

## 不同 pH 值下丛枝菌根真菌对枳生长及铁吸收的影响

王明元<sup>1,2</sup>, 夏仁学<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup> 华侨大学化工学院生物工程与技术系, 厦门 361021)

(<sup>2</sup> 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** 【目的】本文对营养液不同 pH 值下丛枝菌根(arbuscular mycorrhiza)真菌地表球囊霉(*Glomus versiforme*)对枳(*Poncirus trifoliata*(L.) Raf.)实生苗生长及植株铁营养状况的影响进行了初步研究。【方法】采用盆栽砂培试验, 分别施浇 pH 5.0、6.0、7.0 和 8.0 的霍格兰营养液(含 50  $\mu\text{M}$  Fe-EDTA); 常规方法测定植株生长指标; 曲利苯蓝染色法测定菌根侵染率; 分光光度法测定叶绿素含量和根系三价铁螯合物还原酶活性; 原子吸收分光光度法测定叶片钾和活性铁含量; 钼钒黄比色法测定磷含量。【结果】接种丛枝菌根真菌显著增加了枳实生苗的株高、茎粗、叶片数以及干样质量, 明显促进了叶片叶绿素、活性铁和全铁含量, 增强了枳根系三价铁螯合物还原酶活性, 降低了叶片 P/Fe 以及 50(10P+K)/Fe 的比值; 枳实生苗生物量、铁含量和根系三价铁螯合物还原酶活性在 pH 6.0 的处理中都是最高。【结论】接种丛枝菌根真菌能够一定程度上修复柑橘缺铁引起的黄化现象; 4 种 pH 水平中 6.0 是枳生长的最适 pH 值。

**关键词:** 丛枝菌根真菌; 柑橘; 活性铁; 三价铁螯合物还原酶

中图分类号: X172 文献标识码: A 文章编号: 0001-6209(2009)10-1374-06

植物缺铁黄化是世界性问题, 尤其钙性和碱性土壤中尤为严重<sup>[1]</sup>。尽管土壤中铁的含量丰富, 但在较高 pH 下, 土壤中生物有效性铁的含量非常低。土壤无机铁在土壤溶液的作用下水解为 4 种形态, 酸性条件下以  $\text{Fe}(\text{OH})_4^+$ 、 $\text{Fe}^{3+}$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$ 、 $\text{Fe}(\text{OH})_3^0$  和  $\text{Fe}(\text{OH})_4^-$  形态存在, pH > 7.0 时主要以后两种形态存在。因此, 土壤 pH 值决定有效铁含量的多少。

果树是一类缺铁敏感的植物, 特别是柑橘, 缺铁黄化是柑橘上最常发生的营养问题, 在土壤 pH 值较高的果园尤为严重<sup>[2-4]</sup>。柑橘最适宜生长土壤 pH 值在 5.5~6.5 之间, 但在我国四川等地区高 pH 土壤(pH 值高达 7.5~8.5)致使柑橘发生缺铁黄化, 已严重影响了植株的生长和产量<sup>[5]</sup>。不同的矫正措施已经在柑橘上使用, 如土施螯合类铁肥(如

EDDHA/ $\text{Fe}^{3+}$ 、EDDHMA/ $\text{Fe}^{3+}$ 、EDDHSA/ $\text{Fe}^{3+}$  等)叶面喷肥等, 有一定的效果, 但成本较高, 容易复发。

AM 真菌广泛分布于土壤中, 能够与地球上 90% 的植物形成互惠共生体系。已有很多报道, AM 真菌能够促进寄主植物生长、提高抗性(抗旱、抗病等), 影响寄主植物矿质元素吸收, 如 P、Zn 和 Al 等<sup>[6-10]</sup>。然而很少有研究 AM 真菌对寄主植物铁吸收的影响。唐振尧和何首林<sup>[11]</sup>盆栽柑橘砧木实生苗, 并接种 AM 真菌 *Glomus citricolum*, 发现 AM 真菌能够促进砧木铁素吸收, 然而 Pacovsky 和 Fuller<sup>[12]</sup>试验表明, 接种 AM 真菌降低了大豆中铁的含量。可见由于试材、试验条件等的不同, AM 真菌对植物铁营养的效应没有一致的定论。

利用土培手段研究植物铁营养有局限, 很难分

基金项目: 国家科技部促进三峡移民开发专项(2003EP090018, 2004EP090019); 华侨大学科研基金资助项目(08BS410)

\* 通信作者。Tel: +86-27-87284181; E-mail: renxuexia@mail.hzau.edu.cn

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

收稿日期: 2009-04-06; 修回日期: 2009-05-07

析植物铁营养的变化是因为生物因素还是非生物因素引起的。河沙和珍珠岩混合而成的砂培基质具有保水透气作用,更重要的是基质经过酸化处理后可以消除金属元素的影响,且能够根据试验要求灵活控制基质铁含量。

本文采用砂培方法模拟土壤环境,研究营养液不同 pH 处理下 AM 真菌对枳 [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] 实生苗生长和铁吸收的影响,摸索矫正柑橘缺铁的技术措施,进一步为 AM 真菌在柑橘上的应用提供理论依据。

## 1 材料和方法

### 1.1 主要试剂和仪器

试验中 95% 乙醇、氢氧化钠、硫酸钙购自国药集团化学试剂有限公司;偏钒酸铵购自北京化工厂;2-(N-吗啉)乙磺酸缓冲液来自 Amresco 分装;EDTA·FeNa 购自天津市光复精细化工研究所;2,6-二硝基酚购自上海试剂三厂;体视显微镜:泰克仪器有限公司,XTS-320 型;分光光度计:日本岛津,UV-2450 型;原子吸收分光光度计:美国瓦里安 220 型。

### 1.2 实验材料筛选

将河砂洗净过 2 mm 筛后与珍珠岩(1:1,体积比)混合浸泡在 1 mol/L 盐酸溶液中 48 h,取出用自来水冲洗后于清水浸泡 48 h,去除过量氯离子,然后用蒸馏水冲洗干净。将河砂和珍珠岩在 121~126℃ 高压湿热灭菌 2 h,取出混合均匀,装入 3 L 黑色套袋塑料盆,每盆 3 kg。

供试 AM 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 mL 菌剂含 7045 个孢子。

选用的柑橘试材为我国主要使用的砧木枳 [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] 来自武汉市江夏区郑店街的武汉市林业局林果品种园。2005 年 12 月 15 日,选择籽粒饱满的枳种子,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℃ 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℃,每 2 天浇 1 次 200 mL 蒸馏水,1 个月后,定苗 6 棵/盆,每盆施浇 200 mL 去铁霍格兰营养液,每 2 天浇 1 次。2006 年 6 月 20 日,枳实生苗开始出现缺铁黄化症状时,按照以下试验设计浇灌营养液。

### 1.3 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 1488 个孢子)。因素二有 4 个处理:枳实生苗施浇含 50 μmol/L Fe-EDTA 的霍格兰营养液,pH 值分别设 pH 5.0、6.0(对照)、7.0 和 pH 8.0 四个水平。双因素设计共 8 个处理组合,每处理组合重复 6 次。1 个月后,收获植株待测。

### 1.4 试验方法

用常规方法测定植株株高、茎粗、叶片数和地上部、地下部干样质量。AM 的侵染率采用曲利苯蓝染色法测定<sup>[13]</sup>。叶绿素采用 95% 乙醇提取,日本岛津(UV-2450)分光光度计测定;鲜叶片洗净,于 105℃ 下烘干 48 h,叶片钾和活性铁采用盐酸浸提法,原子吸收光谱测定。叶片干样 480℃ 灰化,采用钒钼黄比色法,结合日本岛津(UV-2450)分光光度计测定磷。根系三价铁螯合物还原酶(FCR)活性根据 Albano 和 Miller<sup>[14]</sup>测定。

所有数据运用 SAS 软件 ANOVA 过程进行处理,组合间的差异性检验,对不同处理组合采用 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。

## 2 结果和分析

### 2.1 不同 pH 下 AM 真菌对枳实生苗生长的影响

丛枝菌根真菌对枳实生苗生长的影响见表 1。砂培实验中,未接种 AM 真菌的枳根系没有被侵染。随着营养液 pH 值的升高,接种 AM 真菌的枳菌根侵染率从 51.2% 下降到 28.3%,说明枳菌根侵染率随着 pH 值的升高而下降。

从表 1 可见,接种 *G. versiforme* 提高或显著提高枳株高、茎粗、叶片数以及地上部、地下部干重。接种 AM 真菌显著提高了枳实生苗株高,分别提高 26.97%、16.60%、19.71% 和 33.34%(对应 pH 为 5.0、6.0、7.0 和 8.0);接种 *G. versiforme* 提高了枳实生苗茎粗,但同一处理中接种与未接种的没有显著差异;接种 AM 真菌显著提高枳叶片数,最大提高 21.73%,见对照(CK)处理。接种 AM 真菌,对照处理的叶片数达到 37.25 个,显著高于其它 3 个处理的,接种处理的枳实生苗地上部和地下部干重显著高于未接种处理的,最大分别提高 17.64% 和 20.90%(对照处理),说明 AM 真菌 *G. versiforme* 促进了枳实生苗生长和干物质的积累。

本试验 4 个 pH 处理中,无论株高、茎粗、叶片

表1 不同 pH 处理下 AM 真菌的侵染对积生长的影响

Table 1 Effects of AM fungal colonization on growth of *Poncirus trifoliata* seedlings grown in sand watered with nutrient solution at different pH levels

Mycorrhizal status	pH value	Root colonization/ %	Plant height/cm	Stem Diameter/mm	Numbers of leaves/cfu	Dry weight/( g/plant )	
						Shoot	Root
Mycorrhizal	5.0	51.3a	57.95ab	3.29bc	33.25b	1.88bc	1.08b
	6.0 (CK)	45.0 b	62.08a	3.94a	37.25a	2.40a	1.33a
	7.0	34.3c	58.36ab	3.66ab	33.25b	1.94b	1.10b
	8.0	28.3d	57.95ab	3.40abc	32.50b	1.65cd	0.90c
Non-mycorrhizal	5.0	0.0e	45.64d	3.06bc	27.50d	1.61d	0.88c
	6.0 (CK)	0.0e	53.24bc	3.52abc	30.75bc	2.04b	1.10b
	7.0	0.0e	48.75cd	3.27bc	28.50cd	1.65cd	0.87c
	8.0	0.0e	43.46d	2.99c	27.75d	1.33e	0.68d

Different letters in the same column mean significant difference at  $P = 0.05$  ( $LSD_{0.05}$ ); The same is in the following tables.

数,还是地上部、地下部干重在 pH 6.0 的对照处理中最高,说明 pH 6.0 是 5.0、6.0、7.0 和 8.0 中最适合积生长的 pH 值。

## 2.2 不同 pH 下 AM 真菌对积实生苗叶绿素和铁含量的影响

从表 2 可得,接种 *G. versiforme* 显著提高积实生苗叶绿素含量,接种处理的叶绿素含量分别为 2.22 mg/g、2.81 mg/g、2.57 mg/g 和 2.15 mg/g 鲜重,较未接种的分别提高 8.29%、21.65%、25.36% 和 32.72% ;

表 2 表明,接种 AM 真菌提高或显著提高了积根系 FCR 活性,较未接种的分别增加 9.78%、22.05%、25.00% 和 26.97%。积根系 FCR 活性在 pH 6.0 的对照处理中最高,随着 pH 值的升高积根系 FCR 活性下降。

接种 AM 真菌提高了积实生苗叶片活性铁含量,最大值为 15.77 mg/kg 干重,较未接种的提高了 24.36%。4 个处理中,接种 *G. versiforme* 提高积叶片全铁含量,但同一 pH 处理中接种与未接种的没有显著差异。在 pH 6.0 的对照处理中,接种与未接种积实生苗叶片全铁含量分别为 505 mg/kg 和 486 mg/kg 干重,与 pH 7.0 和 pH 8.0 处理差异显著,数据表明接种 *G. versiforme* 提高了积植株体内铁含量,促进了叶绿素合成。

本试验中,在 4 个 pH 处理中,无论叶绿素含量、叶片活性铁含量,还是叶片全铁含量在 pH 6.0 的对照处理中总是最高的,说明基质 pH 值在 6.0 时,积实生苗体内铁营养状况最好。菌根与 pH 值对积叶绿素、叶片活性铁有极显著作用( $P < 0.01$ )。

表2 不同 pH 处理下 AM 真菌对积实生苗根系 FCR 活性和叶片铁含量的影响

Table 2 Effects of AM fungi on activities of FCR and iron contents of *Poncirus trifoliata* seedlings grown in sand watered with nutrient solution at different pH levels

Mycorrhizal status	pH value	Chlorophyll content/ ( mg/g FW )	Root FCR activities/ ( $\mu\text{mol}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$ )	Active iron content/ ( mg/kg )	Total iron content/ ( mg/kg )
Mycorrhizal	5.0	2.22bc	20.2 abc	13.89bc	406c
	6.0 (CK)	2.81a	23.8 a	15.77a	505a
	7.0	2.57ab	22.0 ab	15.36a	451abc
	8.0	2.15bc	19.3 bc	15.01ab	428bc
Non-mycorrhizal	5.0	2.05cd	18.4 bed	11.60de	400c
	6.0 (CK)	2.31bc	19.5 bc	12.68cd	486ab
	7.0	2.05cd	17.6 cd	12.07d	443abc
	8.0	1.62d	15.2 d	10.73e	420c

## 2.3 不同 pH 下 AM 真菌对积叶片 P/Fe 和 50(10P + K)/Fe 比值的影响

营养液不同 pH 值处理下,AM 真菌对积实生苗叶片 P/Fe 和 50(10P + K)/Fe 比值的影响见图 1。接种 AM 真菌降低了积实生苗叶片 P/Fe 和 50(10P +

K)/Fe 的比值,说明 AM 真菌提高了积实生苗体内活性铁含量。P/Fe 和 50(10P + K)/Fe 在 pH 6.0 处理中比值最小,随着营养液 pH 值的升高 2 个比值逐步上升。

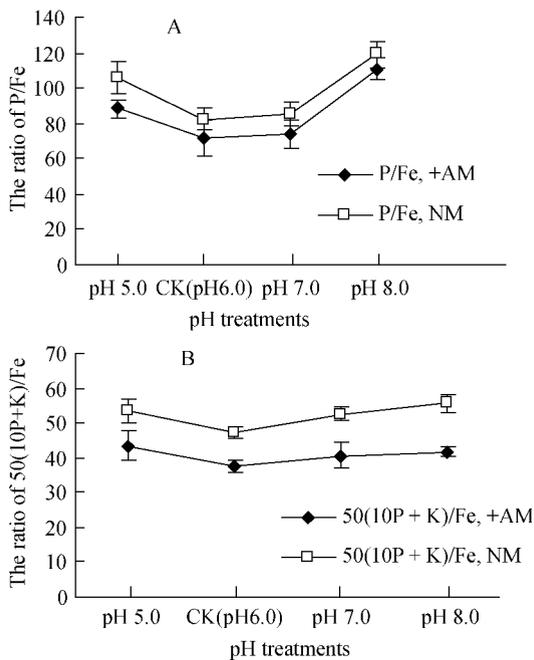


图1 不同 pH 处理下 AM 真菌对枳实生苗 P/Fe (A) 和 50(10P+K)/Fe (B) 比值的影

响。Fig.1 Ratios of P/Fe (A) and 50(10P+K)/Fe (B) in leaves of *Poncirus trifoliata* seedlings inoculated with *Glomus versiforme* at four of pH levels. +AM: inoculated with arbuscular mycorrhizae; NM: non-inoculated with arbuscular mycorrhizae.

### 3 讨论

通常 AM 真菌的发育和分布受环境影响很大<sup>[15-16]</sup> 其中 pH 是影响 AM 真菌生长的一个重要因子<sup>[17]</sup>。AM 真菌 *Glomus mosseae* 在土壤 pH 值低于 5.0 的条件下不能存活,而 *Acaulospora laevis* 的孢子只适宜 pH 值小于 6.4 的环境。本试验中所用菌剂 *G. versiforme* 目前发现只在 pH 3.8 ~ pH 8.0 的土壤中存在。Fortin 等<sup>[18]</sup> 认为 pH 值影响 AM 真菌孢子的萌芽和菌丝生长,因此本试验可能是高的 pH 值抑制了菌根的发育和生长。

接种 AM 真菌提高了不同 pH 值下枳干样质量,这与 Colla 等<sup>[19]</sup> 的结果一致。可能是 AM 真菌侵染寄主植物后,庞大的根外菌丝网可以为寄主植物提供大量的水分和矿质营养,并可以协助寄主植物运输,进而促进了寄主植物碳水化合物的积累,有利于植物的快速生长<sup>[20-23]</sup>。

尽管土壤铁含量丰富,但土壤溶液中主要是以稳定的、不易被植物吸收的  $Fe^{3+}$  形式存在。土壤 pH 值每升高一个单位,土壤溶液中有效铁的含量将下降 1000 倍。因此,在 pH 值较高的土壤中,双子叶植物和非禾本科单子叶植物很难吸收足够的铁营养。

本实验表明,接种 *G. versiforme* 对改善高 pH 值下柑橘铁营养有积极的作用。

柑橘对铁的活化、吸收是以根际酸化和根系三价铁螯合物还原酶(FCR)活性的增加为标志。因此根系 FCR 活性可以作为诊断植株铁营养的参数,现在已应用到草本和木本植物上<sup>[24]</sup>。本实验中,高 pH 值下接种与未接种 AM 真菌的枳和红橘根系 FCR 活性下降,结果与 Chouliaras 等<sup>[25]</sup> 相似。通常在 pH 5.0 左右时根系 FCR 活性最高,而高 pH 常常引起叶绿素蛋白的降解。因此,可能是高 pH 值也促进了根系 FCR 的降解。AM 真菌提高了柑橘根系 FCR 活性,说明接种 *G. versiforme* 提高了基质中铁的氧化还原能力,从而使更多的  $Fe^{3+}$  转化为  $Fe^{2+}$ ,供柑橘根系直接吸收。因此,丛枝菌根真菌对柑橘铁吸收的贡献归功于根系 FCR 活性的提高以及根外菌丝可以直接从基质中吸收并向柑橘根系运输更多的铁营养。

根据植物吸收铁的机理不同,可以将高等植物分为机理 I (包括柑橘)和机理 II 两类。缺铁情况下,机理 I 植物根系释放出大量  $H^+$ ,促使根系周围  $HPO_4^{2-}$  向  $H_2PO_4^-$  转化,进而土壤中积累大量可以供植株吸收的可溶性磷。因此,缺铁条件下叶片 P/Fe 和 50(10P+K)/Fe 的比值上升<sup>[23,26]</sup>。本研究表明,接种 AM 真菌降低了 P/Fe 和 50(10P+K)/Fe 的比值,主要是接种 AM 真菌明显提高了植株体内活性铁含量。

本实验创新之处在于,AM 真菌对不同 pH 营养液下柑橘生长及铁营养的研究少有报道。本试验证实,接种 AM 真菌可以明显提高枳的生长,促进柑橘活性铁的积累,改善因高 pH 引起的柑橘缺铁问题,因此接种 AM 真菌缓解柑橘因缺铁引起的黄化现象是一条新的途径。

致谢 本文写作承蒙西班牙 Autonomia 大学 Juan J. Lucena 教授和英国 Queens 大学 Peter Christie 博士的帮助,特此致谢

### 参考文献

- [1] Marschner H. Functions of mineral nutrients: micronutrients/Mineral Nutrition of Higher Plants, 2<sup>nd</sup> ed. London: Academic Press, 1995.
- [2] Igartua E, Grasa R, Sanz M, et al. Prognosis of iron chlorosis from the mineral composition of flowers in peach. *Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 2000, 75: 111-118.

- [ 3 ] Pestana M , Correia PJ , Varennes AD , et al. The use of floral analysis to diagnose the nutritional status of orange trees . *Journal of Plant Nutrition* , 2001 , 24 : 1913 - 1923 .
- [ 4 ] 王翠玲 , 杨晓明 , 曹孜义 . 缺铁黄化对葡萄生长及果实品质的影响 . *果树学报( Journal of Fruit Science )* , 2007 , 24( 1 ) : 26 - 29 .
- [ 5 ] 吉前华 , 李玉堂 , 王永清 . 石灰性土壤上柑桔缺铁黄化研究进展 . *四川农业大学学报( Journal of Sichuan Agricultural University )* , 1998 , 16( 3 ) : 365 - 369 .
- [ 6 ] Toro M , Azcón R , Barea JM . The use of isotopic dilution techniques to evaluate the interactive effects of *Rhizobium* genotype , mycorrhizal fungi , phosphate - solubilizing rhizobacteria and rock phosphate on nitrogen and phosphorus acquisition by *Medicago sativa* . *New Phytologist* , 1998 , 138 : 265 - 273 .
- [ 7 ] Thingstrup I , Kahiluoto H , Jakoben I . Phosphate transport by hyphae of field communities of arbuscular mycorrhizal fungi at two levels of P fertilization . *Plant and Soil* , 2000 , 221 : 181 - 187 .
- [ 8 ] Porcel R , Ruiz-Lozano JM . Arbuscular mycorrhizal influence on leaf water potential , solute accumulation , and oxidative stress in soybean plants subjected to drought stress . *Journal of Experimental Botany* , 2004 , 55 : 1743 - 1750 .
- [ 9 ] Wu QS , Xia RX . Arbuscular mycorrhizal fungi influence growth , osmotic adjustment and photosynthesis of citrus under well-watered and water stress conditions . *Journal of Plant Physiology* , 2006 , 163 : 417 - 425 .
- [ 10 ] 杨秀梅 , 陈保冬 , 朱永官 , 等 . 丛枝菌根真菌( *Glomus intraradices* )污染土壤上玉米生长的影响 . *生态学报( Acta Ecologica Sinica )* , 2008 , 28( 3 ) : 1052 - 1058 .
- [ 11 ] 唐振尧 , 何首林 . VA 菌根对柑桔吸收铁素效应研究初报 . *园艺学报( Acta Horticulturae Sinica )* , 1990 , 17( 4 ) : 257 - 262 .
- [ 12 ] Pacovsky R S , Fuller G . Mineral and lipid composition of *Glycine-Glomus-Bradyrhizobium* symbioses . *Physiologia Plantarum* , 1988 , 72 : 733 - 746 .
- [ 13 ] Phillips JM , Hayman DS . Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection . *Transactions of British Mycological Society* , 1970 , 55 : 158 - 161 .
- [ 14 ] Albano JP , Miller WB . Iron deficiency stress influences physiology of iron acquisition in marigold ( *Tagetes erecta* L. ) . *Journal of the American Society of Horticultural Science* , 1996 , 121 : 438 - 441 .
- [ 15 ] 张英 , 刘润进 , 郭良栋 . 目前 AM 真菌培养特性方面研究的基本概况 . *微生物学通报( Microbiology )* , 2002 , 29( 4 ) : 86 - 90 .
- [ 16 ] 黄艺 , 陶澍 , 姜学艳 , 等 . 过量铜对 4 种外生菌根真菌的生长、碳氮和铜积累得影响 . *微生物学报( Acta Microbiologica Sinica )* , 2002 , 42( 6 ) : 737 - 744 .
- [ 17 ] Wang GM , Stribley DP , Tinker PB , et al. Effects of pH on arbuscular mycorrhiza . I. Field observations on the long-term liming experiments at Rothamsted and Woburn . *New Phytologist* , 1993 , 124 : 465 - 472 .
- [ 18 ] Fortin JA , Bécard G , Declerck S , et al. Arbuscular mycorrhiza on root-organ cultures . *Canadian Journal of Botany* , 2002 , 80 : 1 - 20 .
- [ 19 ] Colla G , Roupheal Y , Cardarelli M , et al. Alleviation of salt stress by arbuscular mycorrhizal in zucchini plants grown at low and high phosphorus concentration . *Biology and Fertility of Soils* , 2008 , 44 : 501 - 509 .
- [ 20 ] 宋瑞清 , 王锋 , 冀瑞卿 , 等 . 红皮云杉外生菌根菌单接种及混合接种对苗木生长的影响 . *微生物学报( Acta Microbiologica Sinica )* , 2007 , 47( 6 ) : 1091 - 1094 .
- [ 21 ] 关璟 , 王春兰 , 郭顺星 , 等 . 真菌对福建金线莲总黄酮含量的影响 . *中国药学杂志( Chinese Pharmaceutical Journal )* , 2008 , 43( 13 ) : 1031 - 1032 .
- [ 22 ] 刘润进 , 陈应龙 . 菌根学 . 第一版 . 北京 : 科学出版社 , 2007 .
- [ 23 ] Álvarez-Fernández A , García-Marco S , Lucena JJ . Evaluation of synthetic iron( III )-chelates ( EDDHA/Fe<sup>3+</sup> , EDDHMA/Fe<sup>3+</sup> and the novel EDDHSA/Fe<sup>3+</sup> ) to correct iron chlorosis . *European Journal of Agronomy* , 2005 , 22 : 119 - 130 .
- [ 24 ] Chouliaras V , Therios I , Molassiotis A , et al. Iron chlorosis in grafted sweet orange ( *Citrus sinensis* L. ) plants : Physiological and biochemical responses . *Biologia Plantarum* , 2004 , 48 : 141 - 144 .
- [ 25 ] Chouliaras V , Dimassi K , Therios I , et al. Root-reducing capacity , rhizosphere acidification , peroxidase and catalase activities and nutrient levels of *Citrus taiwanica* and *C. volkameriana* seedlings , under Fe deprivation conditions . *Agronomie* , 2004 , 24 : 1 - 6 .
- [ 26 ] 王明元 , 夏仁学 , 王幼珊 , 等 . 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 . *园艺学报( Acta Horticulturae Sinica )* , 2008 , 35( 4 ) : 469 - 474 .

## Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and iron uptake of *Poncirus trifoliata* under different pH

Mingyuan Wang<sup>1,2</sup>, Renxue Xia<sup>2\*</sup>

(<sup>1</sup> Department of Bioengineering and Biotechnology, College of Chemical Engineering, Huaqiao University, Xiamen 361021, China)

(<sup>2</sup> Key Laboratory of Horticultural Plant Biology, Ministry of Education, Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070, China)

**Abstract [ Objective ]** We studied the effects of arbuscular mycorrhizal fungus (*Glomus versiforme*) on growth and iron uptake of trifoliolate orange [*Poncirus trifoliata* (L.) Raf.] at different pH levels of nutrient solution. **[ Methods ]** *P. trifoliata* seedlings were grown in substrates watered by nutrient solution with 50  $\mu$ M Feethylenediaminetetraacetic acid (EDTA) at pH values of 5.0, 6.0 (as control), 7.0 and 8.0 with a sand culture. Mycorrhizal colonization was tested by trypan blue staining method. Chlorophyll concentration and root Fe(III) chelate reductase activity were determined by spectrophotometer. Potassium and active iron contents were quantified by atomic spectrometry, and phosphorus contents was through phospho-vanado-molybdate colorimetry. **[ Results ]** The colonization of *Glomus versiforme* significantly increased the plant height, stem diameter, leaf numbers, and dry mass. Arbuscular mycorrhizal fungus significantly enhanced the accumulation of chlorophyll, active iron, total iron and root Fe(III) chelate reductase activity, and decreased P/Fe and 50(10P+K)/Fe ratios. All biomass, iron contents and root Fe(III) chelate reductase activities of *P. trifoliata* seedlings at pH 6.0 level were the maximum both in inoculated and non-inoculated treatments. **[ Conclusion ]** Arbuscular mycorrhizal fungi could remedy chlorosis caused by iron-deficiency in citrus, and 6.0 was the optimal pH value for the growth of *P. trifoliata* seedlings.

**Keywords:** arbuscular mycorrhizal fungi; citrus; active iron; Fe(III) chelate reductase

(本文责编:王晋芳)

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), and the Science foundation of Huaqiao University(08BS410)

\* Corresponding author. Tel: +86-27-87284181; E-mail: renxuexia@mail.hzau.edu.cn

Received 6 April 2009/Revised: 7 May 2009

### 科学出版社新书推介(2009-08)

#### 乳酸菌与乳品发酵剂

孟祥晨 杜鹏 李艾黎 等编著

978-7-03-025192-3 ¥78.00 2009年8月出版

内容简介:乳酸菌是广泛应用于食品、医药和饲料等行业的一类重要工业微生物,它可以作为细胞工厂生产某些有价值的产物或产品,亦是开发生物质能源的重要菌种。乳品发酵剂是乳酸菌在乳制品中成功应用的一个实例,是生产优良发酵乳制品的关键。本书首先围绕乳酸菌的遗传、代谢和应用等方面分别阐述了组成乳酸菌的主要菌属,乳酸菌的代谢、遗传、噬菌体,以及乳酸菌的有益作用,还总结了乳酸菌的安全性以及相关的法规规定。其次,阐述了乳品发酵剂的历史、分类和生产,着重介绍了发酵剂在酸奶生产和干酪成熟中的作用,以及乳酸菌在非乳食品中的应用。最后,作者根据国内外的研发状况,论述了乳酸菌的基础研究趋势和应用前景。

本书可供从事乳品科学、微生物等领域研究的科研技术人员参考,也可作为相关学科的研究生教材。

现代食品科学与技术丛书



欢迎各界人士邮购科学出版社各类图书(免邮费)

邮购地址:北京东黄城根北街16号 科学出版社 科学出版中心 生命科学分社 邮编:100717

联系人:周文宇 李韶文 联系电话 010-64031535 64000849

更多精彩图书请登陆网站 <http://www.lifescience.com.cn>, 欢迎致电索要书目