

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.06.017

石贵玉, 梁士楚, 黄雅丽, 等. 互花米草幼苗对重金属镉胁迫的生理响应[J]. 广西植物, 2013, 33(6):812—816

Shi GY, Liang SC, Huang YL, et al. Physiological response of *Spartina alterniflora* seedlings to cadmium stress[J]. *Guihaia*, 2013, 33(6):812—816

# 互花米草幼苗对重金属镉胁迫的生理响应

石贵玉<sup>1,2</sup>, 梁士楚<sup>1,2</sup>, 黄雅丽<sup>1</sup>, 韦宇静<sup>1</sup>, 李佳枚<sup>1</sup>(1. 广西师范大学 生命科学院, 广西 桂林 541004; 2. 珍稀濒危动植物生态与环境  
环境保护省部共建教育部重点实验室; 广西 桂林 541004)

**摘要:** 以互花米草为实验材料, 通过模拟海水河沙培养实验, 研究不同浓度镉胁迫对互花米草生理生化的影响。结果表明: 随着镉浓度的增大, 互花米草叶、根生物量逐渐降低, 膜透性、丙二醛、SOD、POD 酶活性随着镉浓度的增加而增加, 其酶抗性也发挥到最大的程度。随着镉浓度的增加互花米草的光合特性发生较大变化, 净光合速率、胞间 CO<sub>2</sub> 和气孔导度都下降和减少。

**关键词:** 镉; 互花米草; 光合; 生理特性

中图分类号: Q948 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)06-0812-05

## Physiological response of *Spartina alterniflora* seedlings to cadmium stress

SHI Gui-Yu<sup>1,2</sup>, LIANG Shi-Chu<sup>1,2</sup>, HUANG Ya-Li<sup>1</sup>, WEI Yu-Jing<sup>1</sup>, LI Jia-Mei<sup>1</sup>

(1. College of Life Sciences, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China; 2. Key Laboratory of Ecology of Rare and Endangered Species and Environmental Protection, Ministry of Education, Guangxi Normal University, Guilin 541004, China)

**Abstract:** The physiological and biochemical response of *Spartina alterniflora* seedlings to different concentration of Cd investigated by cultivating the material in the simulated seawater and sand. The results showed that as the concentration of Cd increasing, the biomass of *S. alterniflora* leaves and roots was decreasing, while the membrane permeability, malondialdehyde (MDA), the enzymatic activity of SOD and POD tended to reduce, so *S. alterniflora* could make the best of its self-resistance. With the increase of the concentration of cadmium, photosynthesis characteristic of *S. alterniflora* changed greatly. The net photosynthetic rate, intercellular CO<sub>2</sub> concentration (Ci) and stomatal conductance (Gs) dropped and reduced.

**Key words:** Cd(cadmium); *Spartina alterniflora*; photosynthetic; physiological characteristics

互花米草 (*Spartina alterniflora*) 是大米草的一种, 在我国广西北部湾沿海滩涂均有分布, 其具有耐盐、抗逆性强、适应性广的特点 (朱晓佳, 2003)。大米草占据沼泽植被和海藻生长地 (Wang, 2006; Cottet, 2007), 从而导致底栖动物和鸟类的饲料来源受到影响, 危害当地物种多样性。但研究报道, 互花米草对生活污水中污染物的去除率在 80% 以上, 对有机汞有累积作用 (许德芝, 2002)。

近年来, 随着江河流域工农业的发展, 沿海城市人口与经济的增长, 大量排放的污染物汇集于河口、海湾区, 从而使重金属污染日趋严重, 镉是对植物和人体危害极大的污染重金属。目前对大米草的研究主要集中在大米草生态特性、功能 (许德芝, 2002) 黄酮的提取以及多糖的水解及其抗氧化的研究 (唐军, 2008), 而关于互花米草生理指标、光合参数对镉胁迫的响应报道尚少。本文从镉污染对互花米草幼苗

收稿日期: 2013-05-14 修回日期: 2013-09-13

基金项目: 广西科学基金北部湾基础研究重大专项 (2012jjEA50001); 国家自然科学基金 (30660036)

作者简介: 石贵玉 (1953-), 男, 广西百色人, 教授, 主要从事植物生理生化研究, (E-mail) glshigy@163.com。

几项生理生态指标的影响研究互花米草抗重金属的能力,为筛选对重金属抗性较强的植物和植物修复提供科学依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 实验材料

互花米草幼苗(高约 15 cm, 3~4 张叶)3 月下旬采于广西北海山口镇沿海滩涂。种于直径 15 cm, 深度 18 cm 塑料桶的沙基中,每桶种植 4 株,第一星期浇自来水使其根系生理状况恢复,第二星期开始浇含 6‰ NaCl 的 Hoagland 营养液配制一系列浓度梯度含镉(Cd)的溶液浇灌(处理浓度为 0, 0.3, 0.6, 1.0, 5.0, 10 mmol · L<sup>-1</sup>),每个浓度 3 个重复。每隔 4 d 弃去旧液,更换一次新鲜营养液,浇灌量为 300 mL,于自然光下培养。50 d 后取材测定各项生理生化指标。

### 1.2 测定项目及方法

1.2.1 生理指标测定 生物量测定采用电子天秤称量法;MDA 含量的测定采用硫代巴比妥酸(TBA)氧化法;细胞膜透性采用电导仪测定法;POD 活性测定采用张志良(2000)的愈伤木酚法;SOD 测定参照南京建成科技有限公司生产的 SOD 试剂盒的使用方法。

1.2.2 光合指标测定 利用 LI-6400 便携式光合测定仪(Li-cor, Ins. USA)测定其净光合速率(A,  $\mu\text{mol CO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ),光强由 LI-6400 红蓝 BLED 光源控制为 1 000  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,叶面温度控制在(28±0.5)°C,大气压为 98.35 kPa。CO<sub>2</sub>由 LI-6400 注入系统提供并控制在 CO<sub>2</sub>浓度 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同时提取 CO<sub>2</sub>浓度 400  $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时相关光合参数:叶片气孔导度(Gs)和胞间 CO<sub>2</sub>浓度(Ci)。实验数据为 3 次重复。

### 1.3 数据统计分析

试验数据采用 SPSS11.0 进行数据处理及统计分析和 Excel2003 制图。

## 2 结果与分析

### 2.1 Cd 对互花米草生物量的影响

图 1 为互花米草地上和地下部分生物量的变化曲线图,反映地上生物量叶在低浓度镉 0.3 mmol · L<sup>-1</sup>处理时与对照组相比,略为上升,而后随着镉浓

度的增加,叶生物量迅速下降。根的生物量并未表现低剂量效应,而是一直在下降,推测镉对互花米草的伤害,最直接的是根部。

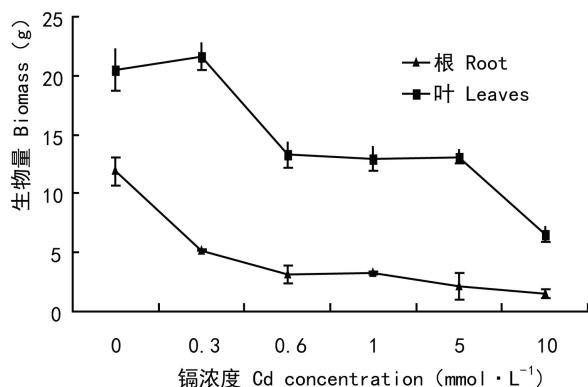


图 1 不同浓度镉对互花米草生物量的影响  
Fig. 1 Effects of different Cd concentrations on biomass of *Spartina alterniflora*

### 2.2 Cd 对互花米草膜透性和丙二醛含量的影响

当植物受到逆境影响时,膜透性增大,所以膜透性增大与逆境胁迫强度相关,从图 2 可以看出,随着镉浓度的增大,互花米草叶片的电导率也在增大,他们之间成正相关的关系( $r=0.874$ ),差异极显著。说明随着镉浓度的增大互花米草叶片的伤害也在逐渐增大。

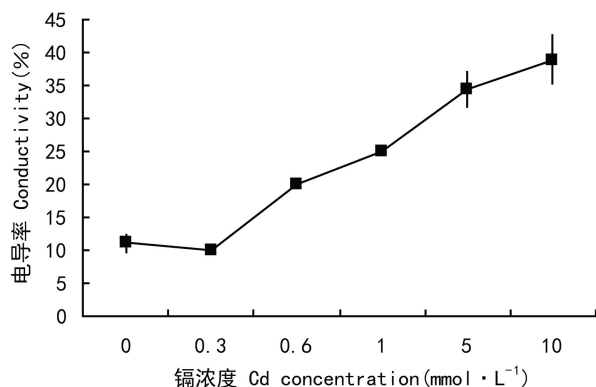


图 2 不同镉浓度对互花米草电导率的影响  
Fig. 2 Effects of different Cd concentrations on electric conductivity of *S. alterniflora*

丙二醛(MDA)是膜脂过氧化作用的产物,会影响植物的生长发育,所以丙二醛经常用来衡量植物对逆境反应强弱的指标之一(石贵玉,2007)。从图 3 看出,在镉胁迫下,根和叶表现出几乎相同的变化趋势,叶中丙二醛的含量在镉范围 0~5 mmol · L<sup>-1</sup>

内差异不显著( $P < 0.05$ ),而在  $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时与对照组间差异极显著( $P < 0.01$ )。根中丙二醛含量与叶相比略有不同,在  $0.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时与对照组差异不大( $P > 0.05$ )、重金属镉浓度在  $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  和  $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时与对照组差异极显著( $P < 0.01$ )。这可能是重金属镉对互花米草的影响始于根部,而根部在其耐受的范围内启动自己的防御机制,来对抗外界逆境的胁迫。

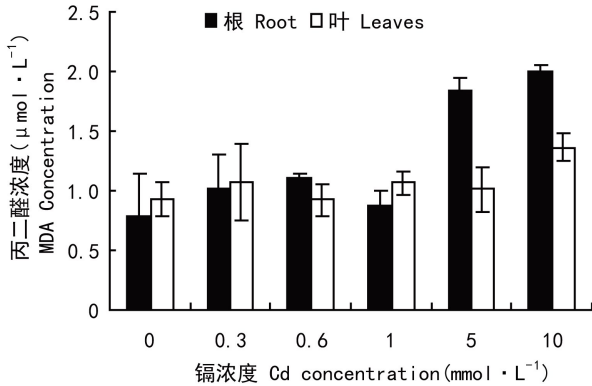


图3 不同浓度镉对互花米草丙二醛含量的影响  
Fig. 3 Effects of different Cd concentrations on MDA contents of *S. alterniflora*

### 2.3 Cd 对互花米草 SOD、POD 活性的影响

图4显示,互花米草根和叶片中POD酶活性对不同镉浓度的响应变化。随着镉浓度的增大,POD酶活性也在增大,根和叶中POD酶活性都在  $5 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时达到最大值,而在  $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时根和叶中的POD酶活性都迅速下降,根中的POD酶活性除了在  $10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时与对照组相比差异不显著外( $P = 0.081 > 0.05$ ),其他的与对照组相比都构成了极显著差异( $P < 0.01$ )。在所有重金属镉浓度胁迫中,叶中的POD酶活性与对照组都构成了极显著性差异( $P < 0.01$ )。

从图5可以看出,叶中SOD酶的活性随着重金属镉浓度的增加而增加,与对照组  $P$  相比差异极显著( $P < 0.01$ )。根中SOD酶活性在  $0.3 \sim 1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时与对照组变化不大,差异不显著( $P > 0.05$ ),而  $5, 10 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时比对照组升高了  $36.5\%$ 、 $48.5\%$ ,差异极显著( $P < 0.01$ )。

### 2.4 Cd 对互花米草光合速率(Pn)的影响

在一定环境条件下,叶片的最大光合速率表示了叶片的最大光合能力(陆佩玲,2000),是反映植物生长快慢的重要生理指标。从图6看出,互花米草

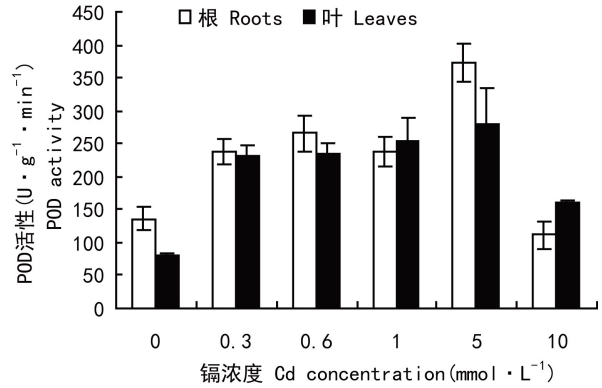


图4 不同浓度镉对互花米草POD活性的影响  
Fig. 4 Effects of different Cd concentrations on POD activities of *S. alterniflora*

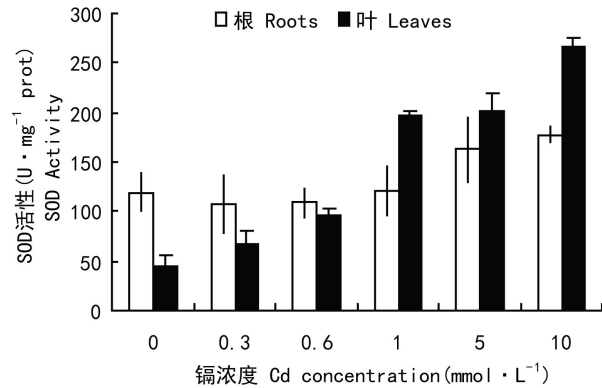


图5 不同浓度镉对互花米草SOD活性的影响  
Fig. 5 Effects of different Cd concentrations on SOD activities of *S. alterniflora*

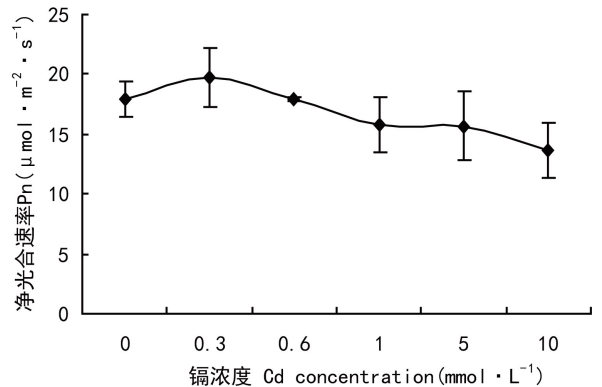


图6 镉浓度对互花米草净光合速率的影响  
Fig. 6 Effects of Cd concentration on Pn of *S. alterniflora*

的净光合速率在镉浓度  $0.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时稍有提高,而在  $0.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  浓度后表现为抑制互花米草的净光合速率。经单因素方差分析,除  $0.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$

与对照组差异不显著外( $P=0.946$ ),其他与对照组比差异极显著( $P<0.01$ ),从以上分析看,在高镉浓度胁迫下,互花米草叶片的光合速率受到抑制。

## 2.5 Cd 对互花米草胞间 $\text{CO}_2$ ( $\text{C}_i$ ) 的影响

胞间  $\text{CO}_2$  浓度( $\text{C}_i$ )是植物光合生理生态研究中经常使用的一个参数。从图 7 可以看出,在一系列浓度镉胁迫下,互花米草的胞间  $\text{CO}_2$  表现出一直下降,在  $1 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  时达到最小值,仅为对照组的 49.8%。通过单因素方差分析比较(LSD)表明,除  $0.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  与  $0.6 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  之外( $P=0.324$ ),各个镉浓度下之间都是差异极显著( $P<0.01$ ),相关性分析得知,镉浓度和胞间  $\text{CO}_2$  的相关系数  $r = -7.23$ ,差异极显著  $P$ ,说明这两变量间存在着极显著的负相关,即胞间  $\text{CO}_2$  随着镉浓度的升高而降低。

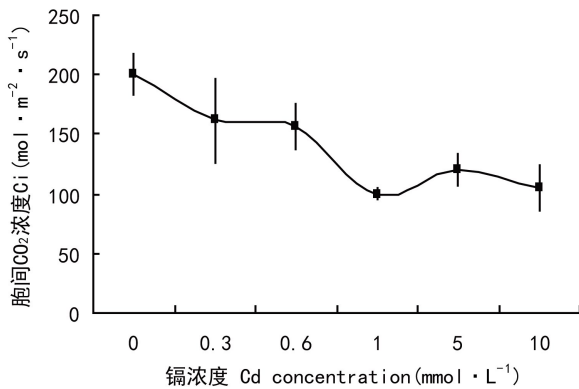


图 7 镉浓度对互花米草胞间  $\text{CO}_2$  的影响

Fig. 7 Effects of Cd concentration on  $\text{C}_i$  of *S. alterniflora*

## 2.6 Cd 对互花米草气孔导度(Gs)的影响

气孔是植物体与外界大气进行气体交换的门户,是陆地植物不可缺的器官(金路路,2007)。从图 8 可以看出在一系列浓度镉的胁迫下,互花米草的气孔导度表现出下降趋势,通过单因素方差分析表明,除  $0.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  与对照组差异不显著外( $P=0.35$ )其他的与对照组相比差异极显著( $P<0.01$ ),相关性分析表明,镉浓度和气孔导度的相关系数  $r = -7.23$ ,关于相关性的显著性检验, $P<0.01$  差异极显著,说明这两变量间存在着极显著的负相关,即气孔导度随着镉浓度的升高而降低。

## 3 讨论

植物在逆境的胁迫下,由于细胞内活性氧自由基的积累,导致膜脂过氧化作用,其产物丙二醛

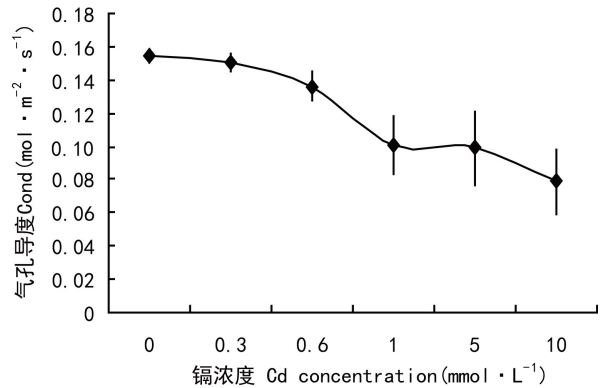


图 8 镉浓度对互花米草气孔导度的影响

Fig. 8 Effects of Cd concentration on Gs of *S. alterniflora*

(MDA)是反映植物在逆境条件下过氧化作用强弱的一个重要指标。本实验中丙二醛在镉浓度  $10 \text{ mmol/L}$  时达到最大值,这与黄玉山(1997)的报道一致。正因为互花米草在高镉浓度胁迫下,膜脂过氧化产物增多,细胞膜透性增大从而干扰了其细胞的正常新陈代谢,影响植物的生长。超氧化物歧化酶(SOD)和过氧化物酶(POD)作为保护酶两者共同对抗逆境胁迫给植物带来的伤害,使植物体内的活性氧维持在一个相对低的水平(陈宏,2000)。本实验中,超氧化物歧化酶、过氧化物酶随着镉浓度的增大,其值也在增大,根和叶的变化趋势稍有差别,但是总体趋势是酶活性提高,说明互花米草在高镉浓度下会最大限度地启动体内的保护酶去清除细胞内过量的活性氧自由基,以最大限度地去对抗和减缓逆境所带来的伤害,这与李丽霞等(2009)的结果类似,但超过其最大防御机制后保护酶的含量急速下降。前人对植物进行镉胁迫研究时,所选用的镉浓度比本试验选取的浓度要低的多,如宇克莉(2010)对玉米和烟草幼苗在镉胁迫下的逆境研究。通过以上逆境生理指标反映,互花米草在高镉浓度下表现出较大的抗性,可以考虑把它作为重金属污染严重的滩涂来修复环境。

植物光合效率的高低取决于其对土壤中矿质营养、水分的吸收情况,并且外界的温度,光照也必不可少(余叔文,1998)。在测定互花米草基本光合特性中,互花米草的净光合速率表现在  $0.3 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$  达到最大值,这与很多研究者的低剂量促进,高剂量抑制的结果是一致的。镉对植物光合作用影响的机制目前研究多集中在光合系统的内在因素上,如周卫等(1999)的研究证实,Cd 对 PS II 的影响显著性



强于PS I。在高镉浓度下,气孔导度减少了,这最重要的原因是互花米草为了保持细胞内的水分,而使气孔关闭,从而减少蒸发量,以度过逆境的胁迫来减少植物的伤害。

本文研究了互花米草在重金属镉胁迫下的一些逆境指标,初步得出互花米草对镉的忍耐范围大,具有较大程度的抗性作用,可考虑把它作为重金属污染严重的滩涂来修复环境,但是相关机理需要更进一步的研究。

## 参考文献:

- 朱晓佳,钦佩. 2003. 外来种互花米草及米草生态工程[J]. *Marsci 海洋科学*, **27**(12):14-19
- 余叔文,汤章城. 1998. 植物生理与分子生物学[M]. 北京:科学出版社:262
- 张志良. 2000. 植物生理学实验指导[M]. 北京:高等教育出版社:160-161
- Cottet M, Montaudouin X, Blanchet H, et al. 2007. *Spartina anglica* eradication and in situ monitoring assess structuring strength of habitat complexity on marine macrofauna at high tidal level[J]. *Estuar Coast Shelf Sci*, **71**:629-640
- Chen H(陈宏), Xu QM(徐秋曼), Wang W(王葳), et al. 2000. The effect of Cd<sup>2+</sup> on the activity of protectase and cell membrane lipid peroxidation change of wheat seedlings(镉对小麦幼苗脂质过氧化和保护酶活性的影响)[J]. *Acta Bot Bor-Occ Sin*(西北植物学报), **20**(3):399-403
- Huang YS(黄玉山), Luo GH(罗广华), Guan KF(关肇文). 1997. Peroxidation damage of oxygen free radicals induced by cadmium to plant(镉诱导植物的自由基过氧化损伤)[J]. *Acta Bot Sin*(植物学报), **39**(6):522-526
- Jin LL(金路路), Qi H(齐华), Yi Y(衣莹). 2007. Effects of CO<sub>2</sub> Concentration enrichment on oats photosynthetic characteristics

- (CO<sub>2</sub> 浓度增加对燕麦光合特性的影响)[J]. *Rain Fed Crops* (杂粮作物), **27**(1):33-36
- Lu PL(陆佩玲), Luo Y(罗毅), Liu JD(刘建栋). 2000. characteristic parameters of light response curves of photosynthesis of winter wheat in north China(华北地区冬小麦光合作用的光响应曲线的特征参数)[J]. *J Appl Meteorol Sci*(应用气象学报), **11**(2):236-241
- Shi GY(石贵玉), Qin LF(秦丽凤), Chen GY(陈耕云). 2007. Effects of Cr<sup>6+</sup> on the growth and some physiological characters of tobacco by tissue culture(铬对烟草组培苗生长和某些生理指标的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **27**(6):899-902
- Tang J(唐军), Xu NJ(徐年军), HE YL(何艳丽), et al. 2008. Study on extraction of spartion flavonoids and the activity of scavenging hydroxyl free radical(大米草黄酮的提取工艺及清除自由基作用的研究)[J]. *Food Sci Tech*(食品科技), (2):140-143
- Wang Q, An SQ, Ma ZJ, et al. 2006. Invasive *Spartina alterniflora*: biology, ecology and management[J]. *Acta Phytotaxon Sin*, **44**:559-588
- Xu DZ(许德芝). 2002. Experimental research on the purification of *Spartina anglica* to household wastewater(互花米草净化生活污水的研究)[J]. *J Guizhou Univ: Agric Biological Sci*(贵州大学学报·农业与生物科学版), **21**(2):121-125
- Yu KL(宇克莉), Zou J(邹婧), Zou JH(邹金华). 2010. Effects of Cadmium stress on antioxidant enzyme system and absorption of mineral elements in Maize seedlings(镉胁迫对玉米幼苗抗氧化酶系统及矿质元素吸收的影响)[J]. *J Agro-Environ Sci*(农业环境科学学报), **29**(6):1 050-1 056
- Zhou W(周卫), Wang H(汪洪), Lin B(林葆). 1999. Effects of calcium supply on subcellular distribution of cadmium chloroplast ultrastructure and pectinase activity in maize under cadmium stress(镉胁迫下钙对镉在玉米细胞中分布及对叶绿体结构与酶活性的影响)[J]. *Plant Nut & Fert Sci*(植物营养与肥料学报), **5**(4):335-340

(上接第 873 页 Continue from page 873)

- Taiwan[J]. *Bot Stud*, **53**(1):55-66
- Jiang HX(江慧贤), Luo C(罗超), Lu JX(卢钧雄), et al. 2012. Construction of screening model for dipeptidyl peptidase IV *in vitro* and active inhibitory estimation of related compounds(构建二肽基肽酶抑制剂体外筛选模型及相关化合物抑制活性的测定)[J]. *Chin J Exp Trad Med Form*(中国实验方剂学杂志), **18**(4):210-214
- Khanna P, Nag TN. 1973. Isolation, identification, and screening of phyllemblin from *Emblca officinalis* tissue culture[J]. *Ind J Pharm*, **35**(1):23-35

- Notaro G, Piccialli V, Sica D. 1992. New steroidal hydroxyketones and closely related diols from the marine sponge *Cliona copiosa* [J]. *J Nat Prod*, **55**(11):1 588-1 594
- Tan QG(谭钦刚), Cai XH(蔡祥海), Feng T(冯涛), et al. 2009. Megastigmane-type compounds from *Rotala rotundifolia* (圆叶节节菜中 Megastigmane 类型的化合物)[J]. *Chin J Nat Med*(中国天然药物), **7**(3):187-189
- Torres R, Faini F, Monache FD. 2004. Two new *O*-geranyl coumarins from the resinous exudate of *Haplopappus multifolius* [J]. *Fitoterapia*, **75**(1):5-8