

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3142.2013.04.001

石贵玉, 黄雅丽, 王巧贞, 等. 镉胁迫下硒对罗汉果组培苗光合特性的影响[J]. 广西植物, 2013, 33(4): 435-438

Shi GY, Huang YL, Wang QZ, et al. Effects of Se on photosynthetic characteristics of *Siraitia grosvenorii* seedling under Cd²⁺ stress[J]. *Guihaia*, 2013, 33(4): 435-438

镉胁迫下硒对罗汉果组培苗光合特性的影响

石贵玉^{1,2}, 黄雅丽¹, 王巧贞¹, 韦宇静¹, 李冰¹(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
保护省部共建教育部重点实验室, 广西 桂林 541004)

摘要: 实验以罗汉果组培苗为材料, 室内栽培在内装市售营养土的塑料盆中, 以 0、10、50、100、200 mg·kg⁻¹ 浓度镉离子和 1 mg·kg⁻¹ 浓度硒处理, 培养 20 d 后分析罗汉果幼苗的相关光合生理指标。结果表明: 低浓度 Cd²⁺ 对叶片叶绿素含量、光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)、气孔导度(*Gs*) 影响不大或稍有上升, 但高浓度镉离子处理植株叶片的叶绿素含量、光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)、气孔导度(*Gs*) 明显下降; 随 Cd²⁺ 处理浓度的增加, 叶片胞间 CO₂ 浓度(*Ci*) 呈现上升趋势; 加硒则延缓叶绿素下降, 促进光合速率(*Pn*)、蒸腾速率(*Tr*)、气孔导度(*Gs*) 上升, 降低叶片胞间 CO₂ 浓度(*Ci*)。表明高浓度镉离子的毒害导致罗汉果组培苗叶片光合性能受到伤害, 从而影响罗汉果幼苗生长。镉硒混合处理反映出硒对镉的毒害有缓解作用。

关键词: 罗汉果; 光合特性; 镉; 硒

中图分类号: Q945 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2013)04-0435-04

Effects of Se on photosynthetic characteristics of *Siraitia grosvenorii* seedling under Cd²⁺ stress

SHI Gui-Yu^{1,2}, HUANG Ya-Li¹, WANG Qiao-Zhen¹, WEI Yu-Jing¹, LI Bing¹

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

Abstract: The tissues cultured seedlings of *Siraitia grosvenorii* were used as the material which were planted in the indoor cultivation and the soil with nutrition bought from market. The cultured seedlings of *S. grosvenorii* were added different concentrations of Cd²⁺ (0, 10, 50, 100, 200 mg·kg⁻¹) and Se²⁺ (1 mg·kg⁻¹) into mediums under sterile conditions. The correlative photosynthetic characteristics indices were analyzed after cultivating 20 d. The results showed that the low concentration Cd²⁺ had the effect on the contents of chlorophyll, photosynthetic rate (*Pn*), transpiration rate (*Tr*) and stomatal conductance (*Gs*) were not big or increased slightly. But under high concentrations treatment of Cd²⁺, the contents of chlorophyll, photosynthetic Rate (*Pn*), transpiration rate (*Tr*) and stomatal conductance (*Gs*) of leaves decreased obviously. With the increase of Cd²⁺ concentration, the rising trend appeared in leaf intercellular CO₂ concentration, the addition of Se delayed the decline of chlorophyll, and made photosynthetic rate (*Pn*), transpiration rate (*Tr*), stomatal conductance (*Gs*) increased but reduced the leaf intercellular CO₂ concentration (*Ci*). It was shown that the toxicity of high concentrations of cadmium ions could also hurt photosynthetic characteristics of *S. grosvenorii* seedling, which therefore affected the growth of *S. grosvenorii* seedling. The mixed treatment of cadmium and selenium reflected

收稿日期: 2012-12-18 修回日期: 2013-03-06

基金项目: 国家自然科学基金(30660036); 广西科技重大专项(2010GXNSFD16900)

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。

that selenium had alleviated function on the toxicity of cadmium.

Key words: *Siraitia grosvenorii*; photosynthetic characteristics; Cd^{2+} ; Se

罗汉果(*Siraitia grosvenorii*)主要产区在广西永福、临桂和龙胜等县。罗汉果果实具有清热解毒、止咳润肺等功效。果实中还含有丰富的葫芦烷三萜甙类物质(罗汉果甜甙),其中罗汉果甜甙 V 的甜度为蔗糖甜度的 256~344 倍,是主要的甜味成分(张建华等,2007)。罗汉果是广西的重要经济作物,也是我国出口创汇的重要果品之一,值得进一步大力开发和深入研究。近年来随着农药及化肥的广泛使用和矿产资源的大量开发利用,导致重金属对土壤、水体的污染越来越严重,严重影响了罗汉果的产量和品质。李斐等(2006)对四种不同产地的罗汉果重金属铜和镉的含量进行了测定,发现铜的含量符合重金属的限量标准,但是镉含量都严重超标。因此控制和减轻重金属在罗汉果中的积累已引起人们的广泛关注。

镉(Cd)是环境中最具危害性的重金属元素之一,Cd 易被作物吸收利用,过量的 Cd 不仅对作物生长、发育产生不良影响,而且会通过食物链传递,对人和动物的健康构成威胁(任艳芳等,2009),Cd 污染问题已成为威胁土壤生态安全和制约农业可持续发展的重要因素(吴燕玉等,1989)。硒(Se)是动物和人体营养的必需微量元素,是植物生长发育的一种有益元素(吴军等,1999)。至今有关镉、硒对罗汉果苗的影响有过报道(石贵玉等,2011),但对罗汉果苗光合特性影响的报道较少。本文以罗汉果无菌苗为材料,分析不同剂量镉胁迫下硒对罗汉果幼苗相关光合指标的影响,旨在探讨镉对罗汉果幼苗毒害的作用机理和硒缓解镉对罗汉果苗伤害的生理生化机制,以期重金属污染的防治提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

供试材料为广西伯林公司提供的罗汉果(*Siraitia grosvenorii*)品种中的“青皮果”无菌苗。在无菌条件下,取无菌苗茎进行继代培养,培养基为 MS+BA 0.5 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ +NAA 0.05 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,培养 30 d,培养室温度为(25±2)℃,光照强度为 1 500~2 000 lx,每天光照 12 h。待长成 5 cm 高无根苗后转至液体的生根培养基(1/2MS+NAA 0.2 $\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$)中诱导

生根,15 d 后将培养瓶塞打开温室下放置 2 d,移栽到内装市售营养土的 25 cm×30 cm 塑料盆中,每盆 2 株,重复 3 个,培养 2 周后进行重金属胁迫处理。

1.2 实验设计

实验处理为 1 号 CK(对照)、2 号 10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd^{2+} 、3 号 50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd^{2+} 、4 号 100 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd^{2+} 、5 号 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd^{2+} 、6 号 200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Cd^{2+} +1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ Se 处理前分别称取 $\text{Cd}(\text{NO})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$,配成相应浓度的溶液,每盆浇灌 500 mL 处理溶液,以后每 2 d 浇灌 300 mL 处理溶液。分别于处理后 20 d 取样,测定光合生理指标。

1.3 光合生理指标测定

叶绿素含量测定采用 SPAD 叶绿素测定仪(日本 Minolta 生产)直接测定不同植株叶片的叶绿素含量;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 , $\mu\text{molCO}_2 \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$),光强由 LI-6400 红蓝 BLED 光源控制为 1000 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$,叶面温度控制在(28±0.5)℃,大气压为 98.35 kPa。 CO_2 由 LI-6400 注入系统提供并控制 CO_2 浓度为 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。同时提取 CO_2 浓度 400 $\mu\text{mol} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 时相关光合参数:蒸腾速率(Tr)、叶片气孔导度(G_s)和胞间 CO_2 浓度(C_i),生长量采用称重法称鲜重。实验数据为 3 次重复。

1.4 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 Excel 2003 制图。

2 结果与分析

2.1 镉胁迫下硒对罗汉果苗生物量的影响

生物量的多少反映植株生长的快慢,是衡量植物生长水平的一个指标。从表 1 可知,低浓度(10 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)镉处理的罗汉果组培苗地上部生物量和地下部生物量与 CK 相比均略有提高,但 50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 镉胁迫的罗汉果组培苗生物量明显下降,方差分析在 0.05 水平上差异显著。200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 镉胁迫下施 1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硒比不施硒的地上部生物量高 34.0%,而地下部生物量高 7.1%。结果反映镉胁迫下硒对罗汉果苗有减轻镉胁迫、促进植株生长的作用。

2.2 镉胁迫下硒对罗汉果苗叶绿素含量的影响

叶绿素是植物进行光合作用的色素,其含量高低

表 1 Cd 胁迫对罗汉果生物量的影响
Table 1 Effects of cadmium stress on biomass and relative water content of *Siraitia grosvenorii*

处理浓度 Treatment density	地上部分生物量 Ground part biomass (g)	地下部分生物量 Underground part biomass (g)
CK	4.080±0.139	0.057±0.003
10	4.475±0.173*	0.058±0.002
50	3.863±0.063	0.055±0.002
100	3.315±0.541**	0.054±0.002
200	2.103±0.380**	0.052±0.003
Cd ₂₀₀ +Se ₁	3.227±0.257**	0.056±0.002

注: * 表示与相应对照组比较差异达 0.05 显著水平; ** 表示差异达 0.01 显著水平;

Note: *, ** indicate significant differences at 0.05 and 0.01 levels respectively in the same column.

在一定程度上反映光合作用水平。图 1 显示,低浓度(10、50 mg·kg⁻¹)镉处理的罗汉果组培苗叶绿素含量与 CK 相比略有提高,但 100、200 mg·kg⁻¹镉胁迫的罗汉果组培苗叶绿素含量明显下降,方差分析在 0.05 水平上差异显著。这与石贵玉等(2011)用镉处理罗汉果组培苗,随着镉浓度的增大,叶绿素含量下降的结果相似;200 mg·kg⁻¹镉胁迫下施 1 mg·kg⁻¹硒比不施硒的叶绿素含量高 11.0%,结果反映镉胁迫下硒对罗汉果苗有缓解叶绿素降解的作用。

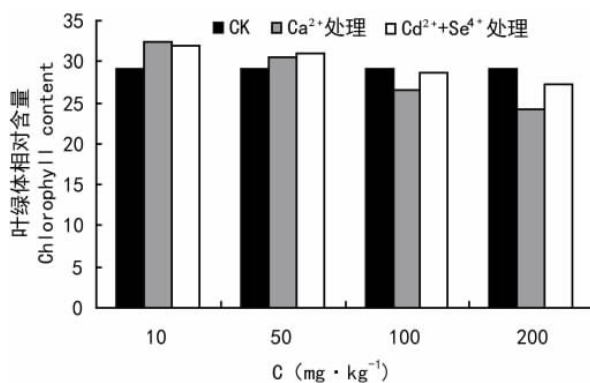


图 1 镉、硒处理对罗汉果苗叶绿素含量的影响
Fig. 1 Effects of Cd and Se on chlorophyll contents in *Siraitia grosvenorii* seedlings

2.3 镉胁迫下硒对罗汉果苗光合速率(*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(陆佩玲等,2000),在一定程度上反映植物生长快慢的重要生理指标。由图 2 看出,低浓度(10 mg·kg⁻¹)镉处理的罗汉果组培苗叶片光合速率与 CK 相比略有提高,但 100、200 mg·kg⁻¹镉胁迫的罗汉果组培苗光合速率明显下降,

分别比 CK 降低 17.2% 和 35.7%,经统计分析与对照达到显著差异;200 mg·kg⁻¹镉胁迫下施 1 mg·kg⁻¹硒比不施硒的光合速率高 12.7%,结果反映镉胁迫下硒对罗汉果苗有提高光合速率的作用。

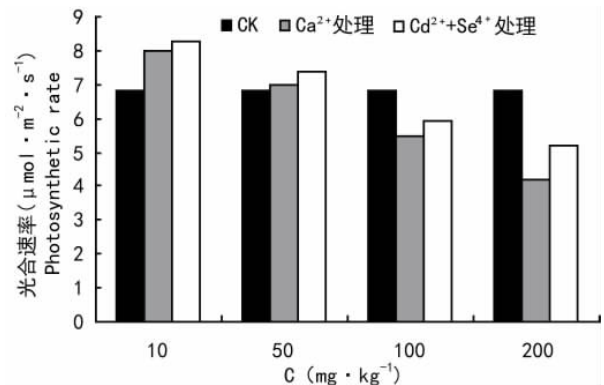


图 2 镉、硒处理对罗汉果苗光合速率(*Pn*)的影响
Fig. 2 Effects of Cd and Se on photosynthetic rates in *Siraitia grosvenorii* seedlings

2.4 镉胁迫下硒对罗汉果苗蒸腾速率(*Tr*)的影响

蒸腾是植物重要的生理过程,植物通过蒸腾作用吸收和运输水分、矿物质,调节叶面温度,与植物光合速率关系密切(李晓靖,2012)。图 3 显示,低浓

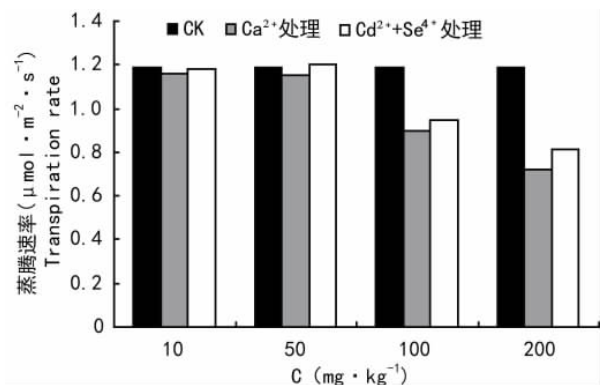


图 3 镉、硒处理对罗汉果苗蒸腾速率(*Tr*)的影响
Fig. 3 Effects of Cd and Se on transpiration rates in *Siraitia grosvenorii* seedlings

度(10、50 mg·kg⁻¹)镉处理的罗汉果组培苗蒸腾速率与 CK 相比略有下降但差异不明显,但 100、200 mg·kg⁻¹镉胁迫的罗汉果组培苗蒸腾速率明显下降,分别比 CK 降低 25.2% 和 35.3%,经统计分析与对照达到显著差异;施 1 mg·kg⁻¹硒比不施硒的蒸腾速率分别高 10.0% 和 12.3%。结果反映镉胁迫

迫下硒对罗汉果苗有提高叶片蒸腾速率的作用。

2.5 镉胁迫下硒对罗汉果苗叶片气孔导度(G_s)的影响

气孔是植物进行 CO_2 和水汽交换的主要通道,气孔导度大,气孔阻力下降,有利于水、气交换,所以气孔导度是反映这种交换能力的一个极其重要的生理指标(金路路等,2007)。图4显示,低浓度(10、50 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$)镉处理的罗汉果组培苗气孔导度与CK相比有上升的趋势,原因有待研究,但100、200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 镉处理的罗汉果组培苗气孔导度明显下降,分别比CK降低9.2%和30.9%,施1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硒比不施硒的气孔导度分别高13.7%和17.9%,方差分析在0.05水平上差异显著,结果反映镉胁迫下硒对罗汉果苗有提高叶片气孔导度的作用。

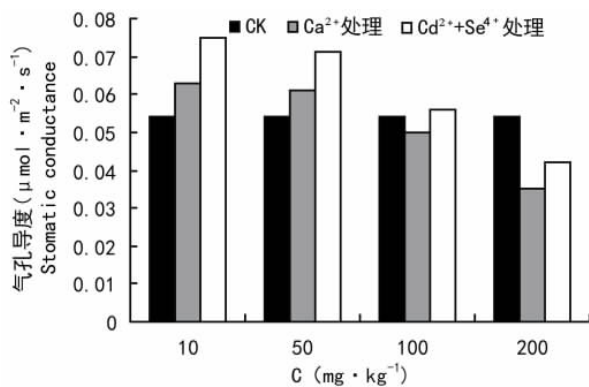


图4 镉、硒处理对罗汉果苗叶片气孔导度(G_s)的影响
Fig. 4 Effects of Cd and Se on stomatic conductances in *Siraitia grosvenorii* seedlings

2.6 镉胁迫下硒对罗汉果苗叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)的影响

叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)高低在一定程度上反映叶片光合速率的大小,胞间 CO_2 浓度低,说明光合速率较高,因此,细胞间隙 CO_2 浓度的变化可以作为叶肉细胞光合作用能力大小的指标(蹇洪英等,2003)。图5显示,随着镉处理浓度的增加,罗汉果组培苗的胞间 CO_2 浓度与CK相比有上升的趋势,200 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 镉处理加1 $\text{mg} \cdot \text{kg}^{-1}$ 硒比不施硒的胞间 CO_2 浓度低,结果反映镉胁迫下硒对罗汉果苗有降低叶片胞间 CO_2 浓度的作用。

3 讨论

本实验结果说明,高浓度重金属镉毒害使罗汉果幼苗叶片的叶绿素含量、光合速率(P_n)、蒸腾速

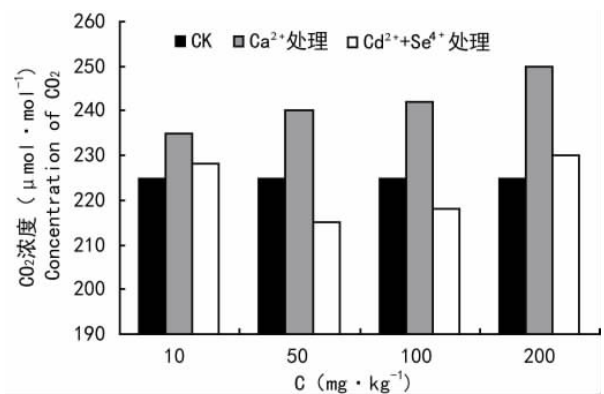


图5 镉、硒处理对罗汉果苗叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)的影响
Fig. 5 Effects of Cd and Se on carbon dioxide concentrations in *Siraitia grosvenorii* seedlings

率(Tr)、气孔导度(G_s)下降;叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)呈现上升趋势;镉、硒复合处理,硒有缓解或抑制镉毒害的作用。

植物体内叶绿素含量的高低与光合作用水平的强弱密切相关。重金属镉毒害引起的植株失绿,叶绿素含量下降, Van Assche & Clijsters(1990)认为,这是由于重金属离子抑制原叶绿素酸酯还原酶活性引起的。本实验得到的镉毒害使罗汉果幼苗叶绿素含量下降可能与上述原因有关。加硒培养,提高叶片叶绿素含量,这是硒与重金属等污染元素之间多表现为拮抗关系(吴军等,1999),硒能增强植物对重金属、环境污染物和生理逆境的抵抗力(陈春英等,1994,刘大会等,2006),但具体机理有待研究。

高浓度镉亦对罗汉果幼苗的光合特征产生了影响。高镉浓度时罗汉果幼苗叶片的光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)均显著降低,叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)呈现上升趋势。光合作用的降低可能是高镉浓度使叶片叶绿素含量下降的原因,同时有可能光合作用的有关酶,如 Rubisco 和 PEP 羧化酶等酶活性受到抑制所致,这可以从 C_i 值的变化曲线得到证实。加硒培养罗汉果幼苗叶片光合速率(P_n)、蒸腾速率(Tr)、气孔导度(G_s)提高,叶片胞间 CO_2 浓度(C_i)下降,也可能是硒与重金属等污染元素之间多表现为拮抗关系,增强植物对重金属、环境污染物和生理逆境的抵抗力有关。

参考文献:

- 李斐,王承南,周莹,等. 2006. 罗汉果中重金属铜和镉的含量分析与评价[J]. 微量元素与健康研究 23(6):30
吴燕玉,陈涛,张学询,等. 1989. 沈阳张士灌区镉污染生态研究(下转第567页 Continue on page 567)

galloyl) glucose (6) Yellow power. ^1H NMR (600 MHz, CD_3OD , δ , ppm, J/Hz): 6.40 (2H, brs, H-3 and H-5), 7.05 (2H, brs, H-2" and 6"), 3.64 (6H, s, 2-OCH₃ and 6-OCH₃), 4.72 (1H, d, J = 7.5, H-1'), 3.72 (1H, m, H-2), 3.38-3.50 (3H, m, H-3, 4 and 5), 4.59 (1H, d, J = 12.0 Hz), 4.41 (1H, dd, J = 11.8, 4.8 Hz). ^{13}C NMR (CD_3OD , 150 MHz): 150.9 (C-1), 95.5 (C-2 and 6), 147.9 (C-3 and 5), 131.0 (C-4), 102.6 (C-1'), 102.6 (C-1'), 73.5 (C-2'), 76.2 (C-3'), 70.3 (C-4'), 74.3 (C-5'), 63.7 (C-6'), 119.0 (C-1"), 108.7 (C-2" and 6"), 145.1 (C-3" and 5"), 138.5 (C-4"), 166.8 (C-7"), 55.2 (3-OCH₃ and 5-OCH₃) (Lampire *et al.*, 1998).

Acknowledgements This work was supported by the Shenzhen Fairy Lake Botanical Garden Fund of 2012.

References:

- Cai Y, Evans FJ, Roberts MF *et al.* 1991. Polyphenolic compounds from *Croton ledleri* [J]. *Phytochemistry*, **30**: 2 033-2 040
- Cui JY, Liu P, Chen RY. 2005. Studies on the active constituents in vine stem of *spatholobus suberectus* [J]. *Chin J Chin Mat Med*, **30**: 121-123
- Lampire O, Mila I, Raminosa M *et al.* 1998. Polyphenols isolated from the bark of *Castanea sativa* Mill. [J]. *Phytochemistry* **49**: 623-631
- Li XY, Long CL, Wang YH, Guo R. 2008. Chemical constituents of *Oxyria digyna* [J]. *Nat Prod Res Dev* **20**: 816-820 845
- Liu MS, Su ZH, Zhang JQ *et al.* 2008. Studies on constituents of the stems and branches of *Ancistrocladus tectorius* [J]. *Chin Pharm J* **43**: 1 060-1 062
- Samaraweera U, Sotheeswaran S, Uvais M *et al.* 1983. 3,3',5',7'-pentahydroxyflavan and 3 α -methoxyfridelan from *Humboldtia laurifolia* [J]. *Phytochemistry* **22**: 565-566
- Su ZH, Liu MS, Li ZL *et al.* 2007. Chemical constituents of *Ancistrocladus tectorius* [J]. *Chin J Med Chem* **17**: 383-385
- Tang CP, Xin ZQ, Li XQ, *et al.* 2010. Two new naphthylisoquinoline alkaloids from stems and leaves of *Ancistrocladus tectorius* [J]. *Nat Prod Res* **24**: 989-994
- Xu MJ, Bruhn T, Hertlein B *et al.* 2010. Shuangancistrocladins A-E, dimeric naphthylisoquinoline alkaloids with three chiral biaryl axes from the Chinese plant *Ancistrocladus tectorius* [J]. *Chemistry* **16**: 4 206-4 216
- 张建华, 黄均昌, 张德君. 2007. 罗汉果苷 V 测定方法研究 [J]. *食品工业* **6**: 57
- 陈春英, 贺海鹰. 1994. 环境中的硒 [M] // 徐辉碧. 硒的化学、生物化学及其在生命科学中的应用. 武汉: 华中理工大学出版社: 277-281
- Jin LL (金路路), Qi H (齐华), Yi Y (衣莹). 2007. Effects of CO₂ concentration enrichment on oats photosynthetic characteristics (CO₂ 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
- Liu DX (刘大会), Zhou WB (周文兵), Zhu DW (朱瑞卫). 2005. General survey on physiological function of selenium in plant (硒在植物中生理功能的研究进展) [J]. *J Mount Agric Biol* (山地农业生物学报) **24**(3): 253-259
- Li XJ (李晓靖), Zhou BZ (周本智), Cao YH (曹永慧). 2012. Photosynthetic characteristics of resprouts on uprooted *Schima superba* after great ice storm (冰雪灾害后木荷倒木萌枝光合特性研究) [J]. *Guihaia* (广西植物) **32**(1): 83-89
- 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
- Ren YF (任艳芳), He JY (何俊瑜), Liu C (刘畅). 2009. Effects of Cd stress on seedling growth and activities in antioxidant enzymes of lettuce (镉胁迫对莴苣幼苗生长及抗氧化酶系统的影响) [J]. *Ecol Environm Sci* (生态环境学报) **18**(2): 494-497
- Sai HY (赛洪英), Zou SQ (邹寿青). 2003. The photosynthetic characteristics in leaves of carpet grass-Axonopus compressus (地毯草的光合特性研究) [J]. *Guihaia* (广西植物) **23**(2): 181-184
- Shi GY (石贵玉), Yi LN (宜丽娜), Liang CH (梁超红). 2011. Effects of Se on some physiological-biochemical characteristic of siraitia grosvenorii seedling under Cd²⁺ stress (硒对锦灯笼下罗汉果组培苗生理生化特性的影响) [J]. *J Guangxi Norm Univ* (广西师范大学学报) **29**(3): 60-64
- Van Assche F, Clijsters H. 1990. Effects of metal on enzyme activity in plants [J]. *Plant Cell Environ* **13**: 195-206
- Wu J (吴军), Liu XF (刘秀芳), Xu HS (徐汉生). 1999. Functions of selenium in plants (硒在植物生命活动中的作用) [J]. *Plant Physiol Comm* (植物生理通讯) **35**(5): 417-423

(上接第 438 页 Continue from page 438)