期、孕穗期、灌浆期、成熟期采集每个小区水稻茎叶、根样品,并于成熟期采集每个小区子粒样品,采集时均按“S”型曲线采集 5 蔸,并混合成混合样,采集量 0.5~1.0 kg,装入塑料密封袋,做好标记,运回实验室。在实验室用自来水和去离子

水洗净,吸水纸吸干表面水。将茎叶、根样品置于烘箱内 105 $^{\circ}$ C 杀青 30 min,然后 65 $^{\circ}$ C、48 h 烘干,称重。子粒样品置于室外自然风干。茎叶、根用万能粉碎机磨细,过 0.25 mm 尼龙筛,子粒用稻谷脱壳机脱壳成糙米,各测 Cd 含量。植物重金属采用 HNO₃-HClO₄ 联合消煮(GB/T 5009.11-15-2003),且用原子吸收光谱法测定 Cd 浓度。

1.5.2 土壤样品采集与分析测定。分别于种植前、分蘖期、孕穗期、灌浆期、成熟期采集每个小区土壤样品,采集时各小区按“S”型曲线采集 5 点,采集深度 0~20 cm,并混合成混合样,采集量约 1 kg,样品采集后立即装入塑料密封袋,做好标记,运回实验室。在室内自然风干,除去土壤中的石块、植物根系和凋落物等,并研磨过 20、100 目尼龙筛,包装登记后保存,备测。土壤有机质、全 N、全 P、pH 参照《土壤农业化学分析方法》^[12],全 K、全 Cd 均采用 HCl-HNO₃-HF-HClO₄ 消煮-原子吸收光谱法测定(GB/T 17138-1997),Cd 有效态含量采用醋酸铵浸提法。

1.6 数据统计 数据用 Excel 2010 处理,采用 SAS 8.1 软件对数据进行多重比较,用 SPSS 19.0 统计分析软件进行相关性分析。

2 结果与分析

2.1 不同处理对水稻产量的影响 由表 1 可知,4 个处理间水稻分蘖情况、子粒生物量差异不明显,各处理的分蘖数和子粒生物量从大到小依次为 T_4 、 T_3 、 T_2 、 T_1 。这表明施加的改良剂有利于植物分蘖,从而提高水稻子粒生物量。这可能是因为改良剂 TH01、TH02 均含有生物碳,生物碳除具有吸附重金属的作用外,在土壤中也分解,促进植物生长,另外, T_4 处理改良剂 TH02 还含有钙镁硅肥,因此,植物生长较 T_3 处理好,产量较 T_3 处理高,水稻产量为 7 399.8 kg/hm²。

表 1 水稻分蘖数和子粒生物量

Table 1 Rice tiller number and grain biomass

| 处理 Treatment | 分蘖数 Tiller number | 小区子粒生物量 Plot grain biomass//kg | 产量 Yield kg/hm ² | 增产率 Yield incre- asing rate//% |
|-----------------|-------------------------|--------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|
| T_1 (CK) | 19.15 \pm 4.59a | 14.34 \pm 1.41a | 7 168.20 \pm 703.80a | — |
| T_2 | 19.25 \pm 2.19a | 14.44 \pm 1.04a | 7 219.50 \pm 521.70a | 0.72 |
| T_3 | 19.75 \pm 6.34a | 14.63 \pm 1.96a | 7 315.95 \pm 980.55a | 2.06 |
| T_4 | 19.88 \pm 6.31a | 14.80 \pm 1.26a | 7 399.80 \pm 627.75a | 3.23 |

注:同列相同字母表示无显著差异($P < 0.05$)。

Note:The same letters stand for no significant difference($P < 0.05$).

2.2 不同处理对水稻各部位重金属含量的影响 由表 2 可知, T_3 、 T_4 水稻子粒 Cd 含量明显低于 CK 和 T_2 ,子粒中 T_3 处理 Cd 含量(0.23 mg/kg)最低。与 CK 相比, T_3 、 T_4 子粒 Cd 含量分别降低了 45.22%、38.14%,与 T_2 相比, T_3 、 T_4 处理水稻子粒 Cd 含量分别降低了 36.16%、27.91%。

从水稻各部位而言,Cd 含量从大到小依次为根、茎叶、子粒,且 T_3 处理水稻茎叶和根 Cd 含量 4 个处理中最低,这可能是由于海泡石对降低糙米 Cd 含量的效果优于钙镁硅肥,也可能是 T_3 生石灰在种植前添加时为混施,与土壤的接

触面积比 T_4 生石灰在分蘖期撒施时大,对土壤有效态含量降低更明显。

2.3 不同处理对土壤 pH 和 Cd 含量的影响 从图 1 可见,各处理土壤的 pH 均呈先升高后降低的趋势,且均在孕穗期达到最大值后下降。灌浆期前及灌浆期,各处理土壤 pH 从大到小依次为 T_3 、 T_4 、 T_2 、 T_1 ,灌浆期后,各处理土壤的 pH 从大到小依次为 T_4 、 T_3 、 T_2 、 T_1 ,这可能是由于 T_4 为分蘖期撒施生石灰,与土壤接触面积较小,因此在撒施后并不能立即使土壤 pH 升高,但随着时间的延长,生石灰的碱性作用向下扩

散,因此在后期 T₄ 处理土壤的 pH 高于 T₃。

表2 不同处理水稻各部位 Cd 含量

Table 2 Cd content in each part of rice in different treatments

| 处理 Treatment | Cd 含量 Cd content//mg/kg(DW) | | |
|---------------------|-----------------------------|---------------|--------------|
| | 子粒 | 茎叶 | 根 |
| | Grain | Stem and leaf | Root |
| T ₁ (CK) | 0.42 ± 0.05a | 2.85 ± 0.67a | 4.82 ± 0.67a |
| T ₂ | 0.36 ± 0.10a | 2.76 ± 0.32a | 4.77 ± 0.81a |
| T ₃ | 0.23 ± 0.06b | 1.42 ± 0.31b | 3.68 ± 0.42a |
| T ₄ | 0.26 ± 0.04b | 2.27 ± 0.83ab | 4.32 ± 0.31a |

注:同列不同小写字母表示处理间差异显著(P < 0.05)。

Note: Different lowercases in the same column stand for significant difference(P < 0.05).

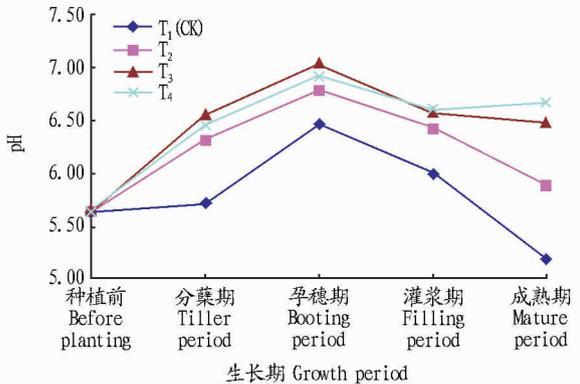


图1 不同处理各生长期土壤 pH 随时间的变化趋势

Fig. 1 The variation trend of pH with time in each growth period in different treatments

从图2可见,种植水稻后,各处理土壤醋酸铵提取态含量在孕穗期前随着时间的延长呈迅速下降趋势,孕穗期后,除 T₄ 处理仍处于下降趋势外,其他3个处理反而在孕穗期后迅速升高,在灌浆期后又下降,但总体趋势均较种植前低。

表3 不同时期水稻茎叶、根 Cd 含量与土壤醋酸铵 Cd 含量的相关系数

Table 3 The correlation coefficient of rice stems and leaf, root Cd content and soil ammonium acetate Cd content in different treatments

| 处理 Treatment | 分蘖期 Tiller period | | 孕穗期 Booting period | | 灌浆期 Filling period | | 成熟期 Mature period | |
|---------------------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|---------------------|-----------|
| | 茎叶 Stem and leaf | 根 Root |
| T ₁ (CK) | 0.945 0 | 0.915 0 | 0.918 0 | 0.918 0 | 1.000 0* | 0.999 0* | 0.995 0 | 0.956 0 |
| T ₂ | 0.756 0 | 0.756 0 | 0.986 0 | 0.986 0 | 0.940 0 | 1.000 0** | 0.940 0 | 0.999 0* |
| T ₃ | 0.939 0 | 0.940 0 | 0.976 0 | 0.976 0 | 0.895 0 | 0.914 0 | 0.862 0 | 0.887 0 |
| T ₄ | 0.980 0 | 0.981 0 | 0.982 0 | 0.982 0 | 0.886 0 | 0.971 0 | 0.995 0 | 0.994 0 |

注: * 和 ** 分别表示 P < 0.05 和 P < 0.01 显著水平, n = 5。

Note: * and ** stands for P < 0.05 and P < 0.01 significant level, n = 5.

3 结论

(1) 4个处理间水稻分蘖情况、子粒生物量差异不明显,从大到小依次为 T₄、T₃、T₂、T₁,施加的改良剂有利于植物分蘖,从而提高水稻子粒生物量。

(2) T₃ 处理子粒 Cd 含量(0.23 mg/kg)是4个处理中最低,且与 T₁ 对照处理相比, T₃、T₄ 处理水稻子粒 Cd 含量分别降低了 45.22%、38.14%,而与 T₂ 处理相比, T₃、T₄ 处理水稻子粒 Cd 含量分别降低了 36.16%、27.91%。

各时期土壤醋酸铵提取态含量分蘖期和孕穗期从大到小依次为 T₁、T₂、T₃、T₄,灌浆期为 T₁、T₂、T₃、T₄,成熟期为 T₁、T₂、T₃、T₄,变化趋势与 pH 相对应。

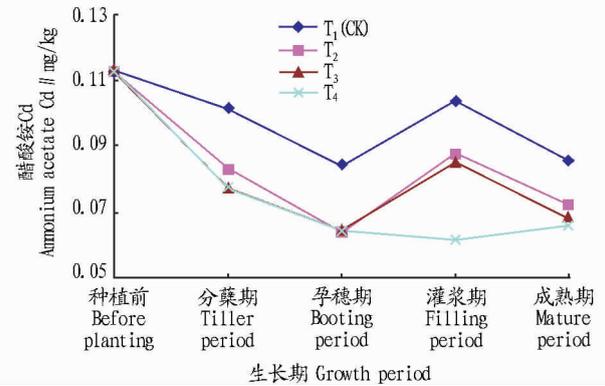


图2 不同处理各生长期土壤醋酸铵 Cd 含量随时间的变化趋势

Fig. 2 The variation trend of ammonium acetate Cd content with time

2.4 不同时期水稻各部位 Cd 含量与土壤醋酸铵提取态含量的关系 由表3可知,不同时期水稻茎叶、根的 Cd 含量与土壤醋酸铵 Cd 含量呈线性正相关关系,且灌浆期 T₁ 处理茎叶、根的 Cd 含量与土壤醋酸铵 Cd 含量,成熟期 T₂ 处理根的 Cd 含量与土壤醋酸铵 Cd 含量呈显著线性相关关系,灌浆期 T₂ 处理根的 Cd 含量与土壤醋酸铵 Cd 含量呈极显著线性相关。这表明土壤中醋酸铵 Cd 含量的降低是水稻根 Cd 累积量减少的原因,进而影响茎叶 Cd 含量及子粒 Cd 含量,且随着水稻生长时间的延长,土壤醋酸铵的 Cd 含量对水稻茎叶、根 Cd 累积量的影响在灌浆期表现最为明显。因此,可在孕穗期后水稻进入灌浆期时采取农艺措施或添加稳定剂降低稻田土壤醋酸铵 Cd 含量,从而降低水稻子粒 Cd 含量。

(3) 土壤中醋酸铵 Cd 含量的降低是水稻 Cd 累积量减少的原因,不同时期水稻茎叶、根 Cd 含量与土壤醋酸铵 Cd 含量呈线性正相关关系。

参考文献

[1] 甘国娟,刘伟,邱亚群,等. 湘中某冶炼区农田土壤重金属污染及生态风险评价[J]. 环境化学,2013,32(1):132-138.
[2] 雷鸣,曾敏,王利红,等. 湖南市场和污染区稻米中 As、Pb、Cd 污染及其健康风险评价[J]. 环境科学学报,2010,30(11):2314-2320.

(下转第 278 页)

态环境的重要性。以雾霾为例,与雾霾密切相关的PM_{2.5}监测数据,由最初2011年的官方拒绝公布,到市民的热议和自发监测,再到2012年《环境空气质量标准》增加PM_{2.5}监测指标和各个城市实时公布PM_{2.5}监测数据,充分体现了公众对周边环境的关注与更高的要求。

4 对策

4.1 课程体系的改革 针对水土保持与荒漠化防治专业课程设置的问题,吴发启等不少学者已经在课程改革方面做了不少工作^[13-14]。各高校在保留本校特色的同时,应积极吸收其他高校专业的优点及特色,既要全面发展,也要突出特色。课程类别上,增加综合类课程,提高学生的综合分析能力。此外,应注重实践类环节的统筹规划,积极与校外单位或企业合作,建立实习基地,强化学生的动手能力^[15-16]。尤其是随着3S技术的发展及其在水土保持与荒漠化防治中的应用日趋广泛,而该类课程具有很强的技术性和实践性,并且更新速度快,因此教学内容和方法应进行实时调整与优化,突出实践教学^[17]。

通过课程体系的改革,实现以加强学生综合素质和创新能力的培养、全面提高教学质量为旨的教学目标,在利用信息技术提升与改造传统的水土保持学科的同时,积极创建“产—学—研”一体化的水土保持学科教学体系^[18],最终培养能从事关于水土流失与荒漠化防治、生态环境恢复、林业生态工程和水保工程建设等方面的调查研究、规划设计、方案编制、施工监理、预防管理和教育培训及科研工作,具备良好的创新能力和实践能力的复合型专业人才^[19]。

4.2 组建优秀的教学团队 作为一个涉及农、林、水利等行业,综合性很强的学科,该专业要求教师具备扎实的学科知识基础,同时具备丰富的工程经验,以及较强的科研能力,组建一支优秀的专业教学团队是实施课程体系改革,实现专业培养目标的基本保障。

4.3 开展基础研究工作 我国在城镇化和新农村建设,以及大量的生产建设项目中,产生了新的水土流失,造成新的环境问题。而该类水土流失特点不同于传统的水土流失,需要开展大量基础研究工作,掌握城市和新农村建设过程中的水土流失特点,只有在此基础上,正确处理人与自然的的关系,做好水土保持工作,才能实现城市和新农村的可持续发展^[20]。

此外,我国虽然在小流域综合治理方面取得了显著成效,积累了不少经验;但是在小流域水土流失基本得到控制

的同时,由于原有的水平衡被打破,流域下游出现了新的环境问题。这也就说明,小流域综合治理的模式已不能满足可持续发展的要求,应该从更大尺度的全流域或者区域角度进行整体协调,而目前关于此方面的研究极其稀少。

因此,水土保持与荒漠化防治学科的基础研究非常重要,只有以强有力的学科基础做后盾,才能保证专业的生命活力和可持续发展。

参考文献

- [1] 刘震.新时期我国水土保持的形势与任务[J].水利发展研究,2011,10(12):80-82.
- [2] 庄家尧,张金池,胡海波,等.南京林业大学水土保持与荒漠化防治专业教学的理论与实践创新[J].中国林业教育,2013,31(4):12-16.
- [3] 杨建英,张洪江,李永贵,等.依托水土保持科技示范园提高水土保持与荒漠化防治专业学生的综合素质[J].中国林业教育,2013,31(1):4-8.
- [4] 王治国,周世权.我国水土保持与荒漠化防治专业人才培养与课程体系的历史与现状分析[J].中国林业教育,1999(S1):57-60.
- [5] 姜德文.城镇化进程中的水土流失与生态环境新问题[J].中国水土保持,2014(1):1-2.
- [6] 王礼先.小流域综合治理的概念与原则[J].中国水土保持,2006(2):16-17.
- [7] 刘震.我国水土保持小流域综合治理的回顾与展望[J].中国水利,2005(22):17-20.
- [8] WABG S, FU B, PIAO S, et al. Reduced sediment transport in the Yellow River due to anthropogenic changes [J]. Nature geoscience, 2015, 9(1): 38-41.
- [9] 张佳.黄河中游主要支流输沙量变化及其对入海泥沙通量的影响[D].青岛:中国海洋大学,2011.
- [10] 李春平,张洪江.我国水土保持与荒漠化防治专业的人才需求与专业发展策略[J].高等教育研究,2010,27(3):1-4.
- [11] 姜德文.生态文明新时代的水土保持探索[J].中国水土保持,2013(4):10-13.
- [12] 刘震.认真贯彻《意见》精神更好发挥水土保持在生态文明建设中的重要作用[J].中国水土保持,2015(10):1-4.
- [13] 吴发启,王健.水土保持与荒漠化防治专业本科培养方案中课程设置问题的探讨[J].中国林业教育,2012,30(3):24-28.
- [14] 高甲荣,程云,张洪江.水土保持与荒漠化防治专业本科教学内容与课程设置改革的探讨[J].中国林业教育,2005(2):23-25.
- [15] 齐实,张洪江,孙保平.水土保持与荒漠化防治专业的现状和发展对策[J].北京林业大学学报(社会科学版),2005,4(S1):74-77.
- [16] 王云琦,王玉杰.水土保持与荒漠化防治专业创新型应用型人才培养的探讨[J].中国林业教育,2015,33(6):21-23.
- [17] 姜群鸣,张学霞.3S技术在水土保持中的应用课程教学改革思考[J].中国林业教育,2015,33(3):53-55.
- [18] 吴发启,王健.水土保持与荒漠化防治专业课程体系的建立[J].中国水土保持,2006,26(4):56-60.
- [19] 马维伟,李广,王立,等.水土保持与荒漠化防治专业实践教学模式探索[J].河北农业大学学报(农林教育版),2015,17(4):117-121.
- [20] 张翼.水土保持是社会主义新农村建设的奠基工程[J].中国水土保持,2007(5):8-11.
- [1] 曾敏,廖柏寒,曾清如,等.湖南郴州、石门、冷水江3个矿区As污染状况的初步调查[J].农业环境科学学报,2006,25(2):418-421.
- [2] 刘丽.土壤重金属污染化学修复方法研究进展[J].安徽农业科学,2014(19):6226-6228.
- [3] QIAN G, CHEN W, LIM T T, et al. In-situ stabilization of Pb, Zn, Cu, Cd and Ni in the multi-contaminated sediments with ferrihy-rite and apatite composite additives [J]. Journal of hazardous materials, 2009, 170(2/3): 1093-1100.
- [4] 章明奎,唐红娟,常跃畅.不同改良剂降低矿区土壤水溶态重金属的效果及其长效性[J].水土保持学报,2012,26(5):144-148.
- [5] 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(7):847-851.
- [6] 徐明岗,张青,曾希柏.改良剂对黄泥土镉锌复合污染修复效应与机理研究[J].环境科学,2007,28(6):1361-1366.
- [7] 周歆,周航,曾敏,等.石灰石和海泡石组配对水稻糙米重金属积累的影响[J].土壤学报,2014,51(3):555-563.
- [8] 周航,周歆,曾敏,等.2种组配改良剂对稻田土壤重金属有效性的效果[J].中国环境科学,2014,34(2):437-444.
- [9] 刘维涛,周启星.不同土壤改良剂及其组合对降低大白菜镉和铅含量的作用[J].环境科学学报,2010,30(9):1846-1853.
- [10] 鲁如坤.土壤农业化学分析方法[M].北京:中国农业科学技术出版社,1999.

(上接第234页)