

# Pb 和 Cd 单一及复合胁迫条件下溪荪 (*Iris sanguinea*) 生长及金属离子积累特征分析

王鸿燕<sup>1</sup>, 黄苏珍<sup>1,①</sup>, 原海燕<sup>1</sup>, 陈晓萱<sup>2</sup>, 马万荣<sup>2</sup>

[1. 江苏省·中国科学院植物研究所(南京中山植物园), 江苏 南京 210014;

2. 江苏大千生态景观股份有限公司, 江苏 南京 210024]

**摘要:** 采用水培法,对 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫(500 mg · L<sup>-1</sup> Pb、25 mg · L<sup>-1</sup> Cd、500 mg · L<sup>-1</sup>Pb-25 mg · L<sup>-1</sup>Cd)条件下溪荪(*Iris sanguinea* Donn ex Horn.)幼苗不同部分的生长及 Pb、Cd、Zn、Cu、K 和 Na 积累状况进行了研究。结果显示:在 Pb 单一胁迫条件下,溪荪幼苗地下部分干质量较对照降低了 18.2%,地上部分干质量和耐性指数均与对照无显著差异;在 Cd 单一胁迫条件下,地下部分与地上部分的干质量较对照分别降低了 16.4% 和 14.1%,耐性指数降低了 7%;在 Pb-Cd 复合胁迫条件下,溪荪幼苗不同部分的干质量以及耐性指数均与对照无显著差异。在 Pb 单一及 Pb-Cd 复合胁迫条件下,幼苗不同部分的 Pb 含量均明显高于对照, Pb 单一胁迫处理组幼苗地上部分和地下部分的 Pb 含量分别比 Pb-Cd 复合胁迫处理组高 19.8% 和 16.0%。在 Cd 单一及 Pb-Cd 复合胁迫条件下,幼苗不同部分的 Cd 含量均明显高于对照,Pb-Cd 复合胁迫处理组幼苗地上部分和地下部分的 Cd 含量分别为 Cd 单一胁迫处理组的 2.02 和 5.74 倍。经 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫后,幼苗不同部分的 Zn、Cu 和 Na 含量均明显高于对照,而 K 含量则低于对照;地上部分的 Zn、K 和 Na 含量均高于地下部分,但 Cu 含量在幼苗不同部分的变化趋势则有所不同。比较结果表明:Pb-Cd 复合胁迫对溪荪幼苗的 Pb 积累有促进作用、对 Cd 积累有抑制作用,表现出拮抗作用;溪荪对 Pb 胁迫的耐性相对更强,对 Pb 和 Cd 及其他金属元素有一定的积累能力,可用于 Pb 污染环境尤其是湿地 Pb 污染环境的修复。

**关键词:** 溪荪; Pb; Cd; 单一及复合胁迫; 生长; 离子积累

中图分类号: Q945.78; X17 文献标志码: A 文章编号: 1674-7895(2011)03-0024-05

**Characteristics analyses of growth and metal ions accumulation of *Iris sanguinea* under single and combination stresses of Pb and Cd** WANG Hong-yan<sup>1</sup>, HUANG Su-zhen<sup>1,①</sup>, YUAN Hai-yan<sup>1</sup>, CHEN Xiao-xuan<sup>2</sup>, MA Wan-rong<sup>2</sup> (1. Institute of Botany, Jiangsu Province and the Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210014, China; 2. Jiangsu Daqian Ecology and Landscape Co., Ltd., Nanjing 210024, China), *J. Plant Resour. & Environ.* 2011, 20(3): 24-28

**Abstract:** The status of growth and accumulations of Pb, Cd, Zn, Cu, K and Na in different parts of *Iris sanguinea* Donn ex Horn. under single and combination stresses of Pb and Cd (500 mg · L<sup>-1</sup> Pb, 25 mg · L<sup>-1</sup> Cd, 500 mg · L<sup>-1</sup>Pb-25 mg · L<sup>-1</sup>Cd) were studied by water culture method. The results show that dry weight of under-ground part under Pb single stress decreases by 18.2% compared with the control, while dry weight of above-ground part and tolerance index have not significant difference with the control. Under Cd single stress, dry weights of under- and above- ground parts decrease by 16.4% and 14.1%, and tolerance index decreases by 7%, respectively, compared with the control. Under Pb-Cd combination stress, all of dry weights of different parts and tolerance index of *I. sanguinea* seedlings are not significantly different with the control. Pb content in different parts of seedlings under Pb single and Pb-Cd combination stresses is obviously higher than that of the control. And Pb content in above- and under- ground parts of seedlings in Pb single stress group increases by 19.8% and 16.0%, respectively,

收稿日期: 2010-07-27

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(30771520); 江西省自然科学基金资助项目(2008GZN0064)

作者简介: 王鸿燕(1984—),女,安徽淮北人,硕士,主要从事观赏植物种质资源抗性评价研究。

①通信作者 E-mail: hsz1959@163.com

compared with that in Pb-Cd combination stress group. Cd content in different parts of seedlings under Cd single and Pb-Cd combination stresses is obviously higher than that of the control. And Cd content in above- and under- ground parts of seedlings in Pb-Cd combination stress group is 2.02 and 5.74 times, respectively, to that in Cd single stress group. Under single and combination stresses of Pb and Cd, contents of Zn, Cu and Na in different parts of seedlings are obviously higher but K content is lower than those of the control. And contents of Zn, K and Na in above-ground part are higher than those in underground part, while change trend of Cu content in different parts of seedlings is different. The comparison results indicate that Pb-Cd combination stress may promote Pb accumulation and inhibit Cd accumulation of *I. sanguinea* seedlings, appearing an antagonism effect. *I. sanguinea* has a relatively stronger tolerance to Pb, and also has a certain accumulation ability to Pb and Cd as well as other metal elements. Therefore, *I. sanguinea* can be used for remediation of Pb pollution environment especially marsh Pb pollution environment.

**Key words:** *Iris sanguinea* Donn ex Horn.; Pb; Cd; single and combination stresses; growth; ion accumulation

农药和“工业三废”(废水、废渣、废气)中所含的大量Pb和Cd是污染环境的主要重金属元素;Pb和Cd被排放至土壤和水体后,通过植物的吸收作用而富集到食物链中,对人体健康和生态环境产生极为不利的影响<sup>[1-2]</sup>。因此,开展Pb和Cd污染环境的修复研究具有重要的现实意义,并已受到一定的关注。

溪荪(*Iris sanguinea* Donn ex Horn.)又名东方鸢尾,属鸢尾科(Iridaceae)鸢尾属(*Iris* L.)多年生草本植物,生于溪流边缘、沼泽地、湿草地或向阳坡地,花大而美丽,可为庭园绿化和切花之用;根、茎均可入药,具有清热解毒的作用<sup>[2]</sup>。目前,有关Pb和Cd单一及复合胁迫条件下溪荪植株生长状况及其对金属离子吸收能力的研究尚未见报道,关于溪荪是否具有修复Pb和Cd污染环境的能力尚不清楚。鉴于此,作者以溪荪幼苗为实验材料,采用水培方法研究了Pb和Cd单一及复合胁迫对溪荪幼苗地上和地下部分生长及Pb、Cd、Zn、Cu、K、Na等金属离子积累的影响,为探讨溪荪对Pb和Cd的耐性机制及其在修复污染环境中的应用提供理论支持。

## 1 材料和方法

### 1.1 材料

实验用溪荪种子为江苏省·中国科学院植物研究所鸢尾种质圃内的溪荪无性繁殖群体所结的子实。

### 1.2 方法

1.2.1 幼苗培育及胁迫处理 采用Han等<sup>[3]</sup>的方法培育溪荪幼苗。选择生长健壮且长势基本一致的植株(苗高约10 cm),从培养盘中取出并洗净后栽植

于装有300 mL 1/2Hoagland营养液的培养瓶中预培养,每瓶6株幼苗;置于室内培养,光照度1500~3000 lx、温度20℃~30℃。

预培养10 d后,将培养液更换为含不同质量浓度Pb和Cd的1/2Hoagland营养液进行胁迫处理。其中,Pb和Cd分别以Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>和Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>的形式加入。实验设3个处理组,即Pb单一胁迫处理组(500 mg·L<sup>-1</sup> Pb)、Cd单一胁迫处理组(25 mg·L<sup>-1</sup> Cd)和Pb-Cd复合胁迫处理组(500 mg·L<sup>-1</sup> Pb-25 mg·L<sup>-1</sup> Cd),以不添加Pb和Cd的1/2Hoagland营养液为对照(CK)。每处理1瓶,各重复3次,每隔4天更换1次培养液。

1.2.2 生长指标测定 胁迫处理20 d后取样,冲洗干净后测量并计算各处理组所有植株根系的平均长度,并按照公式“耐性指数=(处理组平均根长/对照组平均根长)×100%”计算耐性指数<sup>[3]</sup>。各处理随机选3株幼苗,80℃干燥箱内干燥至恒质量,分别称量地上部分和地下部分的干质量。

1.2.3 离子含量测定 分别称取地上部分和地下部分干样约0.1 g,剪碎后用V(HNO<sub>3</sub>):V(HClO<sub>4</sub>)=87:13混合液6 mL浸泡12 h,然后消煮至近干;加入10 mL体积分数5% HNO<sub>3</sub>,水浴振荡使之充分溶解,并用体积分数5% HNO<sub>3</sub>定容至25 mL;用TAS990火焰原子分光光度计(AAS)测定消煮液中Pb、Cd、Zn、Cu、K和Na的含量<sup>[3]</sup>。

### 1.3 数据分析

应用Excel和SPSS 13.0软件对实验数据进行统计和方差分析(ANOVA);所有数据均为3次重复的平均值。

## 2 结果和分析

### 2.1 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫对溪荪幼苗干质量和耐性指数的影响

经 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫后溪荪幼苗地上部分和地下部分的干质量及耐性指数见表 1。由表 1 可见:在 500 mg · L<sup>-1</sup> Pb 单一胁迫条件下,溪荪幼苗地下部分干质量比对照降低了 18.2%,差异显著;但地上部分干质量与对照差异不显著;耐性指数与对照无显著差异。25 mg · L<sup>-1</sup> Cd 单一胁迫条件下,溪荪幼苗地下部分与地上部分的干质量均显著低于对照,分别较对照降低了 16.4% 和 14.1%,耐性指数降低了 7%,表明 25 mg · L<sup>-1</sup> Cd 单一胁迫显著抑制了溪荪幼苗的生长。在 500 mg · L<sup>-1</sup> Pb-25 mg · L<sup>-1</sup> Cd 复合胁迫条件下,溪荪幼苗地下部分和地上部分的干质量与对照差异不显著,且耐性指数仅下降了 5%,说明 Pb-Cd 复合胁迫减弱了 Pb 和 Cd 单一胁迫的抑制作用,对溪荪生长的影响相对减弱。

表 1 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫对溪荪幼苗地上部分和地下部分干质量及耐性指数的影响 ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>  
Table 1 Effects of single and combination stresses of Pb and Cd on dry weights of above- and under- ground parts and tolerance index of *Iris sanguinea* Donn ex Horn. seedlings ( $\bar{X} \pm SD$ )<sup>1)</sup>

质量浓度/mg · L <sup>-1</sup> Concentration		干质量/g Dry weight		耐性指数 Tolerance index
Pb	Cd	地下部分 Under-ground part	地上部分 Above-ground part	
0	0	0.055±0.020a	0.071±0.013a	1.00±0.023a
500	0	0.045±0.022b	0.069±0.014a	0.99±0.105a
0	25	0.046±0.034b	0.061±0.012b	0.93±0.038b
500	25	0.052±0.030a	0.070±0.021a	0.95±0.137ab

<sup>1)</sup>表中数据为 3 次重复的平均值 Datums in this table are the average of three replications; 同列中不同的小写字母表示经邓肯氏新复极差测验差异显著 ( $P=0.05$ ) Different small letters in the same column indicate the significant difference by Duncan's new multiple range test ( $P=0.05$ ).

### 2.2 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫条件下溪荪幼苗对金属离子的积累规律分析

2.2.1 对 Pb 和 Cd 的积累 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫条件下溪荪幼苗对 Pb 和 Cd 的积累状况见表 2。由表 2 数据可以看出:在 500 mg · L<sup>-1</sup> Pb 单一胁迫及 500 mg · L<sup>-1</sup> Pb-25 mg · L<sup>-1</sup> Cd 复合胁迫条件下,溪荪幼苗地下部分的 Pb 含量均高于地上部分;在 Pb 单一胁迫条件下,溪荪幼苗地上部分和地下部分的 Pb 含量分别为 671.384 和 835.773 μg · g<sup>-1</sup>,分别比

Pb-Cd 复合胁迫处理组高 19.8% 和 16.0%,说明 Pb-Cd 复合胁迫降低了溪荪幼苗对 Pb 的积累。

在 25 mg · L<sup>-1</sup> Cd 单一胁迫和 500 mg · L<sup>-1</sup> Pb-25 mg · L<sup>-1</sup> Cd 复合胁迫条件下,溪荪幼苗地上部分的 Cd 含量明显高于地下部分;在 Cd 单一胁迫条件下,溪荪幼苗地上部分和地下部分的 Cd 含量分别为 404.060 和 95.149 μg · g<sup>-1</sup>;而在 Pb-Cd 复合胁迫条件下,幼苗地上部分和地下部分的 Cd 含量明显高于 Cd 单一胁迫处理组,分别是后者的 2.02 和 5.74 倍。可见,Pb-Cd 复合胁迫显著促进了溪荪幼苗对 Cd 的积累及其向地上部分的迁移。

表 2 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫条件下溪荪幼苗体内 Pb 和 Cd 含量的比较<sup>1)</sup>

Table 2 Comparison of Pb and Cd contents in seedlings of *Iris sanguinea* Donn ex Horn. under single and combination stresses of Pb and Cd<sup>1)</sup>

质量浓度/mg · L <sup>-1</sup> Concentration		Pb 含量/μg · g <sup>-1</sup> Pb content		Cd 含量/μg · g <sup>-1</sup> Cd content	
Pb	Cd	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part	地上部分 Above-ground part	地下部分 Under-ground part
0	0	0.568	1.026	0.778	0.386
500	0	671.384	835.773	0.289	0.530
0	25	1.237	0.056	404.060	95.149
500	25	560.229	720.291	815.622	545.970

<sup>1)</sup>表中数据为 3 次重复的平均值 Datums in this table are the average of three replications.

2.2.2 对 Zn、Cu、K 和 Na 的积累 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫条件下溪荪幼苗对 Zn、Cu、K 和 Na 的积累状况见表 3。由表 3 可知:在 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫条件下,溪荪地上部分的 Zn 含量均高于地下部分;经 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫处理后,溪荪体内的 Zn 含量均高于对照,特别是在 Pb-Cd 复合胁迫条件下,地上部分和地下部分的 Zn 含量分别为对照的 2.86 和 1.73 倍。上述结果说明:Pb 和 Cd 单一及复合胁迫可促进溪荪幼苗对 Zn 的吸收,且 Pb-Cd 复合胁迫的促进作用更显著。

在 Pb 和 Cd 单一及复合胁迫条件下,溪荪幼苗地上部分和地下部分的 Cu 含量均明显高于对照。在 500 mg · L<sup>-1</sup> Pb 单一胁迫条件下,溪荪幼苗地下部分的 Cu 含量高于地上部分;而在 25 mg · L<sup>-1</sup> Cd 单一胁迫及 500 mg · L<sup>-1</sup> Pb-25 mg · L<sup>-1</sup> Cd 复合胁迫条件下,则表现为地上部分的 Cu 含量高于地下部分。在 Pb-Cd 复合胁迫条件下,地上部分和地下部分的 Cu 含量均最高,分别是对照的 3.92 和 9.45 倍。

上述结果说明:Pb和Cd单一及复合胁迫对溪荪幼苗Cu的吸收有一定的促进作用,其中Pb胁迫对溪荪地

下部分Cu吸收的促进作用更为明显,且Pb-Cd复合胁迫能明显促进溪荪体内Cu的积累。

表3 Pb和Cd单一及复合胁迫条件下溪荪幼苗体内Zn、Cu、K和Na含量的比较<sup>1)</sup>

Table 3 Comparison of contents of Zn, Cu, K and Na in seedlings of *Iris sanguinea* Donn ex Horn. under single and combination stresses of Pb and Cd<sup>1)</sup>

质量浓度/ $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ Concentration		Zn含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Zn content		Cu含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Cu content		K含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ K content		Na含量/ $\mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ Na content	
Pb	Cd	地上部分	地下部分	地上部分	地下部分	地上部分	地下部分	地上部分	地下部分
		Above-ground part	Under-ground part	Above-ground part	Under-ground part	Above-ground part	Under-ground part	Above-ground part	Under-ground part
0	0	29.556	16.050	5.988	1.967	7 804.311	3 568.748	1 401.765	733.242
500	0	48.783	27.647	9.494	13.414	7 870.959	2 281.504	1 655.196	855.861
0	25	48.691	25.014	11.691	4.193	8 964.584	2 957.515	2 011.199	1 738.768
500	25	84.438	27.739	23.470	18.588	4 916.980	1 356.736	1 612.344	1 065.105

<sup>1)</sup>表中数据为3次重复的平均值 Datums in this table are the average of three replications.

各处理组溪荪地上部分的K含量都明显高于地下部分;Pb和Cd单一胁迫条件下,地上部分K含量均较对照有所增加,但增加幅度不明显;在Pb-Cd复合胁迫条件下,地上部分K含量较对照下降了37.0%,下降幅度明显。与对照相比,经Pb和Cd单一及复合胁迫处理后,溪荪地下部分K含量均有一定程度的降低,其中,复合胁迫后地下部分的K含量下降幅度最大,较对照降低了62.0%。说明Pb-Cd复合胁迫对溪荪幼苗K吸收有显著的抑制作用。

经Pb和Cd单一及复合胁迫处理后,溪荪幼苗地上部分和地下部分的Na含量均高于对照;在Cd单一胁迫条件下,幼苗地上部分和地下部分的Na含量均最高,分别为对照的1.43和2.37倍;但在Pb单一胁迫和Pb-Cd复合胁迫条件下,地上部分的Na含量增加幅度不大,而地下部分的Na含量增加幅度也小于Cd单一胁迫处理组。上述结果说明:Cd单一胁迫对溪荪体内Na积累的促进作用较Pb单一胁迫更明显,而Pb-Cd复合胁迫则削弱了这种促进作用。

### 3 讨论和结论

在逆境条件下,植物体内的活性氧代谢平衡被打破,超氧自由基增多,导致膜蛋白和膜脂受损,生物膜的结构和功能被破坏,最终使植物的正常生长代谢受到影响<sup>[4]</sup>。Pb和Cd均为土壤中的主要重金属污染元素,植物根系能够快速直接地吸收大量的Pb和Cd,引起根系生长率下降、导致侧根发育受到抑制。李永丽等<sup>[5]</sup>的研究结果显示:在 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  Pb胁迫条件下,东方香蒲(*Typha orientalis* Presl)的生物量急

剧下降,植株生长被抑制。仇硕等<sup>[6]</sup>用 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  Cd处理黄菖蒲(*I. pseudacorus* L.)幼苗,幼苗的根长、侧根数量、干质量等都明显小于对照。本实验结果与上述研究结果有相似之处,即:在 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  Pb和 $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  Cd单一胁迫条件下溪荪的生长受到一定程度的抑制作用,但在 $500 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  Pb- $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$  Cd复合胁迫条件下,溪荪的生长状态与对照差异不大。这可能是由于Pb和Cd具有拮抗作用,削弱了彼此的毒性;也可能与离子形态和浓度比例有关<sup>[7]</sup>。

Pb进入植物体后绝大部分积累在根部,运输到地上部分的Pb仅占其中的一小部分,本实验结果也说明了这一点。但在实验设置的胁迫条件下,溪荪幼苗地上部分的Cd、Zn、Cu、K和Na等离子的积累量基本都高于地下部分,说明这些金属离子较易转移到溪荪的地上部分,而Pb主要积累于溪荪的根部,这与Stoltz等<sup>[8]</sup>的研究结果不同。Stoltz等认为:重金属在湿地植物体内趋向于积累在根部。这可能是由于Pb在根系中主要以 $\text{Pb}(\text{PO}_4)_2$ 和 $\text{PbCO}_3$ 等沉淀形式存在,而在植物汁液中以离子态和络合态Pb存在,由于吸持、钝化或沉淀作用,植物根系吸收的Pb向地上部分的运输比较困难<sup>[9-10]</sup>。土壤吸附动力学实验结果<sup>[11]</sup>表明,Pb对植物吸收Cd有一定的促进作用,本实验结果与之相一致。然而,Cd却对Pb的吸收有一定的抑制作用。Pb和Cd胁迫对植物体一些离子的吸收有一定的促进或者抑制作用,这与离子之间的协同或者拮抗作用有关<sup>[12]</sup>。本实验中,溪荪幼苗内Pb、Cd、Zn、Cu和Na等元素的含量变化大部分都表现出一定的同步作用,这与陈彤等<sup>[13]</sup>的研究结论(即:在苔藓植物体内Cu、Pb、Cd和Zn含量具有显著的正相

关关系和协同效应)一致。但是在本研究中,溪荪地下部分的 K 含量却呈下降趋势,尤其是在 Pb-Cd 复合胁迫条件下下降幅度更大,这可能是因为 K 是植物生长所必需的金属元素,与其他离子的来源和作用并不相似;或者由于 K 呈离子状态溶于植物细胞液中,在维持液泡的渗透势和细胞膨压中起着重要作用,细胞的伸长生长与 K 含量有密切的关系,其主要功能与植物的新陈代谢有关<sup>[14]</sup>;Pb-Cd 复合胁迫导致溪荪的生长受到抑制,细胞结构被破坏,新陈代谢减缓,从而导致 K 的流失。Pb-Cd 复合胁迫对溪荪体内 Na 吸收的促进作用并不明显,Cd 单一胁迫条件下 Na 含量变化显著,这与 Na 元素自身特性和浓度比例有关,还与共存元素的性质和浓度比例有关<sup>[15]</sup>。

综上所述,溪荪对 Pb 胁迫有相对的耐性,对 Pb 和 Cd 均具有一定的积累作用,可用于 Pb 污染环境的修复,尤其是可用于湿地 Pb 污染环境的修复。

#### 参考文献:

[1] 蔡美芳,党志,文震,等. 矿区周围土壤中重金属危害性评估研究[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 6-8.

[2] 黄苏珍,韩玉林,谢明云,等. 中国鸢尾属观赏植物资源的研究与利用[J]. 中国野生植物资源, 2003, 22(1): 4-7.

[3] Han Y L, Yuan H Y, Huang S Z, et al. Cadmium tolerance and accumulation by two species of *Iris*[J]. *Ecotoxicology*, 2007, 16: 557-563.

[4] Poljakoff-Mayber A, Gale J. *Plants in Saline Environments* [M]. New York: Springer-Verlag, 1975: 356-371.

[5] 李永丽,李欣,李硕,等. 东方香蒲(*Typha orientalis* Presl)对铅的富集特征及其 EDTA 效应分析[J]. 生态环境, 2005, 14(4): 555-558.

[6] 仇硕,黄苏珍. Cd 胁迫下黄菖蒲幼苗根系生长与 Cd 积累的研究[J]. 植物资源与环境学报, 2008, 17(3): 33-38.

[7] 赵菲佚,翟禄新,陈荃,等. Cd、Pb 复合处理下 2 种离子在植物体内的分布及其对植物生理指标的影响[J]. 西北植物学报, 2002, 22(3): 595-601.

[8] Stoltz E, Greger M. Accumulation properties of As, Cd, Cu, Pb and Zn by four wetland plant species growing on submerged mine tailings [J]. *Environmental and Experimental Botany*, 2002, 47: 271-280.

[9] Jordão C P, Ribeiro P R S, Matos A T, et al. Environmental assessment of water-courses of the Turvo Limpo River basin at the Minas Gerais State, Brazil [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, 127: 315-326.

[10] Zhou Y Q, Huang S Z, Yu S L, et al. The physiological response and sub-cellular localization of lead and cadmium in *Iris pseudacorus* L. [J]. *Ecotoxicology*, 2010, 19: 69-76.

[11] 陈怀满,郑春荣. 交互作用对植物生长和元素循环的影响[J]. 土壤学进展, 1994, 22(1): 47-49.

[12] 曾曙才,谢正生,陈北光. 几种林木植物体及枯落物的微量元素分析[J]. 华南农业大学学报: 自然科学版, 2002, 23(2): 58-61.

[13] 陈彤,王江,张崇邦. Pb/Zn 尾矿上 3 种苔藓植物对重金属富集能力的比较[J]. 安徽农业科学, 2009, 37(18): 8666-8668.

[14] 郭英,孙学振,宋宪亮,等. 钾营养对棉花苗期生长和叶片生理特性的影响[J]. 植物营养与肥料学报, 2006, 12(3): 363-368.

[15] 孙延东,原海燕,黄苏珍. Cd-Cu 复合胁迫对黄菖蒲叶片及根系中 Cd 和 Cu 的积累及其迁移率的影响[J]. 植物资源与环境学报, 2009, 18(1): 22-27.

(责任编辑:佟金凤)

## 2012 年《生物质化学工程》征订启事

《生物质化学工程》是由国家林业局主管、中国林科院林产化学工业研究所主办,面向国内外公开发行的全国生物质化工行业的技术类期刊。为 RCCSE 中国核心学术期刊(A)、2010 年中国农业核心期刊。报道范围为可再生的木质和非木质生物质资源的化学加工与利用,包括生物质能源、生物质化学品、生物质新材料、生物质天然活性成分和制浆造纸等。主要栏目包括研究报告、综述评论、行业热点、国内外信息等。适于从事生物质化学工业、林产化学工业、林业、农业、森工、能源、轻工、化工、环保、医药、食品、土产、商检、外贸等行业从事科研、教学、生产、经营、设计工作等相关人士阅读。

本刊为双月刊, A4 开本, 56 页, 单月月底出版。国内邮发代号 28-205, 每期定价 10.00 元, 全年 60.00 元; 国外发行代号 BM2743, 定价全年 60 美元。也可直接向编辑部订阅。编辑部地址: 南京市锁金五村 16 号 林化所内(邮编 210042); 电话: (025) 85482492; 传真: (025) 85482493; E-mail: bce@vip.163.com; 网址: http://www.bce.ac.cn。

欢迎投稿和订阅或来电来函联系广告业务!