

DOI:10.11937/bfyy.201607017

# 重金属镉对两种景天的生长和积累研究

王 珊<sup>1,2</sup>, 白瑞琴<sup>3</sup>

(1. 内蒙古农业大学 生态环境学院, 内蒙古 呼和浩特 010018; 2. 内蒙古财经大学 资源与环境经济学院, 内蒙古 呼和浩特 010018;  
3. 内蒙古农业大学 农学院, 内蒙古 呼和浩特 010018)

**摘 要:**以八宝景天和三七景天为试材,采用盆栽方法研究了重金属镉(Cd)对这2种植物生长的影响(植株生物量、植株株高、叶片数、开花数量)和在这2种景天植物不同器官的吸收与积累。结果表明:虽然重金属Cd对八宝景天和三七景天有毒害作用,主要表现在株高下降、根系变短、变细、叶片数减少及变色、生物量降低等,但随土壤中Cd浓度增加,这2种景天各器官内Cd含量均分别显著提高,不同器官Cd浓度从高到低的顺序为:叶片>茎>花序>根系,并且地上部Cd积累量大于地下部,说明这2种景天都有较强的转运能力,具有植物修复的潜力。研究结果对景天科植物在北方地区重金属Cd植物修复中的应用有重要意义。

**关键词:**重金属;镉(Cd);景天;植物修复

**中图分类号:**S 681.9 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-0009(2016)07-0060-06

随着工农业生产的发展,土壤污染中重金属污染日益严重,特别是铜、镉、铅这3种重金属的单一污染或复合污染<sup>[1]</sup>。据2008年国家环境保护部提供数据显示,我国受到镉、砷、铅等重金属污染的耕地面积近 $2.0 \times 10^7$  hm<sup>2</sup>,约占总耕地面积的20%<sup>[2]</sup>。镉(Cd)污染是常见的重金属污染之一,未受污染土壤中的镉主要来源于其成土母质<sup>[3]</sup>,未受污染土壤镉含量一般为0.01~0.02 mg/kg,我国土

壤镉的含量背景值(算术平均值)为0.097 mg/kg<sup>[4]</sup>。土壤中镉的主要来源是电镀、颜料、塑料稳定剂、镍镉电池、电视显像管等工业生产排放物。农田土壤的外源镉主要因为工业废渣、废气中镉的扩散、沉降和累积,含镉废水灌溉的农田,以及长期大量施用含镉农药、化肥(主要为磷肥)的累积等<sup>[5]</sup>。据统计,受镉污染耕地每年生产的糯米(镉含量 $\geq 1$  mg/kg的糙米)约 $5 \times 10^7$  kg,镉污染造成的粮食安全问题日益严重。

1983年美国科学家CHANEY<sup>[6]</sup>首次提出利用能够富集重金属的植物来清除土壤重金属污染的设想,即植物修复。该方法具有花费低、适应性广、无二次污染等

**第一作者简介:**王珊(1980-),女,博士研究生,副教授,研究方向为土壤学。E-mail:wangshan223@sina.com.

**基金项目:**内蒙古自然科学基金资助项目(2013MS0309,2015MS0301)。

**收稿日期:**2015-12-14

experimental material, adopted the method of greenhouse potting, used portable pulse modulation chlorophyll fluorescence spectrometer to determine each chlorophyll fluorescence induction kinetics parameters variation characteristics of forsythia blade under different quality concentration of NaCl stress (0.00%, 0.20%, 0.40% and 0.20%). The results showed that with the increase of salt stress, the maximum PSII photochemical efficiency ( $F_v/F_m$ ), the largest photochemical fluorescence quenching coefficient ( $q_p$ ) value in blades of forsythia appeared the tendency of decrease, and under severe stress, the difference between forsythia  $F_v/F_m$ ,  $q_p$  value and other among treatments were significant ( $P < 0.05$ ), from the beginning of the moderate salinity stress, the degree of reaction center of forsythia PSII opening was reduced, the photosynthetic characteristics were significantly reduced; while  $Y_{(NPQ)}$  of forsythia increased with the salinity stress intensifying, when the severe stress up to peak value, the  $ETR$  of forsythia blades in the process of salinity stress, which had no significant difference under mild and moderate stress between the CK ( $P > 0.05$ );  $F_v/F_m$  and  $ETR$  showed very significant positive correlation ( $P < 0.01$ ),  $\Phi_{PSII}$  and  $Y_{(NPQ)}$  appeared significant negative correlation ( $P < 0.05$ ), and  $q_p$  and  $q_N$  had very significant negative correlation with  $ETR$  respectively,  $ETR$  and  $Y_{(NO)}$  had significant negative correlation. In conclusion, it considered that leaf fluorescence technology could be widely used in salt-tolerant plants screening.

**Keywords:** *Forsythia suspensa* (Thunb.) Vahl; NaCl stress; chlorophyll fluorescence parameters

特点,因此发展空间很大。

重金属 Cd 植物修复研究中处理重金属的应用材料多种,截至 2011 年,研究人员共发现了 60 余种富集植物,其中有 9 种分布在禾本科,如禾本科有水稻、甜高粱、芦竹、龙须草、披碱草、香根草、小麦、高羊茅等,其余散布在菊科、十字花科、豆科等科类,如小飞蓬/小白酒草、鬼针草、狼把草/鬼针、白苞蒿、全叶马兰、紫茎泽兰等植物(常在青)<sup>[2]</sup>。其中,超富集植物有 20 种,包括杨桃<sup>[7]</sup>、滇苦菜<sup>[8]</sup>、红苕菜<sup>[9]</sup>、水葱<sup>[10]</sup>和圆锥南芥<sup>[11]</sup>等。

试验证明,东南景天是一种 Cd 超积累植物<sup>[12]</sup>。课题组在初期对 7 种景天植物耐镉筛选试验的基础上发现三七景天(*Sedum spetabilis*)和八宝景天(*Sedum spectabile* Boreau)对镉的耐性很强,与东南景天相比具有更强的抗旱、抗贫瘠能力,且适生范围广,生长迅速,可以作为重金属 Cd 植物修复的应用材料。现重点研究了这 2 种景天在不同浓度镉胁迫下的生长和积累情况,以期对北方地区景天科植物在重金属 Cd 植物修复中的应用提供理论依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 试验材料

以三七景天(*Sedum spetabilis*)、八宝景天(*Sedum spectabile* Boreau)二年生扦插苗为供试材料。

### 1.2 试验方法

盆栽试验土壤采自内蒙古农业大学实习试验田,取耕层 0~20 cm 土壤,室内风干后,去除石砾、较大根系及植物残体,磨细过筛。熟羊粪捣碎、研磨过筛后按照 150 g/盆混匀。种植土、细沙按 3:2 混合均匀备用。在含有不同镉浓度的土壤中进行栽培试验。试验设 3 个处理,各处理添加的 Cd 离子浓度分别为 0(对照)、20、50 mg/kg,4 次重复。添加的 Cd<sup>2+</sup>以 3CdSO<sub>4</sub>·8H<sub>2</sub>O 的固态形式加入到试验土壤中并充分混匀,沉淀 7 d。

选取长势一致的植株移栽入试验盆(30 cm×15 cm),每试验盆均栽植 2 株。于温室内盆栽,常规管理方式,定期浇水、除草、除蚜虫,生长 100 d 后收获。每 10 d 观察记录植株地上部分茎叶的形态与颜色变化及叶片脱落情况等。培养后期观察根系生长变化情况。

表 1 供试土壤的基本理化性质

Table 1 Physical and chemical properties of the tested soil

| 全磷<br>Total<br>phosphorus<br>/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 有机质<br>Organic<br>matter<br>/(g·kg <sup>-1</sup> ) | 速效磷<br>Available<br>phosphorus<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 速效氮<br>Available<br>nitrogen<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 速效钾<br>Available<br>potassium<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | pH 值<br>pH<br>value |
|---|--|---|---|--|---------------------|
| 1.70  | 19.11  | 22.23   | 15.65   | 207.62   | 7.82                |

### 1.3 项目测定

1.3.1 植株株高、叶片数和成花数的测定 每 10 d 测量 1 次八宝景天和三七景天的株高;每 10 d 数 1 次植株的叶片数,并记录。开花盛期记录单株所有小花数量。

1.3.2 植株生物量的测定 采收时,将每株景天的根、茎、叶和块茎单独采收;采收后用 20 mmol/L Na<sub>2</sub>-EDTA 溶液浸泡根系及块茎 15 min,以置换根系、块茎表面的 Cd<sup>2+</sup>,再用自来水和蒸馏水反复冲洗干净;然后将植株各部分在 105℃杀青 30 min 后,80℃烘干至恒重,进行各部分干质量测定,并计算不同处理的抗性系数。抗性系数=各处理总生物学产量/对照总生物学产量。

1.3.3 镉在八宝景天和三七景天体内的积累分布 分别收获植物根系、花序、茎和叶片。在 105℃下杀青,80℃下烘干,然后用电子天平测定干重。运用原子吸收分光光度法测出不同器官镉含量。并计算地上部分积累量(茎、叶片、花序积累量总和)、地下部分积累量(根积累量)和地上、下部积累量比值。地上部分积累量/地下部分积累量=(茎镉浓度×茎干重+叶片镉浓度×叶片干重+花序镉浓度×花序干重)/(根系镉浓度×根系干重)。

### 1.4 数据分析

试验数据采用 IBM SPSS statistics 19 软件进行统计分析,采用 Excel 做图表。

## 2 结果与分析

### 2.1 镉对景天外部形态的影响

处理 30 d 后,八宝景天和三七景天植株外侧老龄叶片边缘逐渐变黄色。镉浓度越高的植株明显发生这种现象越早。试验末期,将植株从盆中移出,观察根系发现与对照样本相比,20 mg/kg 和 50 mg/kg 处理组的植株根系较细,主根缩短,须根数量少且易断,随处理浓度的增加现象越明显。

2.1.1 镉对景天株高的影响 由图 1 可知,在 Cd 浓度为 20 mg/kg 的条件下,八宝景天和三七景天株高与对照植株株高比较无显著差异;当 Cd 浓度为 50 mg/kg 时,八宝景天植株株高与对照植株株高比较无显著差异,三七景天植株株高显著低于对照植株( $P<0.05$ ),株高下降率为 19.96%。

2.1.2 镉对景天叶片数的影响 由图 2 可以看出,在 Cd 浓度为 20 mg/kg 的条件下,这 2 种景天叶片数与对照植株叶片数比较无显著差异;Cd 浓度为 50 mg/kg 时,八宝景天植株叶片数显著低于对照植株,叶片数下降率为 8.74%,而三七景天植株叶片数与对照植株叶片数比较无显著差异。

2.1.3 镉对景天成花数的影响 由图 3 可以看出,在 Cd 浓度为 20 mg/kg 的条件下,八宝景天成花数显著低于对照植株,成花数下降率为 36.30%,三七景天成花数显著低于对照植株,成花数下降率为 38.56%;Cd 浓度为 50 mg/kg 时,八宝景天植株成花数显著低于对照植株,成花数下降率为 27.56%,三七景天植株成花数显著低于对照植株,成花数下降率为 35.97%。

2.1.4 镉胁迫下景天生长曲线 从图 4 可以看出,经过

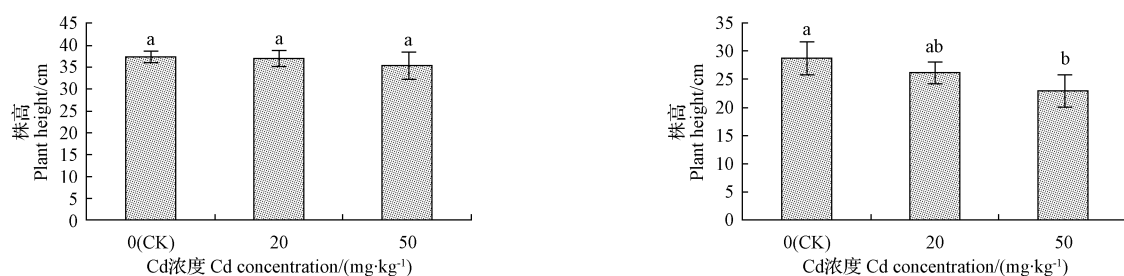


图1 Cd对八宝景天(左)和三七景天(右)株高的影响

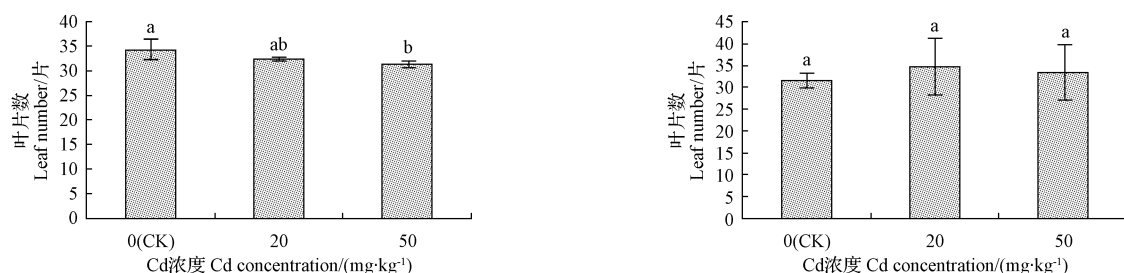
Fig. 1 Effect of Cd on height of *S. spectabile* (left) and *S. spetabilis* (right)

图2 Cd对八宝景天(左)和三七景天(右)叶片数的影响

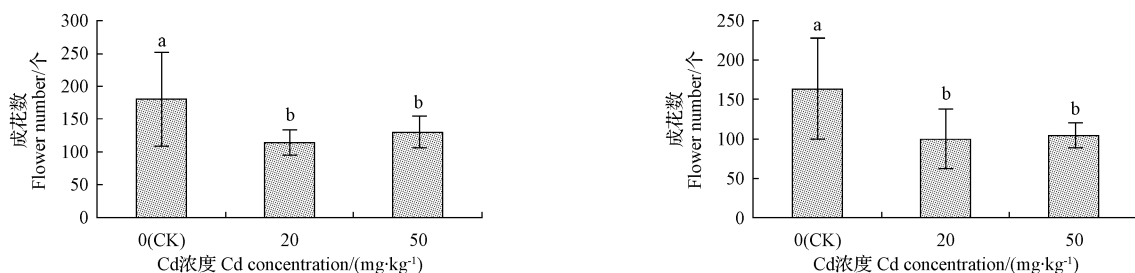
Fig. 2 Effect of Cd on leaf number of *S. spectabile* (left) and *S. spetabilis* (right)

图3 Cd对八宝景天(左)和三七景天(右)成花数的影响

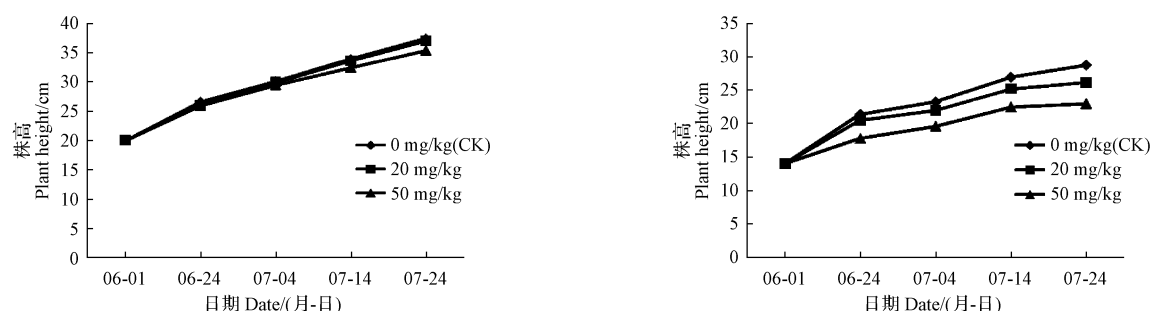
Fig. 3 Effect of Cd on flower number of *S. spectabile* (left) and *S. spetabilis* (right)

图4 镉胁迫下八宝景天(左)和三七景天(右)生长曲线

Fig. 4 Growth curve of *S. spectabile* (left) and *S. spetabilis* (right) under Cd stress

处理的八宝景天植株生长量较对照均有下降趋势,且随着 Cd 浓度的增大,植株生长量(后 1 次测量株高与前一次测量株高的差值)逐渐下降。低浓度(20 mg/kg)处理植株与对照植株长势良好且基本保持一致;高浓度(50 mg/kg)处理的植株长势衰退,生长速率缓慢,且第

10、20、30、40 天下下降率分别为 2.35%、2.21%、4.32%、5.58%。同样,经过处理的三七景天植株生长量较对照均有下降趋势,且随着 Cd 浓度的增大,植株生长量(后 1 次测量株高与前 1 次测量株高的差值)逐渐下降。低浓度(20 mg/kg)处理植株与高浓度(50 mg/kg)处理的植

株与对照植株相比长势均衰退,生长速率均缓慢,且第10、20、30、40天下降率分别为4.18%和16.84%、5.39%和15.49%、6.40%和16.44%、8.93%和19.96%。

2.1.5 镉对景天生物量的影响 由表2可知,八宝景天植株地上部与地下部干重均随Cd浓度的增加而降低,与对照相比,低浓度下(20 mg/kg)地上部与地下部干重分别下降了12.8%和17.3%,抗性系数为0.85;高浓度

下(50 mg/kg)地上部与地下部干重分别下降了35.5%和30.9%,抗性系数为0.67。由表2还可知,三七景天植株地上部与地下部干重均随Cd浓度的增加而降低,与对照相比,低浓度下(20 mg/kg)地上部与地下部干重分别下降了12.7%和5.1%,抗性系数为0.92;高浓度下(50 mg/kg)地上部与地下部干重分别下降了27.0%和25.3%,抗性系数为0.74。

表2

Cd对八宝景天和三七景天生物量的影响

Table 2

Effect of Cd on the biomass of *S. spectabile* and *S. spetabilis*

| 品种<br>Variety                | Cd浓度<br>Cd concentration<br>/(mg·kg <sup>-1</sup> ) | 地上部干重<br>Shoot dry weight<br>/g | 地上部干重下降率<br>Decline rate of shoot dry weight<br>/% | 地下部干重<br>Root dry weight<br>/g | 地下部干重下降率<br>Decline rate of root dry weight<br>/% | 总生物量<br>Total biomass<br>/g | 抗性系数<br>Resistance<br>coefficient |
|------------------------------|---|---------------------------------|--|--------------------------------|---|-----------------------------|-----------------------------------|
| 八宝景天<br><i>S. spectabile</i> | 0   | 17.2±1.8a                       |  | 13.9±0.9a                      |   | 31.1±2.4a                   |                                   |
|                              | 20  | 15.0±2.0a                       | 12.8   | 11.5±1.2b                      | 17.3  | 26.5±2.2b                   | 0.85                              |
|                              | 50  | 11.1±0.9b                       | 35.5   | 9.6±1.6b                       | 30.9  | 20.8±1.2c                   | 0.67                              |
| 三七景天<br><i>S. spetabilis</i> | 0   | 6.3±1.5a                        |  | 9.9±1.6a                       |   | 16.2±1.6a                   |                                   |
|                              | 20  | 5.5±1.1a                        | 12.7   | 9.4±0.9a                       | 5.1   | 14.9±0.9a                   | 0.92                              |
|                              | 50  | 4.6±0.2a                        | 27.0   | 7.4±0.4b                       | 25.3  | 12.0±0.5b                   | 0.74                              |

## 2.2 相同浓度镉胁迫下2种景天不同器官镉含量

2.2.1 相同浓度镉胁迫下2种景天根系镉含量 由图5可知,土壤中Cd浓度为20 mg/kg时,八宝景天根系中Cd含量显著低于三七景天根系中Cd含量。土壤中Cd浓度为50 mg/kg时,八宝景天根系中Cd含量低于三七景天根系中Cd含量,并呈显著性差异。

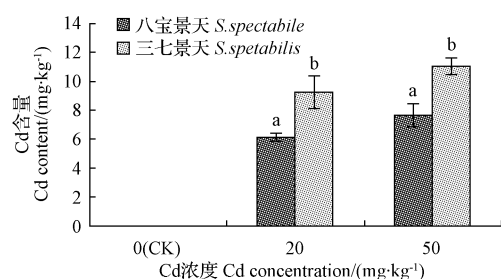


图5 相同浓度镉胁迫下2种景天根系Cd含量

Fig. 5 Cd content in roots of both *Sedum* under same Cd concentration

2.2.2 相同浓度镉胁迫下2种景天茎中镉含量 从图6可以看出,土壤中Cd浓度为20 mg/kg时,八宝景天茎中Cd含量与三七景天茎中Cd含量无显著性差异。土壤中Cd浓度为50 mg/kg时,八宝景天茎中Cd含量与三七景天茎中Cd含量无显著性差异。

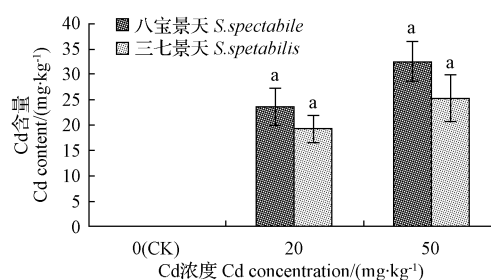


图6 相同浓度镉胁迫下2种景天茎中Cd含量

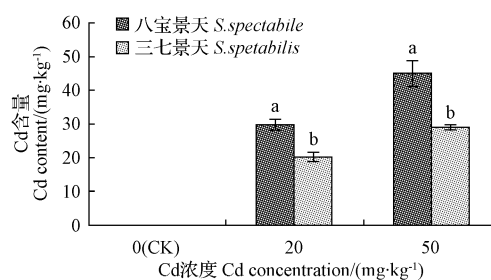
Fig. 6 Cd content in stems of both *Sedum* under same Cd concentration

图7 相同浓度镉胁迫下2种景天叶片Cd含量

Fig. 7 Cd content in leaves of both *Sedum* under same Cd concentration

2.2.3 相同浓度镉胁迫下2种景天叶片镉含量 图7表明,土壤中Cd浓度为20 mg/kg时,八宝景天叶片中Cd含量显著高于三七景天叶片中Cd含量。土壤中Cd浓度为50 mg/kg时,八宝景天叶片中Cd含量高于三七景天叶片中Cd含量,并呈显著性差异。

2.2.4 相同浓度镉胁迫下2种景天花序镉含量 从图8可以看出,土壤中Cd浓度为20 mg/kg时,八宝景天花序中Cd含量显著高于三七景天花序中Cd含量。土壤

中Cd浓度为50 mg/kg时,八宝景天花序中Cd含量高于三七景天花序中Cd含量,并呈显著性差异。

## 2.2.5 相同镉浓度胁迫下2种景天不同器官镉积累量

由表3可知,低浓度镉胁迫下,三七景天体内Cd积累量的顺序为:根系>茎>叶片>花序,地上部积累量与地下部积累量的比值为1.06。表4表明,高浓度镉胁迫下,三七景天体内Cd积累量的顺序为:根系>茎>叶片>花序,地上部积累量与地下部积累量的比值为



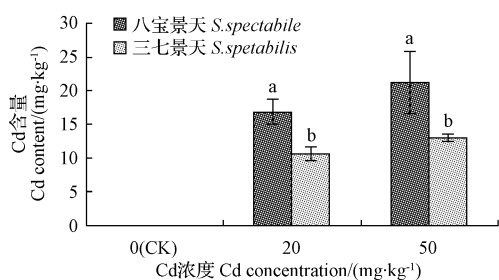


图 8 相同浓度镉胁迫下 2 种景天花序 Cd 含量

Fig. 8 Cd content in inflorescence of both *Sedum* under same Cd concentration

1. 26,说明地上部积累量大于地下部积累量,Cd 在三七景天内的迁移率大于 1,可以作为重金属 Cd 的植物修复材料。从表 5 可以看出,低浓度镉胁迫下,八宝景天体内 Cd 积累量的顺序为:茎>叶片>花序>根系,地上部积累量与地下部积累量的比值为 4.94。由表 6 可知,高浓度镉胁迫下,八宝景天体内 Cd 积累量的顺序为:茎>叶片>根系>花序,地上部积累量与地下部积累量的比值为 4.82,说明地上部积累量大于地下部积累量,Cd 在八宝景天内的迁移率大于 1,可以作为重金属 Cd 的植物修复材料。

表 3 低浓度 Cd(20 mg/kg)胁迫下 三七景天体内 Cd 的积累量

Table 3 Accumulation amount of Cd in *S. spectabilis* under 20 mg/kg

|   | 花序<br>Inflorescence | 茎<br>Shoot | 叶片<br>Leaf | 根系<br>Root |
|---|---------------------|------------|------------|------------|
| 浓度 Concentration/(mg · kg <sup>-1</sup> )       | 10.66               | 19.37      | 20.37      | 9.29       |
| 干重 Dry weight/(g · 株 <sup>-1</sup> )            | 1.67                | 2.06       | 1.77       | 9.44       |
| 积累量 Accumulation amount/(mg · 株 <sup>-1</sup> ) | 0.017               | 0.039      | 0.036      | 0.087      |

表 4 高浓度 Cd(50 mg/kg)胁迫下 三七景天体内 Cd 的积累量

Table 4 Accumulation amount of Cd in *S. spectabilis* under 50 mg/kg

|   | 花序<br>Inflorescence | 茎<br>Shoot | 叶片<br>Leaf | 根系<br>Root |
|---|---------------------|------------|------------|------------|
| 浓度 Concentration/(mg · kg <sup>-1</sup> )       | 13.10               | 25.40      | 29.40      | 11.05      |
| 干重 Dry weight/(g · 株 <sup>-1</sup> )            | 1.49                | 1.74       | 1.38       | 7.43       |
| 积累量 Accumulation amount/(mg · 株 <sup>-1</sup> ) | 0.019               | 0.044      | 0.040      | 0.082      |

表 5 低浓度 Cd(20 mg/kg)胁迫下 八宝景天体内 Cd 的积累量

Table 5 Accumulation amount of Cd in *S. spectabile* under 20 mg/kg

|   | 花序<br>Inflorescence | 茎<br>Shoot | 叶片<br>Leaf | 根系<br>Root |
|---|---------------------|------------|------------|------------|
| 浓度 Concentration/(mg · kg <sup>-1</sup> )       | 16.92               | 23.60      | 29.92      | 6.14       |
| 干重 Dry weight/(g · 株 <sup>-1</sup> )            | 4.42                | 6.98       | 3.62       | 11.52      |
| 积累量 Accumulation amount/(mg · 株 <sup>-1</sup> ) | 0.074               | 0.164      | 0.108      | 0.070      |

表 6 高浓度 Cd 胁迫下(50 mg/kg) 八宝景天体内 Cd 的积累量

Table 6 Accumulation amount of Cd in *S. spectabile* under 50 mg/kg

|   | 花序<br>Inflorescence | 茎<br>Shoot | 叶片<br>Leaf | 根系<br>Root |
|---|---------------------|------------|------------|------------|
| 浓度 Concentration/(mg · kg <sup>-1</sup> )       | 21.30               | 32.60      | 45.20      | 7.70       |
| 干重 Dry weight/(g · 株 <sup>-1</sup> )            | 3.43                | 5.22       | 2.52       | 9.62       |
| 积累量 Accumulation amount/(mg · 株 <sup>-1</sup> ) | 0.073               | 0.170      | 0.114      | 0.074      |

2. 2. 6 镉在八宝景天和三七景天体内的积累分布 由图 9 可知,差异显著性分析表明,对照的八宝景天各器官吸收 Cd 含量顺序叶>茎>花>根,而加 Cd(50 mg/kg)的情况下,各器官 Cd 含量顺序叶>茎>花>根,即 2 种处理下各器官吸收 Cd 含量一致。相同器官内 50 mg/kg 镉胁迫下八宝景天各器官内 Cd 含量显著高于对照。由图 10 可知,差异显著性分析表明,对照和加 Cd(50 mg/kg)条件下的三七景天,各器官吸收 Cd 含量均为叶>茎>花>根。相同器官 50 mg/kg 镉胁迫下三七景天各器官内 Cd 含量显著高于对照。

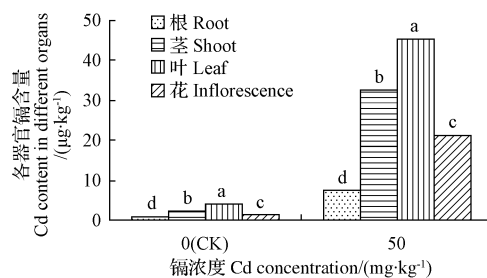


图 9 不同 Cd 浓度下八宝景天各器官内 Cd 含量

Fig. 9 Cd content in organs of both *S. spectabile* under different Cd concentration

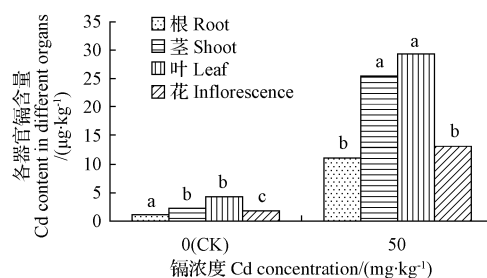


图 10 不同 Cd 浓度下三七景天各器官内 Cd 含量

Fig. 10 Cd content in organs of both *S. spectabilis* under different Cd concentration

### 3 结论与讨论

#### 3. 1 镉胁迫对 2 种景天生长的影响

八宝景天和三七景天植株外侧老龄叶片边缘逐渐变黄色。镉浓度越高的植株明显发生这种现象越早。这可能与植物线粒体和叶绿体受到较大破坏,导致呼吸作用和光合作用受到影响有关<sup>[13]</sup>。高浓度(50 mg/kg)

对三七景天植株株高有显著影响,对八宝景天的叶片数有显著影响。低浓度和高浓度镉对 2 种景天成花有显著影响,2 种景天的成花数均减少,三七景天成花数下降率高于八宝景天,说明三七景天成花数受 Cd 抑制的情况更为严重,且浓度越高影响越明显。2 种浓度镉胁迫下,2 种景天生物量均减少,且浓度越高减少越显著。八宝景天高浓度(50 mg/kg)处理的植株长势衰退,生长速率缓慢,且第 10、20、30、40 天下降率分别为 2.35%、2.21%、4.32%、5.58%。三七景天低浓度(20 mg/kg)处理植株与高浓度(50 mg/kg)处理的植株与对照植株相比长势均衰退,生长速率均缓慢。高浓度处理下干重下降率大,可见浓度越高对植株生物量的影响越大。

### 3.2 2 种景天各器官 Cd 的积累和分布

在 2 种浓度镉处理下,八宝景天茎中 Cd 含量与三七景天茎中 Cd 含量无显著性差异。但八宝景天叶片中和花序中 Cd 含量高于三七景天叶片和花序中 Cd 含量,而根系中 Cd 含量要低于三七景天根系中 Cd 含量。无论高浓度镉胁迫还是低浓度镉胁迫,三七景天和八宝景天不同器官 Cd 浓度从高到低的顺序为叶片>茎>花序>根系。2 种景天对 Cd 积累量地上部大于地下部,说明这 2 种景天都有较强的转运能力,具有植物修复的潜力<sup>[14]</sup>。但八宝景天的地上部的积累能力远远高于三七景天,低浓度镉胁迫下(20 mg/kg),八宝景天和三七景天地上部积累量与地下部积累量的比值为分别为 4.94 和 1.06,高浓度镉胁迫下(50 mg/kg),八宝景天和三七景天地上部积累量与地下部积累量的比值为分别为 4.82 和 1.26。说明八宝景天比三七景天更具有作为植物修复材料的潜力。

### 参考文献

- [1] 王学礼,马祥庆. 重金属污染植物修复技术的研究进展[J]. 亚热带农业研究,2008(1):44-49.
- [2] 何启贤. 镉超富集植物筛选研究进展[J]. 环境保护与循环经济,2013(1):46-49.
- [3] 许嘉琳,杨居荣. 陆地生态系统中的重金属[M]. 北京:中国环境科学出版社,1995:24-36.
- [4] 魏复盛,陈静生,吴燕玉,等. 中国土壤元素背景值[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990:87.
- [5] 赵学茂. 土壤重金属污染的防治方法[J]. 甘肃农业,2006(2):228.
- [6] CHANEY R L. Plant uptake of inorganic waste constituents[C]. In: Parr J F eds. Land treatment of hazardous waste. Park Ridge, N J, USA: Noyes Data Corporation,1983:50-76.
- [7] 李金天,杨桃(*Averrhoa carambola*)对 Cd 富集特征与 Cd 污染土壤植物修复[D]. 广州:中山大学,2005.
- [8] TANG Y T, QIU R L, ZENG X W, et al. Zn and Cd hyperaccumulating characteristics of *Picris divaricata* Vant[J]. International Journal of Environmental Pollution,2009,38:26-38.
- [9] 李玉双,孙丽娜,孙铁珩,等. 超富集植物叶用红苋菜(*Beta vulgaris* var. *cicla* L.)及其对 Cd 的富集特征[J]. 农业环境科学学报,2007,26(4):1386-1389.
- [10] 李硕,刘云国,李永丽,等. 水葱修复土壤镉污染潜力的研究[J]. 环境污染与防治,2006,28(2):84-86.
- [11] 汤叶涛,仇荣亮,曾晓雯,等. 一种新的多金属超富集植物-圆锥南芥(*Arabis paniculata* L.)[J]. 中山大学学报(自然科学版),2005(4):135-136.
- [12] 熊愈辉,杨肖娥,叶正钱,等. 东南景天对镉、铅的生长反应与积累特性比较[J]. 西北农林科技大学学报,2004,32(6):101-106.
- [13] KESSLER A, BRAND M D. The mechanism of the stimulation of state 4 respiration by cadmium in potato tuber (*Solanum tuberosum*) mitochondria[J]. Plant Physiol Biochem,1995,33:519-528.
- [14] 常青山,马祥庆. 重金属超富集植物筛选研究进展[J]. 农业环境科学学报,2005(24):330-335.

## Study on Growth and Accumulation of Two *Sedum* Under Cadmium Stress

WANG Shan<sup>1,2</sup>, BAI Ruiqin<sup>3</sup>

(1. College of Environment and Resource, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018; 2. College of Resource and Environment Economy, Inner Mongolia Financial University, Hohhot, Inner Mongolia 010018; 3. College of Agronomy, Inner Mongolia Agricultural University, Hohhot, Inner Mongolia 010018)

**Abstract:** Taking *Sedum spectabile* and *Sedum spetabilis* planted in pots with cadmium as materials, the absorb and accumulation of Cd in different organs of these two *Sedum* and the effects of Cd on biomass, height, quantity of leaves and flowers were studied. The results showed that Cd had toxic effect on these two *Sedum*, decreased plant height, shorter and thinner roots, reduced leaf number, changed leave color, and decreased biomass. With the increase of Cd concentration, Cd content in the organs of both *Sedum* sp. significantly improved. Cd concentration in different organs from high to low was leaf>stem>inflorescence>root. Cd accumulation above ground was greater than under ground, which indicated that these two *Sedum* sp. had strong transport capacity, and had the potential for phytoremediation. The results had important significance for the application of Crassulaceae plants in Cd phytoremediation in the northern area.

**Keywords:** heavy metal; Cd; *Sedum* sp.; phytoremediation