

杨 丹,刘 燕,刘 勇. 4 种园林植物修复河道疏浚底泥中重金属污染的试验研究[J]. 江苏农业科学,2018,46(4):224-227.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.04.057

4 种园林植物修复河道疏浚底泥中重金属污染的试验研究

杨 丹,刘 燕,刘 勇

(贵阳学院生物与环境工程学院,贵州贵阳 550002)

摘要:为研究园林植物对贵州省贵阳市南明河河道疏浚底泥重金属污染的修复潜力,采用盆栽试验分析了绿萝、吊竹梅和花叶万年青对底泥中 Cu、Zn、Cd、Pb 等重金属的吸收能力和修复效率。结果表明,4 种植物对重金属污染河道疏浚底泥具有较好的耐性;绿萝对 Cu、Zn 和 Cd 的积累总量最高,分别达到 147.60、176.81、4.52 mg/kg;吊竹梅中积累的 Pb 含量最高,达 31.92 mg/kg;虽然 4 种植物均未达到重金属富集植物标准,但对各种重金属均表现出了一定的富集效果和转运效果,绿萝对 Cu 和 Zn 的转移系数分别为 1.45 和 1.94,吊兰对 Cd 的转移系数为 1.49;种植 4 种植物后,河道疏浚底泥中重金属含量均有所降低,其中绿萝对 Cu 和 Zn 的修复效率分别达到 55.3% 和 45.0%,吊竹梅对 Zn 的修复效率达到 40.1%。综合 4 种园林植物对重金属的耐性、吸收总量、富集和转移特征,以及修复效率,绿萝、吊兰和吊竹梅对重金属污染河道疏浚底泥具有一定的修复潜力。

关键词:疏浚底泥;重金属污染修复;园林植物;绿萝;吊兰;吊竹梅;花叶万年青;富集系数;转移系数;修复效率

中图分类号: X52 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)04-0224-04

随着城市化进程的加快及工业的迅猛发展,河流、湖泊等受到了不同程度的污染,污染物沉积在底泥中,当环境条件发生变化时又重新释放到水体中。环保疏浚是减少水环境污染和改善水质的重要途径^[1]。但疏浚和清淤产生的疏浚底泥中含有一定量的重金属、有机物等污染物质,传统的脱水、堆置等处理方法可能造成土壤和地下水污染,因此疏浚底泥的合理处置显得尤为重要^[2]。底泥重金属污染已成为世界性问题^[3-4]。目前国内外河道及湖库底泥的重金属污染治理有物理修复、化学修复、生物修复以及 3 种技术联合,其中物理和化学修复方法日渐成熟,但由于物理修复经济成本较高,化学修复易带来二次污染等问题,其应用仍受到一定限制^[5-6]。植物修复是利用植物通过吸收、沉淀、富集等作用降低底泥中的重金属含量,相比处理成本昂贵的物理、化学修复技术,植

物修复技术可以通过吸收、提取、迁移等过程将污染物从底泥中转移,是处理疏浚底泥中重金属污染的新兴技术^[7-8]。

南明河属乌江水系,全长 118 km,横贯贵州省贵阳市城区,从 20 世纪 90 年代开始因受生活污水和工业废水排污影响,水环境恶化,污泥淤积严重^[9],从 2001 年开始治理,主要采用环保疏浚清除水底淤泥,削减水体内源性污染物的释放量^[10]。有研究表明,南明河河道疏浚出的底泥存在不同程度的重金属污染^[11],目前底泥是经脱水、干化后送至填埋场处理^[12],尚无针对南明河河道疏浚底泥重金属污染的植物修复相关研究报道。因此,为研究植物修复重金属污染河道疏浚底泥的潜力,选取 4 种生长适应性强、生长速度快、生物量大、养护成本低、具有景观效果的园林植物为研究对象,对河道疏浚底泥中重金属的吸收、分布及修复效率进行分析,为重金属污染河道疏浚底泥的植物修复提供参考。

1 材料与方法

1.1 材料

供试底泥为贵州省贵阳市南明河水口寺河段河道疏浚底泥,pH 值为 7.6,全 Cu 含量 179.64 mg/kg,全 Zn 含量 219.03 mg/kg,全 Cd 含量 7.15 mg/kg,全 Pb 含量 58.28 mg/kg。供试植物为绿萝 (*Epipremnum aureum*)、吊兰

收稿日期:2016-08-16

基金项目:国家自然科学基金(编号:31600442);贵州省科学技术基金(编号:黔科合 J 字[2013]2299 号);贵州省科学技术联合基金(编号:黔科合 LH 字[2014]7180 号);贵州省重点学科生态学项目(编号:ZDXK[2013]08)。

作者简介:杨 丹(1982—),女,贵州兴义人,博士,副教授,主要从事土壤环境质量评价与污染防治研究。E-mail: yangdansky@163.com。

[5] 张 鹏,郑粉莉,陈吉强,等. 利用高精度 GPS 动态监测沟蚀发育过程[J]. 热带地理,2009,29(4):368-373.

[6] 李双喜,桂惠中,丁树文. 中国南方崩岗空间分布特征[J]. 华中农业大学学报,2013,32(1):83-86.

[7] 张大林,刘希林. 应用三维激光扫描监测崩岗侵蚀地貌变化——以广东五华县莲塘崩岗为例[J]. 热带地理,2014,34(2):133-140.

[8] 陈晓安,杨 洁,肖胜生,等. 崩岗侵蚀分布特征及其成因[J]. 山地学报,2013,31(6):716-722.

[9] 刘洪鸽,刘宪春,张平仓,等. 南方崩岗发育特征及其监测技术探讨[J]. 中国水土保持科学,2011,9(2):19-23.

[10] 王 鹤,刘 军,王秋玲. 利用无人机影像进行滑坡地形三维重建[J]. 测绘与空间地理信息,2015,38(12):68-71.

[11] 柴子为,康 峻,王 力,等. 基于无人机影像的山地人工林景观 DEM 构建[J]. 遥感技术与应用,2015,30(3):504-509.

[12] 蒋芳市,黄炎和,林金石,等. 坡度和雨强对崩岗崩积体侵蚀泥沙颗粒特征的影响[J]. 土壤学报,2014,51(5):974-982.

(*Chlorophytum comosum*)、吊竹梅(*Zebrina pendula* Schnizl)、花叶万年青(*Dieffenbachia picta* Lodd.)，均为生长 1 年的植株，购自贵阳市花鸟市场。

1.2 试验方法

本试验为盆栽试验，试验地点为贵阳学院实验温棚。河道疏浚底泥自然风干过 2 mm 筛，装入高 20 cm、内径 15 cm 的塑料花盆，每盆装泥 2.5 kg，用去离子水调至 70% 左右持水率，每盆移栽 5 株植株，每种植物 3 次重复，种植时间 60 d。

1.3 底泥和植物样品测定

底泥样品处理：种植植物前，取自然风干底泥磨碎，测定 pH 值时过 1 mm 筛，电位法测定^[13]；测定重金属含量时过 0.15 mm 筛，用 HNO₃ - HF 消解后采用 AA - 7000 原子吸收分光光度法测定全量 Cu、Zn、Cd、Pb 含量^[13]。植物收获后花盆中底泥上、下层土壤混匀后自然风干，用四分法取约 100 g 磨碎，过 0.15 mm 筛，HNO₃ - HF 消解后采用 AA - 7000 原子吸收分光光度法测定种植植物后底泥中上述 4 种重金属含量。

植物样品处理：植物生长 60 d 后收获，用自来水冲洗，根

部土壤洗净后再用去离子水清洗，滤干水分后将地上部分与地下部分分开，105 ℃ 杀青 30 min，80 ℃ 烘干至恒质量。植物样品烘干研磨后过 0.20 mm 筛，HNO₃ - HCl O₄ 消解后采用 AA - 7000 原子吸收分光光度法测定后植物中 Cu、Zn、Cd、Pb 含量^[13]。

1.4 数据分析

数据经 Microsoft Excel 2010 统计分析后，采用 OriginPro 8.5 制图。

2 结果与分析

2.1 河道疏浚底泥中重金属含量

由表 1 可知，南明河水口寺河段河道疏浚底泥中全量 Cu、Zn、Cd、Pb 等重金属含量均高于贵阳市土壤背景值；与 GB 15618—1995《土壤环境质量标准》中自然背景值相比，底泥中全量 Cu 超标 4.13 倍，全 Zn 超标 1.19 倍，全 Cd 超标 34.75 倍，全 Pb 超标 0.67 倍。可见，河道疏浚底泥中 Cu、Zn、Cd、Pb 等重金属均存在不同程度的污染，其中 Cd 污染最严重。

表 1 河道疏浚底泥及土壤环境中重金属含量

样品	全量 Cu 含量 (mg/kg)	全量 Zn 含量 (mg/kg)	全量 Cd 含量 (mg/kg)	全量 Pb 含量 (mg/kg)
河道疏浚底泥	179.64	219.03	7.15	58.28
土壤环境自然背景值 ^[14]	35	100	0.2	35
贵阳市土壤背景值 ^[15]	22.6	74.2	0.074	26.0

2.2 植物体内重金属含量分布

由图 1 可见，重金属含量在 4 种植物中的分布状况各不相同。植物体内 Cu 积累总量最高的是绿萝，达到 147.60 mg/kg，积累含量最低的是吊竹梅，为 59.52 mg/kg；Zn 积累总量最高的也是绿萝，为 176.81 mg/kg，最低的是花叶万年青，为 86.09 mg/kg。Cd 在 4 种植物体内的积累含量差异不大，为 2.80 ~ 4.52 mg/kg，积累含量最高的是绿萝，最低的是花叶万年青和吊竹梅，分别为 2.80、2.93 mg/kg；吊竹梅中积累的 Pb 含量最高，达 31.92 mg/kg，绿萝积累的最低，为 24.83 mg/kg。一般植物体内积累的 Cu 含量为 0.4 ~ 45.8 mg/kg，Zn 含量为 1.0 ~ 160.0 mg/kg，Cd 含量为 0.2 ~ 3.0 mg/kg，Pb 含量为 0.1 ~ 41.7 mg/kg^[16]，可见 4 种植物对于重金属 Cu 的积累能力均高于一般植物；另外，绿萝对于重金属 Zn 和 Cd 的积累能力、吊兰对于 Cd 的积累能力也高于一般植物。

从重金属 Cu、Zn、Cd、Pb 在 4 种植物体内的分布来看，绿萝地上部分 Cu 和 Zn 的积累量都大于地下部分，吊兰地上部分 Cd 的积累量都大于地下部分，其余均为地下部分重金属的积累量高于地上部分，可见大部分植物根系对重金属的吸收和积累能力较强^[17-18]。4 种植物对 Pb 的积累都集中在根部，这与棕竹、宛田红花油茶、地瓜榕，以及剑麻、波斯菊、鸢尾等园林植物积累 Pb 主要在根部的研究结果类似^[19-22]。

2.3 植物对重金属的富集和转移特征

富集系数(bioaccumulation factor, BCF)是反映植物将重金属吸收到体内植物中的能力的指标^[8]，通常是指植物体内地上部分积累的元素含量与底泥中该元素含量的比值。虽然不同植物对重金属 Cu、Zn、Cd、Pb 的富集系数均小于 1(表

2)，说明绿萝、吊兰、吊竹梅、花叶万年青等 4 种植物都不满足重金属富集植物特征，但 4 种植物对各种重金属均表现出了一定的富集效果。绿萝对 Zn 的富集系数大于 0.5，对于修复 Zn 污染是一种潜在的优势植物。

重金属在植物体内的积累与分布还跟植物对重金属的耐性机制有关，转移系数(translocation factor, TF)定义为植物地上部分某种重金属含量与其地下部分该重金属含量的比值，是间接衡量植物对重金属耐性的指标，反映了重金属在植物体内的分配比例，以及植物向地上部分迁移重金属的能力^[23]。4 种植物对各种重金属均表现出了一定的转运效果。由表 2 可知，不同植物对重金属 Cu、Zn、Cd、Pb 的耐性差异较大。绿萝对 Cu 和 Zn 的转移系数，以及吊兰对 Cd 的转移系数均大于 1，说明绿萝能较容易地从地下部分向地上部分迁移 Cu 和 Zn，对 Cu 和 Zn 表现出较强的耐性，具有提取 Cu 和 Zn 的潜力；吊兰对于 Cd 具有较强的耐性，对 Cd 具有植物提取的潜力。其余植物对重金属 Cu、Zn、Cd、Pb 的转移系数均小于 1，可能是由于植物的自身排斥机制，阻止重金属元素由根部向地上部分运输^[18]。

2.4 植物对重金属的修复效率

植物对重金属的修复效率是指种植植物前后河道疏浚底泥中重金属含量的变化与种植植物前底泥中重金属含量的比值。由表 3 可知，种植绿萝、吊兰、吊竹梅和花叶万年青后，底泥中 Cu、Zn、Cd、Pb 含量均有不同程度的降低。4 种植物对河道疏浚底泥中 Cu 的修复效率为 22.1% ~ 55.3%，其中绿萝的修复效率最高，达到 55.3%；4 种植物对底泥中 Zn 的修复效率为 26.9% ~ 45.0%，绿萝的修复效率最高，为 45.0%；4 种植物对底泥中 Cd 的修复效率为 12.7% ~ 23.5%，对 Pb 的修复效率差异不大，为 25.4% ~ 27.9%。

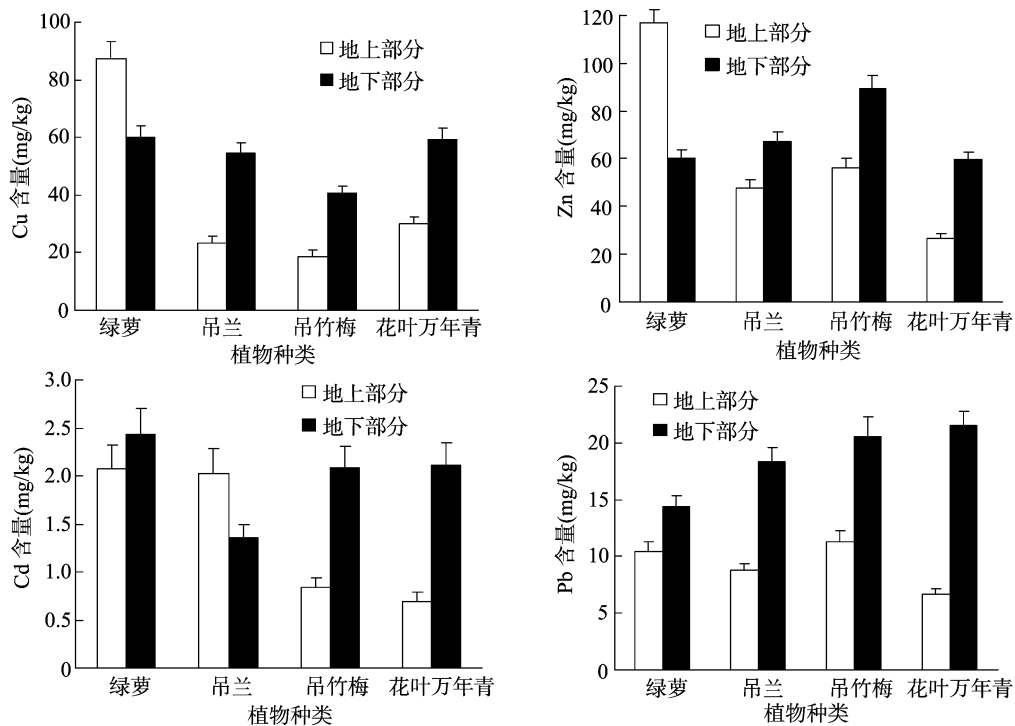


图1 不同植物体内重金属含量及分布

表 2 不同植物对河道疏浚底泥中重金属的富集系数和转移系数

植物	Cu		Zn		Cd		Pb	
	富集系数 BCF	转移系数 TF	富集系数 BCF	转移系数 TF	富集系数 BCF	转移系数 TF	富集系数 BCF	转移系数 TF
绿萝	0.49	1.45	0.53	1.94	0.29	0.85	0.18	0.73
吊兰	0.13	0.43	0.22	0.71	0.28	1.49	0.15	0.48
吊竹梅	0.33	0.46	0.26	0.63	0.12	0.40	0.19	0.55
花叶万年青	0.10	0.50	0.12	0.45	0.10	0.33	0.11	0.30

表 3 不同植物对河道疏浚底泥污染的重金属修复效率

植物	Cu		Zn		Cd		Pb	
	浓度	修复效率	浓度	修复效率	浓度	修复效率	浓度	修复效率
绿萝	80.38	55.3%	120.46	45.0%	5.47	23.5%	43.49	25.4%
吊兰	127.54	29.0%	147.81	32.5%	6.00	16.1%	43.00	26.2%
吊竹梅	139.88	22.1%	131.30	40.1%	6.24	12.7%	42.01	27.9%
花叶万年青	130.72	27.2%	160.19	26.9%	6.20	13.3%	43.26	25.8%

注:“浓度”指的是种植植物后测得底泥中的重金属浓度。

3 讨论与结论

本研究结果表明,南明河水口寺河段河道疏浚底泥存在不同程度的 Cu、Zn、Cd、Pb 等重金属污染,谢辉等对贵阳市南明河城区底泥中重金属含量特征的研究^[11]也得到相同结论。绿萝、吊兰、吊竹梅和花叶万年青移栽到重金属污染底泥中后均能正常生长,说明这 4 种植物对重金属 Cu、Zn、Cd、Pb 具有一定的耐受性。有研究表明,吊兰对 Cu、Zn、Cd、Pb 等重金属具有较强耐受性^[24-25]。从植物对重金属的吸收方面来看,4 种植物中,绿萝对 Cu、Zn 和 Cd 的吸收能力最强,但对 Pb 的吸收能力较弱;吊竹梅的对 Cu 的吸收能力、花叶万年青对 Zn 的吸收能力较弱,且这 2 种植物对 Cd 的吸收能力差异不大,均相对较弱;吊竹梅对 Pb 的吸收能力较强;另外,吊兰对 Cd 也具有较强的吸收能力,这与王友保等的研究结论^[26]一致。

从重金属在植物体内的分布来看,绿萝吸收的 Cu 和 Zn,以及吊兰吸收的 Cd 主要分布在地上部分,说明绿萝对 Cu 和 Zn 表现出较强的耐性,吊兰对于 Cd 具有较强的耐性,Cu 和 Zn 能较容易地从绿萝的地下部分向地上部分迁移,Cd 能较容易地从吊兰的根系向茎叶迁移,吴丹等的研究也发现吊兰对 Cd 的耐受性较强^[27]。其余植物吸收的其他重金属主要分布在根系中,可能是由于植物根系启动了适应重金属的忍耐机制,将重金属元素滞留在根系,避免向上运输,毒害植物地上部分的生长^[18]。

再建平研究植物对污泥中重金属的修复,结果表明,吊兰对重金属的富集能力大小为 Cd > Zn > Pb > Cu^[24],本研究中吊兰对上述重金属的富集系数结论与之相一致。从 4 种植物对 Cu、Zn 和 Cd 的富集系数来看,绿萝、吊兰、吊竹梅和花叶万年青都不具备富集植物特征,但绿萝对于 Zn 的富集系数超

过了 0.5,且绿萝根系发达,生长适应性较好,繁殖较快,短时间内能积累较高的生物量,是值得关注的 Zn 污染修复优势植物。绿萝、吊兰、吊竹梅和花叶万年青对重金属的转移能力也各不相同,其中绿萝对 Cu 和 Zn 的转移系数、吊兰对 Cd 的转移系数均大于 1,说明绿萝和吊兰具有通过收获其地上部分将底泥中重金属 Cu、Zn 和 Cd 转移的潜力。

种植绿萝、吊兰、吊竹梅和花叶万年青后,河道疏浚底泥中重金属 Cu、Zn、Cd、Pb 的含量均有不同程度的降低,说明 4 种植物对河道疏浚底泥的重金属污染具有一定的修复作用;其中,绿萝对 Cu 和 Zn、吊竹梅对 Zn 的修复效率相对较高,说明绿萝对 Cu 和 Zn 污染具有较强的修复潜力,吊竹梅对 Zn 污染具有较强的修复潜力。

综上所述,南明河水口寺河段河道疏浚底泥存在一定程度的 Cu、Zn、Cd、Pb 重金属污染,绿萝、吊兰、吊竹梅和花叶万年青在试验期内生长正常,未呈现重金属污染毒害作用,说明 4 种植物对重金属污染河道疏浚底泥具有较好的耐性。其中,绿萝对 Cu、Zn 和 Cd 的积累总量最高,吊竹梅中积累的 Pb 含量最高;绿萝中积累的 Cu 和 Zn、吊兰中积累的 Cd 主要分布在茎叶中,其余植物积累的重金属主要分布在根系中。绿萝、吊兰、吊竹梅和花叶万年青虽然未达到重金属富集植物标准,但对各种重金属均表现出了一定的富集效果和转运效果,绿萝对 Cu 和 Zn 的富集效果和转运效果最好,吊兰对 Cd 的转运效果最好,具有通过收获其地上部分将底泥中重金属 Cu、Zn 和 Cd 转移的潜力。

因此,4 种植物对河道疏浚底泥的重金属污染均表现出一定的修复作用,其中绿萝对 Cu 和 Zn 的修复效率较高,吊竹梅对 Zn 的修复效率较高。综合 4 种园林植物对重金属的耐性、吸收总量、富集和转运特征,以及修复效率,除花叶万年青外,绿萝、吊兰和吊竹梅对重金属污染河道疏浚底泥的修复具有一定的修复潜力,为河道疏浚底泥的植物修复提供了一定参考。

参考文献:

- [1] 许炼烽,邓绍龙,陈继鑫,等. 河流底泥污染及其控制与修复[J]. 生态环境学报,2014,23(10):1708-1715.
- [2] 马伟芳,赵新华,孙井梅,等. EDTA 在植物修复复合污染河道疏浚底泥中的调控作用[J]. 环境科学,2006,27(1):85-90.
- [3] Delvalls T A, Blasco J, Sarasquete M C, et al. Evaluation of heavy metal sediment toxicity in littoral ecosystems using juveniles of the fish *Sparus aurata*[J]. Ecotoxicology and Environmental Safety,1998,41(2):157-167.
- [4] Widada J, Nojiri H, Omori T. Recent developments in molecular techniques for identification and monitoring of xenobiotic-degrading bacteria and their catabolic genes in bioremediation[J]. Applied Microbiology and Biotechnology,2002,60(1/2):45-59.
- [5] Li T P, Yuan S H, Wan J Z, et al. Hydroxypropyl- β -cyclodextrin enhanced electrokinetic remediation of sediment contaminated with HCB and heavy metals[J]. Journal of Hazardous Materials,2010,176(1/2/3):306-312.
- [6] Kelderman P, Osman A A. Effect of redox potential on heavy metal binding forms in polluted canal sediments in Delft (The Netherlands)[J]. Water Research,2007,41(18):4251-4261.
- [7] Masciandaro G, Di B A, Macci C, et al. Phytoremediation of dredged marine sediment: monitoring of chemical and biochemical processes contributing to sediment reclamation[J]. Journal of Environmental Management,2014,134(4):166-174.
- [8] Lee J H. An overview of phytoremediation as a potentially promising technology for environmental pollution control[J]. Biotechnology and Bioprocess Engineering,2013,18(3):431-439.
- [9] 刘勇,刘燕,朱元荣,等. 河道硬化与生态治理探讨——以贵阳市南明河为例[J]. 环境与可持续发展,2015,40(1):157-159.
- [10] 邢雅因,阮晓红,赵振华. 城市河道底泥疏浚深度对氮磷释放的影响[J]. 河海大学学报(自然科学版),2006,34(4):378-382.
- [11] 谢辉,陈卓,杨阳,等. 贵阳市南明河城区底泥中的重金属与有机质研究[J]. 贵州师范大学学报(自然科学版),2007,25(4):44-47.
- [12] 石德坤. 修复技术在南明河污染治理中的应用[J]. 水土保持通报,2008,28(4):138-139,151.
- [13] 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,2000:210-213.
- [14] 国家环境保护局. 土壤环境质量标准:GB 15618—1995[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [15] 武永锋,刘丛强,涂成龙. 贵阳城市土壤重金属元素形态分布[J]. 矿物学报,2008,28(2):177-180.
- [16] 何东,邱波,彭显晖,等. 湖南下水湾铅锌尾矿库优势植物重金属含量及富集特征[J]. 环境科学,2013,34(9):3595-3600.
- [17] 努扎艾提·艾比布,刘云国,宋华晓,等. 重金属 Zn、Cu 对香根草生理生化指标的影响及其积累特性研究[J]. 农业环境科学学报,2010,29(1):54-59.
- [18] 谷超,梁隆超,陈卓. 4 种牧草植物对红枫湖底泥中重金属污染的植物修复研究[J]. 环境工程,2015,33(7):148-151.
- [19] 赵健,仇硕,李秀娟,等. 三种园林植物对土壤中重金属 Pb 的吸收及修复研究[J]. 北方园艺,2010,34(23):79-82.
- [20] 陈柳燕,张黎明,李福燕,等. 剑麻对重金属铅的吸收特性与累积规律初探[J]. 农业环境科学学报,2007,26(5):1879-1883.
- [21] 崔爽,周启星,李萍,等. 几种观赏花卉对土壤铅的吸收特性和抗性能力研究[J]. 江西科学,2009,27(1):157-160.
- [22] 韩玉林. 鸢尾属(*Iris* L.) 植物铅积累、耐性及污染土壤修复潜力研究[D]. 南京:南京农业大学,2007.
- [23] 缪福俊,孙浩,陈玲,等. 兰坪铅锌尾矿区土壤与自然发生的 5 种植物的研究[J]. 环境工程学报,2011,5(1):189-194.
- [24] 冉建平. 花卉植物对污泥中重金属的去除效果[J]. 四川农业科技,2013,43(11):48-49.
- [25] 白向玉,刘汉湖,韩宝平,等. 花卉植物修复剩余污泥中重金属的实验研究[J]. 环境科学与技术,2010,33(10):39-44,105.
- [26] 王友保,燕傲蕾,张旭情,等. 吊兰生长对土壤镉形态分布于含量的影响[J]. 水土保持学报,2010,24(6):163-166.
- [27] 吴丹,王友保,李伟,等. 镉胁迫对吊兰生长与土壤酶活性的影响[J]. 环境化学,2012,31(10):1562-1568.