

缺铁和过量重碳酸盐胁迫下丛枝菌根真菌对枳活性氧代谢的影响

王明元¹, 夏仁学^{2*}

(1. 华侨大学 化工学院生物工程与技术系, 福建 厦门 361021; 2. 华中农业大学 园艺植物生物学教育部重点实验室, 武汉 430070)

摘要: 采用盆栽沙培试验, 研究了缺铁处理及重碳酸盐胁迫下丛枝菌根真菌地表球囊霉对枳实生苗抗活性氧系统的影响。试验结果表明, 在缺铁以及重碳酸盐胁迫处理下, 丛枝菌根真菌显著提高了枳叶片和根系中可溶性蛋白含量、超氧化物歧化酶活性、过氧化物酶活性和过氧化氢酶活性, 明显增强了叶片类胡萝卜素含量, 显著降低了枳叶片和根系中的丙二醛含量, 增强了枳自身防御能力, 减少了胁迫对枳细胞膜的伤害。

关键词: 丛枝菌根真菌; 活性氧代谢; 枳实生苗; 重碳酸盐

中图分类号: S666 文献标识码: A 文章编号: 1000-3142(2010)05-0661-05

Effects of *Glomus versiforme* on active oxygen metabolism of *Poncirus trifoliata* under iron deficiency and heavy bicarbonate stress

WANG Ming-Yuan¹, XIA Ren-Xue^{2*}

(1. Department of Bioengineering and Biotechnology, College of Chemical Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China; 2. Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

Abstract: Effects of protective or defensive system on trifoliolate inoculated arbuscular mycorrhizal fungus, *Glomus versiforme*, were investigated on sand culture under iron deficiency and bicarbonate stress. The results showed that the soluble protein contents and the SOD, POD and CAT activities of root or leaf were significantly higher in mycorrhizal plants than that in non-mycorrhizal plants under iron deficiency and bicarbonate stress. Additionally, carotenoid contents in leaves were enhanced and malindialdehyde contents in both leaves and roots were significantly decreased, which suggested that the arbuscular mycorrhizal fungus *G. versiforme* was able to enhance the defensive ability of plant itself to avoid harm on cells of trifoliolate.

Key words: arbuscular mycorrhizal fungus; active oxygen metabolism; trifoliolate orange (*Poncirus trifoliata*); bicarbonate

丛枝菌根(arbuscular mycorrhizal, AM)真菌是土壤中广泛存在的一类真菌(刘润进等, 2000; Shar-

rock 等, 2004)。AM 真菌侵染植物根系后, 产生大量的菌丝, 促进植物体对营养元素的吸收(葛均青

收稿日期: 2009-06-18 修回日期: 2010-02-19

基金项目: 国家科技部促进三峡移民开发专项(2003EP090018, 2004EP090019); 华侨大学科研基金(08BS410)[Supported by the Science and Technology Exploitation Special Item for Three-Gorges Migrants, Ministry of Science and Technology of the People's Republic of China (2003EP090018, 2004EP090019); the Science foundation of Huaqiao University(08BS410)]

作者简介: 王明元(1980-), 男, 山东枣庄人, 博士, 主要从事菌根共生机理研究, (E-mail)mywang@hqu.edu.cn.

* 通讯作者(Author for correspondence)

等,2002;陈宁等,2003);提高植物体抗性(Diedhiou等,2003);减少逆境胁迫对植物体的伤害(Sylvia & Williams,1992)。植物体产生的活性氧主要有单线态氧(O^1)、过氧化氢(H_2O_2)、羟自由基($\cdot OH$)、超氧自由基(O_2^-),其抗氧化系统主要有酶性与非酶性防御系统。酶性防御系统包括超氧化物歧化酶(SOD)、过氧化物酶(POD)、过氧化氢酶(CAT)、单脱氢抗坏血酸还原酶(MDHA)等;非酶性系统主要有可溶性蛋白、类胡萝卜素、抗坏血酸、VE、还原型谷胱甘肽等(王中英,2000;陈立松等,2003)。植物在正常生长环境下,活性氧的产生和抗氧化系统处于平衡状态,因此,植物体不受活性氧的伤害(姚伟等,2007)。一旦植物体受到干旱、高温、盐渍、UV-B辐射等环境胁迫时,其活性氧和清除平衡体系即被打破(罗丽琼等,2008)。有关AM真菌对宿主植物在环境胁迫下抗氧化能力的影响已有报道。冯固等(2000)利用盆栽试验模拟盐胁迫环境,研究表明,菌根化玉米叶片超氧化物歧化酶活性和根系活力明显提高。杨晓红等(2005)证实,高温条件下,接种AM真菌的枳其POD活性显著增强,MDA含量下降。

枳最适宜的土壤pH范围为5.5~6.5,是我国柑橘生产上应用广泛的一种砧木。在我国部分地区,土壤中钙以及重碳酸盐含量过高,常常引起柑橘缺铁黄化问题。基于此,本试验以枳(*Poncirus trifoliata*)实生苗为试验材料,利用沙培技术模拟土壤缺铁与重碳酸盐环境,研究AM真菌对枳实生苗保护系统的影响,以揭示AM真菌在重碳酸盐土壤中对柑橘缺铁的作用,为解决生产上柑橘缺铁黄化问题提供参考。

1 材料与方 法

1.1 材料

河沙洗净,过2 mm筛。将河沙与珍珠岩(v/v,1:1)浸泡在1 mol/L盐酸溶液中,48 h后取出;自来水冲洗后,清水浸泡48 h,去除过量氯离子,然后蒸馏水冲洗干净。将基质在121~126 °C高压湿热灭菌2 h,取出,混合均匀,装在上口直径20 cm,下底直径14 cm,高18 cm的黑色套袋塑料盆里,每盆3 kg。

供试丛枝菌根真菌为地表球囊霉(*Glomus versiforme*),由北京市农林科学院植物营养与资源研究所“中国丛枝菌根真菌种质资源库(BGC)”提供,编号BJ03,每10毫升菌剂含7 045个孢子。采用层

播法,每盆接种菌剂20 g。

2005年12月15日,选择籽粒饱满的枳壳种子,自来水冲洗干净,75%的酒精浸泡10 min,蒸馏水冲洗3~4次,然后将种子铺在湿润滤纸上,恒温培养箱26 °C催芽。2周后,将已萌芽枳种子播种于塑料盆中,每盆10棵,转移至温室,控制白天/夜间温度25/15 °C,每两天浇一次200 mL蒸馏水,一个月后,定苗至6棵/盆,每盆施浇200 mL霍格兰营养液(去铁),隔天浇一次。2006年6月20号,枳实生苗开始出现缺铁黄化症状,试验处理开始。

1.2 试验设计

试验采用双因素设计。因素一有两个处理:不接种与接种AM真菌(采用层播法,每盆接种菌剂2.1 mL,约1 488个孢子)。因素二有4个处理:营养液(1),去铁霍格兰营养液+铁50 $\mu\text{mol/L}$ (pH6.0),作对照处理(CK(pH6.0));营养液(2),去铁霍格兰营养液(pH6.0),简称缺铁(pH6.0);营养液(3),去铁霍格兰营养液+铁25 $\mu\text{mol/L}$ +0.5 g/L CaCO_3 +15 mmol/L NaHCO_3 (pH7.0),简称 CaCO_3 (pH7.0);营养液(4),去铁霍格兰营养液+铁25 $\mu\text{mol/L}$ +0.5 g/L CaCO_3 +30 mmol/L NaHCO_3 (pH8.0),简称 CaCO_3 (pH8.0)。双因素共8个处理组合,每处理组合重复6次。霍格兰营养液中,铁以EDTA-Fe形式提供。1个月后,收获植株待测。

1.3 试验方法

丛枝菌根侵染率依照Phillip & Hayman(1970)的方法,菌根侵染率(%)=丛枝菌根感染根段长度/检查根段总长度 $\times 100\%$ 。取鲜样加入pH7.8的磷酸缓冲液,冰浴研磨,匀浆转入离心管,4 000 r/min离心10 min,上清液用于保护系统的测定;可溶性蛋白质、SOD、POD、类胡萝卜素和丙二醛(MDA)的测定依据李合生(2000)的方法。CAT活性的测定采用Cakmak & Marschner(1992)法。所有数据运用SAS软件ANOVA过程进行处理间的差异性检验,采用LSD法作多重比较;运用GLM过程作交互作用双因素的差异显著性测验,DUNCAN法作多重比较。

2 结果与分析

2.1 菌根侵染率

沙培试验中,未接种AM真菌的枳根系没有侵染;接种处理的,随着缺铁以及重碳酸盐胁迫的加

重, pH 值由 6.0 逐渐升高到 8.0, 但是根系侵染率由 72.44% 逐渐下降到 60.10% (表 1)。说明本试验中高钙与高重碳酸盐引起的 pH 的升高, 降低了菌根的侵染率。

表 1 枳实生苗菌根侵染状况

Table 1 AM fungal colonization of *P. trifoliata* seedlings

	处理 Treatments	CK (pH6.0)	缺铁 (pH6.0)	CaCO ₃ (pH7.0)	CaCO ₃ (pH8.0)
侵染率(%) Colonization	AMF	83.18a	72.44ab	66.06b	60.10b
	NMF	0c	0c	0c	0c

不同小写字母表示差异显著 (LSD 分析, $P < 0.05$); AMF, 接种 AM 真菌; NMF, 未接种 AM 真菌。

Different small letters mean significant difference at 0.05 level (LSD analysis); AMF, inoculated arbuscular mycorrhizal fungi; NMF, uninoculated arbuscular mycorrhizal fungi.

2.2 AM 真菌对枳保护性酶系统的影响

在各个处理中, AM 真菌显著或极显著提高了叶片和根系中 SOD、POD 和 CAT 的活性, 说明 AM 真菌提高了枳对重碳酸盐胁迫的酶保护能力, 缓解了胁迫对枳细胞膜的伤害 (表 2)。

缺铁 (pH6.0) 处理中, 接种 AM 真菌的植株 SOD 含量高于未接种的, 但是差异不显著; 在 pH7.0 及 pH8.0 的重碳酸盐胁迫下, 与未接种处理

相比, 接种 AM 真菌的叶片 SOD 的活性分别提高了 26.30% 和 21.62%, 根系 SOD 的活性分别提高了 4.47% 和 18.69%; 而且, 随着重碳酸盐胁迫的加重, 接种与未接种的植株叶片和根系的 SOD 活性逐渐下降, 说明尽管植株具有应对外界不良环境胁迫的能力, 但是随着环境胁迫的加重和时间的延长, 植株自身的保护性能力也逐步下降。

缺铁 (pH6.0) 处理中, 接种与未接种处理生物根系 POD 含量差异显著; 在 pH7.0 及 pH8.0 的重碳酸盐胁迫下, 与未接种处理相比, 接种 AM 真菌的叶片 POD 的活性分别提高了 6.40% 和 25.52%, 根系 POD 的活性分别提高了 27.35% 和 22.24%; 而且, 重碳酸盐胁迫下, 接种与未接种 AM 真菌的 POD 含量差异显著, 但随着重碳酸盐胁迫的加重, 接种与未接种的植株叶片和根系的 POD 活性逐渐下降。

在 pH7.0 及 pH8.0 的重碳酸盐胁迫下, 与未接种处理相比, 接种 AM 真菌的叶片 CAT 的活性分别提高了 49.93% 和 39.41%, 差异性显著; 根系 CAT 的活性分别提高了 12.96% 和 15.39%, 但是随着重碳酸盐胁迫的加重, 接种与未接种的植株叶片和根系的 CAT 活性也逐渐下降。

表 2 AM 真菌的侵染对枳实生苗 SOD、POD 及 CAT 的影响

Table 2 Effects of AM fungi on the activities of SOD, POD and CAT of *Poncirus trifoliata* seedlings

菌根状况 AMF status	加铁状况 Iron status	SOD ($u \cdot g^{-1}$)		POD ($u \cdot g^{-1} \cdot \min^{-1}$)		CAT ($U \cdot g^{-1} \cdot fw \cdot \min^{-1}$)	
		叶片 Leaf	根系 Root	叶片 Leaf	根系 Root	叶片 Leaf	根系 Root
接种菌根 AMF	CK (pH6.0)	908.76abc	918.80ab	577.79a	841.49a	405.69abc	197.51ab
	缺铁 (pH6.0)	939.56abc	913.07ab	422.08cd	515.75d	449.17abc	220.17a
	CaCO ₃ (pH7.0)	1084.21a	1011.67 a	498.53b	696.27bc	468.79a	220.27a
	CaCO ₃ (pH8.0)	988.09ab	976.38ab	369.10d	655.85c	371.15cd	199.16ab
未接种菌根 NMF	CK (pH6.0)	801.97c	693.64c	504.96b	763.63ab	389.63bc	138.22c
	缺铁 (pH6.0)	913.55abc	809.13bc	365.25d	420.81e	408.82abc	186.72ab
	CaCO ₃ (pH7.0)	858.42bc	968.38ab	468.56bc	546.72d	312.67de	194.99ab
	CaCO ₃ (pH8.0)	812.46bc	822.62bc	294.05e	536.51d	266.22e	172.59bc

2.3 AM 真菌对枳保护性非酶系统的影响

由表 3 看出, AM 真菌显著或极显著提高了植株可溶性蛋白和类胡萝卜素的含量。叶片和根系中可溶性蛋白含量最高分别为 $25.15 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$ 和 $7.09 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 与未接种的相比, 分别提高了 3.71% 和 27.52%。重碳酸盐 (pH8.0) 处理下, 接种与未接种的根系可溶性蛋白的含量达到显著性差异。类胡萝卜素的含量较未接种的有显著提高, 接种处理的最高含量达到了 $0.38 \text{ mg} \cdot \text{g}^{-1}$, 比未接种处理的提高了 35.71%, 其最低增幅也高达 10.71%。试验结果表明, 接种 AM 真菌后, 植株可溶性蛋白以及类胡

萝卜素等非酶性保护系统的含量有明显提高, 加强了植株抵御外界重碳酸盐胁迫的能力, 降低了植株受到的重碳酸盐伤害。

2.4 AM 真菌对枳丙二醛含量的影响

接种 AM 真菌明显降低了枳实生苗叶片中丙二醛的含量, 并且在对照处理中, 达到了显著性差异; 在 pH7.0 及 pH8.0 的重碳酸盐胁迫下, 接种处理的植株叶片丙二醛含量分别降低了 15.67% 和 16.80%, 达到差异显著 (图 1)。未接种处理的根系丙二醛含量明显高于接种处理的 (图 2)。在 pH7.0 及 pH8.0 的重碳酸盐胁迫下, 接种处理的植株叶片

丙二醛含量分别降低了 19.20% 和 19.36%，与未接种处理差异显著。由此可见，接种 AM 真菌降低了由活性氧代谢产生的丙二醛含量，增强了植株抗氧化能力。

表 3 AM 真菌的侵染对枳实生苗可溶性蛋白及类胡萝卜素的影响

Table 3 Effects of AM fungi on the contents of soluble protein and carotinoid of *Poncirus trifoliata* seedlings

菌根状况 AMF status	加铁状况 Iron status	可溶性蛋白含量 Soluble protein contents (mg · g ⁻¹)		类胡萝卜素 Carotinoid (mg · g ⁻¹)
		叶片	根系	
接种菌根 AMF	CK(pH6.0)	25.15a	7.09a	0.38a
	缺铁(pH6.0)	24.69a	6.06ab	0.31ab
	CaCO ₃ (pH7.0)	24.86a	5.41bc	0.31ab
	CaCO ₃ (pH8.0)	19.62ab	4.71c	0.27ab
未接种菌根 Non-AMF	CK(pH6.0)	24.25a	5.56bc	0.28ab
	缺铁(pH6.0)	23.71ab	5.41bc	0.19b
	CaCO ₃ (pH7.0)	22.90ab	4.97bc	0.28ab
	CaCO ₃ (pH8.0)	18.23b	3.45d	0.19b

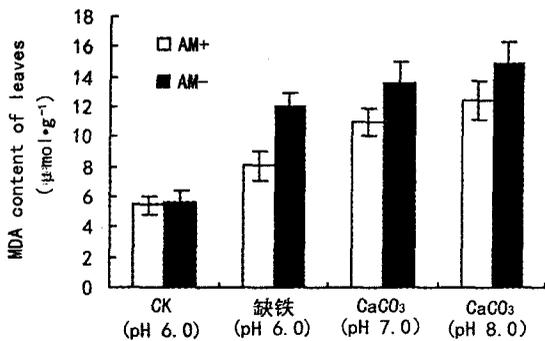


图 1 AM 真菌对枳实生苗叶片丙二醛(AMF)含量的影响

Fig. 1 Effects of AM fungi on the contents of MDA in leaves of *Poncirus trifoliata* seedlings

3 讨论

本试验结果表明，接种 AM 真菌，枳根系出现侵染现象，最高达到 83.18%，但是重碳酸盐处理抑制了菌根的生长，这也是 AM 真菌对环境的一种适应性反应(王桂文等,2003)。

植物在逆境条件下，体内会产生大量的活性氧。这些物质会引起膜脂过氧化，增加植物体细胞膜透性，产生毒性物质(如丙二醛等)，进一步伤害细胞膜。因此打破了植物体内保护系统平衡，植物的抗氧化系统开始增强。本研究表明，在重碳酸盐引起的铁胁迫

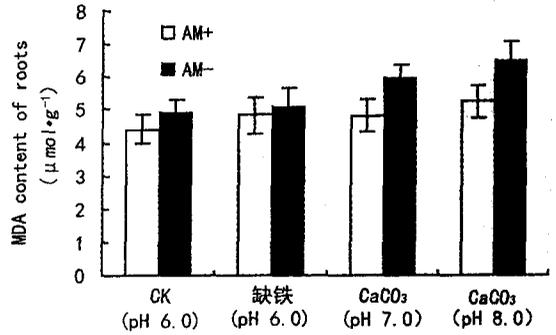


图 2 AM 真菌对枳实生苗叶片丙二醛(NMF)含量的影响

Fig. 2 Effects of AM fungi on the contents of MDA in leaves of *Poncirus trifoliata* (Not) seedlings

下，接种 AM 真菌显著或极显著提高了枳实生苗酶性保护系统(如 SOD、POD、CAT)和非酶性保护系统(如可溶性蛋白、类胡萝卜素)，同时显著或极显著降低了叶片和根系中的丙二醛含量，清除了枳体内产生的大量活性氧物质和次代谢物质(如丙二醛)，缓解重碳酸盐胁迫对枳的伤害。其结果进一步说明 AM 真菌能够提高枳对逆境胁迫的防御保护能力，更有效的减少植物体内超氧阴离子、羟自由基等活性氧成分，减轻胁迫对细胞膜的伤害。这与前人的研究结果一致(Ruiz-Lozano 等,1996; Garmendia 等,2006; 齐国辉等,2006)。另外，吴强盛等(2005)试验也表明，水分胁迫下，AM 真菌显著提高枳实生苗的 SOD 和 CAT 等活性，进而提高植株抗旱性。

柑橘菌根是内生菌根，其根系在栽培条件下，一般不生或很少产生根毛，主要依靠与其共生的真菌进行吸收活动，形成一种特殊的共生现象。而 AM 真菌恰恰属于这类内生菌根，可能是 AM 真菌影响了柑橘的物质代谢，进而产生生物活性物质(如生物碱、激素等)来改变和刺激植株的生理生化特性。另外，不同的砧木可以明显影响植株叶片 SOD、POD 活性(周开兵等,2004)。本试验证实，接种 AM 可以明显提高砧木枳的抗氧化能力，改善高钙和重碳酸盐引起的柑橘缺铁问题。王明元等(2008)试验证实接种 AM 真菌能够提高重碳酸盐胁迫下枳实生苗生物量，改善植株铁营养，因此 AM 真菌在实际生产中可能有很大的应用价值。

参考文献:

王中英. 2000. 果树抗旱生理[M]. 北京: 中国农业出版社: 118-122
刘润进, 陈应龙. 2007. 菌根学[M]. 北京: 科学出版社: 1-404

- 李合生. 2000. 植物生理生化实验原理和技术[M]. 北京: 高等教育出版社: 1—278
- 陈立松, 刘星辉. 2003. 果树逆境生理[M]. 北京: 中国农业出版社: 45—70
- Cakmak I, Marschner H. 1992. Magnesium deficiency and high light intensity enhance activity of superoxide dismutase, ascorbate peroxidase, and glutathione reductase in bean leaves[J]. *Plant Physiol*, **98**: 1 222—1 227
- Chen N(陈宁), Wang YS(王幼珊), Li XL(李晓林), et al. 2003. The effects of cultivated densities of host plant on the development of arbuscular mycorrhizal fungi(宿主植物栽培密度对 AM 真菌生长发育的影响)[J]. *Mycosystema*(菌物系统), **22**(1): 88—94
- Diedhiou PM, Hallmann J, Oserke EC, et al. 2003. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi and a non-pathogenic *Fusarium oxysporum* on *Meloidogyne incognita* infestation of tomato[J]. *Mycorrhiza*, **13**: 199—204
- Feng G(冯固), Bai DS(白灯莎), Yang MQ(杨茂秋), et al. 2000. Influence of inoculating arbuscular mycorrhizal fungi on growth and salinity tolerance parameters of maize plants(盐胁迫下 AM 真菌对玉米生长及耐盐生理指标的影响)[J]. *Acta Agron Sin*(作物学报), **26**(6): 743—750
- Garmendia I, Aguirreolea J, Goicoechea N. 2006. Defence-related enzymes in pepper roots during interactions with arbuscular mycorrhizal fungi and/or *Verticillium dahliae*[J]. *Bio Control*, **15**: 293—310
- Ge JQ(葛均青), Yu XC(于贤昌), Wang ZH(王竹红). 2002. Effects of VAM on plant mineral nutrition(VAM 对植物矿质营养的效应)[J]. *Soils*(土壤), **13**(6): 337—343
- Hernández G, Cuenca G, García A. 2000. Behaviour of arbuscular-mycorrhizal fungi on *Vigna luteola* growth and its effect on the exchangeable(³²P)phosphorus of soil[J]. *Biol Fertil Soils*, **31**: 232—236
- Luo LQ(罗丽琼), Chen ZY(陈宗瑜), Zhou P(周平), et al. 2008. Effects of the low latitude and high elevation region's UV-B radiation on the content of MDA and soluble protein of the *Primula*(低纬高原地区 UV-B 辐射对报春花丙二醛、蛋白质含量的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **28**(1): 130—135
- Phillips JM, Hayman DS. 1970. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection[J]. *Trans Br Mycol Soc*, **55**: 158—161
- Qi GH(齐国辉), Li BG(李保国), Guo SP(郭素萍), et al. 2006. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on water condition, activities of protective enzymes and peroxidation of membrane lipid of *Diospyros lotus*(AM 真菌对君迁子水分状况、保护酶活性和膜脂过氧化的影响)[J]. *J Agric Univ Hebei*(河北农业大学学报), **29**(2): 22—25, 41
- Ruiz-Lozano JM, Azcon R, Palma JM. 1996. Superoxide dismutase activity in arbuscular mycorrhizal *Lactuca sativa* plants subjected to drought stress[J]. *New Phytol*, **134**: 327—333
- Sharrock RA, Sinclair FL, Gliddon C, et al. 2004. A global assessment of mycorrhizal fungal populations colonizing *Tithonia diversifolia* using PCR techniques[J]. *Mycorrhiza*, **14**: 103—109
- Sylvia DM, Williams SE. 1992. Vesicular-arbuscular mycorrhizae and environmental stress[J]. *ASA Spec Pub*, **54**: 101—124
- Wang GW(王桂文), Li HY(李海鹰), Sun WB(孙文波). 2003. Primary study on arbuscular mycorrhizas of mangrove in Qinzhou Bay(钦州湾红树林丛枝菌根初步研究)[J]. *Guihaia*(广西植物), **23**(5): 445—449
- Wu QS(吴强盛), Xia RX(夏仁学), Hu ZJ(胡正嘉). 2005. Effects of arbuscular mycorrhiza on drought tolerance of *Poncirus trifoliata*(丛枝菌根对枳实生苗抗旱性的影响研究)[J]. *Chin J Appl Ecol*(应用生态学报), **16**(3): 459—463
- Yang XH(杨晓红), Zeng B(曾斌), Li XG(李新国), et al. 2005. The effects of inter-species difference of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and heat-resistant of trifoliolate(*Poncirus trifoliata*) seedlings(AM 真菌种间差异对枳壳生长及耐热性效应的研究)[J]. *Acta Mycol Sin*(菌物学报), **24**(4): 582—589
- Yao W(姚伟), Duan ZZ(段真珍), Chen YQ(陈义强), et al. 2007. Effects of virus infection on the photosynthetic rate and reactive oxygen metabolism of transgenic sugarcane with SCMV-CP gene(病毒侵染对转 SCMV-CP 基因甘蔗光合速率和活性氧代谢的影响)[J]. *Guihaia*(广西植物), **1**: 95—99
- Zhou KB(周开兵), Guo WW(郭文武), Xia RX(夏仁学), et al. 2004. Studies on the utilization potential of two somatic hybrid rootstocks and the biochemical mechanism of rootstock-scion interaction(两种柑橘体细胞杂种砧木利用价值和砧穗互作生化机制的探讨)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **31**(4): 427—432
- Wang MY(王明元), Xia RX(夏仁学), Wang YS(王幼珊), et al. 2008. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth of *Poncirus trifoliata* seedlings under iron deficiency and heavy bicarbonate stresses(缺铁和过量重碳酸盐胁迫下丛枝菌根真菌对枳生长的影响)[J]. *Acta Hort Sin*(园艺学报), **35**(4): 469—474

更 正

发表于本刊 2010 年第 4 期的《贵州梵净山生物圈保护区兰科植物区系特征》一文, 由于编排出错, 需作如下更正:

P471 作者“俞理飞”更正为“喻理飞”

谨在此对作者表示歉意。