

赤泥颗粒对韭菜吸收污染土壤中铅锌的抑制效应研究

刘 艳, 罗 琳*, 罗惠莉, 田 杰, 魏建宏

(湖南农业大学资源环境学院, 长沙 410128)

摘 要:采用盆栽试验方法,通过添加赤泥颗粒修复铅锌污染土壤,按照火焰原子吸收分光光度法测定不同时期种植韭菜的土壤中重金属的含量,分析赤泥颗粒对土壤中重金属的钝化行为与机理,确定赤泥颗粒对土壤修复和对韭菜生长促进最佳的添加量。结果表明,赤泥颗粒能缓释 OH^- ,促进重金属铅、锌化学形态转化和抑制生物吸收。铅、锌污染土壤修复的最佳赤泥颗粒添加量为 5%,此时,土壤中铅、锌的生物有效态含量在修复期内分别降低了 41.03%、26.55%;结合铅锌污染土壤修复与韭菜生长影响,初步确定赤泥颗粒的最佳施用量为 1%,此时,土壤中铅、锌的生物有效态含量在修复期内分别降低了 24.81%、15.9%;赤泥颗粒对铅锌污染土壤的修复能力大小为铅>锌。

关键词:重金属;钝化;生物有效态;韭菜

中图分类号:X53 文献标志码:A 文章编号:1672-2043(2011)02-0289-06

Inhibition Effect of Granulated Red Mud to Leeks Absorption in Lead and Zinc Polluted Soil

LIU Yan, LUO Lin*, LUO Hui-li, TIAN Jie, WEI Jian-hong

(College of Resources and Environment, Hunan Agricultural University, Changsha 410128, China)

Abstract: Heavy metal pollution is one of the typical types of soil pollution. The main objective of the study is to analyse the passivation mechanism of granulated red mud to the heavy metals in soil and determine the best granulated red mud treatment in remediating soil contaminated with heavy metals that contribute to the growth of leeks. A treatment with granulated red mud addition was used to repair the soil which was polluted by Pb and Zn in incubation experiment. The concentration of heavy metals in soil (with and without leeks) at different stages and leeks were measured by flame atomic absorption spectrophotometer. Experiments indicated that granulated red mud could control the release of OH^- , promote the transformation of heavy metals' chemical fractionation like Pb and Zn and inhibit biological absorption. The results showed that the optimal treatment with granulated red mud addition for remediation of lead-zinc contaminated soil was 5%, reducing the bio-available fraction of Pb and Zn in contaminated soil by 41.03% and 26.55% respectively during remediation time. In the combined remediation of lead-zinc contaminated soil and the effects of growth on leeks, the optimal treatment with granulated red mud addition for remediation of lead-zinc contaminated soil was 1%, thereby reducing the bio-available fraction of Pb and Zn in contaminated soils by 24.81% and 15.9 % respectively during remediation time. Repair capacity of granulated red mud to lead-zinc waste soil was: Pb>Zn.

Keywords: heavy metals; passivation; bio-available; leeks

目前,土壤重金属污染现象不容乐观,近年来重金属污染导致人群健康事件的报道呈显著增加趋势。土壤重金属污染修复已经引起了社会的极度关注,传统修复技术主要是挖掘填埋,但这种方法实质上只不过是污染物的转移,并非根治重金属的污染,而且还存在着占用土地、渗漏、污染周边环境等负面影响^[1]。

目前运用比较广的修复技术是物理化学法和植物修复法,前者主要包括化学固化、土壤淋洗、动电修复;后者主要包括植物富集、挥发及提取。物理化学法^[1-2]虽然能起到立竿见影的作用,但是处理成本高,有可能造成二次污染,对土壤功能有一定的影响。植物修复法由于对环境基本没有破坏作用,且处理成本低,适用大规模的应用,易为公众所接受。但是,植物修复最大的缺点是超累积植物品种少,修复时间过长,不适合急需治理的重金属污染土壤。研究证实了用工业副产品,如生石灰、磷酸盐及其矿物、铝硅酸盐、铁锰氧化物、沸石、污泥、堆肥等^[3]可以钝化土壤中的 Pb、Cd、Cr、Cu、Zn 等重金属。

收稿日期:2010-08-06

基金项目:国家自然科学基金项目(50874046);湖南教育厅科技项目(08A032)

作者简介:刘 艳(1986—),女,湖南益阳人,硕士研究生,主要从事重金属土壤修复研究。E-mail: candies2008@yahoo.cn

* 通讯作者:罗 琳 E-mail: luolinwei0@163.com

赤泥是生产氧化铝时产生的一种副产品^[4],具有稳定的化学成分、非常细的分散度、高比表面积、较好的吸附性能等特点^[5]。自 20 世纪 70 年代以来,国内外环境研究者在赤泥吸附机理及应用于农业生产方面做了大量卓有成效的工作^[6]。但以赤泥为原料,添加一些辅助剂,改性为赤泥基颗粒的研究文献报道较少。赤泥通过添加辅助剂形成赤泥颗粒后,能使 OH⁻重新组合在晶格或者晶格间隙中,从而缓释 OH⁻,促进转化趋稳的污染土壤中重金属铅、锌的化学形态转化(离子交换态和碳酸盐态向残渣态转化)和抑制生物吸收。一般来说,重金属的浓度越高,对生物的毒性越大。但研究发现,单一指标——总量很难反映重金属的毒性、迁移性以及生物有效性。重金属在环境中存在的形态能够有效地评价其化学行为^[7,9],而在已有的分析方法中,Tessier 连续提取法被广泛运用于土壤学的研究^[10]。本研究采集湖南岳阳桃林铅锌矿区土壤,加入不同含量赤泥颗粒进行修复后,运用 Tessier 连续提取法分析土壤中重金属的形态及分布,并监测赤泥材料对植物的生长情况的影响,为赤泥颗粒用于重金属土壤修复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

- (1) 供试土壤:采自湖南省岳阳桃林铅锌矿区,为第四纪红壤发育的红黄泥。其理化性质见表 1,土壤均采自耕层 0~20 cm,充分混合后备用。
- (2) 供试赤泥:由中国长城铝业集团提供,为拜耳-烧结联合法赤泥,其化学成分见表 2,赤泥中的铅总量为 101.09 mg·kg⁻¹,锌总量为 59.69 mg·kg⁻¹。
- (3) 赤泥颗粒的制备:采用供试赤泥,磨细过 100 目筛,水灰比 0.5,添加剂配方为 A+B+C,用制粒机制备出赤泥颗粒,自然风干,装袋备用。
- (4) 供试植物:韭菜,统一来源于试验基地。
- (5) 试验仪器与设备:颗粒机(湖南中诚制药公司 BY300);原子吸收分光光度计(瓦里安公司 AA240FS);叶绿素含量测定仪 (SPAD-502Plus);电热板;烘箱;离心机。

1.2 试验方法

所用土壤均为铅锌实际污染土壤,通过不同的处

表 1 土壤的理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the soil					
参数	pH	有机质/g·kg ⁻¹	全氮/g·kg ⁻¹	碱解氮/mg·kg ⁻¹	有效磷/mg·kg ⁻¹
含量	7.10	24.50	1.61	216.00	0.63

表 2 赤泥的化学成分

Table 2 The chemical composition of red mud						
组成	烧失量	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O
质量分数/%	24.55	20.50	8.10	6.90	43.10	0.50

理,即加入不同百分含量制备的赤泥颗粒,观察赤泥颗粒对韭菜生长的影响以及在修复期内测定土壤中重金属的量对其钝化效果进行评价。

1.2.1 盆栽试验

盆栽试验用土过 5 mm 筛,塑料容器高 12.0 cm,直径 10 cm,每盆装土 200 g,再添加不同含量的赤泥颗粒混合均匀,按 50% 含水率加入去离子水使土壤湿润。试验共设两组:第一组不种韭菜,第二组种韭菜(每盆种 8 株,每隔 2 d 浇 1 次水)。每组除赤泥颗粒添加量不同之外,其他条件都一样,赤泥颗粒添加量见表 3。

表 3 赤泥颗粒添加量

Table 3 The amount of granulated red mud						
项目	处理 1	处理 2	处理 3	处理 4	处理 5	处理 6
第一组	空白	1%	2%	3%	4%	5%
第二组	空白	1%	2%	3%	4%	5%

1.2.2 土样的采集与预处理

韭菜移栽后分别在第 5、10、20 d 取土样和测量韭菜的高度。土壤样品于封口塑料袋中并作上标记后,自然风干。挑出风干土样中的石块、根茎及各种其他杂质后,放置于研钵中用木棍进行研磨,将碾磨后的土壤摇匀倒在 100 目塑料尼龙筛上进行筛分,将筛下土样装入封口塑料袋中并作标记待用。韭菜叶取样后烘干,编号保存。

1.2.3 土样的 Tessier 连续提取

分别准确称取土壤 1.000 g(±0.001 g),按照 Tessier 连续提取程序(表 4)进行提取,同时设一组平行样。

1.2.4 测定的指标和方法

- 铅、锌含量:火焰原子吸收分光光度法(GB)。
- 韭菜高度:卷尺测量。
- 叶绿素:叶绿素含量测定仪测定。

2 结果与讨论

2.1 赤泥颗粒添加量对土壤 pH 值的影响

通过试验可知,与空白相比,不同赤泥颗粒处理均提高了土壤的 pH 值($P<0.05$),随着赤泥颗粒添加量的增加,pH 值从空白的 7.10 升高到 1%时的 7.48、

表 4 Tessier 连续提取法
Table 4 Tessier' sequential extraction procedures

步骤	形态	提取试剂	反应条件
I	离子交换态(EXC)	8 mL 1 mol·L ⁻¹ MgCl ₂ , pH7.0	(25 ℃)恒温连续振动 1 h
II	碳酸盐结合态(CA)	8 mL 1 mol·L ⁻¹ NaOAc, pH5.0(HOAc 调节)	(25 ℃)恒温连续振动 5 h
III	铁锰氧化态(Fe-Mn)	20 mL 0.04 mol·L ⁻¹ NH ₂ OH·HCl, (25%HOAc)	(96 ℃)恒温断续振动 6 h
IV	有机物结合态(OM)	1)3 mL 0.02 mol·L ⁻¹ HNO ₃ , 5 mL 30%H ₂ O ₂	1)(85 ℃)恒温断续振动 2 h
		2)5 mL 30%H ₂ O ₂	2)(85 ℃)恒温断续振动 3 h
		3)5 mL 3.2 mol·L ⁻¹ NH ₄ OAc(20%HNO ₃)	3)(25 ℃)恒温连续振动 0.5 h
V	残渣态(Res)	HCl+HNO ₃ +HF+HClO ₄ 消化	

5%时的 7.96。这是由于赤泥含有 Al(OH)₃、NaOH、CaCO₃ 等碱性物质其 pH 值可达 10~13 ($P>0.05$),加入土壤后可提高土壤的 pH 值^[11]。随着培养时间的延长,不同赤泥颗粒处理土壤的 pH 值有所变化,5~20 d pH 值变化趋势呈先上升后不变或稍微有所下降。另外土壤 pH 升高也是赤泥颗粒降低土壤重金属移动性和生物有效性的一个重要机制^[12]。

2.2 供试土壤中铅、锌不同形态的含量

供试土壤中铅、锌不同形态的含量见表 5。

表 5 土壤中铅、锌的不同形态含量(mg·kg⁻¹)

Table 5 The different forms of concentration of lead and zinc in the soil(mg·kg⁻¹)

元素	EXC	CA	Fe-Mn	OM	Res	Total
Pb	26.55	56.82	142.38	35.05	241.75	502.55
Zn	15.15	162.25	168.4	65.95	331.5	743.25d

注:Total 为重金属总量。

2.3 赤泥颗粒添加量对污土中铅、锌形态的影响

2.3.1 对污土中铅形态的影响

根据 1.2.1 盆栽设计中第一组试验,以添加赤泥颗粒后第 5 d 土壤中铅形态分布进行分析。结果如图 1 所示。

由图 1 可知,施加赤泥颗粒后铅形态发生一定转化。修复第 5 d 土壤中离子交换态铅随施加量增加而降低明显(施加 5%,对比空白降幅达 35.57%),生物有效态变化趋势与之相似(最大降幅达 23.45%),铁锰氧化态和有机结合态铅随施加量增加而也有所减少,其中铁锰氧化态铅减少明显。残渣态铅随施加量增加而增长(施加 5%,对比增幅达 21.90%)。由此可见,赤泥颗粒的施用有效促进铁锰氧化态铅转化为残渣态,利于重金属铅的固定化。与供试土壤背景值相比较,空白中铅离子交换态的含量也略有降低,这是由于土壤环境化学条件发生了变化,从而造成土壤中

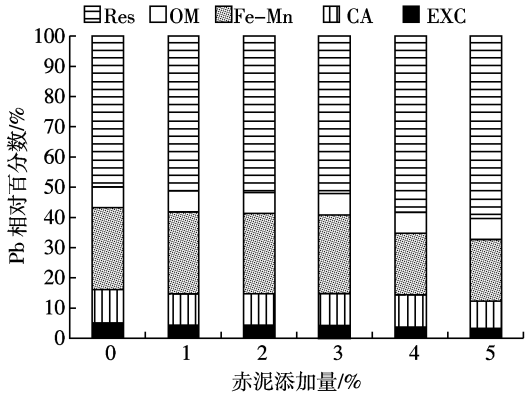


图 1 赤泥颗粒添加量对污土中铅形态的影响
Figure 1 Effect of granulated red mud amount on lead morphology in soil

铅形态发生了改变。

2.3.2 对污土中锌形态的影响

根据 1.2.1 盆栽设计中第一组试验,以添加赤泥颗粒后第 5 d 土壤中锌形态分布进行分析。结果如图 2 所示。

由图 2 可见,施加赤泥颗粒后,锌形态转化趋势与铅相似,但离子交换态锌减少明显(施加 5%,降幅

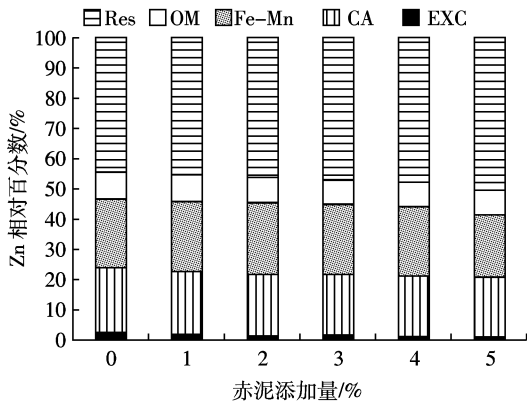


图 2 赤泥颗粒添加量对污土中锌形态的影响
Figure 2 Effect of granulated red mud amount on zinc morphology in soil

达 72.20%),而残渣态和铁锰氧化态变化不如铅的明显,生物有效态随着赤泥施加量的增加有所降低,(最大降幅达 13.91%)。添加赤泥颗粒改变了土壤 pH,导致土壤中锌形态变化。Lombi 等^[13]研究表明,土壤中添加赤泥而导致土壤 pH 上升是重金属移动性降低的主要因素。

2.4 赤泥颗粒添加量对污水中铅、锌生物有效态的影响

2.4.1 对污水中铅生物有效态的影响

根据 1.2.1 盆栽设计中第二组试验,分析后得出添加赤泥颗粒在修复延长期内对土壤中铅生物有效态的影响如图 3 所示。

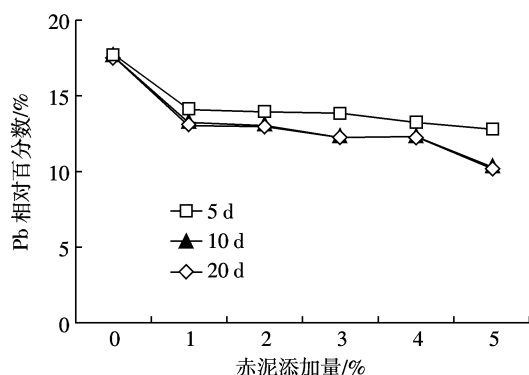


图 3 不同含量赤泥颗粒对污水中铅生物有效态的影响

Figure 3 Effect of granulated red mud amount on waste ground lead bioavailable state

由图 3 可知,在韭菜移栽后的不同时期,土壤中铅生物有效态含量相对空白值下降明显,且随着赤泥添加量的增加而下降,添加量为 5%时,韭菜移栽后 5、10 d 和 20 d 的铅生物有效态含量分别下降了 26.47%、40.36%、41.03%。原因可能在于赤泥颗粒富含的铁、铝氧化物表面的活性吸附位点结合了水溶态与交换态的 Pb,促进了土壤中 Pb 从生物有效态向残渣态转化^[13]。其次,韭菜在生长过程中吸收了一部分铅。韭菜移栽期第 10 d 时,Pb 生物有效态下降幅度达到最大。随着修复期的延长,土壤中铅生物有效态含量保持不变甚至部分有所升高。这是由于韭菜生长中的调解分泌物与土壤中环境化学因子的联合作用造成。

2.4.2 对污水中锌生物有效态的影响

根据 1.2.1 盆栽设计中第二组试验,分析后得出添加赤泥颗粒在修复延长期内对土壤中锌生物有效态的影响如图 4 所示。

由图 4 可知,在韭菜移栽后的不同时期,土壤中

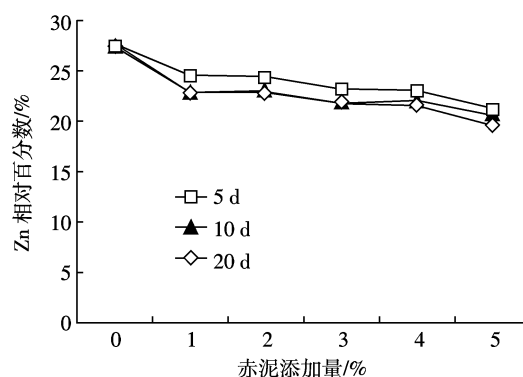


图 4 不同含量赤泥颗粒对污水中锌生物有效态的影响

Figure 4 Effect of granulated red mud amount on pollution soil zinc bioavailable states

锌生物有效态含量相对空白值下降不如铅明显,随着赤泥添加量的增加而下降,添加量为 5%时,韭菜移栽后 5、10 d 和 20 d 的锌生物有效态含量分别下降了 22.63%、26.62%、26.55%。这是由于添加赤泥颗粒提高了土壤中 pH 值,导致土壤的结构发生改变^[14];其次赤泥颗粒中含有的某些阳离子能吸附土壤中有有效 Zn,在土壤中发生化学沉淀反应,形成难溶性化合物并积累在土壤中。再次,韭菜在生长过程中同样也吸收了一部分锌。韭菜移栽期第 10 d 时,锌生物有效态下降幅度达到最大。随着修复期的延长,土壤中锌生物有效态含量变化趋势与铅类似。由图 3 和图 4 可知,土壤中铅与锌相比较,前者生物有效态含量下降的幅度大于后者,赤泥颗粒对铅的钝化效果大于锌得到验证。

2.5 韭菜盆栽试验

2.5.1 赤泥颗粒添加量对韭菜生长的影响

根据 1.2.1 盆栽设计中第二组试验,分析后得出添加赤泥颗粒第 20 d 时韭菜生长状况如表 6 所示。

赤泥颗粒不同添加量对韭菜生长有一定影响。随着赤泥颗粒添加量的增加,韭菜株高和鲜重基本上呈先增高后降低的趋势,添加量为 1%~2%时,效果最佳(株高和鲜重分别为 165.5 mm、3 120 mg),添加量为 4%~5%时,韭菜株高和鲜重都低于空白对照。而叶绿素含量与 SPAD 值有显著相关性,因此 SPAD 值能较好地反映出叶绿素含量变化的趋势。由表 6 可知,除 4%~5%赤泥颗粒处理的韭菜中叶绿素含量稍低外,其余基本保持在 42 SPAD 单位左右,这是因为只有高浓度生物有效态重金属才会胁迫对韭菜的光合作用产生抑制,5%的赤泥颗粒添加量导致土壤环境超出了韭菜生长条件的范围,从而抑制了韭菜生长。

表6 不同含量赤泥颗粒对铅锌污土韭菜生长的影响

Table 6 Effect of granulated red mud amount on the growth of leeks

指标	处理					
	空白	1%	2%	3%	4%	5%
高度/mm	144.4	165.5	159.4	155.3	143.4	133.2
鲜重/g	2.011	2.976	3.120	2.428	2.019	1.818
叶绿素/SPAD	44.2	44.1	42.6	42.2	35.5	32.4

2.5.2 韭菜对铅、锌的吸收

根据 1.2.1 盆栽设计中第二组试验, 检测出韭菜生长 20 d 时铅、锌含量, 如表 7 所示。

表7 韭菜中铅、锌含量(mg 鲜重·kg⁻¹)Table 7 The contents of lead and zinc in leeks(mg FW·kg⁻¹)

元素	处理					
	空白	1%	2%	3%	4%	5%
Pb	2.00	1.37	1.17	1.32	1.49	1.45
Zn	4.40	3.30	3.45	3.35	3.35	3.10

施加量 1%~5%条件下, 韭菜植株中吸收的铅锌少于空白样品, 且在 2%左右吸收最少。该试验结果表明赤泥颗粒对土壤铅锌修复钝化的同时也抑制了植物对重金属的吸收。参照《中华人民共和国食品卫生评价标准》蔬菜中 $Pb \leq 0.2 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, $Zn \leq 20 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$, 盆栽试验中韭菜铅含量均超标, 锌含量均不超标。结合韭菜生长状况, 随赤泥颗粒施用量增加, 虽然抑制了对土壤中铅锌的吸收, 但由于土壤中 pH 值也会随之升高(添加量大于 5%时, pH 值明显升高), 从而对其生长产生抑制影响, 建议赤泥颗粒的添加量控制 2%以下。

3 结论

(1) 土壤中铅、锌生物有效态含量随着赤泥颗粒添加量的增大而不断下降, 添加量增大为 5%后基本保持不变。其中铅、锌生物有效态含量在修复期内分别下降了 41.03%、26.55%。

(2) 添加赤泥颗粒能提高土壤的 pH 值, 对土壤中重金属有钝化作用。通过试验, 确定了污染土壤中重金属钝化效果较好的最佳赤泥颗粒添加量为 5%。

(3) 添加赤泥颗粒后, 土壤中铅、锌的不同形态随着时间的推移会发生改变, 其变化趋势是离子交换态及生物有效态随着时间的推移逐渐降低, 而铅、锌残渣态随着时间的推移逐渐升高。因此, 添加赤泥颗粒能缓释 OH⁻, 可促进重金属污染已久、转化趋稳的污染土壤中重金属铅、锌的化学形态转化和生物

吸收钝化。

(4) 添加合适的赤泥颗粒能促进韭菜的生长, 反之, 会抑制韭菜的生长。通过试验, 确定了韭菜生长状况最好的赤泥颗粒添加量为 1%, 此时土壤中铅、锌的生物有效态含量在修复期内分别降低了 24.81%、15.9%。

综合以上结论, 添加赤泥颗粒能明显降低土壤中重金属的生物有效态, 赤泥颗粒添加量为 5%时对铅、锌污染土壤的修复效果明显, 但结合韭菜生长状况, 赤泥颗粒添加量应控制在 2%以下。赤泥颗粒对铅锌污染土壤的修复能力大小为: 铅>锌。

参考文献:

- [1] 王向健, 郑玉峰, 赫冬青. 重金属污染土壤修复技术现状与展望[J]. 环境保护科学, 2004; 30(122): 48-49.
WANG Xiang-jian, ZHENG Yu-feng, HE Dong-qing. Current situation and prospect on the remediation of heavy metals polluted soil[J]. *Environmental Protection Science*, 2004; 30(122): 48-49.
- [2] 陈志良, 仇荣亮, 张景书, 等. 重金属污染土壤的修复技术[J]. 环境保护, 2002(6): 21-23.
CHEN Zhi-liang, QIU Rong-liang, ZHANG Jing-shu, et al. Removed technology of heavy metal pollution in soil[J]. *Environmental Protection*, 2002(6): 21-23.
- [3] Gadepalle V P, Ouki S K, Van Herwijnen R, et al. Immobilization of heavy metals in soil using natural and waste materials for vegetation establishment on contaminated sites[J]. *Soil & Sediment Contamination*, 2007, 16(2): 233-251
- [4] 廖春发, 卢惠明, 邱定蕃, 等. 从赤泥中综合回收有价金属工艺的研究进展[J]. 轻金属, 2003(10): 18-22.
LIAO Chun-fa, LU Hui-ming, QIU Ding-fan, et al. Recovering valuable metals from red mud generation during alumina production[J]. *Light Metals*, 2003(10): 18-22.
- [5] 王林江, 谢襄漓, 文小年. 赤泥在环境污染修复中的应用[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(3): 281-283.
WANG Lin-jiang, XIE Xiang-li, WEN Xiao-nian. Application of red mud in the remediation of environmental pollution[J]. *Journal of Guilin Institute of Technology*, 2004, 24(3): 281-283.
- [6] 梁玉英, 黄益宗, 朱永官, 等. 赤泥对土壤磷素释放的影响[J]. 农业环境科学学报, 2007, 26(1): 286-289.
LIANG Yu-ying, HUANG Yi-zong, ZHU Yong-guan, et al. Effect of red mud on phosphorus (P) release in soil[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26(1): 286-289.
- [7] Szefer P, Giasbygn, Penpkowiak J, et al. Extraction studies of heavy metal pollutants in surficial sediments from the Southern Baltic sea of Poland [J]. *Chemical Geology*, 1995, 120: 111-126.
- [8] Borovec Z. Evaluation of the concentrations of trace elements in stream sediments by factor and cluster analysis and the sequential extraction procedure[J]. *Science Total Environment*, 1996, 177: 237-250.
- [9] Rauret G. Extraction procedure for the determination of heavy metals in

- contaminated soil and sediments[J]. *Talanta*, 1998, 46:449-455.
- [10] Shuman L M. Fractionation method for soil microelements [J]. *Soil Science*, 1985, 140:11-22.
- [11] Snars K E, Gilkes R J, Wong M T F. The liming effect of bauxite processing residue (red mud) on sandy soils[J]. *Australian Journal of Soil Research*, 2004, 42(3):321-328
- [12] Rauret G, Lopez Sanchez J F, Sahuquillo A, et al. Improvement of the BCR three step sequential extraction procedure prior to the certification of new sediment and soil reference materials[J]. *Journal of Environmental Monitoring*, 1999, 1(1):57-61.
- [13] Lombi E, Zhao F J, Zhang G, et al. In situ fixation of metals in soils using bauxite residue: Chemical assessment[J]. *Environmental Pollution*, 2002, 118(3):435-443.
- [14] Rengasamy P, Olsson K A. Sodicity and soil structure [J]. *Australia Lization of Soil Research of Red Mud*, 1991, 29(6):935-952.

《农业环境科学学报》2010 年审稿专家名录

(按姓氏拼音排序)

仇荣亮	白志辉	包木太	曹 慧	曹 军	曹文志	曹云者	常志州	陈杭亭	陈怀满	陈来国	陈能场
陈书涛	陈同斌	陈 威	陈晓国	陈晓英	陈欣(沈阳)	陈欣(杭州)	成杰民	成水平	崔保山	崔德杰	
崔理华	崔岩山	戴九兰	戴亦军	党 志	丁维新	丁振华	董红敏	董 军	董仁杰	董元华	豆俊峰
窦森	杜新贞	段学军	范丙全	符建荣	高 定	高太忠	葛 滢	耿金菊	龚道新	郭红岩	郭劲松
郭书海	韩鲁佳	韩圣慧	韩照祥	郝红英	何成达	何 江	何品晶	何文清	侯彦林	胡红青	胡克林
胡荣桂	胡正华	花日茂	化党领	黄 标	黄道友	黄 璜	黄 丽	黄清辉	黄 耀	黄益宗	黄占斌
季 民	季 颖	金朝晖	金 辉	孔志明	匡少平	赖发英	雷 梅	黎华寿	李本纲	李成芳	李纯厚
李大鹏	李发生	李芳柏	李锋民	李广科	李国学	李恒鹏	李花粉	李 华	李 季	李培军	李强坤
李取生	李永涛	李 元	李正魁	李卓佳	梁生康	梁 威	廖柏寒	廖晓勇	廖新伟	林匡飞	刘 波
刘 菲	刘惠芬	刘景春	刘静玲	刘可星	刘 敏	刘 鹏	刘瑞民	刘世亮	刘 宛	刘文霞	刘文新
刘五星	刘学军	刘 鹰	刘云国	龙 健	龙新究	卢会霞	卢少勇	卢新卫	栾兆擎	吕家琬	吕贻忠
罗启仕	罗 涛	罗兴章	马红亮	马祥庆	孟昭福	莫测辉	慕 卫	牛晓君	欧晓明	潘根兴	彭绪亚
乔有明	秦伯强	任明忠	阮维斌	沈东升	沈根祥	沈新强	盛下放	施庆珊	施卫明	石利利	石元亮
史志华	司友斌	宋永会	孙 波	孙 成	孙红文	孙志梅	汤 锋	汤 利	唐建军	唐世荣	唐文浩
唐欣昀	唐延林	陶 玲	田光明	田兴军	童裳伦	涂 从	涂仕华	涂书新	汪家权	王朝辉	王代长
王德汉	王 果	王慧忠	王火焰	王 军	王凯荣	王里奥	王立刚	王 宁	王起超	王慎强	王小治
王晓燕	王学东	王学军	王玉军	王忠全	韦革宏	魏 静	魏树和	魏自民	文湘华	翁伯琦	吴景贵
吴敬禄	吴启堂	吴群河	吴淑杭	吴 伟	吴耀国	吴永贵	夏北成	香 宝	肖 琳	谢国生	谢正苗
谢忠雷	熊德中	熊 丽	徐敦明	徐 华	徐 慧	徐明岗	徐仁扣	徐卫红	徐星凯	许木启	许修宏
严重玲	颜昌宙	颜晓元	晏维金	杨长明	杨 琛	杨国义	杨合同	杨俊诚	杨林章	杨柳燕	杨仁斌
杨 劭	杨永亮	仪慧兰	易 秀	尹大强	尹平河	虞云龙	袁红莉	袁 星	袁旭音	苑宝玲	岳 明
占新华	张晋京	张克强	张世熔	张树清	张素坤	张 卫	张卫建	张兴昌	张 燕	张迎梅	张永春
张余良	张玉华	张增强	章明奎	赵保卫	赵 吉	赵建庄	赵立欣	赵同科	赵希岳	赵晓松	赵 烨
赵振华	郑 平	郑永权	郑有飞	郑袁明	郑 正	周东美	周鸿凯	周启星	周 青	周学永	周运超
朱 波	朱 琳	朱鲁生	朱茂旭	朱志良	庄惠生	宗良纲	邹建文				

正是因为有以上专家认真及时地审稿,才使刊物的稿件质量得到有力的保证,使创新性的科研成果得以即时发表,使科技新人脱颖而出。在此,本刊编辑部对各位专家的辛勤工作表示诚挚的感谢。为不断壮大审稿专家队伍,适应日益增多的稿源需求,我们衷心地希望广大作者和读者踊跃推荐审稿专家候选人,以促进刊物的不断发展和创新。

(本刊编辑部)