

# Cr<sup>6+</sup>、Pb<sup>2+</sup> 污染对水稻幼苗生长发育的影响

邹继颖, 刘 辉\*

(吉林化工学院 环境与生物工程学院, 吉林 吉林 132022)

**摘要:** 利用水培法研究不同质量浓度 Cr<sup>6+</sup> (0、0.05、0.15、0.25、0.35、0.45、0.55 mg/L) 和不同质量浓度 Pb<sup>2+</sup> (0、0.05、0.10、0.15、0.25、0.35、0.50 mg/L) 对水稻幼苗生长发育的影响, 以期为研究重金属污染对水稻种子萌发及早期幼苗伤害机理提供一些理论参考。结果表明, Cr<sup>6+</sup> 对水稻幼苗的生长表现为低(≤0.25 mg/L)促高(>0.25 mg/L)抑, 并且这种抑制作用随着其质量浓度的增加而增大; Cr<sup>6+</sup> 对水稻幼苗叶绿素含量的影响也表现为低促高抑; 水稻幼苗体内 Cr<sup>6+</sup> 含量以较大苗龄的较高, 且其随着培养液中 Cr<sup>6+</sup> 质量浓度的增加而增加。Pb<sup>2+</sup> 对水稻幼苗的生长表现为低(≤0.15 mg/L)促高(>0.15 mg/L)抑, 且其质量浓度越大抑制作用越强; Pb<sup>2+</sup> 对水稻幼苗叶绿素含量的影响也表现为低促高抑, 且水稻幼苗苗龄越大, 其对 Pb<sup>2+</sup> 污染的抵抗力越差; 水稻幼苗体内 Pb<sup>2+</sup> 含量以较大苗龄的较高, 但相同苗龄水稻体内 Pb<sup>2+</sup> 含量与培养液中 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度呈反比。

**关键词:** 铬; 铅; 水稻; 叶绿素; 生长发育

**中图分类号:** X173 S511 **文献标志码:** A **文章编号:** 1004-3268(2014)02-0031-04

## Effects of Chromium and Lead Pollution on Growth and Development of Rice Seedling

ZOU Ji-ying, LIU Hui\*

(College of Environmental and Biological Engineering, Jilin Institute of Chemical Technology, Jilin 132022, China)

**Abstract:** In order to analyze the damage mechanism of Cr<sup>6+</sup> and Pb<sup>2+</sup> on seed germination and initial growth of rice seedlings, the hydroponic method was used to study the effect of different concentrations of Cr<sup>6+</sup> (0, 0.05, 0.15, 0.25, 0.35, 0.45, 0.55 mg/L) and Pb<sup>2+</sup> (0, 0.05, 0.10, 0.15, 0.25, 0.35, 0.50 mg/L) on the growth and development of rice seedlings. The results showed that the growth of rice seedlings was promoted by Cr<sup>6+</sup> at low concentrations (≤0.25 mg/L), but inhibited by Cr<sup>6+</sup> at high concentrations (>0.25 mg/L), and the inhibition effect increased with the increase of Cr<sup>6+</sup> concentrations. The content of chlorophyll was also promoted by Cr<sup>6+</sup> at low concentrations and inhibited by Cr<sup>6+</sup> at high concentrations. Older rice seedlings accumulated more Cr<sup>6+</sup>, and the content of accumulated Cr<sup>6+</sup> increased with the increase of Cr<sup>6+</sup> concentrations. The growth of rice seedlings was promoted by Pb<sup>2+</sup> at low concentrations (≤0.15 mg/L), but inhibited by Pb<sup>2+</sup> at high concentrations (>0.15 mg/L), and the inhibition effect increased with the increase of Pb<sup>2+</sup> concentrations. The content of chlorophyll was also promoted by Pb<sup>2+</sup> at low concentrations and inhibited by Pb<sup>2+</sup> at high concentrations, and with the increase of age, the immunity of rice seedlings to Pb<sup>2+</sup> decreased. High content of accumulated Pb<sup>2+</sup> was found in older seedlings, however, the accumulated Pb<sup>2+</sup> content in rice seedlings at the same age was inversely proportional to Pb<sup>2+</sup> concentrations.

**Key words:** chromium; lead; rice; chlorophyll; growth and development

收稿日期: 2013-05-03

基金项目: 吉林化工学院科学技术研究项目(2011051)

作者简介: 邹继颖(1978-), 女, 黑龙江庆安人, 讲师, 硕士, 主要从事环境生态与环境毒理研究。E-mail: zoujiying2013@126.com

\* 通讯作者: 刘 辉(1978-), 男, 黑龙江绥化人, 讲师, 硕士, 主要从事环境安全与化工安全研究。E-mail: 123070558@qq.com

重金属在生物体内可以富集,并可转化为毒性更大的金属化合物,从而对人类造成巨大的危害<sup>[1]</sup>。作为我国主粮之一的稻米,其重金属残留问题较为突出<sup>[2]</sup>。目前,关于重金属对水稻污染方面的研究主要集中在水稻植株和籽粒对重金属的吸收富集规律<sup>[3-5]</sup>、重金属的分析方法<sup>[6]</sup>、重金属的存在形态<sup>[7]</sup>以及受重金属污染后水稻的生理生化效应<sup>[8-9]</sup>等方面,并且这些研究多数采用的是土培法种植水稻,而采用水培法分析重金属污染对水稻种子萌发及幼苗生长发育影响的研究较少。有研究发现,如果种子在萌发时受到重金属污染,则会直接影响作物的生长和产量,因此研究种子在萌发阶段受重金属污染的影响尤为重要<sup>[10-11]</sup>。鉴于此,采用水培法培育水稻,在水稻种子萌发及早期幼苗生长阶段,分析了重金属 Cr 和 Pb 污染对水稻幼苗生长发育的影响,以为研究重金属污染对水稻种子萌发及早期幼苗伤害机制提供理论参考。

## 1 材料和方法

### 1.1 试验材料

供试水稻品种为宏科 67 号。

### 1.2 试验设计

选籽粒饱满的种子,用 0.1%  $\text{HgCl}_2$  消毒 10 min,然后用蒸馏水充分冲洗,再用蒸馏水浸种 72 h 后均匀播于铺有 2 层滤纸的培养皿中,平行 3 份。用营养液(1 kg 水中加入 0.15 g 尿素、0.15 g 氯化钾、0.10 g 磷酸二氢钾)分别配制  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度为 0、0.05、0.15、0.25、0.35、0.45、0.55 mg/L 的  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  溶液和  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度为 0、0.05、0.10、0.15、0.25、0.35、0.50 mg/L 的  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$  溶液,从水稻萌芽并生长稳定后开始,第 1 周在第 1 份水稻试样中分别加入上述  $\text{Cr}^{6+}$  溶液和  $\text{Pb}^{2+}$  溶液,并记为处理 1;第 2 周在第 2 份水稻试样中加上述  $\text{Cr}^{6+}$  溶液和  $\text{Pb}^{2+}$  溶液,并记为处理 2;第 3 周在第 3 份水稻试样中加入上述  $\text{Cr}^{6+}$  溶液和  $\text{Pb}^{2+}$  溶液,并记为处理 3<sup>[12]</sup>。然后置于  $(28 \pm 1)^\circ\text{C}$  的恒温恒湿箱中光照培养,每天观察水稻幼苗的生长状况,待水稻幼苗缺水时加入一定量的营养液。

### 1.3 测定项目及方法

在处理 1、2、3 水稻幼苗被  $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$  [ $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ] 侵染 7 d 后取样,各处理均取 50 株幼苗,观察其根系和茎叶形态。功能叶片叶绿素含量测定:采用丙酮-酒精混合液抽取叶绿素,754 型紫外可见分光光度计测定叶绿素的  $\text{OD}_{663}$ 、 $\text{OD}_{645}$  值,叶绿素含量以鲜质量计<sup>[13-14]</sup>。水稻体内重金属含量采用原

子吸收分光光度法测定<sup>[15]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 对水稻幼苗生长发育的影响

2.1.1  $\text{Cr}^{6+}$  随着  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度的增加, $\text{Cr}^{6+}$  对水稻幼苗生长先促进后抑制。当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度为 0.05 mg/L 时,水稻幼叶淡绿,长势稍好;当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度为 0.15 mg/L 时,水稻幼苗植株长势好;当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度为 0.25 mg/L 时,水稻幼苗植株长势最好,根部长出许多须根;当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度为 0.35 mg/L 时,水稻幼苗植株长势好,根部长出少许须根,稍有发烂现象;当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度为 0.55 mg/L 时,水稻幼苗的叶尖黄化、萎缩,幼叶淡绿,根呈褐色。当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度相同时,处理 2 水稻幼苗植株长势最差。综上所述,低质量浓度的  $\text{Cr}^{6+}$  对水稻幼苗生长有促进作用,当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度高于 0.25 mg/L 时开始对水稻幼苗有抑制作用,并且这种抑制作用随着  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度的增加而增大。

2.1.2  $\text{Pb}^{2+}$   $\text{Pb}^{2+}$  对水稻幼苗生长发育的影响与  $\text{Cr}^{6+}$  类似,随着  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度的增加, $\text{Pb}^{2+}$  对水稻幼苗生长先促进后抑制。当  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度低于 0.15 mg/L 时水稻幼苗长势较好;当  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度为 0.15 mg/L 时,水稻幼苗长势最好;当  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度超过 0.15 mg/L 时,随着  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度的增加水稻幼苗长势逐渐变差;当  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度达到 0.50 mg/L 时,水稻幼苗植株长势最差,根部长出少许须根,根短,稍有发烂现象。对于不同处理的水稻幼苗,当  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度相同时处理 3 长势最差。综上所述,低质量浓度的  $\text{Pb}^{2+}$  对水稻幼苗生长有促进作用,当  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度超过一定值(0.15 mg/L)时,其对水稻生长有抑制作用,且  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度越大,抑制作用越强。

### 2.2 $\text{Cr}^{6+}$ 、 $\text{Pb}^{2+}$ 对水稻幼苗叶绿素含量的影响

2.2.1  $\text{Cr}^{6+}$  由图 1 可以看出,随着  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度的增加,处理 1、2、3 的水稻幼苗叶绿素含量均先增加后降低并最终趋于平稳。当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度小于 0.15 mg/L 时,随着  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度的增加,水稻幼苗叶绿素含量逐渐增加;当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度为 0.15 mg/L 时,叶绿素含量最高,此时,处理 1 和处理 2 叶绿素含量均为 0.335 mg/g,高于处理 3(0.297 mg/g);当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度介于 0.15~0.45 mg/L 时,叶绿素含量逐渐减少;当  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度大于 0.45 mg/L 时,叶绿素含量趋于平稳。这种现象在处理 2 中表现得尤为明显。综上所述, $\text{Cr}^{6+}$  在低质量浓度时对水稻幼苗叶绿素含量有促进作用,高质

量浓度时对水稻幼苗叶绿素含量有抑制作用。

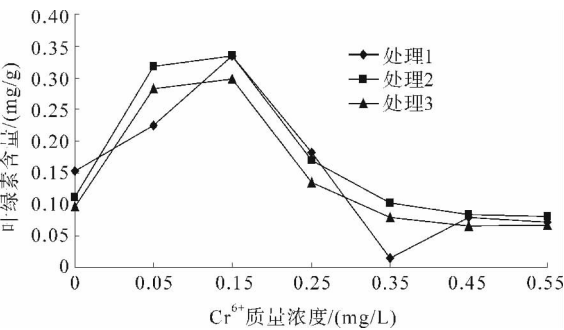


图 1 经 Cr<sup>6+</sup> 处理的不同时期水稻幼苗叶绿素含量

2.2.2 Pb<sup>2+</sup> 由图 2 可知,随着 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度的增加,处理 2、3 水稻幼苗叶绿素含量均先增加后降低并最终趋于平稳,处理 1 水稻幼苗叶绿素含量则先缓慢增加后迅速降低。处理 1 在 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度小于 0.10 mg/L 时,水稻幼苗叶绿素含量基本没有变化;在 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度介于 0.10~0.35 mg/L 时,水稻幼苗叶绿素含量逐渐增加;在 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度为 0.35 mg/L 时达到最高,为 0.271 mg/g,然后开始迅速下降。处理 2 和处理 3 水稻幼苗叶绿素含量变化趋势相似,但达到叶绿素含量最高值的 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度不同,处理 2 在 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度为 0.25 mg/L 时叶绿素含量最高,为 0.289 mg/g;而处理 3 在 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度为 0.15 mg/L 时叶绿素含量最高,为 0.289 mg/g。处理 1、2、3 代表的是水稻幼苗生长的早、中、晚期,可见,水稻幼苗苗龄越大,其对 Pb<sup>2+</sup> 污染的抵抗力越差。综上所述,Pb<sup>2+</sup> 在低质量浓度时对水稻幼苗叶绿素含量有促进作用,高质量浓度时对水稻幼苗叶绿素含量有抑制作用,且水稻幼苗苗龄越大,其对 Pb<sup>2+</sup> 污染的抵抗力越差。

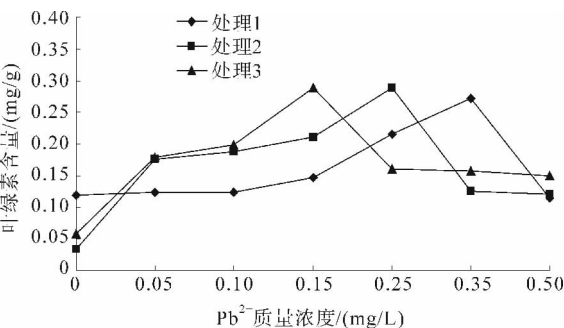


图 2 经 Pb<sup>2+</sup> 处理的不同时期水稻幼苗叶绿素含量

2.3 Cr<sup>6+</sup>、Pb<sup>2+</sup> 对水稻幼苗体内各自含量的影响

2.3.1 Cr<sup>6+</sup> 由表 1 可知,当培养液中 Cr<sup>6+</sup> 质量浓度为 0.05、0.15、0.45 mg/L 时,水稻幼苗中 Cr<sup>6+</sup> 含量随水稻苗龄的增加而增加;当 Cr<sup>6+</sup> 质量浓度为 0.25、0.35、0.55 mg/L 时,中期苗龄水稻中 Cr<sup>6+</sup> 含

量最大,后期次之,初期最小,说明水稻幼苗苗龄较小时其对 Cr<sup>6+</sup> 的积累能力较差。在同一处理,随着培养液中 Cr<sup>6+</sup> 质量浓度的增加,水稻幼苗体内 Cr<sup>6+</sup> 含量随之增加,但增加幅度逐渐减小,说明其对 Cr<sup>6+</sup> 的吸收强度下降。总的来看,处于中期和后期的水稻幼苗比处于前期的水稻幼苗更易积累 Cr<sup>6+</sup>,且含量随着培养液中 Cr<sup>6+</sup> 质量浓度的增加而增加。

表 1 水稻幼苗体内 Cr <sup>6+</sup> 含量 mg/kg			
Cr <sup>6+</sup> 质量浓度/(mg/L)	处理 1	处理 2	处理 3
0	0	0	0
0.05	0.302 1	0.367 3	0.419 4
0.15	0.432 4	0.497 6	0.523 6
0.25	0.562 7	0.627 9	0.601 8
0.35	0.693 0	0.758 2	0.706 0
0.45	0.823 3	0.888 5	0.901 5
0.55	0.953 6	1.018 8	0.979 6

2.3.2 Pb<sup>2+</sup> 由表 2 可知,对于同一 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度,随着水稻幼苗苗龄的增大,水稻幼苗体内 Pb<sup>2+</sup> 含量增加,说明水稻幼苗越大其对 Pb<sup>2+</sup> 的积累能力越强;对于相同苗龄的水稻幼苗,随着培养液中 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度的增加,水稻幼苗体内 Pb<sup>2+</sup> 含量逐渐减少,说明植物体内的 Pb<sup>2+</sup> 含量与溶液中 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度呈负相关关系<sup>[7]</sup>。综上所述,水稻幼苗在 Pb<sup>2+</sup> 质量浓度较低时更易积累 Pb<sup>2+</sup>,并且苗龄越大其对 Pb<sup>2+</sup> 积累能力越强。

表 2 水稻幼苗体内 Pb <sup>2+</sup> 含量 mg/kg			
Pb <sup>2+</sup> 质量浓度/(mg/L)	处理 1	处理 2	处理 3
0	0	0	0
0.05	4.354 7	4.354 8	4.440 3
0.10	4.297 7	4.326 3	4.411 8
0.15	4.269 3	4.326 3	4.383 3
0.25	4.240 7	4.297 8	4.354 8
0.35	4.115 2	4.297 8	4.326 3
0.50	4.069 7	4.269 3	4.297 8

3 结论与讨论

本研究中 Cr<sup>6+</sup> 污染对水稻幼苗生长的影响主要体现在以下方面:低质量浓度的 Cr<sup>6+</sup> 对水稻幼苗生长有促进作用,当 Cr<sup>6+</sup> 质量浓度高于 0.25 mg/L 时开始对水稻幼苗有抑制作用,并且这种抑制作用随着 Cr<sup>6+</sup> 质量浓度的增加而增大。Cr<sup>6+</sup> 在低质量浓度时对水稻幼苗叶绿素含量有促进作用,高质量浓度时对水稻幼苗叶绿素含量有抑制作用,这种现象在处理 2 中表现得尤为明显;处于中期和后期的

水稻幼苗比处于前期的水稻幼苗更易积累  $\text{Cr}^{6+}$ , 且其含量随着培养液中  $\text{Cr}^{6+}$  质量浓度的增加而增加。

有研究表明,  $\text{Cr}^{6+}$  毒害使水稻植株矮小, 叶片失绿<sup>[16]</sup>。Van Assche 等<sup>[17]</sup>认为, 重金属 Cr 毒害引起的植株失绿、叶绿素总量下降, 是由于重金属离子抑制原叶绿素酸酯还原酶活性引起的。徐勤松等<sup>[18]</sup>认为  $\text{Cr}^{6+}$  毒害使叶绿体膨胀、类囊体排列紊乱、被膜消失、叶绿体解体, 导致叶绿素含量下降, 而植物体内叶绿素含量的高低与光合作用强弱密切相关, 因此,  $\text{Cr}^{6+}$  毒害将最终影响植物光合作用的正常进行, 进而影响植物生长, 使其植株矮小萎缩。本研究中, 在高质量浓度  $\text{Cr}^{6+}$  污染下, 水稻幼苗植株萎缩, 幼叶淡绿, 根呈褐色, 叶绿素含量降低, 与前人的研究结果一致。

本研究中  $\text{Pb}^{2+}$  污染对水稻幼苗的生长主要体现在以下方面: 低质量浓度时对水稻幼苗生长有促进作用, 当  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度超过一定值(0.15 mg/L)时, 其对水稻生长有抑制作用, 且  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度越大抑制作用越强;  $\text{Pb}^{2+}$  在低质量浓度时对水稻幼苗叶绿素含量有促进作用, 高质量浓度时对水稻幼苗叶绿素含量有抑制作用, 且水稻幼苗苗龄越大, 其对  $\text{Pb}^{2+}$  污染的抵抗力越差; 水稻幼苗苗龄越大其对  $\text{Pb}^{2+}$  积累能力越强, 但相同苗龄的水稻对  $\text{Pb}^{2+}$  的积累能力与培养液中  $\text{Pb}^{2+}$  质量浓度呈反比。

尽管目前没有研究表明 Pb 是植物生长过程中的有益元素, 但是有些研究者已经注意到低浓度 Pb 对植物生长有一定的促进效应<sup>[19-20]</sup>, 这与本研究结果一致。有学者认为, Pb 的毒性效应是累积性的, 因此低水平的 Pb 对植物的长期作用则有潜在危害<sup>[21]</sup>。

目前关于 Cr、Pb 对水稻生长发育特别是生理效应的研究已取得一定进展, 但是对其毒害效应及毒性作用机制方面还有许多不明确的地方, 特别是在生态毒性作用机制方面亟待深入研究。

#### 参考文献:

- [1] 韦友欢, 黄秋婵, 苏秀芳, 等. 铅对水稻幼苗生理效应的影响[J]. 河北农业科学, 2008, 12(6): 5-7.
- [2] 潘杰, 毛建华, 陆文龙. 垃圾堆肥对土壤和农产品重金属含量的影响[J]. 农业环境保护, 1998, 17(3): 109-112.
- [3] 莫争, 王春霞, 陈琴, 等. 重金属 Cu、Pb、Zn、Cr、Cd 在水稻植株中的富集与分布[J]. 环境化学, 2002, 21(2): 110-116.

- [4] 胡潇潇, 李建龙, 杨红飞, 等. 张家港市土壤-水稻系统重金属积累与转移特征分析[J]. 天津农业科学, 2012, 18(4): 40-46.
- [5] 文晓慧, 蔡昆争, 葛少彬, 等. 硅对镉和锌复合胁迫下水稻幼苗生长及重金属吸收的影响[J]. 华北农学报, 2011, 26(5): 153-158.
- [6] 侯晋. 高压消解-火焰原子吸收光谱法测定大米中痕量铅铬镉镍和钴[J]. 理化检验—化学分册, 2003, 39(10): 37-38, 41.
- [7] 杨居容, 何孟常, 查燕, 等. 水稻籽实中 Pb 的分布及其结合形态[J]. 农业环境保护, 2001, 20(3): 129-132.
- [8] 王新, 梁仁禄. 土壤-水稻系统中重金属复合污染物交互作用及生态效应的研究[J]. 生态学杂志, 2000, 19(40): 38-42.
- [9] 姚焱, 张平, 陈翔云, 等. 重金属铊对水稻种子及植株生长的作用[J]. 华北农学报, 2008, 23(1): 138-140.
- [10] 郑袁明, 陈同斌, 郑国砥, 等. 北京市不同土地利用方式下土壤铬和镍的积累[J]. 资源科学, 2005, 27(6): 162-166.
- [11] 韩阳, 李雪梅, 朱延姝, 等. 环境污染与植物功能[M]. 北京: 化学工业出版社, 2005.
- [12] 邹继颖, 刘辉, 祝惠, 等. 重金属汞镉污染对水稻生长发育的影响[J]. 土壤与作物, 2012, 1(4): 227.
- [13] 刘怀珍, 黄庆, 陆秀明, 等. 种衣剂对水稻秧苗形态和某些生理特性的影响[J]. 河南农业科学, 2004(12): 19-21.
- [14] 徐芬芬, 叶利民, 王海勤, 等.  $\text{CaCl}_2$  浸种对水稻幼苗抗盐性的影响[J]. 河南农业科学, 2009(12): 44-47.
- [15] 徐子刚, 郑琳. 大量三价铬中微量六价铬的分离和测定[J]. 环境污染与防治, 2002, 24(5): 314-315.
- [16] 石贵玉. 重金属  $\text{Cr}^{6+}$  对水稻幼苗的毒害效应[J]. 广西科学, 2004, 11(2): 154-156.
- [17] Van Assche F, Clijsters H. Effects of metal on enzyme activity in plants[J]. Plant Cell Environ, 1990, 13: 195-206.
- [18] 徐勤松, 施国新, 杜开和. 六价铬污染对水车前叶片生理生化及细胞超微结构的影响[J]. 广西植物, 2000, 19(1): 48-53.
- [19] 陈宏, 陈玉成, 杨学春. 土壤中铅的植物可利用性化学调控研究[J]. 生态环境, 2004, 13(1): 9-10.
- [20] 孙建, 铁柏清, 钱湛, 等. Cd、Pb、Cu、Zn、As 复合污染对杂交水稻苗的联合生理毒性及临界值[J]. 土壤通报, 2006, 37(5): 981-985.
- [21] 曾路生, 廖敏, 黄昌勇, 等. 外源铅对水稻土微生物量、微生物活性及水稻生长的影响[J]. 生态环境, 2008, 17(3): 993-998.