

杨金红,郑玉彬,刘 芳. 芦苇对砷的吸收运转及对砷污染土壤的修复效果[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):299-302.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.070

芦苇对砷的吸收运转及对砷污染土壤的修复效果

杨金红¹, 郑玉彬¹, 刘 芳²

(1. 新疆应用职业技术学院园林园艺系,新疆奎屯 833200; 2. 新疆大学资源与环境科学学院,新疆乌鲁木齐 830046)

摘要:通过盆栽模拟试验,设置 6 个土壤砷浓度,以芦苇为砷污染土壤修复材料,对其在砷污染土壤环境中的吸收、转运规律及去除效果进行了研究。结果表明,不同砷浓度胁迫 90 d,芦苇地上地下部分鲜质量、干质量随土壤砷浓度逐渐加大呈现先增加再逐渐减少的趋势,50 mg/kg 砷浓度时,芦苇的地下鲜质量、地上干质量及地下干质量在各浓度砷胁迫中达到最大值,分别为 19.85、8.76、7.72 g;芦苇地上茎、地下茎、叶及根的砷含量均随着外源砷浓度的增大而增大,芦苇各部位对砷的累积能力表现为根>叶>地上茎>地下茎;芦苇根际土中的砷含量小于非根际土的砷含量,根际土和非根际土中的砷含量均小于未栽种芦苇的对照土。芦苇具有吸收、累积土壤砷的作用,可用于砷污染土壤的植物修复材料。

关键词:砷;吸收;转运;芦苇;土壤修复

中图分类号: X53 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)19-0299-03

砷是广泛分布于自然界的非金属元素,也是土壤中固有的、普遍存在的一种微量元素,在食品安全方面,砷被认为是一种有毒有害元素。由于砷的土壤环境容量相当有限,及其在土壤中的主要表现是残留和累积,因此当含砷污染物由各种途径进入土壤后,较易造成土壤砷污染。过量的砷会阻碍植物的正常生长发育或使砷在可食部分积累,通过食物链进入人体,引起人体的慢性中毒,直接危害人体和畜禽的健康^[1]。目前国内外不断报道新出现的砷污染区,新疆奎屯地区是我国大陆首次发现的地方性砷中毒病区,受害居民 10 万人^[2-3]。目前,传统的物理修复和化学修复技术已取得一定成效,并形成了部分成熟的工艺流程。对于砷污染土壤的修复主要采用固定技术,而对水体则主要采用膜分离、离子交换、凝聚沉淀等方法去除砷,这些方法工程量大、投资费用高,同时还会导致二次污染^[4-5]。

生物修复是利用生物的生命代谢活动富集、分解或清除生长介质中的污染物。近年来,生物修复技术因其环境友好性和低投入等优点得到迅速发展,关于微生物修复砷污染土壤的研究较多,多数研究还主要集中在室内研究阶段,将室内分离与培养的微生物应用于生产实践依然存在较大的挑战^[6]。植物修复(phytoremediation)是近年发展起来的一项基于植物稳定、挥发、提取等功能来清除环境中有毒有害污染物的技术。具有治理效果持久、治理成本低廉、治理过程对土壤环境的干扰小的优点,且后期处理简单易操作,植物修复技术具有很好的经济、生态效益,并且被人们认为是一种新兴高效、绿色廉价的生物修复途径,利用植物修复砷污染土壤是目前砷污染土壤治理的热点^[7]。

芦苇(*Phragmites communis* Trin),禾本科芦苇属,多年生

根茎性禾草,芦苇对土壤的 pH 值适应范围较广,在 pH 值 6.5~9.0 的范围内均能正常生长,且对盐碱土的耐受力强,生长迅速,生物量大,适应范围广^[8]。近年发现芦苇具有富集重金属元素的功能,苏芳莉等发现芦苇灌溉 20% 浓度的造纸废水,对 Pb 的去除率最高^[9]。路畅等发现芦苇对 Pb 和 Zn 具有较好的富集能力。在重金属污染严重的铅锌矿大面积种植芦苇可以在一定程度上对土壤进行生态恢复^[10]。郑冬梅等研究发现,芦苇等 4 种植物对砷的吸收、富集效果较好,向地上部转移 As、Hg 的能力较强^[11]。芦苇除了对单一重金属表现出较好的耐性和吸收能力外,研究表明在多种重金属混合污染的区域,芦苇也表现出良好的抗性 & 吸收功能^[12],在重金属污染区域的生态修复中有着较好的应用前景。

利用芦苇修复砷污染的土壤,推动砷污染土壤的植物修复,具有较强的理论价值和实践价值。芦苇在新疆分布广泛,生物量大且耐砷能力强^[13-14],目前对于芦苇的含砷土壤修复缺乏足够的认识,本研究以芦苇为材料,添加外源砷,在实验室条件下测定所选植物的各项指标,对芦苇植物体中的砷吸收运转情况及土壤中砷的运转情况进行分析,以期为植物修复土壤中的重金属污染提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 材料

盆栽土壤取自新疆应用职业技术学院生物园地,在室温下风干,去除杂物,过 2 mm 尼龙筛,备用。土壤类型为盐化潮土,砷含量为 21.35 mg/kg,全氮含量为 0.56 g/kg,全磷含量为 0.68 g/kg,全钾含量为 19 g/kg,有机质含量 10.5 g/kg, pH 值 8.3。

供试植物为新疆奎屯垦区 123 团四连自流井边挖取的芦苇,将大块植株分成长势和大小基本一致的带根的植物体,剪除地上部分,然后将这些带根的植物体分别栽种在口径为 18 cm 的小盆钵(装有机土 1 kg)中,每盆 4 株,保持盆土湿润,25℃ 生长箱内光照 16 h/d 条件下育苗 1 周。

收稿日期:2017-02-22

基金项目:新疆高校科研计划重点项目(编号:XJEDU2014I068)。

作者简介:杨金红(1975—),女,新疆昌吉人,硕士,副教授,主要从事生态学教学及研究。E-mail:3222651@163.com。

1.2 试验设计

盆栽试验于 2016 年 4—8 月在新疆应用职业技术学院生物园地温室内进行, 砷以 As_2O_3 的形式加入, 共设 6 个处理, 砷含量分别为 0、25、50、75、100、200 mg/kg, 每个处理设置 3 次重复。将 As_2O_3 分别按每个处理配成 200 mL 的溶液装入小喷壶, 均匀喷洒在土壤中, 将添加外源砷的土壤装入 18 cm 口径的塑料盆中, 选取长势一致的芦苇苗移栽至装好土的塑料盆中, 每个处理栽种 3 株芦苇幼苗, 芦苇生长 90 d 采集收获, 测定各项指标, 对照为各浓度梯度不栽种的芦苇盆装土壤。

1.3 测定方法

将培养 90 d 的芦苇植株从盆中移除, 用自来水洗净, 并用吸水纸吸干水分后, 分离芦苇的地上部分和地下部分, 分别称取地下部分、地上部分(茎叶)的鲜质量, 把地下部分和地上部分分别放入烘箱, 105 ℃ 杀青 30 min, 70 ℃ 条件下烘干, 称量各部分干质量。

芦苇收获时, 利用抖土法, 抖下的部分为非根际土, 其余部分为根际土。收获的土样自然风干, 用木棍碾碎再用研钵研磨, 过 100 目筛。

芦苇地上茎、地下茎、叶、根及各部分土壤样品的砷含量送至谱尼测试集团北京实验室检测。

1.4 数据处理

利用 Excel 和 spss 19.0 统计软件对数据进行差异显著性检验及作图分析。

2 结果与分析

2.1 砷对芦苇生物量的影响

芦苇地上、地下部分的鲜质量随土壤砷浓度逐渐升高呈现先增加再逐渐减少的趋势(图 1)。不同砷浓度胁迫下芦苇的地上和地下部分鲜质量变化也各不相同。25 mg/kg 处理时, 其地上部分鲜质量为 25.60 g, 比对照的地上鲜质量的质

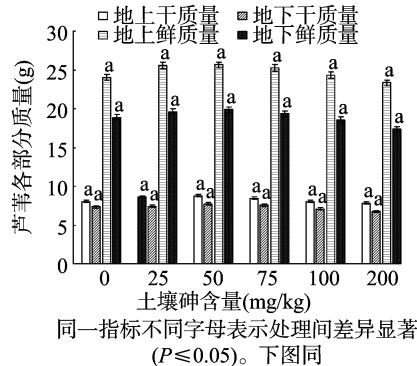


图1 不同砷浓度土壤对芦苇各部鲜质量、干质量的影响

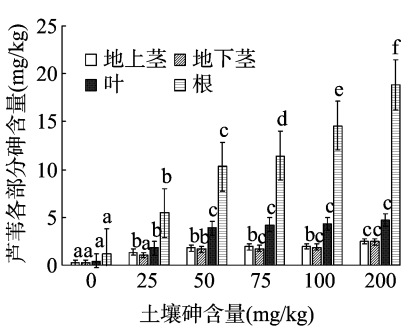


图2 不同砷浓度对芦苇地上茎、地下茎、叶及根的砷含量的影响

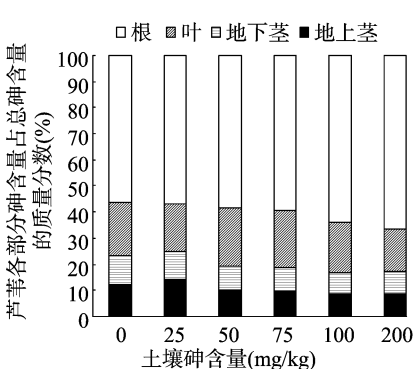


图3 芦苇各部位砷量占总累积量的比例

2.2 芦苇对土壤砷的吸收

盆土砷的本底值为 21.35 mg/kg, 各个浓度梯度下芦苇培养 90 d 后, 根际土和非根际土中的全砷含量如表 1 所示。由表 1 可见, 土壤中砷含量均随着外源添加砷浓度的升高而增大, 根际土中的砷含量小于非根际土的砷含量, 根际土和非根际土中的含量均小于对照中的含量。

经过 90 d 种植芦苇修复后, 土壤中砷的去除效率如表 2 所示。经 90 d 芦苇修复, 各浓度梯度根际及非根际土壤中的砷含量均小于对照土中的砷含量, 说明芦苇具有土壤砷污染

量增加了 1.55 g。当土壤砷浓度从 50 mg/kg 梯度依次升高时, 芦苇地上部分鲜质量呈现下降的趋势, 芦苇的地下鲜质量在 50 mg/kg 处理时最大, 为 19.85 g。砷浓度按 0、25、50 mg/kg 梯度依次升高时, 芦苇地下部分鲜质量呈现增加的趋势。砷浓度从 75 mg/kg 梯度依次升高时, 芦苇地下部分鲜质量呈现缓慢下降的趋势。

芦苇地上、地下部分的干质量随土壤砷浓度逐渐升高呈现先增加再逐渐减少的趋势; 在 50 mg/kg 砷浓度时, 芦苇地上、地下部分干质量在各浓度砷胁迫芦苇中达到最大, 分别为 8.76 g 和 7.72 g, 砷浓度按 0、25、50 mg/kg 梯度依次升高时, 芦苇地上、地下部分干质量呈现增加的趋势。砷浓度从 75 mg/kg 梯度依次升高时, 芦苇地上、地下部分干质量呈现下降的趋势。分析可以看出, 土壤低浓度砷有促进芦苇生长、积累生物量的作用, 土壤砷浓度从 50 mg/kg 梯度升高时, 芦苇的地上、地下干质量及鲜质量呈现下降的趋势, 说明砷浓度增高抑制芦苇的生物量积累。

2.2 芦苇对砷的吸收与分配

经不同砷浓度胁迫 90 d 后, 芦苇地上茎、地下茎、叶及根的砷含量均随着外源添加砷浓度的升高而升高(图 2)。不同浓度砷处理下, 芦苇地上叶、茎的砷含量与对照都有显著差异 ($P < 0.05$); 当土壤砷含量大于 50 mg/kg 时, 芦苇地下茎的砷含量随土壤砷浓度升高而显著增加 ($P < 0.05$); 芦苇根的砷含量随土壤砷浓度升高而增加, 处理间存在显著差异 ($P < 0.05$)。试验结果表明, 外部砷浓度越高, 芦苇各部砷的累积量也越高, 外部砷含量的增加会促进芦苇各部分对砷的吸收。

随土壤砷浓度依次升高, 不同砷浓度胁迫 90 d 后芦苇各部位砷累积量在芦苇各部位的累积比例总体相似(图 3)。芦苇各部位对砷的累积能力表现为根 > 叶 > 地上茎 > 地下茎, 根是芦苇砷的主要储存部位, 其次是叶, 各浓度梯度的芦苇地上茎与地下茎砷含量较为接近, 相差不大。

表 1 土壤中的砷含量 mg/kg

砷浓度	根际全砷含量	非根际全砷含量	对照砷含量
0	19.70 ± 1.08f	20.3 ± 10.56f	21.35 ± 1.35f
25	34.20 ± 4.00e	35.33 ± 5.82e	36.67 ± 4.16e
50	58.67 ± 3.98d	60.33 ± 6.98d	62.67 ± 6.11d
75	85.33 ± 9.33c	86.33 ± 4.51c	89.67 ± 6.34c
100	115.66 ± 8.50b	117.00 ± 2.65b	121.33 ± 4.04b
200	215.60 ± 18.01a	217.33 ± 33.17a	225.67 ± 8.33a

注: 同列数据后不同小写字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)。

修复的能力。根际土和非根际土中砷含量的变化趋势相同,土壤中外源添加砷的量越多,砷的去除效率越低。对照根际土中砷的去除效率为 7.73%;外源添加砷为 25、50、75、100、200 mg/梯度浓度时,其去除效率分别为 6.73%、6.38%、4.84%、4.67%、4.46%。对照非根际土中砷的去除效率为 4.92%,梯度浓度添加外源砷,其去除效率也呈逐渐下降趋势。

表 2 土壤中砷的去除效率

砷浓度 (mg/kg)	根际土壤去除效率 (%)	非根际土壤去除效率 (%)
0	7.73	4.92
25	6.73	4.19
50	6.38	3.78
75	4.84	3.72
100	4.67	3.57
200	4.46	3.43

3 讨论

一般认为,在应用植物修复重金属污染土壤过程中,超积累植物是非常优良的材料^[15],但在实际应用中,大部分超积累植物植株矮小、生物量低、生长缓慢,且部分超积累植物对生物气候条件要求较严格、区域性分布较强等缺点使其应用于修复受到较大限制。地上部可观的生物量能够补偿其较低的地上部重金属含量,用于植物修复技术的植物种类也可以是大生物量、富集重金属能力强、耐受力强的修复植物^[16]。罗艳丽等在新疆奎屯垦区发现芦苇对砷具有较强的耐性^[17]。陈歆对镇江长江内江的北固山湿地进行人工修复研究,发现芦苇相比较其他植物长势快、生物量高,当年栽植当年见效,在湿地生态系统人工修复中可作为优选工具植物之一^[18]。本试验中芦苇具有较强的耐砷能力,100、200 mg/kg 处理的芦苇地上、地下干鲜质量虽然与对照相比较均有一定程度的降低,但差异并不显著,仍然能较快生长,生物量较大,具有修复当地砷污染土壤的潜能。

有研究表明,添加砷浓度 < 20 mg/kg 时,油菜发芽率、根长、株高及各部位干质量的变化均表明砷促进油菜的生长,添加砷浓度 > 40 mg/kg 时,根长、株高变化均表明油菜生长受到严重抑制^[19]。王勇报道,土壤中低浓度的砷对三七生长具有一定的促进作用,土壤中添加 30 mg/kg 的砷,可以提高三七的成活率,高浓度砷对三七生长具有抑制作用,土壤中砷添加量为 70、150 mg/kg 的处理,三七成活率、生物量降低,生长状况相对较差^[20]。也有研究表明,随着土壤砷浓度的升高植物的生长及生物量呈下降趋势,赵丹博等采用室内盆栽试验,研究镉、砷复合污染对 4 个品种的苎麻生长及吸收积累的影响,Cd5 + As0、Cd5 + As50、Cd5 + As100 等 3 个处理下,随着砷浓度升高,苎麻株高、茎粗、根干质量、茎干质量及叶干质量均呈下降趋势^[21]。本研究中不同砷浓度胁迫条件下,芦苇地上、地下部分鲜质量、干质量随土壤砷浓度逐渐升高呈现先增加再逐渐减少的趋势,50 mg/kg 砷浓度时,芦苇的地下鲜质量、芦苇地上干质量及地下干质量达到最大值,分别为 19.85、8.76、7.72 g。

多数研究结果表明,在植物正常生长条件下,随着外源砷浓度的升高植物体内的砷含量增高。邹小丽等在 0、10、30、

50 mg/kg 砷浓度胁迫 160 d 后,4 种柳树根和地上部中的砷含量均随着外源添加砷浓度的升高而升高,柳树地上、地下部的砷含量与对照都有显著差异性^[22]。常思敏等报道土壤中施砷可增加烤烟对砷的吸收,提高其富集系数,导致地上部、地下部中砷的积累,且随着土壤中施砷量的增加而提高^[23]。本研究结果与此相似,芦苇地上茎、地下茎、叶及根的砷含量均随着外源砷浓度的升高而升高。

一般认为在重金属胁迫下,进入植物体内的绝大部分重金属被截留至根部,从而减轻了对地上器官的毒害作用,使得植物对重金属表现出耐性。同一植物的不同部位对重金属的吸收和转运存在较大的差异,大多数植物吸收的重金属主要积累在根系,而在地上部分的含量较低。本研究中芦苇各部位对砷的累积能力表现为根 > 叶 > 地上茎 > 地下茎,根是芦苇砷的主要储存部位,其次是叶。董志成等发现芦苇体内 Zn、Cu、Cd 质量分数及分配百分比表现为根 > 叶 > 茎,且根组织中 Zn、Cu、Cd 的质量分数及分配百分比远远高于其他组织(茎、叶),而叶组织中略高于茎组织,芦苇体内 Pb 和 Cr 质量分数及分配百分比表现为根 > 茎 > 叶^[24]。

种植植物的盆栽土壤砷含量下降原因可能一是植物对砷的吸收,二是砷的挥发。各个浓度梯度下经芦苇培养 90 d 后,土壤中外源添加砷的量越多,砷的去除效率越低。对照对根际土中砷的去除效率为 7.73%,外源添加砷为 25、50、75、100、200 mg/kg 梯度浓度时,其去除效率分别为 6.73%、6.38%、4.84%、4.67%、4.46%。对照非根际土中砷的去除效率为 4.92%,梯度浓度添加外源砷,其去除效率也呈逐渐下降趋势。经 90 d 芦苇修复,各浓度梯度根际及非根际土壤中的砷含量均小于对照土中的砷含量。

芦苇生长快、生物量大,适应范围较广,是固定或修复环境污染较适宜的植物之一。芦苇用于治理环境污染的研究已见报道,本研究发现芦苇可用于修复土壤 As 污染,由于本试验是在室内盆栽条件下进行,其得到的结论与大规模试验有一定的差距,存在一些固有的局限性,具体吸收积累特征和应用于实际修复还需在大田试验验证。芦苇对砷污染土壤的耐受力强,但对砷的积累富集能力较低,采用耐砷菌与芦苇联合修复和采取农艺强化措施大幅度提高芦苇植株的生物量,从而最大程度增加芦苇对砷的吸收富集,提高修复砷污染土壤效率是进一步深入研究的重点。

参考文献:

- [1] 李典友,陆亦农. 土壤中砷污染的危害和防治对策研究[J]. 新疆师范大学学报(自然科学版),2005,24(4):89-91.
- [2] 王连方,郑宝山,王生玲,等. 新疆水砷及其对开发建设的影响(综合报道)[J]. 地方病通报,2002,17(1):21-24.
- [3] 余艳华,蒋平安,罗艳丽,等. 新疆奎屯垦区土壤砷污染现状评价[J]. 土壤通报,2008,39(6):1445-1448.
- [4] Huang X D, El - Alawi Y, Penrose D M, et al. A multi - process phytoremediation system for removal of polycyclic aromatic hydrocarbons from contaminated soils[J]. Environmental Pollution, 2004,130(3):465-476.
- [5] Wang S,Zhao X. On the potential of biological treatment for arsenic contaminated soils and groundwater[J]. Journal of Environmental Management,2009,90(8):2367-2376.

胡 雅,张卫华,马增辉. 不同改良材料作用下宅基地复垦土壤硝态氮运移研究[J]. 江苏农业科学,2017,45(19):302-305.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2017.19.071

不同改良材料作用下宅基地复垦土壤硝态氮运移研究

胡 雅,张卫华,马增辉

(陕西省土地工程建设集团有限责任公司/陕西地建土地工程技术研究院有限责任公司/
国土资源部退化及未利用土地整治重点实验室/陕西省土地整治工程技术研究中心,陕西西安 710075)

摘要:针对宅基地新复垦土壤耕作层养分含量低、保水保肥性能差的问题,在氮磷钾肥料平衡施用的前提下,通过田间定位试验,研究冬小麦生长季添加粉煤灰(TC)、有机肥(TF)、熟化剂(TS)、熟化剂+粉煤灰(TSC)、粉煤灰+有机肥(TFC)、熟化剂+有机肥(TSF)对复垦土壤硝态氮运移、累积情况与作物产量的影响。结果表明:添加熟化剂+有机肥和熟化剂+粉煤灰的处理能够促进表层撒施氮肥转化为硝态氮,添加有机肥易导致硝态氮向土壤深层运移,而添加粉煤灰则会减弱这一过程。熟化剂+有机肥处理在小麦生长初期耕作层能够储备较多的硝态氮,为后期小麦生长提供氮素。随着时间的推移,添加单一改良材料土壤较添加复合改良材料土壤硝态氮累积效应更为明显。添加有机肥和熟化剂在复垦生土熟化过程中对小麦增产有重要作用,有机肥能有效减少小麦空秆率,提高成穗数,粉煤灰在土壤熟化过程中对小麦增产作用不大,添加熟化剂+有机肥是处理宅基地复垦土壤熟化较为优良的改良方法。

关键词:复垦土壤;有机肥;粉煤灰;熟化剂;硝态氮

中图分类号: S153.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2017)19-0302-04

宅基地复垦是指依据土地利用总体规划、土地整理复垦开发规划,对依法取得的利用效益不高或废弃的宅基地复垦为耕地的行为^[1]。工程复垦过程中采用的工程治理措施主

要是挖填填实或剥离表土,新复垦土地中耕作层土壤大多是未经过生物作用和腐殖化过程的自然土^[2],其生土裸露、土壤贫瘠、养分含量低、保水保肥性能差,这种情况加剧了人地、人粮矛盾,制约经济发展。因此,对废弃宅基地进行复垦熟化已经迫在眉睫。

土壤熟化剂是含有作物所需的各种微量元素,无毒、无污染,对生土、瘠薄、板结土壤有较强的熟化、改良作用的无机胶体,它的主要有效成分是硫酸亚铁。施用土壤熟化剂可通过直接和间接效应,降低土壤容重,增加土壤孔隙度,疏松土壤,提高土壤养分,改善土壤结构和土壤水分环境。柳燕兰等研究

收稿日期:2017-03-15

基金项目:陕西省重点科技创新团队计划项目(编号:2016KCT-23)。

作者简介:胡 雅(1990—),女,陕西商洛人,硕士,助理工程师,主要从事土地工程、土壤水肥调控、土地信息化研究。E-mail: Huya0403@163.com。

[6]杨启良,武振中,陈金陵,等. 植物修复重金属污染土壤的研究现状及水肥调控技术展望[J]. 生态环境学报,2015,24(6):1075-1084.

[7]鲍 桐,廉梅花,孙丽娜,等. 重金属污染土壤植物修复研究进展[J]. 生态环境,2008,17(2):858-865.

[8]陈默君,贾慎修. 中国饲用植物[M]. 北京:中国农业出版社,2002:253-255.

[9]苏芳莉,周 欣,陈佳琦,等. 芦苇湿地生态系统对造纸废水中铅的净化研究[J]. 中国环境科学,2011,31(5):768-773.

[10]路 畅,王英辉,杨进文. 广西铅锌矿区土壤重金属污染及优势植物筛选[J]. 土壤通报,2010,41(6):1471-1475.

[11]郑冬梅,孙丽娜,张秀武,等. 化工污染河流沿岸植物对砷、汞的累积作用比较[J]. 生态环境学报,2009,18(3):831-833.

[12]董志成,鲍征宇,谢淑云,等. 湿地芦苇对有毒重金属元素的抗性吸收和累积[J]. 地质科技情报,2008,27(1):80-84.

[13]赵善道,赵雪琴,左 平,等. 湿地植物芦苇(*Phragmites australis*)的重金属富集能力与评价[J]. 海洋环境科学,2014,33(1):60-65.

[14]王 东,黄振东,王 昭,等. 不同胁迫条件下芦苇对污染物的去除及其生长响应研究[J]. 首都师范大学学报(自然科学版),2013,34(6):22-32.

[15]杨金红. 砷污染土壤的生物修复研究进展[J]. 江西农业学报,2012,24(3):125-127.

[16]周振民,朱彦云. 土壤重金属污染大生物量植物修复技术研究进展[J]. 灌溉排水学报,2009,28(6):26-29.

[17]罗艳丽,余艳华,郑春霞,等. 新疆奎屯垦区土壤砷含量及耐砷植物的筛选[J]. 干旱区资源与环境,2010,24(2):192-194.

[18]陈 歆. 北固山湿地优势植物的光合作用特性及人工修复技术研究[D]. 镇江:江苏大学,2005.

[19]蒋汉明. 川芎 GAP 基地复合污染土壤中砷的植物修复研究[D]. 成都:成都理工大学,2010.

[20]王 勇. 不同土壤砷浓度对文山三七品质的影响及稳定化修复效果评价[D]. 北京:中央民族大学,2015.

[21]赵丹博,曹 诣,余 玮,等. 镉、砷复合污染对苧麻生长及吸收镉、砷的影响[J]. 中国麻业科学,2015,37(4):183-188.

[22]邹小丽,周 源. 柳树对砷的吸收和运转及对砷污染土壤修复效果研究[J]. 江西理工大学学报,2014,35(3):7-12.

[23]常思敏,贾东坡,田志强,等. 不同施砷量对烤烟砷吸收、积累及分布的影响[J]. 河南农业大学学报,2006,40(5):486-489.

[24]江行玉,赵可夫. 铅污染下芦苇体内铅的分布和铅胁迫相关蛋白[J]. 植物生理与分子生物学学报,2002,28(3):169-174.