

# 养分调控对超积累植物伴矿景天生长及锌镉吸收性的影响<sup>①</sup>

沈丽波<sup>1,2</sup>, 吴龙华<sup>2\*</sup>, 韩晓日<sup>1</sup>, 谭维娜<sup>2</sup>, 黄玉娟<sup>2</sup>, 骆永明<sup>2</sup>, 蒋玉根<sup>3</sup>

(1 沈阳农业大学土地与环境学院, 沈阳 110161)

(2 中国科学院土壤环境与污染修复重点实验室 (南京土壤研究所), 南京 210008)

(3 浙江省富阳市农业局土肥站, 浙江富阳 311400)

**摘要:** 采用四因素三水平正交设计温室盆栽试验研究了 N、P、K 三因素不同水平对 Zn、Cd 超积累植物伴矿景天的生长及地上部 Zn、Cd 吸收性的影响。结果表明, 增施 N 肥是伴矿景天地上部干重增加的主要因素, 高 N 配施低 P (200 mg/kg N, 60 mg/kg P, 不施 K) 处理的伴矿景天地上部干重达最大值 31.2 g/盆 (1.5 kg 土/盆), 是不施肥处理的 3.15 倍。增施 K 肥是提高伴矿景天地上部重金属尤其是 Cd 浓度和吸收量的主要影响因子, 高量 K 处理比不施 K 处理地上部 Cd 浓度增加 28.1%; 低量施 P 也可提高伴矿景天的 Zn 吸收修复效率。综合考虑伴矿景天生物量及其对 Zn、Cd 的吸收效率, 本试验条件下低量 N、P 肥配施高量 K 肥为最佳施肥处理 (N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>), 种植伴矿景天一季对 Zn、Cd 的吸收量分别为 11.2 mg/kg ± 0.1 mg/kg 和 0.12 mg/kg ± 0.02 mg/kg。

**关键词:** 氮磷钾; 伴矿景天; 生长; 锌镉; 吸收

**中图分类号:** X53

近年来, 由于土地的开发利用和经济的快速发展导致我国土壤重金属污染日益严重, 其治理技术在环境科学领域受到了越来越广泛的关注。以重金属超积累植物为主要修复工具的植物修复技术以其低成本、绿色环保等优势近些年来得到了广泛认可及应用<sup>[1-4]</sup>。于浙江矿区发现的 Zn、Cd 超积累植物伴矿景天 (*Sedum plumbizincicola*) 能有效修复不同程度 Zn、Cd 污染的土壤<sup>[5]</sup>, 同时也适用于 Pb、Cd、Cu、Zn 等重金属复合污染土壤的修复, 其富集能力强、生物量大、适于刈割等特性使其在污染土壤修复方面具备了广泛的应用前景<sup>[6-7]</sup>。

施肥是提高土壤肥力和增加农作物产量的重要农艺措施之一, 也有众多研究表明施肥是提高超积累植物修复污染土壤效率的重要辅助措施<sup>[8]</sup>。但目前关于超积累植物养分调控的研究较多集中于肥料品种筛选及某一元素施用量的探索上<sup>[9-11]</sup>, N、P、K 三元素配施时对超积累植物生长及重金属吸收性影响的研究则甚少。因此, 本文拟采用正交设计进行 N、P、K 养分调控试验, 研究不同肥料施用量及其相互作用对伴矿

景天生长和 Zn、Cd 污染土壤修复效率的影响, 以探索获得伴矿景天最大修复效率的适宜养分配比与用量, 为重金属污染土壤的高效植物修复提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

供试 Zn、Cd 超积累植物伴矿景天采自浙江杭州郊区某矿区, 于中国科学院南京土壤研究所植物生长室培养, 温度 25℃ (光照)/20℃ (黑暗), 相对湿度 65% ~ 70%, 光照时间 14 h, 光强  $1.5 \times 10^4$  Lux。所用营养液为 Hoagland 全营养液培养, 待幼苗长出根系后选择大小相近、长势一致的幼苗移栽入盆。

供试土壤采自杭州郊区某冶炼厂粉尘导致的重金属轻污染农田 0 ~ 20 cm 表层, 风干、过 2 mm 尼龙筛后备用。土壤 pH 值 7.28, CEC 11.5 cmol(+)/kg, 有机碳 22.9 g/kg, 全量 N、P、K 分别为 2.05、0.46 和 11.6 g/kg。土壤全量 Zn、Cd 分别为 248 mg/kg 和 0.85 mg/kg。

### 1.2 试验设计

本试验采用四因素三水平正交试验设计 (9L<sub>3</sub><sup>4</sup>),

①基金项目: 国家自然科学基金重大国际合作项目 (40821140539), 国家科技支撑计划项目 (2006BAD17B04) 和国家高技术研究发展计划项目 (2006AA10Z406) 资助。

\* 通讯作者 (lhwu@issas.ac.cn)

作者简介: 沈丽波 (1985—) 女, 河北唐山人, 硕士研究生, 主要从事土壤污染与植物修复研究。E-mail: lbshen@issas.ac.cn

所用肥料用量见表 1, 试验共设 9 个处理, 每处理 4 次重复 (表 2)。每盆装土 1.5 kg (烘干基), 伴矿景天为 6 株/盆。P 肥作基肥全部施入, 其余肥料 1/2 作基肥、1/2 作追肥施入。试验于 2008 年 9 月 9 日至 2009 年 4 月 22 日在南京土壤研究所温室进行。收获时将伴矿景天地上部用自来水和去离子水洗净, 105℃ 杀青 30 min, 70℃ 烘干 48 h 后, 记录干物重, 备测重金属及养分浓度; 同时采集土壤样品, 风干、过 1 mm 尼龙筛, 备测定养分及醋酸铵提取态 Zn、Cd。

表 1 正交试验各处理肥料施用量 (mg/kg)

Table 1 Dosage of fertilizers in the orthogonally designed experiment

处理	N	P	K
空白	0	0	0
低量	200	60	80
高量	400	120	160

表 2 四因素三水平正交试验设计表

Table 2 Treatments of the orthogonal design with 4 factors and 3 levels

处理	N	P	K	空列
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	0	0	0	0
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	0	1	1	1
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	0	2	2	2
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	1	0	1	2
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	1	1	2	0
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	1	2	0	1
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	2	0	2	1
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	2	1	0	2
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	2	2	1	0

### 1.3 样品处理与分析

伴矿景天地上部样品用不锈钢粉碎机粉碎后采用 HNO<sub>3</sub>-HClO<sub>4</sub> 消化, 原子吸收光谱法 (Varian 220FS) 测定 Zn、Cd 浓度。分析过程所用试剂为优级纯, 实验所用的水为超纯水。植物分析过程加入国家标准参比物质 (GSV-2), 测定结果均符合质量控制要求。

将土壤样品与 1 mol/L NH<sub>4</sub>OAc (pH 7) 按 1:5 的土液比连续振荡 16 h, 3 000 r/min 离心 5 min, 将上清液过滤, 用火焰原子吸收法测定重金属。

### 1.4 数据统计

采用 SPSS13.0 软件进行相关数据统计, 用最低显著性差异法 (LSD) 进行差异显著性分析 (p<0.05)。

## 2 结果与讨论

### 2.1 养分调控对伴矿景天生物量及植株体内养分浓度的影响

综合分析 N、P、K 肥施用对伴矿景天的生长 (图 1) 和植株体内养分浓度 (表 3) 的影响发现, 随着施肥量的增加, 伴矿景天地上部生物量及植株体内 N、P、K 浓度均呈增加趋势。施肥后伴矿景天生长旺盛、叶色浓绿, 长势明显优于对照。李继光等人<sup>[11]</sup>通过水培试验研究施 N 水平对超积累植物东南景天生长和 Cd 吸收积累的影响结果发现, 在一定范围内供 N (4~16 mmol/L) 能明显促进东南景天的生长, 地上部和根系的生物量随着施 N 水平的升高而显著增加; 本试验结果与之相似, 随施 N 水平的升高, 伴矿景天地上部生物量明显增加 (p<0.01)。施 P 虽可极显著增加伴矿景天地上部生物量, 但高量与低量 P 肥处理之间差异不显著, 这与孙琴等<sup>[10]</sup>通过水培试验研究 P 对东南景天生长和 Zn 积累的结果相似。施 K 后伴矿景天地上部生物量呈极显著下降趋势 (p<0.01), 与王林等人<sup>[9]</sup>的研究结果相一致。

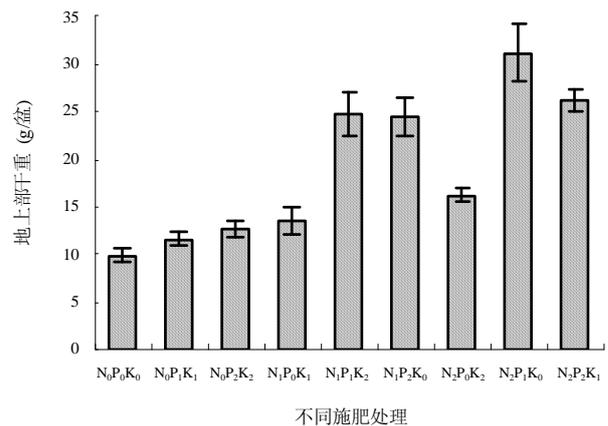


图 1 不同施肥处理下伴矿景天地上部生物量变化

Fig. 1 Shoot biomass of *Sedum plumbizincicola* under different fertilizer treatments

表 3 伴矿景天地上部养分浓度 (g/kg)

Table 3 Nutrient concentrations in plant

处理	N	P	K
N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub>	6.28 e	0.91 f	4.35 b
N <sub>0</sub> P <sub>1</sub> K <sub>1</sub>	5.34 e	2.16 b	4.18 b
N <sub>0</sub> P <sub>2</sub> K <sub>2</sub>	5.38 e	2.73 a	5.72 a
N <sub>1</sub> P <sub>0</sub> K <sub>1</sub>	13.7 c	0.68 g	3.77 c
N <sub>1</sub> P <sub>1</sub> K <sub>2</sub>	8.40 d	1.63 d	4.45 b
N <sub>1</sub> P <sub>2</sub> K <sub>0</sub>	9.27 d	1.75 cd	2.30 e
N <sub>2</sub> P <sub>0</sub> K <sub>2</sub>	17.9 a	0.64 g	5.34 a
N <sub>2</sub> P <sub>1</sub> K <sub>0</sub>	9.23 c	1.19e	1.76 f
N <sub>2</sub> P <sub>2</sub> K <sub>1</sub>	12.7 b	1.86 c	2.98 d

注: 同列不同小写字母者表示在 p<0.05 水平差异显著, 下同。

伴矿景天地上部生物量以高 N 配施低 P 处理 ( $N_2P_1K_0$ ) 为最高, 达 31.2 g/盆, 是不施肥 ( $N_0P_0K_0$ ) 处理 (9.9 g/盆) 的 3.15 倍, 其次为 9、6、5 号处理。统计结果显示, N、P 配合施用尤其高 N 配施低 P 对提高生物量的影响最明显, 而 P、K 和 N、K 配施无明显的交互作用。表明施用 N 肥是伴矿景天地上部生物量增加的主要因素, 适量配施 P 肥可更显著地增加伴矿景天地上部生物量。增施 N、P、K 肥后植物体内相应的养分浓度均极显著上升 ( $p < 0.01$ ), 仅  $N_0P_1K_1$  处理 K 浓度低于对照  $N_0P_0K_0$  处理, 这可能是由于土壤本身 K 的有效性比较高所致。

## 2.2 土壤 pH 及醋酸铵提取态锌镉浓度变化

表 4 为种植伴矿景天后的土壤 pH 及  $NH_4OAc$  提取态 Zn、Cd 浓度。各处理间土壤 pH 差异不明显; 土壤  $NH_4OAc$  提取态 Zn 浓度较高的均为不施 P 肥处理, 包括  $N_0P_0K_0$ 、 $N_1P_0K_1$  和  $N_2P_0K_2$  处理。 $N_0P_2K_2$  处理  $NH_4OAc$  提取态 Zn 浓度最低, 较对照处理下降了 22.5%。Tu 等人<sup>[12]</sup>的研究表明, 施用  $KH_2PO_4$  80 mg/kg 降低了酸性土壤中 Pb 和 Cd 的水溶性和可交换态量; 而 Kaushik 等<sup>[13]</sup>的研究却发现  $KH_2PO_4$  用量增加可降低碱性土壤中晶形氧化铁结合态、有机态以及碳酸盐结合态 Zn、Cd 量, 使无定形氧化铁结合态、水溶态和交换态的 Zn、Cd 上升。因此, P 肥对土壤中重金属的作用会因 P 肥类型和重金属种类不同而有所差异<sup>[14-15]</sup>。与提取态 Zn 浓度变化相似, 土壤中  $NH_4OAc$  提取态 Cd 也是以对照  $N_0P_0K_0$  和  $N_2P_0K_2$  处理为最高, 但 Cd 浓度最低的为  $N_1P_1K_2$  处理, 其土壤  $NH_4OAc$  提取态 Cd 仅为 0.09 mg/kg, 较对照 0.16 mg/kg 下降了 43.8%, 表明在施用低量 N 肥和 P 肥的情况下, 适当增施 K 肥可增加伴矿景天地上部重金属的浓度, 提高其修复效率, 从而明显降低了土壤中水溶态和可交换态 Zn、Cd 浓度。

表 4 土壤 pH 及  $NH_4OAc$  提取态 Zn、Cd 浓度

Table 4 Soil pH value and  $NH_4OAc$ -extractable Zn and Cd concentrations

处理	土壤 pH	土壤 $NH_4OAc$ 提取态 Zn、Cd (mg/kg)	
		Cd	Zn
$N_0P_0K_0$	7.58 bc	0.16 a	2.66 a
$N_0P_1K_1$	7.44 d	0.15 a	2.29 bcd
$N_0P_2K_2$	7.54 cd	0.14 d	2.07 d
$N_1P_0K_1$	7.72 a	0.14 cd	2.51 ab
$N_1P_1K_2$	7.67 ab	0.09 f	2.14 cd
$N_1P_2K_0$	7.66 ab	0.12 e	2.38 abc
$N_2P_0K_2$	7.46 d	0.16 a	2.64 a
$N_2P_1K_0$	7.71 a	0.15 abc	2.45 ab
$N_2P_2K_1$	7.66 ab	0.14 bcd	2.21 bcd

## 2.3 养分调控对伴矿景天地上部锌镉浓度的影响

随着 N 肥施用量的增加, 伴矿景天地上部 Cd 浓度显著下降 ( $p < 0.05$ ) (图 2), 除生物量增大引起的稀释效应外, 施用尿素后土壤 pH 的上升, 使植物最易吸收的水溶交换态 Cd 的含量降低也是重要原因<sup>[12]</sup>。生物量最大的  $N_2P_1K_0$ 、 $N_2P_2K_1$ 、 $N_1P_2K_0$ 、 $N_1P_1K_2$  处理, 按照相应次序地上部 Cd 浓度也较低,  $N_2P_1K_0$  处理 Cd 浓度 (2.4 mg/kg) 仅为对照 (19.4 mg/kg) 的 12.4%, 此原因可能是施用 N 肥后地上部生物量的显著增加, 稀释效应占了主导因素<sup>[16]</sup>。方差统计结果表明, 与施用 N 肥效果相似, 施 P 使伴矿景天地上部 Cd 浓度极显著下降 ( $p < 0.01$ ), 且高量 N 肥配合施 P 最不利于伴矿景天地上部 Cd 浓度的提高。而施用高量 K 肥则使地上部 Cd 浓度显著上升 ( $p < 0.05$ )。与本研究结果相似, 王林等人<sup>[9]</sup>通过盆栽试验研究 K 肥对 Cd 超积累植物龙葵的生长和积累 Cd 的研究结果表明, KCl 在高浓度处理时虽然对龙葵地上部干重有抑制作用, 但能显著提高龙葵地上部 Cd 浓度。

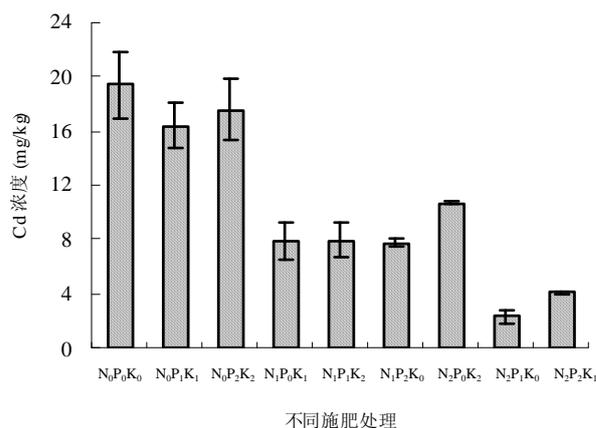


图 2 不同施肥处理下伴矿景天地上部 Cd 浓度变化

Fig. 2 Cd concentrations in *Sedum plumbizincicola* shoot under different fertilizer treatments

图 3 为不同施肥处理下伴矿景天地上部 Zn 浓度变化情况。与 Cd 浓度变化相似, 伴矿景天地上部 Zn 浓度也随着施 N 量的增加显著下降 ( $p < 0.05$ ), Zn 浓度最低的处理为高 N 配施低 P 处理 ( $N_2P_1K_0$ ), 其地上部 Zn 浓度仅为 486 mg/kg, 为 Zn 浓度最高处理 ( $N_0P_1K_1$ ) 的 38.3%。P 肥对伴矿景天地上部 Zn 浓度的影响同 Cd 相似, 不施 P 肥时伴矿景天 Zn 浓度最高 (908 mg/kg), 施 P 显著降低地上部 Zn 的浓度 ( $p < 0.05$ ), 且施用低量 P 肥时最不利于伴矿景天对 Zn 的吸收。Merry 等人<sup>[17]</sup>也指出, 施 P 量达到一定水平时有明显降低植物体内重金属浓度的作用。对于 K 肥而

言, 增施 K 肥会明显促进伴矿景天对 Zn 的吸收, 施用高量 K 比不施 K 肥时 Zn 浓度提高了 13.4% ( $p < 0.05$ ), 其机理有待深入研究。

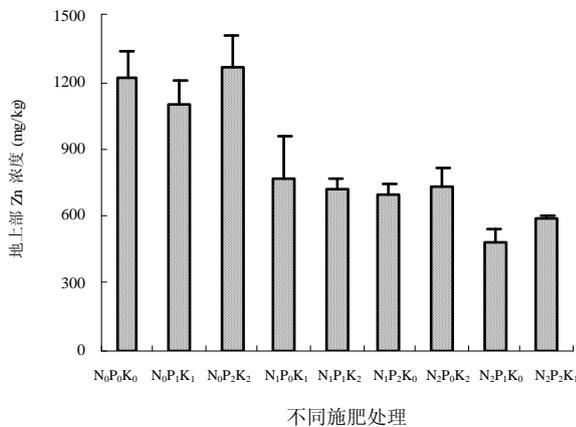


图 3 不同施肥处理下伴矿景天地上部 Zn 浓度的变化

Fig. 3 Zn concentrations of *Sedum plumbizincicola* shoot under different fertilizer treatments

#### 2.4 养分调控对伴矿景天锌镉吸收性的影响

图 4 为不同养分处理下伴矿景天地上部 Zn、Cd 总量的变化。Zn 和 Cd 吸收量以 N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>、N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub> 处理为高, N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>0</sub> 处理 Cd 积累量最低, 仅为 0.075 mg/盆, 占 N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理的 32.7%, 其主要原因除稀释效应外, 高 N 低 K 情况也不利于伴矿景天对 Cd 的吸收<sup>[9]</sup>。与本研究结果相似, 聂俊华等<sup>[18]</sup>通过温室土培试验研究了 N、P、K 对 3 种 Pb 超积累植物的生长及其对 Pb 积累情况, 结果表明少量的 N 和 K 会促进富集植物叶片叶绿素值和干重的增加, 促进植物对 Pb 的吸收, 随着 N 和 K 水平的增加, 虽然叶绿素含量和生物量一直在增加, 但植物对 Pb 的吸收能力降低, 且 K 对植株 Pb 的吸收能力的降低作用不如 N 显著。本试验结果显示, 增施 N 肥虽然能显著增大伴矿景天地上部生物量, 但因显著降低植株体内重金属浓度而降低了地上部的 Zn、Cd 总吸收量 ( $p < 0.05$ )。施 P 各处理之间 Cd 的积累量没有差异, 但施 P 后伴矿景天地上部 Zn 的积累量显著增大 ( $p < 0.01$ ), 且高量 P 肥处理 Zn 的积累量最高。这与东南景天的“增 P 诱导 Zn 需求”现象相一致<sup>[10]</sup>, 另有研究表明, 适当增 P 能显著提高玉米叶片及茎秆中 Zn 含量和植株地上部的 Zn 积累量<sup>[19]</sup>。高量施 K 使伴矿景天地上部 Zn、Cd 吸收积累量均显著增加 ( $p < 0.05$ ), 说明增施 K 肥虽然降低了伴矿景天地上部干重, 但可提高植株地上部 Zn、Cd 的浓度, 从而增大伴矿景天对 Zn、Cd 总量的吸收。综合分析肥料间相互作用对伴矿景天地上部生物量及 Zn、Cd 吸

收量的影响结果可以得出, N<sub>0</sub>P<sub>2</sub>K<sub>2</sub> 处理虽有较高的 Zn、Cd 吸收量, 但因伴矿景天长势较差, 地上部生物量较小而不宜采用。而低量 N 肥配合施用 P 肥(N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub> 和 N<sub>1</sub>P<sub>2</sub>K<sub>0</sub>) 不仅可以提高伴矿景天生物量, 还能获得较高的 Zn、Cd 吸收量。

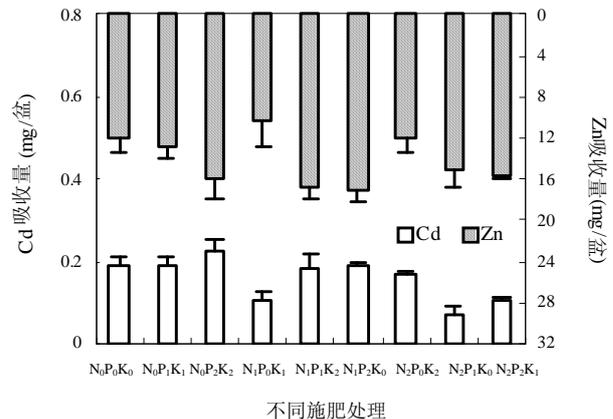


图 4 不同施肥处理下伴矿景天地上部吸收 Zn、Cd 总量的变化

Fig. 4 Zn and Cd uptakes of *Sedum plumbizincicola* shoot under different fertilizer treatments

### 3 结论

施用 N 肥是伴矿景天地上部生物量增加的主要因素, 但不利于地上部重金属浓度的提高。施用低量 P 肥不仅能促进伴矿景天的生长, 且对其地上部 Zn 积累有明显的促进作用。施 K 虽不利于伴矿景天地上部生物量的增大, 但施用高量 K 肥可使地上部 Zn、Cd 浓度及积累量均达最大值。综合分析, 低量 N 肥配施 P 肥不仅可提高伴矿景天地上部生物量, 而且对 Zn、Cd 的积累量有明显的协同作用。增施 K 肥能提高伴矿景天体内 Zn、Cd 浓度, 因此, N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub> (200 mg/kg N, 60 mg/kg P, 160 mg/kg K) 处理为试验中的最佳施肥用量与配比。

#### 参考文献:

- [1] 刘晓冰, 邢宝山, 周克琴, 王光华, 刘居东. 污染土壤植物修复技术及其机理研究. 中国生态农业学报, 2005, 13(1): 134-138
- [2] Nouri J, Khorasani N, Lorestani B, Karami M, Hassani AH, Yousefi N. Accumulation of heavy metals in soil and uptake by plant species with phytoremediation potential. Environmental Earth Sciences, 2009, 59: 315-323
- [3] 骆永明. 金属污染土壤的植物修复. 土壤, 1999, 31(5): 261-265
- [4] Ye HB, Yang XE, He B, Long XX, Shi WY. Growth response and

- metal accumulation of *Sedum alfredii* to Cd/Zn complex-polluted ion levels. *Acta Botanica Sinica*, 2003, 45(9): 1030-1036
- [5] 吴龙华, 周守标, 毕德, 郭新弧, 秦卫华, 王辉, 王春景, 骆永明. 中国景天科植物一新种——伴矿景天. *土壤*, 2006, 38(5): 632-633
- [6] 刘玲, 吴龙华, 李娜, 崔立强, 李柱, 蒋金平, 蒋玉根, 裘希雅, 骆永明. 种植密度对镉锌污染土壤伴矿景天植物修复效率的影响. *环境科学*, 2009, 30(11): 3422-3426
- [7] 吴龙华, 李娜, 毕德, 骆永明, 蒋玉根. 镉复合污染土壤的植物修复方法: 中国, 200710020380.5, 2009-7-29
- [8] Fayiga AO, Ma LQ, Rathinasabapathi B. Effects of nutrients on arsenic accumulation by arsenic hyperaccumulator *Pteris vittata* L. *Environmental and Experimental Botany*, 2008, 62: 231-23
- [9] 王林, 周启星, 孙约兵. 氮肥和钾肥强化龙葵修复镉污染土壤. *中国环境科学*, 2008, 28(10): 915-920
- [10] 孙琴, 倪吾钟, 杨肖娥, 丁士明. 磷对超积累植物——东南景天生长和积累镉的影响. *环境科学学报*, 2003, 23(6): 818-824
- [11] 李继光, 李廷强, 朱恩, 杨肖娥, 林国林, 柳丹, 韩晓日, 张玉龙. 氮对超积累植物东南景天生长和镉积累的影响. *水土保持学报*, 2007, 21(1): 54-58
- [12] Tu C, Zheng CR, Chen HM. Effect of applying chemical fertilizers on forms of lead and cadmium in red soil. *Chemosphere*, 2000, 41: 133-138
- [13] Kaushik RD, Gupta VK, Singh JP. Distribution of Zn, Cd and Cu forms in soils as influenced by phosphorus application. *Arid Soil Research and Rehabilitation*, 1993, 7(2): 163-171
- [14] Zwonitzer JC, Pierzynski GM, Hettiarachchi GM. Effects of phosphorus additions on lead, cadmium, and zinc bioavailabilities in a metal-contaminated soil. *Water, Air and Soil Pollution*, 2003, 143: 193-209
- [15] Theodoratos P, Papassiopi N, Xenidis A. Evaluation of monobasic calcium phosphate for the immobilization of heavy metals in contaminated soils from Lavrion. *Journal of Hazardous Materials*, 2002, B94: 135-146
- [16] Wu LH., Li H, Luo YM. Nutrients can enhance phytoremediation of copper-polluted soil by Indian mustard. *Environmental Geochemistry and Health*, 2004, 26: 331-335
- [17] Merry RH, Tiller KG, Alston AM. The effects of contamination of soil with copper lead and arsenic on the growth and composition of plants. *Plant and Soil*, 1986, 91(1): 115-128
- [18] 聂俊华, 刘秀梅, 王庆仁. Pb 超富集植物对营养元素 N、P、K 的响应. *生态环境*, 2004, 13(3): 306-309
- [19] Bogdanovic D, Ubavic M, Cuvardic M. Effect of phosphorus fertilization on Zn and Cd contents in soil and corn plants. *Nutrient Cycling in Agroecosystems*, 1999, 54: 49-56

### Effects of Nutrient Regulation and Control on Plant Growth and Zn/Cd Uptake by Hyperaccumulator *Sedum plumbizincicola*

SHEN Li-bo<sup>1,2</sup>, WU Long-hua<sup>2</sup>, HAN Xiao-ri<sup>1</sup>, TAN Wei-na<sup>2</sup>, HUANG Yu-juan<sup>2</sup>, LUO Yong-ming<sup>2</sup>, JIANG Yu-gen<sup>3</sup>

(1 College of Land and Environment, Shenyang Agricultural University, Shenyang 110161, China;

2 Key Laboratory of Soil Environment and Pollution Remediation, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China;

3 Soils and Fertilisers Division, Fuyang City Agriculture Bureau, Fuyang, Zhejiang 311400, China)

**Abstract:** An orthogonally designed experiment was conducted to investigate the effects of different N, P and K levels on plant growth and the uptake of Zn and Cd by hyperaccumulator *Sedum plumbizincicola*. The results showed that the addition of nitrogen fertilizer was the main factor in increasing plant biomass, and the highest dry weight (31.2 g/pot) occurred in the treatment of N<sub>2</sub>P<sub>1</sub>K<sub>0</sub> (200 mg/kg N, 60 mg/kg P, no K), which was 3.15 times of the CK (N<sub>0</sub>P<sub>0</sub>K<sub>0</sub>). K application was the main factor in enhancing concentration and uptake of heavy metals, especially Cd by *Sedum plumbizincicola*. Cd concentration in shoot of the treatments of 160 mg/kg K was 28.1% higher than the treatments of no K addition, and the phytoextraction efficiency could be improved when low amount of P (60 mg/kg P) was applied. By comprehensively considering the biomass of *Sedum plumbizincicola* and the uptake amount of Zn and Cd, it was proposed that the best treatment was low N and P but high K (N<sub>1</sub>P<sub>1</sub>K<sub>2</sub>), and Zn and Cd phytoextraction rates in one season of *Sedum plumbizincicola* were 11.2 mg/kg and 0.12 mg/kg, respectively.

**Key words:** Nitrogen, phosphorus and potassium, Growth, Zinc and cadmium, Uptake