

DOI: 10.11931/guihaia.gxzw201307017

严廷良, 钟才荣, 刘强, 等. 海马齿对重金属 Pb、Zn 胁迫的生长及生理生化响应[J]. 广西植物, 2015, 35(5): 668—672

Yan TL, Zhong CR, Liu Q, et al. Effects of Pb and Zn on the growth and physiological response of *Sesuvium portulacastrum*[J]. *Guihaia*, 2015, 35(5): 668—672

# 海马齿对重金属 Pb、Zn 胁迫的生长及生理生化响应

严廷良<sup>1</sup>, 钟才荣<sup>2</sup>, 刘 强<sup>1</sup>, 张 颖<sup>1\*</sup>

(1. 海南师范大学 生命科学学院, 海口 571158; 2. 海南东寨港国家级自然保护区管理局, 海口 571129)

**摘 要:** 重金属污染是当前生态环境保护话题的一个热点, 当环境污染后, 重金属容易被植物体吸收、富集, 阻碍植物的生长发育。海马齿(*Sesuvium portulacastrum*)是一种生长在海边沙地及河流入海口两岸滩涂地带的多年生肉质草本植物, 拥有一套有别于淡土植物的遗传背景和耐盐碱生理机制。为了讨论其抗重金属逆境能力, 用 1/10 的 Hoagland 营养液配制不同浓度的  $Zn^{2+}$ 、 $Pb^{2+}$  溶液, 浓度梯度为 0、5、10、25、50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  (0  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  为对照组), 在 Pb、Zn 单因子处理下对海马齿的生物量指标节间长度、鲜重、干重和海马齿生理生化指标叶绿素、丙二醛、脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白和根系活力进行测定, 研究其生理活动和生长动态。结果表明: 叶片叶绿素含量下降, 根系活力降低; 同时, 高浓度的 Pb、Zn 离子对海马齿的相对生长率和节间长度存在明显的抑制作用; 蛋白质含量显著下降; 脯氨酸、可溶性糖、丙二醛能够被诱导且显著升高; 但同时, 海马齿鲜重和干重并没有显著的变化。说明海马齿对重金属 Pb、Zn 具有一定的耐受性, 为研究海马齿是否可以作为一种净化水源的植物提供理论参考依据。

**关键词:** 重金属; 海马齿; 生理生化; 生长动态

中图分类号: Q945.78 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2015)05-0668-05

## Effects of Pb and Zn on the growth and physiological response of *Sesuvium portulacastrum*

YAN Ting-Liang<sup>1</sup>, ZHONG Cai-Rong<sup>2</sup>, LIU Qiang<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>1\*</sup>

(1. College of Life Sciences, Hainan Normal University, Haikou 571158, China; 2. Hainan Dongzhaigang National Nature Reserve Administration Bureau, Haikou 571129, China)

**Abstract:** Heavy metal pollution is a hot spot of the current ecological environment protection topic. When the environmental pollution happened, the heavy metal will be easily absorbed and enriched by the plants, and then affect the plant's normal growth. *Sesuvium portulacastrum* is a perennial herb with the fleshy stem. It grows in the coast land and salt tidal flats. It has its own salt tolerant mechanism and genetic background, which are different with the fresh water plant. In order to discuss the heavy metal resistance ability of *S. portulacastrum*, the changes in physiological activity and the growth of *S. portulacastrum* influenced by Pb and Zn were investigated. 1/10 Hoagland nutrient solution was used to prepare  $Zn^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  solutions with the concentrations from 0(CK), 5, 10, 25 to 50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ . Under the  $Zn^{2+}$  and  $Pb^{2+}$  stresses and separately, the biomass indexes including the internode length, the fresh and dry weights, the physiological and biochemical indicators including the Chlorophyll content, proline and malondialdehyde activities, soluble sugar, soluble protein and the root activity were analyzed. The results showed that the obvious symptoms were observed in the decrease of the root activity and chlorophyll content in the leaves. The soluble

收稿日期: 2014-06-23 修回日期: 2014-08-15

基金项目: 海南省自然科学基金(312091)

作者简介: 严廷良(1988-), 男, 海南万宁市人, 硕士研究生, 主要从事植物学恢复生态学研究, (E-mail)251599337@qq.com。

\*通讯作者: 张颖, 博士, 副教授, 主要从事植物学、植物生理与分子生态学等研究, (E-mail)zhangyingred@yahoo.com。

sugar, the proline and malondialdehyde activities would be induced to increase under the stresses of single  $Pb^{2+}$  and  $Zn^{2+}$ . The soluble protein, the relative growth rate and the panel length dropped significantly with the increase of  $Pb^{2+}$  and  $Zn^{2+}$  concentrations separately. But the fresh and dry weights of *S. portulacastrum* had no significant changes under the heavy metal stress. This result illustrated the *S. portulacastrum* on heavy metal Pb and Zn had a certain tolerance. This study will provide the data of theoretical reference whether *Sesuvium portulacastrum* can serve as a plant for water purification.

**Key words:** heavy metal; *Sesuvium portulacastrum*; physiological and biochemical; growth dynamics

重金属的污染已成为现在生态环境保护话题的一个热点,过量的重金属一旦进入环境,特别是进入土壤后就很难予以排除,对土壤水质的污染尤为严重。重金属通过抑制作物细胞分裂和伸长,刺激和抑制一些酶的活性,影响组织蛋白质合成,降低光合作用和呼吸作用,伤害细胞膜系统,引起植物体内会发生一系列生理生化变化,植物体会产生代谢的紊乱,导致植物抗逆性降低,严重时造成植株的死亡,更严重的是进一步通过食物链危及人畜健康(夏奎等,2008)。铅易被植物体吸收、富集,阻滞植物生长发育。锌的毒害是影响植物光合作用及呼吸作用、生长迟缓,并出现黄化现象等(李淑艳等,2006)。

海马齿(*Sesuvium portulacastrum*), 番杏科海马齿属,是一种生长在海边沙地及河流入海口两岸滩涂地带的多年生肉质草本植物,海马齿可以长期在海水浇灌下正常生长,拥有一套有别于淡土植物的遗传背景和耐盐碱生理机制,属于典型的盐生植物,对高盐、干旱和重金属离子具有很高的耐受性(张艳琳等,2004)。植物抗重金属逆性指标是研究植物抗逆机理和抗逆能力的基础。光合作用、细胞膜透性、渗透调节物和保护酶系统对植物抗逆性有比较明确的指示意义。海马齿具有很强的重金属耐受性,海马齿对镉的耐受性比冰叶日中花(*Mesembryanthemum crystallinum*)更高即便镉离子在浓度比较低( $50 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$ )的情况下,对冰叶日中花的生长抑制作用也十分强烈,但对海马齿的影响却不明显(Ghnaya *et al.*, 2005)。梁胜伟等(2009)研究海马齿对汞的吸附能力也表明了海马齿对重金属汞具有很高的耐受性和吸附性。我们选择 Pb、Zn 两种重金属对海马齿的胁迫研究,进一步说明海马齿对这两种金属的耐受性,为探讨海马齿是否可作为一种净化水源的植物提供理论依据。

## 1 材料与方

### 1.1 实验样品采集

海马齿匍匐茎(样品于 2012 年 2 月采自海南省

海口市东寨港)选择长势相同的植株从分枝顶部切取含有 4 个节的茎段。

### 1.2 实验样品处理

先将切取的分枝用自来水洗净后,再插入完全 Hoagland 营养液中进行生根培养,中间换营养液一次。用 1/10 的 Hoagland 营养液配置不同浓度的含  $Zn^{2+}$  溶液( $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ , 分析纯)和含  $Pb^{2+}$  [ $Pb(NO_3)_2$ ]溶液,处理浓度为 0、5、10、25、50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  ( $0 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  为对照组),将生根培养后长势基本相同的植株样品进行不同浓度的铅和锌水平处理。恒温培养箱内放置,每 7 d 换 1 次处理溶液。处理期间每天观察植物的长势和症状表现,第 30 天时测定海马齿生物量指标节间长度、鲜重、干重和海马齿生理生化指标叶绿素、丙二醛、脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白和根系活力,每处理重复 3 次。

### 1.3 指标测定

叶绿素、丙二醛和脯氨酸参照郑炳松(2006)的方法;根系活力参照张志良等(1980)的 TTC 法;蛋白质含量测定参照赵英永等(2006)的方法;可溶性糖含量测定参照全妙华等(2008)的方法;相对生长速率参照 Ghnaya *et al.*(2007)的方法。

## 2 结果与分析

### 2.1 Pb、Zn 胁迫海马齿叶片叶绿素含量的变化

重金属 Pb、Zn 对海马齿叶绿素含量存在较为明显的毒害效应。由图 1 可知,随着处理浓度增加,叶绿素含量呈下降趋势,处理和对照之间的差异均达到显著水平。处理浓度越高,毒害越严重,说明叶绿素含量对 Pb、Zn 两种重金属的影响非常敏感。

### 2.2 Pb、Zn 胁迫海马齿根系活力的变化

在 Pb 胁迫下,海马齿根系活力呈下降—上升—下降的趋势(图 2),但在 0、5、10、25  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  四个浓度梯度处理下根系活力并未达到显著差异水平,在 50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度处理下根系活力显著低于其他 4 个处理组。在锌处理下,随着浓度的增加,海

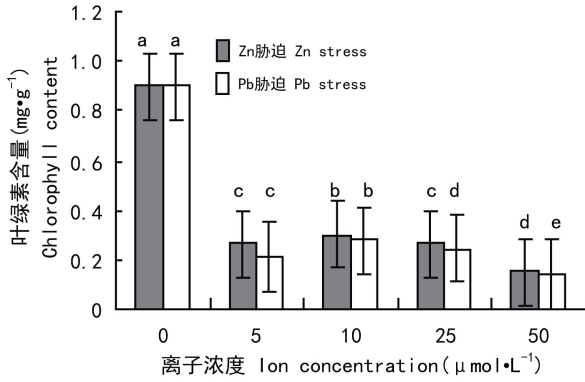


图1 Zn、Pb胁迫下海马齿叶片叶绿素含量变化  
不同字母表示处理间差异显著  $P < 0.05$ 。下同。

Fig. 1 Changes of chlorophyll contents in the leaves of *Sesuvium portulacastrum* with Zn and Pb treatments Values with different letters are significantly different at  $P < 0.05$ . The same below.

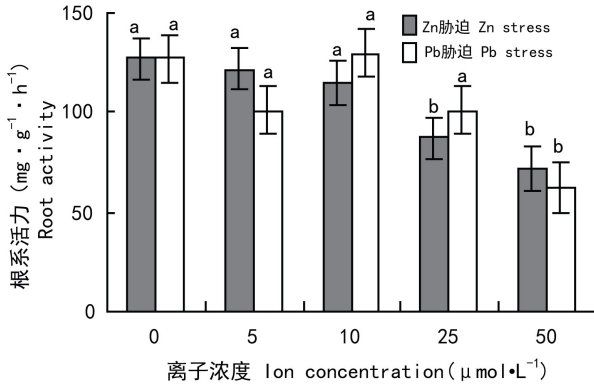


图2 Zn、Pb胁迫下海马齿根系活力变化

Fig. 2 Changes of root activities of *Sesuvium portulacastrum* with Zn and Pb treatments

海马齿根系活力呈下降趋势,在0、5、10  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 三个浓度梯度处理下根系活力并未达到显著差异水平,处理浓度在25、50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时均显著低于其他几个处理组。图2结果表明,随着处理浓度的增加,高浓度的重金属Pb、Zn对海马齿的根系活力有一定的毒害作用。

### 2.3 Pb、Zn胁迫海马齿根丙二醛含量的变化

Pb、Zn胁迫下,随着处理浓度的增加,海马齿根丙二醛含量呈先降低后升高趋势(图3)。在各浓度梯度胁迫下,海马齿根系丙二醛含量均达到显著差异水平。实验中Pb、Zn胁迫使得海马齿丙二醛含量增加,表明膜脂过氧化程度加剧,细胞膜透性也逐渐增加,细胞膜透性越大表明细胞内含物流失越严重,所以高浓度的重金属Zn和Pb对海马齿有一定的生理毒害作用。

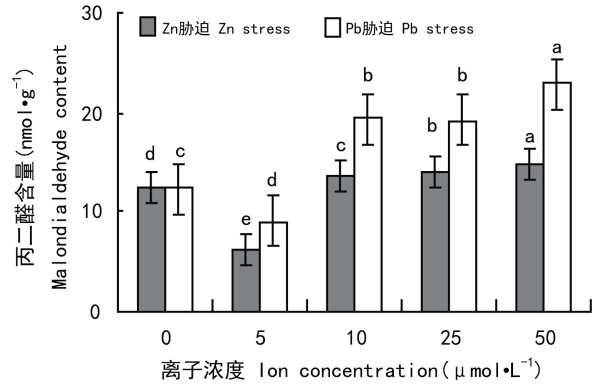


图3 Zn、Pb胁迫下海马齿根系丙二醛含量变化

Fig. 3 Changes of malondialdehyde content in the root of *Sesuvium portulacastrum* with Zn and Pb treatments

### 2.4 Pb、Zn胁迫海马齿根系脯氨酸、可溶性糖、可溶性蛋白含量的变化

Zn、Pb胁迫下,海马齿根系脯氨酸含量呈先升高再降低的趋势,但4个处理组浓度高于对照组。随着处理浓度增加,可溶性糖呈上升趋势,且当浓度为25和50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,可溶性糖含量显著高于其他3个处理组。在25和50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时蛋白质含量显著下降,表明了在高浓度的重金属Zn、Pb胁迫下对海马齿的正常生长有一定的影响(表1)。

表1 脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白含量

Table 1 Contents of proline, soluble sugar and soluble protein

浓度 Concentration ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	脯氨酸 Proline ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )		可溶性糖 Soluble sugar ( $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ )		可溶性蛋白 Soluble protein ( $\text{mg} \cdot \text{g}^{-1}$ )	
	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb
0	10.498d	10.498d	0.324c	0.324c	96.21a	96.21a
5	33.481a	32.892a	0.364c	0.311c	95.11a	96.69a
10	25.782b	29.038b	0.441c	0.354c	90.23a	95.49a
25	17.358c	21.117c	0.974b	0.112b	71.06b	69.34b
50	18.918c	21.327c	1.686a	1.732a	56.34c	60.11c

### 2.5 Pb、Zn胁迫海马齿生长的影响

不同Zn、Pb浓度处理下,海马齿植株相对生长率、节间长度以及鲜重、干重均有一定差异。在处理浓度为0、5、10  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,海马齿相对生长率较好,且三个处理组无显著差异(表2),在25和50  $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 时,海马齿相对生长率显著低于其他三个处理组。海马齿节间长度表现出与相对生长率一致的趋势,而鲜重和干重结果表明各处理梯度之间无显著差异。随着处理浓度的增加,海马齿生长形态上也发生显著变化,主要表现为节间变短、茎变

表 2 Zn、Pb 胁迫对海马齿生长的影响  
Table 2 Effects of Zn and Pb on growth of *Sesuvium portulacastrum*

浓度 Concentration ( $\mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )	相对生长率 Relative growth rate(%)		节间长 Internode length (cm)		鲜重 Fresh weight (g)		干重 Dry weight (g)	
	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb	Zn	Pb
0	0.036a	0.036a	3.14a	3.14a	3.12a	3.12a	0.29a	0.29a
5	0.034ab	0.039ab	3.15a	3.32a	3.08a	3.38a	0.28a	0.28a
10	0.031ab	0.038ab	3.07a	3.17a	3.16a	3.26a	0.29a	0.29a
25	0.028b	0.025b	2.12b	2.17b	2.94a	2.98a	0.28a	0.27a
50	0.009c	0.011c	1.06c	1.01c	2.94a	2.91a	0.25a	0.24a

粗、叶片变厚等,整体来看生长受到明显抑制,但仍能正常生长,其干物质的积累含量并无明显变化,也未出现重金属中毒或死亡现象(表 2)。

### 3 讨论与结论

#### 3.1 Zn、Pb 胁迫对海马齿叶绿素和根系活力的影响

叶绿素是类囊体膜上色素蛋白复合体的重要组成。叶绿素含量降低,必将影响色素蛋白复合体的功能,从而降低叶绿体对光能的吸收,进而影响光合作用(张兆英等 2006)。植物叶绿素的含量变化直接跟植物根系活力有关,根系是植物的重要器官,在植物的生长发育、生理功能和物质代谢中发挥重要作用,它感受环境信号,并在形态和生理上产生一系列反应。它作为植物与环境接触的重要界面,相对于茎叶等部位对环境更为敏感,更易对环境作出反应(秦天才等,1998)。束文圣等(1997)在对凡口铅锌矿印象植物定居的主要因素分析研究中发现由于植物因受镉、铅、锌等重金属的毒害,植物根系的活力严重被抑制,使得植物无法利用土壤基质中的大部分养分,从而影响叶片中叶绿素的合成。重金属胁迫对植物的光合作用都是抑制的,且降低效应与胁迫程度成正相关(江行玉等 2001)。在本研究中,海马齿在两种重金属 Zn、Pb 的胁迫下根系活力和叶绿素的变化也显示出一定程度的正相关性。

#### 3.2 Zn、Pb 胁迫对海马齿根系丙二醛的影响

Kanazawa *et al.*(2000)认为丙二醛的含量是反映细胞膜脂过氧化程度和植物对逆境条件反应的强弱信号。丙二醛是间接表示膜受损的状况,并兼有反馈作用。梁胜伟等(2009)研究重金属汞对海马齿生长影响中发现在汞胁迫下海马齿的丙二醛含量基本保持不变,表明植物在汞浓度在  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$  时还未受到伤害。本研究 Pb、Zn 胁迫使海马齿丙二醛含量增加;相对 Zn 而言,海马齿的根系丙二醛含

量对 Pb 更敏感,从结果看出高浓度的重金属 Zn 和 Pb 对海马齿有一定的生理毒害作用。

#### 3.3 Zn、Pb 胁迫对海马齿根系脯氨酸、可溶性糖和可溶性蛋白的影响

植物通过多种调节机制来降低重金属毒害,其中脯氨酸大量合成是植物响应重金属胁迫的重要机制之一(Smimoff, 1993)。可溶性糖是许多非盐生植物的主要渗透调节剂,在细胞内无机离子浓度高时起到保护酶类的作用。Messedi *et al.*(2001)的研究表明,胞内的可溶性糖和脯氨酸含量都显著升高,在长期进化过程中海马齿已形成一套有效的抵抗高盐胁迫的机制。本研究发现,海马齿在高浓度的重金属胁迫下,可溶性糖和脯氨酸含量都显著升高,即海马齿采用了同样的渗透调节机制来适应外界的重金属胁迫。通过可溶性糖和脯氨酸的大量积累来减少重金属胁迫伤害可能是海马齿植株具有高耐重金属抗性特点的重要生理基础。蛋白质含量测定是检测逆境胁迫和生理伤害的重要指标之一(张艳琳等, 2009)。本研究中,在重金属 Zn、Pb 高浓度(25 和  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )胁迫下海马齿蛋白质含量显著下降,低于对照组,表明高浓度的重金属 Zn、Pb 对海马齿的生理活动有一定的影响。

#### 3.4 Zn、Pb 胁迫对海马齿生长和生物量的影响

在两种重金属的胁迫下,海马齿相对生长率和节间长度表现出一致性的趋势,在高浓度(25 和  $50 \mu\text{mol} \cdot \text{L}^{-1}$ )显著下降。而鲜重和干重结果却在各个处理梯度之间没有显著差异。随着处理浓度的增加,海马齿生长形态上发生显著变化,但仍能较正常生长,其干物质的积累并无明显变化,说明两种重金属对海马齿的生理活动虽有一定影响,但海马齿的生长未受到明显抑制。

综合上述研究结果,表明海马齿除了对重金属镉和汞具有一定的耐受性和吸附性外,还对铅、锌具有一定的耐受性,但是否对铅、锌也有很高的吸附性

还有待于进一步研究, 这为研究海马齿是否可以作为一种净化水源的植物提供理论参考依据。

### 参考文献:

- Ghnaya T, Nouairi I, Slama I, *et al.* 2005. Cadmium effects on growth and mineral nutrition of two halophytes: *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum* [J]. *J Plant Physiol*, **162**: 133–140
- Ghnaya T, Nouairi I, Slama I, *et al.* 2007. Effects of Cd<sup>2+</sup> on K<sup>+</sup> and N<sup>+</sup> uptake two halophytes *Sesuvium portulacastrum* and *Mesembryanthemum crystallinum*: consequences on growth [J]. *J Chromatogr*, **67**: 72–79
- Jiang XY(江行玉), Zhao KF(赵可夫). 2001. Mechanism of heavy metal in jury and resistance of plants(植物重金属伤害及其抗性机理) [J]. *Chin J Appl Environ Biol* (应用与环境生物学报), **7**(1): 92–99
- Kanazawa S, Sano S, Koshiba T, *et al.* 2000. Changes in antioxidative enzymes in cucumber cotyledons during natural senescence; comparison with those during dark induced senescence [J]. *Physiol Plant*, **109**: 211–216
- Li SY(李淑艳), Guo W(郭微). 2006. Effects of Cu<sup>2+</sup> and Zn<sup>2+</sup> stress on cucumber seed germination and seedling growth (Cu<sup>2+</sup>、Zn<sup>2+</sup> 胁迫对黄瓜种子萌发及幼苗生长的影响) [J]. *Chin Seed Ind* (中国种业), **1**: 33–34
- Liang SW(梁胜伟), Hu XW(胡新文), Duan RJ(段瑞军), *et al.* 2009. Mercury tolerance and accumulation in the halophyte *Sesuvium portulacastrum* (海马齿对无机汞的耐性和吸附积累) [J]. *Chin J Plant Ecol* (植物生态学报), **33**(4): 638–645
- Lutts S, Kinet JM, Bouharmont J. 1996. Effects of salt stress on growth, mineral nutrition and proline accumulation in relation to osmotic adjustment in rice cultivars differing in salt resistance [J]. *Plant Growth Regul*, **19**: 207–218
- Messeddi D, Sleimi N, Abdely C. 2001. Salt tolerance in *Sesuvium portulacastrum* [J]. *Plant Nutri*, **92**: 406–407
- Qin TC(秦天才), Wu YS(吴玉树), Wang HX(王焕校), *et al.* 1998. Effect of cadmium, lead and their interactions on the physiological and ecological characteristics of root system of *Brassica chinensis* (镉、铅及其相互作用对小白菜根系生理生态效应的研究) [J]. *Acta Ecol Sin* (生态学报), **3**: 98–103
- Quan MH(全妙华), Chen DM(陈东明). 2008. Study on the soluble sugar content in winged bean(四棱豆可溶性总糖含量的测定) [J]. *J Huaihua Univ* (怀化学院学报), **3**: 52–53
- Shu WS(束文圣), Lan CR(蓝崇任), Zhang ZQ(张志权). 1997. Analysis of major constraints on plant colonization at Fankou Pb/Zn mine tailing(凡口铅锌尾矿印痕植物定居的主要因素分析) [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **8**(3): 314–318
- Smimoff N. 1993. The role of active oxygen in the response of plants to water deficit and desiccation [J]. *New Phytol*, **125**(1): 27–58
- Sun SQ(孙守琴), He M(何明), Cao T(曹同), *et al.* 2009. Effects of Pb and Ni stress on antioxidant enzyme system of *Thuidium cymbifolium* (Pb、Ni 胁迫对大羽蕨抗氧化酶系统的影响) [J]. *Chin J Appl Ecol* (应用生态学报), **20**(4): 937–942
- Xia K(夏奎), Ding XB(丁晓波), Xiang LH(向利红), *et al.* 2008. Effects of Pb<sup>2+</sup> and Cd<sup>2+</sup> highland barley seedling physiological indexes (Pb<sup>2+</sup>、Cd<sup>2+</sup> 对青稞幼苗生理指标的影响) [J]. *J Neijiang Norm Univ* (内江师范学院学报), **23**: 272–274
- Zhang YL(张艳琳), Fan W(范伟), Cai BY(蔡保元), *et al.* 2009. Growth and physiological responses of *Sesuvium portulacastrum* to hydroponics of different combinations of fresh and sea water (海马齿对不同比例淡水海水组培的生长和生理响应) [J]. *Acta Bot Boreal-Occident Sin* (西北植物学报), **29**(6): 1240–1245
- Zhang ZY(张兆英), Yu XJ(于秀俊). 2006. Analysis of physiological index about plant's salt-tolerance evaluation (植物抗盐性评价生理指标的分析) [J]. *J Cangzhou Teachers' Coll* (沧州师范学院学报), **4**: 51–53
- Zhao YY(赵英永), Dai Y(戴云), Cui XM(崔秀明), *et al.* 2006. Determination of protein contents of radix aconiti kusnezoffii using Coomassie Brilliant Blue G-250 Dye Binding (考马斯亮蓝 G-250 染色法测定草乌中可溶性蛋白质含量) [J]. *J Yunnan Nat Univ: Nat Sci Ed* (云南民族大学学报·自然科学版), **3**: 235–237
- Zhang ZL(张志良), *et al.* 1980. *Plant Physiology Experiment Instruction* (植物生理学实验指导) [M]. Beijing(北京): China Higher Education Press(高等教育出版社), 154–212
- Zheng BS(郑炳松). 2006. *Modern Plant Physiological and Biochemical Research Techniques* (现代植物生理生化研究技术) [M]. Beijing(北京): China Meteorological Press(中国气象出版社): 23–28, 40–49, 56–61
- Plagiommium mosses in Summer and Winter [J]. *Chin J Appl Ecol*, **12**: 39–42
- Liu Y, Cao T, Guo SL. 2005. The mosses of Zhejiang Province, China: an annotated checklist [J]. *Arctoa*, **14**: 95–113
- Niu SL, Jiang GM, Li YG. 2004. Environmental regulations of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> plants [J]. *Acta Ecol Sin*, **24**: 308–314
- Takaki N, Watanabe R, Iwatsuki Z. 1982. Bryophytes in aquariums for tropical fish [J]. *Proc Bryol Soc Japan*, **3**: 65–68
- Tan BC, Leong LK, Weel GC. 2004. A case of mistaken identity? What is the true identity of Java moss and other aquarium mosses sold in Singapore shops? [J] *Singapore Sci*, **102**: 8–11
- Ueno T, Kanda H. 2006. Photosynthetic response of the arctic semi-aquatic moss *Calliergon giganteum* to water content [J]. *Aquat Bot*, **85**(3): 241–243
- Van Gaalen KE, Flanagan LB, Peddle DR. 2007. Photosynthesis, chlorophyll fluorescence and spectral reflectance in *Sphagnum* moss at varying water contents [J]. *Oecologia*, **153**(1): 19–28
- Wanger B, Seppelt R. 2006. Deep-water occurrence of the moss *Bryum pseudotriquetrum* in Radok Lake, Amery Oasis, East Antarctica [J]. *Pol Biol*, **29**: 791–795
- Xu BS. 1989. Cryptogamic Flora of the Yangtze Delta and Adjacent Regions [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technical press
- Zhang J, Zhang YM, Downing A, *et al.* 2011. Photosynthetic and cytological recovery on remoistening *Syntrichia caninervis* Mitt., a desiccation-tolerant moss from Northwestern China [J]. *Photosynthetica*, **49**(1): 13–20

( 上接第 703 页 Continue from page 703 )