

## Cd 污染下萎蒿生长和 Cd 积累的阶段性特征\*

潘静娴,张莹,夏志华,陆勳俊  
(上海师范大学生命与环境学院,上海 200234)

**摘要:**以白蒿为试材,采用 Cd 污染人工河砂盆栽试验,研究了在 Cd 污染条件下萎蒿生长发育和 Cd 积累的阶段性差异。结果表明萎蒿根茎叶对 Cd 的积累具有显著的阶段性特征,且与干物重和根系活力的阶段变化一致。根茎叶 3 月 Cd 积累量较小,5 月积累量增加,7 月达到最大,到本季落叶和下季萌发时又开始下降;根系活力和地上、根系干物重的最大值出现在 Cd 积累量最大的 7 月;在河砂 Cd 浓度为 0~240 mg/kg 内,根茎叶 Cd 积累量与 Cd 浓度成正相关,但 Cd 浓度 >180 mg/kg,就会降低根系和地上部干物重,并减弱根系活力。萎蒿可以耐受的 Cd 浓度上限为 180 mg/kg。

**关键词:**萎蒿; Cd; 阶段特征; 超强积累植物

**中图分类号:** X 53 **文献标识码:** A **文章编号:** 1004-390X(2007)04-0577-05

## The Periodic Properties of the Growth and Cadmium Accumulation of Seleng Wormood in the Contaminated River Sandy Medium

PAN Jing-xian, ZHANG Ying, XIA Zhi-hua, LU Meng-jun

(Faculty of Life and Environment Science, Shanghai Normal University, Shanghai 200232, China)

**Abstract:** With Nanjing Baihao as the materials, the periodic properties of the growth and Cd accumulation of Nanjing Baihao were investigated in the contaminated potted experiment in the river sandy medium. The results showed that there was the significant periodic characteristics in the accumulation of roots and shoots of Seleng Wormood to Cd, which was in concordance with the periodic change of the dry matter and root activity. The concentration of Cd in the roots and shoots was the highest in July, so were the shoots and roots dry matter and the root activity. Cd concentration in Seleng Wormood correlated positively ( $P < 0.05$ ) with the respective ones existed in the sandy medium ranging from 0 to 204 mg/kg Cd, but over 180 mg/kg Cd, there was outstanding decreased in the dry matter of roots and shoots and root activity. The upper limit of Cd reached 180 mg/kg for Seleng Wormood beared.

**Key words:** Seleng Wormood; Cadmium; periodic property; super-accumulated plant

在我国受重金属污染的农田达  $2.0 \times 10^7 \text{ hm}^2$ , 造成粮食减产  $1.0 \times 10^7 \text{ t}^{[1]}$ 。其中 Cd 污染又是农产品重金属污染的最严重污染源,据统计,我国某污染灌区土壤 Cd 含量已达到了  $130 \text{ mg/kg}^{[2]}$ 。因此,寻求治理重金属污染的技术受到了普遍关注。植物重金属修复技术是利用某些植物和共生微生物能忍耐和超量积累某种重金属的特性来清除土

壤中的重金属的一种环境治理手段,是一种新型、环保、发展潜力较大的环境修复技术<sup>[3~6]</sup>。

找到对重金属具有超强吸收和积累、且生长量大、适应性强但不造成生物入侵、同时适合机械化采收的植物是植物修复的关键。目前,人们已找到了 400 多种对重金属有超强蓄积能力的植物<sup>[7]</sup>,其中萎蒿已被证实对 Cd 有强的积累特性<sup>[8]</sup>,吸收系

收稿日期: 2006-12-31

修回日期: 2006-11-21

\* 基金项目: 上海市教委资助项目(04DB12)。

作者简介: 潘静娴(1963-),女,博士,副教授,从事园艺产品安全性研究。E-mail: panjingx@shnu.edu.cn

数大于 1, 且具有超强积累植物的其它特征。然而, 关于茛蒿在 Cd 污染下生长和 Cd 积累的阶段性差异研究还未见报道。因此, 针对茛蒿目前已成为冬春食用的半栽培蔬菜, 探索茛蒿 Cd 吸收的阶段性差异是必要的, 有利于证明茛蒿食用安全是否具有阶段性特征; 同时也为茛蒿作为土壤或水体重金属 Cd 修复的植物提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 材料

植物材料茛蒿为生物基地 2002 年 2 月引种的南京白蒿, 栽培于生物基地的塑料温室中。茛蒿为菊科蒿属多年生草本植物, 嫩茎可食, 现已驯化栽培。

### 1.2 方法

试验于 2003 年 12 月 23 日到 2004 年 12 月在上海师范大学生物基地的塑料大棚中进行。称取清洁河砂, 每盆 800 g, 按 0, 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140, 160, 180, 200, 240 mg/kg 河砂称取 CdCO<sub>3</sub>, 随后混入各盆河砂中, 制成不同含 Cd 量的污染河砂 12 个。每水平以 4 盆为一个样本单位, 重复 4 次, 总计 48 个处理。12 个水平记作 CK, C1, C2, C3, C4, C5, C6, C7, C8, C9, C10, C11。污染河砂混匀装盆后, 少量浇水使河砂含水量为田间持水量的 65% ~ 75%, 直接将插条扦插盆中, 每盆 2 株, 放置扦插塘中生根萌发, 成活后搬至塑料大棚内。生长

期间每天用电子称称重或加入相同体积的蒸馏水保持河砂含水量为 65% ~ 75%。新枝萌发后, 定期观察植物长势, 并在 2004 年 3 月, 5 月, 7 月和 9 月的同一天将整株按地下和茎叶分别制样, 洗出根系, 烘干, 测定干物重, 并制成重金属测定样品。根系活力在 3 月, 4 月, 5 月, 6 月, 7 月, 8 月和 9 月的同天取样。

### 1.3 测定方法

干物重用烘干称重法测定; 根系活力 TTC 法测定<sup>[9]</sup>。重金属 Cd 含量采用电感耦合等离子体发射光谱法 (ICP) 测定<sup>[10]</sup>。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同 Cd 水平茛蒿干物重的时间变化规律

各处理茛蒿根干物重的时间进程基本相似, 自 3 月开始缓慢增长, 到 7 月达到最大值, 此后平稳增长 (图 1), 9 月后又进入下一个年生长周期。分析表明, 不同 Cd 水平对根干重影响显著。在全年测定的 4 个时间内, 尤其是 7 月和 9 月, 基本表现 C3, C4, C5 > C6, C7, C8, C9 > C10, C11, CK, C1, C2 的规律, 即随着 Cd 浓度从 20 mg/kg 增加到 100 mg/kg, 根干重随之增加, 并达到最大值; 继续增到 180 mg/kg, 根干重又开始下降, 但仍高于 CK; Cd 超过 200 mg/kg, 所有测定月份的根干重才低于 CK。显然, 20 ~ 100 mg/kg 的 Cd 促进茛蒿根干重的增加, 根生长能忍受的 Cd 浓度可达 200 mg/kg。

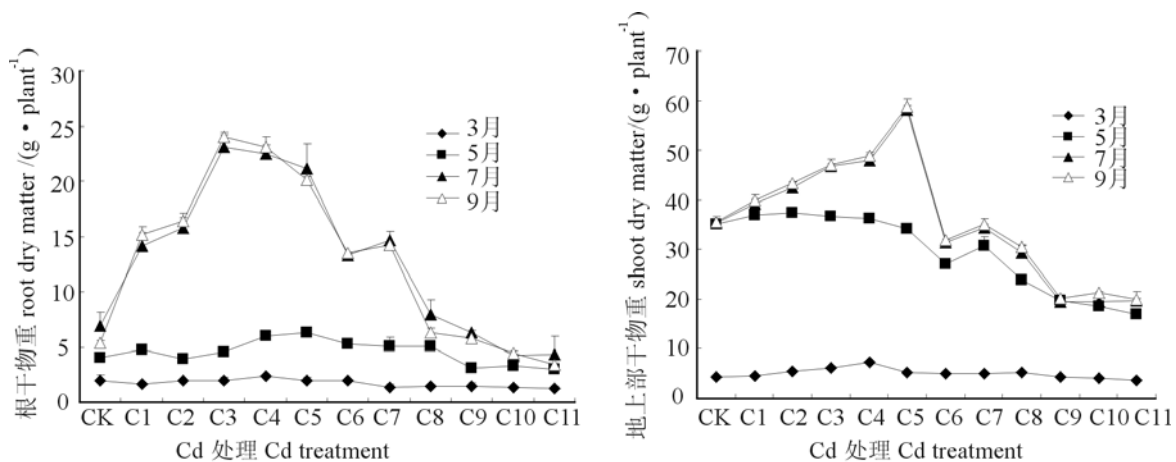


图 1 不同 Cd 水平对茛蒿干物重的影响

Fig. 1 different Cd on dry matter of Seleng Wormwood during the growing time

Cd 浓度对地上部干物重的阶段性影响与根干重的基本相似, 表现为自 3 月始, 干物重不断增加,

到 7 月份达到该生长季的最大值 (图 1), 此后进入种子成熟阶段, 营养生长基本结束, 到 9 月基本结

束该季的生长,进入下季的重新萌发。尽管规律相同,但在测定的时间内,Cd水平对地上部干物重的影响显著( $F_{0.05}$ ),除3月外,基本为C5 > C1,C2,C3,C4 > CK,C6,C7,C8 > C9,C10,C11的规律,即Cd浓度从20 mg/kg增至100 mg/kg,地上部干物重随之增加,并达最大值;继续到160 mg/kg,干物重下降,但与对照无显著差异,Cd超过180 mg/kg,才降至对照水平以下。

根、地上部干物重的变化规律说明茭蒿能够耐受的介质Cd水平可以达到180 mg/kg。

### 2.2 不同Cd水平茭蒿根系活力的阶段性差异

从3月到9月的根系活力测定显示,各处理根系活力随时间的变化规律基本相似,3月开始增加,到7月达最大值,其后开始下降,但数值高于7月前的水平(图2)。但是,Cd水平对根系活力的影响显著,基本为C7,C8,C9 > C3,C4,C5,C6 > C10,C11 > CK,C1,C2。即Cd浓度从60 mg/kg增至240 mg/kg,根系活力均高于对照,并在140 ~ 180 mg/kg内达到最大值,只有20 ~ 60 mg/kg的根系活力与CK无差异。

从根系活力的变化规律看,茭蒿Cd的耐受上限可达240 mg/kg。根系活力是根活性的一个指标,在Cd污染下呈增加趋势,可能说明根系活力也是一种逆境指标,但需进一步证实。从本研究看,在20 ~ 100 mg/kg的Cd水平内,茭蒿生长没有受到影响,反而得到了促进,可能与根系活力的增加有关。综合干物重和根系活力两个指标,茭蒿可以抗最大180 mg/kg的介质Cd。

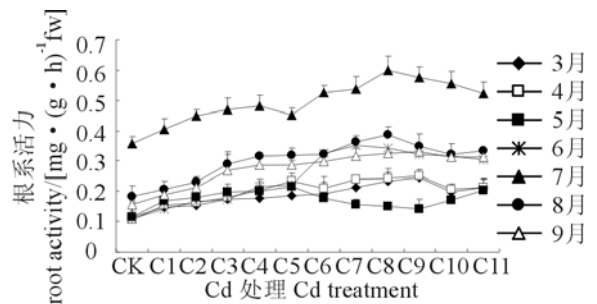


图2 茭蒿根系活力随Cd含量的变化趋势图  
Fig. 2 Trend of the root activity of Seleng Wormwood to the Cd level in the polluted Cd sandy medium

### 2.3 不同茭蒿器官Cd积累的阶段性差异

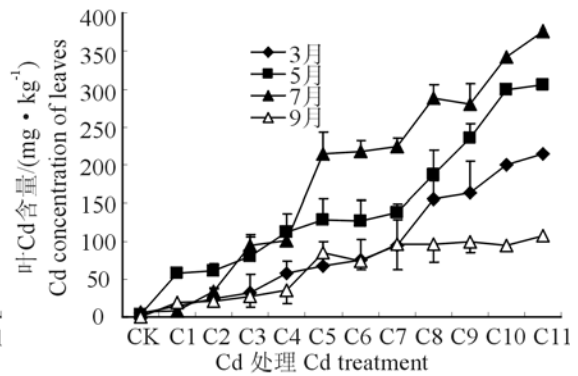
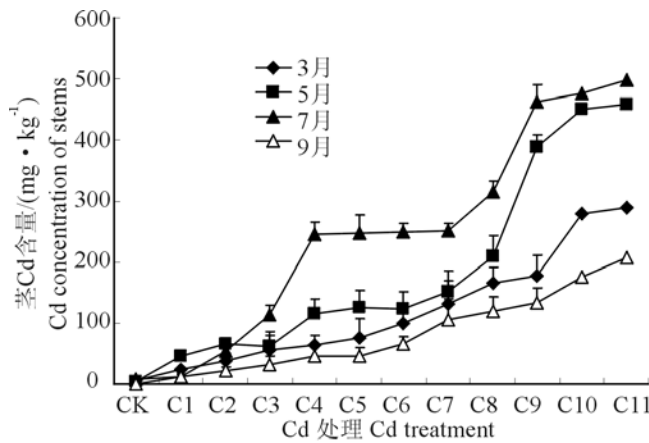


图3 茭蒿茎叶Cd积累量的阶段性差异

Fig. 3 The Cd content of stem and leaves of Seleng Wormwood during the growing time

不同处理的茭蒿茎叶Cd积累量随时间的变化趋势基本相同(图3)。绝大多数处理的茎叶Cd积累量从3月开始增加,到7月达最大值,此后,随着茭蒿进入结实,营养生长结束,再加之茭蒿为喜凉蔬菜,Cd的积累量开始下降。到9月,下季新生幼株的积累量显著低于7月水平。茭蒿Cd积累的阶段性差异与其干物质积累以及根系活力的变化规律有较好的吻合性。

此外,在测定时期内,河砂含Cd量对茎叶器官Cd积累的影响显著,随Cd含量增加,茎叶Cd积累量也随之增加,但处理间的差异显著性不同。在0 ~ 240 mg/kg Cd梯度内,茎Cd积累量变化趋势为CK < C1,C2 < C3,C4,C5 < C6 < C7 < C8,C9 < C10,C11。叶Cd积累量为CK < C1,C2 < C3 < C4,C5,C6 < C7 < C8,C9 < C10,C11。虽然CK积累最低,但在4个测定时期,茎叶均超过了无公害

绿叶菜萹蒿标准<sup>[14]</sup>。

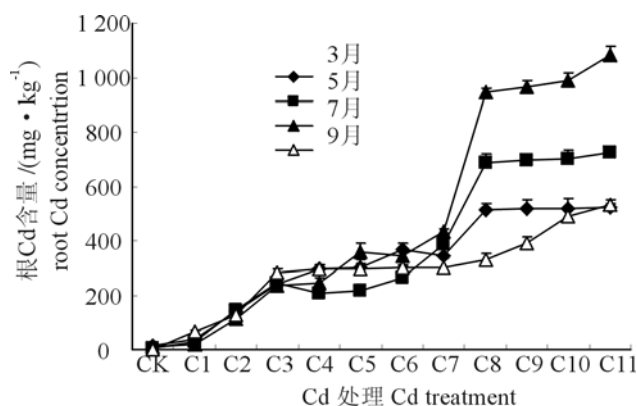


图 4 萹蒿根Cd积累量的阶段性差异  
Fig. 4 The Cd content of roots of Seleng Wormood during the growing time

根 Cd 积累量也表现从 3 月开始增加,到 7 月达到最大值,其后又开始下降(图 4)的趋势。各测定时间内,积累量表现出 CK < C1 < C2 < C3 < C4, C5 < C6, C7 < C8, C9, C10, C11 的特征,与茎叶 Cd 积累相似,两者有较好的呼应,但根 Cd 积累量远大于同期的茎叶 Cd 积累量,这与先期的研究一致<sup>[8]</sup>。

### 3 结论与讨论

试验证实了萹蒿在冷凉季节(测定的 3 月), Cd 积累量较小,盛夏季节(7 月)最高,到本季落叶和下一季生长萌发时(9 月),积累量又下降。同期测定的根系活力、地上和根干物重变化较好地支持了萹蒿 Cd 的阶段性规律。文秋红等<sup>[11]</sup>在研究杂草藜对 Cd 吸收的阶段性差异结果与本研究的一致。栾以玲等<sup>[12]</sup>研究也表明近郊火炬松地上各器官和根系的 Cd 积累量 7 月最大,但其它重金属元素并不如此。HAGEMeyer et al<sup>[13]</sup>研究证实了 Fagus 树的 Cd 积累量 3 月最低,6 月最高,9 月和来年 1 月中等,但也有不一致的结论<sup>[14,15]</sup>。

此外,除萹蒿根茎叶对 Cd 吸收具有阶段性差异外,各阶段 Cd 的富集也与河砂 Cd 含量显著相关。从 3 月到 9 月,在 20 ~ 240 mg/kg Cd 含量内,根茎叶的 Cd 积累量是正相关的。20 ~ 100 mg/kg 的 Cd 促进萹蒿的生长和干物重的提高,但超过 180 mg/kg,对萹蒿生长产生不利影响,表现为地上部干物重的下降,因此,萹蒿可以耐受的污染介质 Cd 含量为 20 ~ 180 mg/kg。从文献[2]可知,萹蒿

作为我国污染农田 Cd 的修复植物是完全合适的,而且,萹蒿生长量大,管理粗放。

萹蒿是一种多年生野生蔬菜,以冬春时期的嫩茎为食用器官。然而通过各类 Cd 敏感度试验,均发现萹蒿对重金属 Cd 具有较强的积累能力,萹蒿食用显然是不安全的<sup>[16]</sup>。但是,萹蒿对环境 Cd 具有较强耐性,最高可达 180 mg/kg,比前人研究的富 Cd 植物的耐 Cd 水平要高<sup>[2]</sup>,且生长量大,耐水湿、栽培容易。按照 BAKER et al<sup>[17]</sup>的“Cd 富集植物”定义,萹蒿是一种 Cd 富集植物;而且目前作为蔬菜栽培,基本脱离野生状态。从现有作物中能否筛选出超富集植物一直存在争议<sup>[18,19]</sup>,本试验充分表明作物中存在着重金属的富集植物,尤其是从野生驯化为栽培作物,因此,野生植物驯化栽培前应做好安全性评价。

### [参考文献]

- [1] 黄运湘,廖柏寒,王志坤. 超积累植物的富集特征及耐性机理[J]. 湖南农业大学学报(自然科学版), 2005,31(6):693-697.
- [2] 蒋先军,骆永明,赵其国. 镉污染土壤的植物修复及其 EDTA 调控研究,镉对富集植物印度芥菜的毒性[J]. 土壤,2001,(4):197-201.
- [3] LIAO M, XIE X M. Cadmium release in contaminated soils due to organic acids[J]. Pedosphere, 2004, 14(2): 223-228.
- [4] ZHANG M K, KE Z X. Copper and Zinc enrichment in different size fractions of organic matter from polluted soils[J]. Pedosphere, 2004, 14(1): 27-36.
- [5] 薛生国,陈国旭,骆永明,等. 商陆(*Phytolacca acinosa* Roxb)的锰耐性和超积累[J]. 土壤学报,2004, 41(16):889-894.
- [6] WASE D A J, FORSTER C F. Biosorbents for Metal Ions[M]. Taylor and Francis, London, 1997.
- [7] SALT D E, SMITH R D, RASKIN I. Phytoremediation[J]. Annu Rev Plant Physiol Plant Mol Biol, 1998, 49: 643-668.
- [8] 潘静娴,李新国,沈健,等. Cd 污染下萹蒿生长和 Cd 积累特性的研究[J]. 土壤,2006,38(2):181-185.
- [9] 潘静娴,黄丹枫,王世平等. 甜瓜幼苗生长及光合特性与育苗基质 pH 相关性研究[J]. 武汉植物学研究,2003,21(6):497-502.
- [10] 袁祖丽,马新明,韩锦峰,等. 镉胁迫对烟草营养器官发育及矿质元素的影响[J]. 河南科学,2005,23

(5):679-682.

[11] 文秋红,史锬,于丽华. 沈阳张士污灌区4种杂草不同阶段富集 Cd 的研究[J]. 农业环境科学学报, 2005,24(5):843-848.

[12] 栾以玲,叶镜中,蔡志全,等. 城市近郊火炬松重金属元素分布及其季节变化[J]. 南京林业大学学报(自然科学版),2002,26(6):37-40.

[13] HAGEMeyer J, LULFMANN A, PERRK M, et al. . Are there seasonal variations of trace element concentrations (Cd, Pb, Zn) in wood of Fagus trees in Germany [J]. Vegetatio, 1992,101:55-63.

[14] LODENIUS M. Seasonal variations in cadmium concentrations of plant leaves[J]. Bull, Environ, Contam, Toxicol, 2002, 69:320-322.

[15] NIKOLAIDIS N P, KOUSSOURIS T, MURRAY T E, et al. . Seasonal variation of nutrients and heavy metals in Phragmites australis of Lake Trichonis, Greece[J]. Lake Reservoir Management, 1996,12:364-370.

[16] 中华人民共和国农业部. 无公害食品[S]. 绿叶菜标准 NY5089-2005.

[17] BAKER A J M, BROOKS R R. Terrestrial higher plants which hyperaccumulate metallic elements, A review of their distribution. , ecology and phytochemistry [J]. Biodiscovery, 1989, (1): 81-126.

[18] PLETSCH M, DEARUJO B S, CHARWOOD B V, et al. . Novel biotechnological approaches in environmental remediation research[J]. Biotechnology Advance, 1999,17:679-687.

[19] LOMBIE, ZHAO F J, MCGRATH S P, et al. . Physiological evidence for high-affinity cadmium transporter higher expressed in a Thlaspi caerulescences[J]. New phytologist,2001,149:53-60.

(上接第 573 页)

山洪灾害临界雨量等值线变化规律的影响因素较多,最重要的就是离散数据的空间插值,有时需要平滑估值,有时需要精确估值,可以根据实际需要选定合适的插值方法,绘出合理的等值线。从云南省山洪灾害临界雨量等值线图的变化规律研究和插值方法比较,克里金法能较好地反映临界雨量的空间变化规律,反距离加权插值法和径向基函数法可作为估值参考。

[参考文献]

[1] 陈桂亚,袁雅鸣. 山洪灾害临界雨量分析计算方法研究[J]. 水资源研究,2004,25(4):36-40.

[2] 谭万沛,韩庆玉. 四川省泥石流预报的区域临界雨量指标研究[J]. 灾害学,1992,(2):37-42.

[3] 侯景儒,尹镇南,李维明,等. 实用地质统计学 [M]. 北京:地质出版社,1998.

[4] 张仁铎著. 空间变异及其理论的应用[M]. 北京:科学出版社,2005.

[5] 陈亚新,史海滨,魏占民,等. 土壤水盐信息空间变异的预测理论与条件模拟[M]. 北京:科学出版社,2005.

[6] 范银贵. 空间插值法在绘制降雨量等值线中的应用[J]. 水利水电科技进展,2002,22(3):48-50.

[7] 白世彪,陈晔,王建. Sufer8 地理信息制图[M]. 北京:中国地图出版社,2004.

[8] 熊文兵. 用 Surfer7.0 绘制气象等值线图[J]. 广西气象, 2003,24(3):43-45.