

不同施肥措施对镉污染土壤上菊花生长及其品质的影响

张晓萍, 宗良纲, 郑建伟, 沈莉萍, 蒋 培

(南京农业大学资源与环境科学学院, 江苏 南京 210095)

摘 要:中药材的产量及其品质与施肥管理有着密切的关系。本试验通过盆栽试验研究了 Cd 污染土壤上施加钠磷、钙磷、有机肥、钠磷+有机肥和钙磷+有机肥对菊花生长及其品质的影响。结果表明,单施钠磷虽能提高菊花根系活力,降低菊花叶片 Cd 含量,同时会降低菊花叶片叶绿素含量,对菊花酶活性、蛋白质含量影响不大。钙磷在蛋白质含量、根系活力和叶绿素含量指标上的效果优于钠磷。有机肥增强菊花根系活力,有利于叶绿素合成,能提高菊花产量和蛋白质含量。除钙磷和有机肥的配合施用下根系活力指标较单施钙磷的效果差外,不同磷源和有机肥的配施处理发挥了磷素和有机肥各自的优点,均比单独施用方式的效果好。研究结果对于指导中药材种植的施肥管理具有参考价值。

关键词: Cd; 钙磷; 钠磷; 有机肥; 酶

中图分类号: S147.34 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-2043(2008)04-1617-06

Effects of Different Fertilizations on Chrysanthemum Growth and Its Quality on Cd Polluted Soil

ZHANG Xiao-ping, ZONG Liang-gang, ZHENG Jian-wei, SHEN Li-ping, JIANG Pei

(College of Resources and Environmental Science, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Pot experiment was carried out to study the effects of Na phosphorus, Ca phosphorus, organic fertilizer, Na phosphorus-organic fertilizer and Ca phosphorus-organic fertilizer on chrysanthemum's growth and its quality on Cd polluted soil. The results showed that the improvement effects varied with the different fertilizer due to their different characters and mechanisms. Root activity was improved and Cd content in leaves decreased with the Na phosphorus treatment, but the chlorophyll content in leaves was decreased simultaneously and there was no significant effect on the activity of enzyme and protein content. Ca phosphorus treatment was superior to Na phosphorus treatment in indexes of protein content, root activity and chlorophyll content, but no significant difference was occurred between the two phosphorus treatment in other indexes. Organic fertilizer treatment increased chrysanthemum's flower yield, which rose 80 percent compared to the CK. Chlorophyll content, protein content and root activity also got a rise with the Na phosphorus treatment. Combined application of Ca phosphorus with organic fertilizer was better than independent application of Ca phosphorus, except root activity index. Combined application of Na phosphorus with organic fertilizer was more effective than independent application of the organic fertilizer and Na phosphorus in all of indexes, which had best improvement effects among the treatments.

Keywords: Cd; Ca phosphorus; Na phosphorus; organic fertilizer; enzyme

重金属对水稻、小麦、玉米、大豆、小白菜及菠菜等粮食作物和蔬菜的影响研究较多^[1-6],但对药用菊科

植物的影响研究很少。药用菊花是一种常用中药,药理上有清热凉血,调中开胃,降低血压及清热解毒的功效,同时也被广泛应用于保健茶饮。因此,药用菊花中重金属含量高低与人体健康密切相关。有研究表明,污染土壤上增施磷素能抑制土壤重金属 Cd 活性,降低植物对 Cd 的吸收与积累^[14,15,20-23],但关于不同磷源对 Cd 污染土壤上植物生长的影响却鲜见报道。且目前的一些重金属污染土壤修复与控制研究主要集

收稿日期: 2007-09-12

基金项目: 江苏省社会发展项目“土壤污染控制及修复技术的开发应用研究(BS2003029)”;江苏省自然科学基金重点项目“典型区域土壤中重金属迁移累积特征研究(BK 2006711-1)”

作者简介: 张晓萍(1982—),女,江苏常州人,硕士研究生,从事环境质量与食品安全研究。

通讯作者: 宗良纲 E-mail: zonglg@njau.edu.cn

中在单一改良剂上,而结合生产实际采取不同施肥的综合调控措施的研究比较缺乏。长期施用磷肥易引起土壤结构变差、土壤板结等不良后果,而增施有机肥具有改善土壤结构、提供作物养分,促进作物生长等功能^[8]。如采用钙镁磷肥、磷肥和有机肥相结合的方法将发挥各自的优点,使改良效果更好^[16]。因此,本文重点探讨 Cd 污染土壤上施加有机肥、两种不同磷源及其不同配合施用方式对菊花生长及其品质安全的影响,为中药材产业的健康发展提供技术参考。

1 材料与方法

1.1 供试材料

试验于 2006 年 5—12 月在南京农业大学网室进行。供试土壤采自苏南某地实际 Cd 污染土壤(0~20 cm),经风干后过 4 mm 筛,充分混合后备用。供试土壤的基本理化性质见表 1。供试菊花苗由江苏射阳洋马菊花生产基地提供,品种为常规红心菊(*Chrysanthemum morifolium* Ramat),5 月中旬移栽,每盆定植 3 株。供试有机肥为宜兴市新天地氨基酸肥料有限公司生产的新天地牌生物发酵型氨基酸有机肥(N4.4%, P₂O₅1.25%, K₂O1.25%,有机质 30%)。

1.2 盆栽试验设计

本试验共设置了 6 个处理,包括(1)对照(CK),只施加基肥;(2)有机肥(Y):6 g·kg⁻¹;(3)钠磷(NP):1.5 g·kg⁻¹(以 P 计 298 mg·kg⁻¹);(4)钙磷(GP):1.5 g·kg⁻¹(以 P 计 300 mg·kg⁻¹);(5)钙磷+有机肥(GY);(6)钠磷+有机肥(PY)。各处理重复 3 次,其中钙磷以 Ca₃(PO₄)₂(分析纯试剂)形式加入,钠磷以 NaH₂PO₄·2H₂O(分析纯试剂)溶液形式加入,并将溶液 pH 调至

5.5。每盆装土 7 kg,统一按 0.3 g·kg⁻¹CO(NH₂)₂、0.15 g·kg⁻¹NaH₂PO₄·2H₂O、0.3 g·kg⁻¹ K₂SO₄ 施加基肥。

1.3 测定方法

1.3.1 植株生理指标的测定

在菊花开花阶段采集相同花位的新鲜花样测定过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、超氧化物歧化酶(SOD)和蛋白质含量,收获时测定根系活力。POD 活性用愈创木酚氧化法测定,CAT 活性用紫外分光光度法测定,SOD 活性用化学比色法测定,蛋白质含量采用考马斯亮蓝法测定,根系活力采用 TTC 法测定,叶片叶绿素含量采用分光光度法^[7]测定。

1.3.2 植株中 Cd 含量的测定

分别将植株的不同部位样品烘干后用不锈钢粉碎机粉碎过 20 目筛,采用浓硝酸与高氯酸(硝酸:高氯酸=5:1)湿法消解,原子吸收分析仪(Varian 220 Spectr AA)测定 Cd 含量。

2 结果与讨论

2.1 不同施肥措施对菊花生物量及其品质的影响

2.1.1 不同施肥措施对菊花生物量的影响

生物量是作物经济产量的基础。从表 2 可以看出,除两种磷处理外,其他不同施肥措施均能促进菊花生长,使根、茎、叶和花的生物量提高。有机肥、钙磷处理能提高菊花花朵部分的产量,但对菊花根茎叶没有显著影响。钙磷和有机肥的配合施用比单独施用钙磷的效果好。钠磷和有机肥配合施用效果最明显,能显著促进根茎叶和花的生长,均比单独施用钠磷和有机肥效果好。这可能与有机肥具有改善土壤结构、全面调节土壤养分的功能有关。

表 1 供试土壤基本理化性质
Table 1 Physical and chemical properties of the test soil

pH 值	CEC/cmol·kg ⁻¹	有机质/g·kg ⁻¹	全氮/g·kg ⁻¹	全磷/g·kg ⁻¹	全钾/g·kg ⁻¹	速效磷/mg·kg ⁻¹	有效态镉/mg·kg ⁻¹	全镉/mg·kg ⁻¹
5.30	20.71	28.88	1.92	0.571	11.27	25.92	7.19	14.39

表 2 不同施肥措施对菊花各部分生物量的影响
Table 2 Effects of different fertilization on chrysanthemum's biomass

处理	根茎叶鲜重/g	根茎叶干重/g	菊花鲜重/g	菊花干重/g
CK	80.94±2.84 ab AB	22.10±1.41 b A	17.24±2.04 a A	3.02±0.14 a A
Y	83.98±1.34 b B	23.25±1.82 bc A	30.60±2.35 b B	5.44±0.29 c C
NP	92.81±0.69 c C	23.58±1.25 bc A	19.00±2.66 a A	3.39±0.39 a AB
PY	110.77±6.24 d D	26.80±1.75 c A	32.94±2.94 b B	5.55±0.28 c C
GP	76.25±1.53 a A	18.20±1.51 a A	26.39±3.50 b AB	4.57±0.40 b B
GY	84.61±4.11ab ABC	22.21±0.56 b A	29.33±2.24 b B	5.03±0.69 bc BC

注:表中同一列的不同小写字母为 P=0.05 的显著性水平;同一列的不同大写字母为 P=0.01 的显著性水平。下同

2.1.2 不同施肥措施对菊花蛋白质含量的影响

生物体内蛋白质含量的变化是外界胁迫下生物生长发育受到影响的直接指示。有许多研究表明,在单因子 Cd 处理下,随着 Cd 浓度的增加,植物叶片蛋白质含量逐渐下降^[12,13]。与 CK 相比,所有施肥措施均能使菊花蛋白质含量上升(见图 1)。单一肥料施用中钙磷处理效果最明显,比 CK 增加了 64%,与钠磷处理相比也有明显提高。两种磷源与有机肥配合施用的菊花蛋白质含量与 CK 相比提高了 95%以上,比单独施用钠磷、有机肥和钙磷的效果更显著。

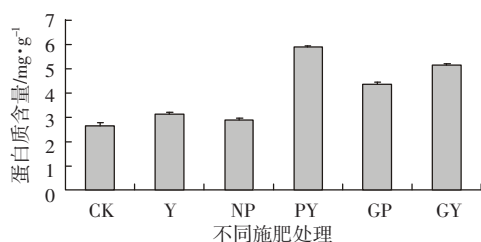


图 1 不同施肥措施对菊花蛋白质含量的影响

Figure 1 Effects of different fertilizations on chrysanthemum's protein content

2.1.3 不同施肥措施对菊花不同部位器官 Cd 含量的影响

除钙磷处理外的其他施肥处理能不同程度地降低菊花根茎叶中 Cd 含量,其中钠磷和有机肥配合施用方式降低根、叶和花朵中 Cd 积累数量达到极显著水平(见表 3)。菊花不同部位器官 Cd 含量依次为:叶>根>茎>花。本试验条件下叶片中 Cd 的含量占植株总 Cd 量的 41%~52%,根占 21%~28%,茎占 15%~19%,花占 8%~12%,说明菊花叶片是菊花积累 Cd 的主要器官。

钠磷、钙磷处理都降低了菊花叶中 Cd 的积累,对菊花根、茎和花中 Cd 含量影响不大,并且两种磷源对菊花不同器官中 Cd 含量的影响没有显著差异。两种磷源与有机肥的配合施用下菊花体内 Cd 含量

比单施钠磷、钙磷的 Cd 含量低,说明采用有机物料与磷肥相结合的方法,既发挥磷肥抑制重金属活性的效果,又发挥了有机物料对土壤肥力质量较强的调节功能,对重金属污染的酸性土壤具有更好的调控效果,这与李瑞美等^[16]的研究结论相一致。

2.2 不同施肥措施对菊花生物学特性指标的影响

2.2.1 不同施肥措施对菊花叶片叶绿素含量的影响

叶绿素作为植物进行光合作用的主要色素,含量的高低能够反映光合作用水平的强弱。严重玲等^[19]认为叶绿素含量的减少是衡量叶片衰老的重要指标。试验结果表明,除单施钠磷外各施肥处理与 CK 相比都不同程度地增加了菊花叶片叶绿素 a、b 的含量,其中钠磷和有机肥配施处理达到显著水平。但不同施肥处理对菊花类胡萝卜素含量的影响不大。钙磷处理的菊花叶片叶绿素含量高于钠磷处理,但没达到显著水平。钙磷与有机肥的配合施用比单独施用钙磷的效果好,从实验数据看,两者配施的效果好主要还是有机肥的作用(见表 4)。

2.2.2 不同施肥措施对菊花根系活力的影响

根作为植物吸收和合成的主要器官,其生长情况和活力水平直接影响地上部分的营养水平及产量,根系的生长发育在创建“理想的库——源关系”中起关键作用^[8]。土壤高浓度 Cd 会破坏植株根细胞结构,引起自由基过氧化损伤,并刺激根系分泌酚酸物质而抑制根系生长,使菊花受到不可逆的伤害^[24]。而各种肥料能不同程度地减缓 Cd 对菊花根系的损伤。

各施肥处理都不同程度地促进菊花的根系活力。从图 2 可以看出,有机肥处理提高了菊花的根系活力,这可能是由于有机肥的肥效作用导致,也有可能是有机肥具有络合整合 Cd 的能力,降低 Cd 的有效性,从而降低 Cd 对菊花根系的损伤。钠磷提高菊花的根系活力,说明钠磷对菊花根系生长有一定的促进作用,钙磷处理改良效果优于钠磷处理有可能是由于钙磷处理中含有 Ca^{2+} ,与 Cd^{2+} 产生拮抗作用,加强土

表 3 不同施肥措施对菊花不同器官中 Cd 含量的影响

Table 3 Effects of different fertilizations on Cd content in different organs of chrysanthemum

处理	根 Cd 含量/mg · kg ⁻¹	茎 Cd 含量/mg · kg ⁻¹	叶 Cd 含量/mg · kg ⁻¹	花 Cd 含量/mg · kg ⁻¹
CK	51.71±2.57 b B	33.23±2.73 b A	110.66±7.02 d C	17.17±0.51 b B
Y	37.16±5.42 a AB	29.22±1.57 ab A	87.41±3.72 c B	19.02±1.38 bc BC
NP	48.13±2.87 b B	31.04±0.37 b A	73.53±5.02 ab AB	19.88±0.46 cd C
PY	34.66±1.83 a A	25.69±3.30 a A	68.15±5.90 a A	15.24±0.47 a A
GP	53.36±9.32 b B	34.63±3.35 b A	78.62±2.28 b AB	21.00±0.60 d C
GY	43.97±4.49 ab B	32.01±1.90 b A	75.01±1.94 ab A	19.16±1.24 bcd BC

表 4 不同施肥措施对菊花叶绿素含量的影响
Table 4 Effects of different fertilization on chrysanthemum's chlorophyll content

处理	叶绿素 a 含量/mg · g ⁻¹	叶绿素 b 含量/mg · g ⁻¹	类胡萝卜素含量/mg · g ⁻¹
CK	1.509±0.24 ab	0.700±0.10 a	0.265±0.03 a
Y	1.664±0.31 ab	0.800±0.15 ab	0.263±0.04 a
NP	1.387±0.21 a	0.640±0.10 a	0.247±0.03 a
PY	1.990±0.26 b	0.942±0.13 b	0.287±0.03 a
GP	1.533±0.09 a	0.708±0.06 a	0.251±0.02 a
GY	1.657±0.08 ab	0.774±0.04 ab	0.263±0.03 a

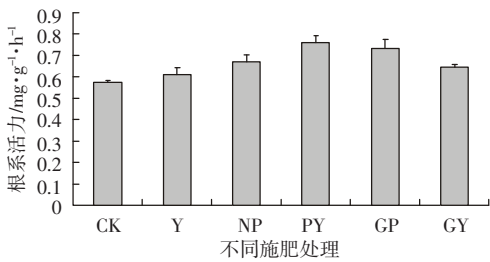


图 2 不同施肥措施对菊花根系活力的影响
Figure 2 Effects of different fertilization on chrysanthemum's root activity

壤中 Cd²⁺的吸附与沉淀作用,降低土壤 Cd²⁺的生物有效性,优化根的生长环境,促进根的生长。相对于钠磷和有机肥单一施用方式,钠磷与有机肥的配施更能提高菊花的根系活力,而钙磷与有机肥的配施处理却比单施钙磷的效果差。

2.2.3 不同施肥措施对菊花酶活性的影响

菊花植物体内的 CAT、POD 和 SOD 是一类重要的抗氧化酶,在清除重金属诱导等产生的氧自由基和过氧化物、抑制膜脂过氧化、保护细胞免遭伤害等方面起重要作用^[9,10],通过测定这些酶的变化能从一个侧面揭示 Cd 对植物的毒害机理。

不同施肥措施对菊花酶活性产生的影响各不相同。许多研究表明,SOD 作为超氧自由基清除剂,其活性高低与植物抗逆性大小有一定相关性,在适度逆境诱导下,SOD 活性增加以提高植物的适应能力^[11,17]。

表 5 不同施肥措施对菊花酶活性的影响
Table 5 Effects of different fertilization on chrysanthemum's enzyme activity

处理	过氧化氢酶 POD/U · g ⁻¹ · min ⁻¹	过氧化氢酶 CAT/U · g ⁻¹ · min ⁻¹	超氧化物歧化酶 SOD/U · g ⁻¹
CK	374.45±27.29 ab	69.40±1.17 a	168.68±6.97 d
Y	421.20±29.56 b	78.89±1.57 b	131.31±2.50 bc
NP	257.14±28.28 a	64.50±6.36 ab	161.70±10.36 cd
PY	380.01±23.88 b	86.62±5.11 bc	100.73±7.25 a
GP	411.67±14.61 b	102.20±11.20 abc	136.89±10.84 abcd
GY	463.76±27.68 b	109.45±9.11 c	113.32±8.83 ab

表 5 说明,各施肥措施与 CK 相比,都降低了菊花叶片的 SOD 活性,可能 CK 处理在高浓度 Cd 胁迫毒害下,SOD 活性提高是一种应急解毒的措施,使细胞免受毒害的调节反应。由于肥料的加入减轻了 Cd 对菊花的毒害,SOD 活性也相应降低。从表 5 中还可看出,与 CK 相比,有机肥、钙磷处理使菊花 SOD 活性降低,并且降幅较明显,其中有机肥处理达到了显著水平。钠磷处理菊花 SOD 活性高于钙磷处理,但没达到显著水平。两种磷源和有机肥的配合施用与 CK 相比都达到了显著水平,比单施钠磷、钙磷和有机肥处理 SOD 活性低,可能由于两者配施更加有效地降低 Cd 对菊花的毒害,并且有机肥和磷素给作物提供充足的营养,导致 SOD 活性下降。

植物体内分解代谢过程为细胞代谢提供能量,它与植物的生理过程密切相关,尤其在逆境条件下植物合成代谢能量的供应更为重要。分解代谢过程的实质是在植物体内进行的一系列酶促氧化还原反应,该过程中 CAT、POD 起着重要作用^[11]。从表 5 看出,各施肥处理对菊花 CAT、POD 活性的影响并不相同。钙磷、有机肥处理使菊花叶片 CAT、POD 活性增加,但钠磷处理下其活性影响不大。可能是由于 CK 土壤 Cd 浓度较高,菊花体内 H₂O₂、活性氧和过氧化物过多积累,超出了 CAT、POD 的清除能力,导致 CAT、POD 活性低,而肥料的加入降低土壤和植株体内 Cd 含量,体内 H₂O₂、过氧化物等减少,减轻 CAT、POD 负担,其

活性提高。但两种磷源和有机肥的配合施用却比单独施用钠磷、钙磷的CAT和POD活性高。

3 结论

(1)菊花的生物量及其品质因肥料种类和配合施用方式的不同而异。在降低菊花不同部位器官中的Cd含量和提高菊花生物量及蛋白质含量方面,两种磷源之间差异并不显著;钠磷和有机肥的配施处理效果最好。钙磷和有机肥的配施处理在降低菊花根茎叶的Cd含量、提高菊花蛋白质含量和生物量方面比单独施用钙磷的效果更好。

(2)肥料种类和不同施用方式对菊花生物学特性指标也具有不同影响。单施钠磷虽然能提高菊花根系活力,但是会降低菊花叶片叶绿素含量,而对菊花酶活性影响不大。钙磷在根系活力、叶绿素含量指标上的效果优于钠磷。有机肥能提高菊花经济产量,并且增强菊花的根系活力,提高叶绿素和蛋白质含量。在生物学特性指标方面,除钙磷和有机肥的配合施用下根系活力指标较单独施用钙磷的效果差外,不同磷源和有机肥的配施处理发挥了磷素和有机肥各自的优点,均比单独施用方式的效果好。

参考文献:

- [1] 王 新, 吴燕玉. 重金属在土壤-水稻系统中的行为特性[J]. 生态学杂志, 1997, 16(4): 10-14.
WANG Xin, WU Yan-yu. The behavior characteristics of heavy metals in the soil-paddy plant system[J]. *Ecology Journal*, 1997, 16(4): 10-14.
- [2] 宋 菲, 等. 镉、锌、铅复合污染对菠菜的影响[J]. 农业环境保护, 1996, 15(1): 9-14.
SONG Fei, et al. Effects of compound pollution of Cadmium, Zinc and Lead on spinach[J]. *Agricultural Environmental Protection*, 1996, 15(1): 9-14.
- [3] 李忠海, 等. 土壤镉、锌、铅复合污染对芹菜的影响[J]. 中南林学院学报, 2002, 22(1): 36-39.
LI Zhong-hai, et al. Effects of the compound pollution of soil Cd, Zn and Pb on celery[J]. *Journal of Central South Forestry University*, 2002, 22(1): 36-39.
- [4] 余国营, 等. 重金属复合污染对大豆生长的影响及其综合评价研究[J]. 应用生态学报, 1995, 6(4): 433-439.
YU Guo-ying, et al. The effects and comprehensive evaluation research of compound pollution of heavy metals on soybean[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1995, 6(4): 433-439.
- [5] 秦天才, 等. 镉、铅及其相互作用对小白菜根系生理生态效应的研究[J]. 生态学报, 1998, 18(3): 320-325.
QIN Tian-cai, et al. The physiological and ecological effects of Pb, Cd and their interaction on pakchoi root system[J]. *Ecology Journal*, 1998, 18(3): 320-325.
- [6] 高建兰, 等. 镉胁迫对玉米生理特性的影响[J]. 浙江科技学院学报, 2004, 16(2): 105-108.
GAO Jian-lan, et al. Effects of Cd intimidation on physiological characteristics of maize[J]. *Journal of Zhejiang Technology College*, 2004, 16(2): 105-108.
- [7] 李合生. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社, 2000.
LI He-sheng. Principle and technology of plant physiology biochemistry experiment [M]. Beijing: Higher education publishing house, 2000.
- [8] 严小龙, 廖 红, 戈振扬, 等. 植物根构型与磷吸收[J]. 植物学通报, 2000, 6(3): 236-241.
YAN Xiao-long, LIAO Hong, GE Zhen-yang, et al. Root architecture and phosphorus acquisition in plants [J]. *Chinese Bulletin of Botany*, 2000, 6(3): 236-241.
- [9] 江行玉, 赵可夫. 植物重金属伤害及其抗性机理[J]. 应用与环境生物学报, 2001, 7(1): 92-99.
JIANG Xing-yu, ZHAO Ke-fu. Damage and resistance mechanism of plant to heavy metal[J]. *Journal of Application and Environmental Biology*, 2001, 7(1): 92-99.
- [10] Van Assche E, Clijsters H. Effects of metal on enzyme activity in plant[J]. *Plant Cell Emiron*, 1990, 13: 195-206.
- [11] 杨居荣, 贺建群, 张国祥, 等. 不同耐性作物中几种酶活性对Cd胁迫的反应[J]. 中国环境科学, 1996, 16(2): 113-117.
YANG Ju-rong, HE Jian-qun, ZHANG Guo-xiang, et al. Reaction of some enzyme activities in crops of different tolerance to the stress of Cd[J]. *China Environmental Science*, 1996, 16(2): 113-117.
- [12] 王美娥, 周启星. 重金属Cd、Cu对小麦幼苗生理生化过程的影响及其毒性机理研究[J]. 环境科学学报, 2006, 26(12): 2033-2038.
WANG Mei-e, ZHOU Qi-xing. Effects and toxicity mechanism research of Cd, Cu on physiological and biochemical process of wheat seedlings [J]. *Journal of Environmental Science*, 2006, 26 (12): 2033-2038.
- [13] 朱红霞, 陈效民, 葛才林. 重金属复合污染对小麦幼苗生长的影响[J]. 生态环境, 2006, 15(3): 543-546.
ZHU Hong-xia, CHEN Xiao-min, GE Cai-lin. Effects of compound pollution of heavy metals on wheat seedlings[J]. *Ecological Environment*, 2006, 15(3): 543-546.
- [14] 陈世宝, 朱永官, 杨俊诚. 土壤-植物系统中磷对重金属生物有效性的影响机制[J]. 环境污染治理技术与设备, 2003, 4(8): 1-6.
CHEN Shi-bao, ZHU Yong-guan, YANG Jun-cheng. Mechanism of the effect of phosphorus on bioavailability of heavy metals in soil-plant systems[J]. *Techniques and Equipment for Environmental Pollution Control*, 2003, 4(8): 1-6.
- [15] 刘世亮, 刘忠珍, 介晓磊, 等. 施磷肥对Cd污染土壤中油麦菜生长及吸收重金属的影响[J]. 河南农业大学学报, 2005, 39(1): 30-34.
LIU Shi-liang, LIU Zhong-zhen, JIE Xiao-lei, et al. Effects of phosphate fertilizer on lettuces growth and heavy metal uptake in Cd polluted soil[J]. *Journal of Henan Agricultural University*, 2005, 39(1): 30-34.
- [16] 李瑞美, 方 玲, 王 果, 等. 重金属污染土壤的有机-中性化修复技术试验[J]. 福建农业学报, 2004, 19(1): 50-53.

- LI Rui-mei, FANG Ling, WANG Guo, et al. Organic-neutralization removed technical experiment of heavy metal pollution in soil [J]. *Fujian Journal of Agricultural Sciences*, 2004, 19(1): 50-53.
- [17] 孙 健, 铁柏清, 钱 湛, 等. 单一重金属胁迫对灯心草生长及生理生化指标的影响[J]. 土壤通报, 2007, 38(1): 121-126.
- SUN Jian, TIE Bai-qing, QIAN Zhan, et al. Effects of single heavy metal stress on juncus effuses growth and the indexes of physiology and biochemistry[J]. *Chinese Bulletin of Soil*, 2007, 38(1): 121-126.
- [18] 曹东杰. 有机中性化技术对钢铁厂废水污染土壤铜锌砷有效性的长期影响研究[D]. 福建农林大学硕士论文, 2006.
- CAO Dong-jie. Effects of organic-neutralization technology on the availability of Cu, Zn and As in soil polluted by wastewater from steel plant[D]. Master paper of fujian agriculture and forestry university, 2006.
- [19] 严重玲, 李瑞智, 钟章成. 模拟酸雨对绿豆、玉米生理生态特性的影响[J]. 应用生态学报, 1996(增刊): 124-131.
- YAN Chong-ling, LI Rui-zhi, ZHONG Zhang-cheng. Effects of simulated acid rain on eco-physiological characteristics of mung bean and maize[J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1996(supplement): 124-131.
- [20] He Q S, Singh Br. Crop uptake of cadmium from phosphorus fertilizers. Yield and cadmium content [J]. *Water Air Soil Pollu*, 1994, 74: 251-265.
- [21] Karblane H. The effect of organic lime and phosphorus fertilizers on Pb, Cd and Hg content in plants [J]. *Pro Est Acad Sci Ecol*, 1994, 6: 52-56.
- [22] Panwar B S, Singh J P, Laura R D. Cadmium uptake by cowpea and mungbean as affected by Cd and P application[J]. *Water Air Soil Pollu*, 1999, 112(1-2): 163-169.
- [23] 杨志敏, 郑绍建, 胡霭堂. 不同磷水平和介质 pH 对玉米和小麦镉积累的影响[J]. 南京农业大学学报, 1999, 22(1): 46-50.
- YANG Zhi-min, ZHENG Shao-jian, HU Ai-tang. Effects of phosphorus levels and medium pH on cadmium accumulation of maize and wheat[J]. *Journal of Nanjing Agricultural University*, 1999, 22(1): 46-50.
- [24] 杨双春, 张洪林. 镉胁迫对玉米生理特性的影响[J]. 中国生态农业学报, 2006, 14(1): 57-59.
- YANG Shuang-chun, ZHANG Hong-lin. Effects of Cd intimidation on physiological characteristics of maize[J]. *Chinese Journal of Eco-agriculture*, 2006, 14(1): 57-59.