

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第18期 Vol.32 No.18 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 18 期

2012 年 9 月 (半月刊)

目 次

亚热带典型树种对模拟酸雨胁迫的高光谱响应.....	时启龙, 江 洪, 陈 健, 等 (5621)
珠江三角洲地面风场的特征及其城市群风道的构建.....	孙 武, 王义明, 王越雷, 等 (5630)
粤北山地常绿阔叶林自然干扰后冠层结构与林下光照动态.....	区余端, 苏志尧 (5637)
四种猎物对南方小花蝽生长发育和繁殖的影响.....	张昌容, 鄧军锐, 莫利锋 (5646)
普洱季风常绿阔叶林次生演替中木本植物幼苗更新特征.....	李帅锋, 刘万德, 苏建荣, 等 (5653)
喀斯特常绿落叶阔叶混交林物种多度与丰富度空间分布的尺度效应.....	张忠华, 胡 刚, 祝介东, 等 (5663)
格氏栲天然林土壤养分空间异质性.....	苏松锦, 刘金福, 何中声, 等 (5673)
种植香根草对铜尾矿废弃地基质化学和生物学性质的影响.....	徐德聪, 詹 婧, 陈 政, 等 (5683)
灌溉对三种荒漠植物蒸腾耗水特性的影响.....	单立山, 李 毅, 张希明, 等 (5692)
真盐生植物盐角草对不同氮形态的响应.....	聂玲玲, 冯娟娟, 吕素莲, 等 (5703)
鹿泉沟自然保护区寒温性针叶林演替优势种格局动态分析.....	张钦弟, 毕润成, 张金屯, 等 (5713)
不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响.....	贺学礼, 马 丽, 孟静静, 等 (5721)
垄沟覆膜栽培冬小麦田的土壤呼吸.....	上官宇先, 师日鹏, 韩 坤, 等 (5729)
不同方式处理牛粪对大豆生长和品质的影响.....	郭立月, 刘雪梅, 战丽杰, 等 (5738)
基于大气沉降与径流的乌鲁木齐河源区氮素收支模拟.....	王圣杰, 张明军, 王飞腾, 等 (5747)
基于能值理论的循环复合农业生态系统发展评价——以福建省福清星源循环农业产业示范基地为例.....	钟珍梅, 翁伯琦, 黄勤楼, 等 (5755)
低温暴露和恢复对棘胸蛙雌性亚成体生存力及能量物质消耗的影响.....	凌 云, 邵 晨, 颜志刚, 等 (5763)
暗期干扰对棉铃虫两个不同地理种群滞育抑制作用的比较.....	陈元生, 涂小云, 陈 超, 等 (5770)
水土流失治理措施对小流域土壤有机碳和全氮的影响.....	张彦军, 郭胜利, 南雅芳, 等 (5777)
不同管理主体对泸沽湖流域生态系统影响的比较分析.....	董仁才, 苟亚青, 李思远, 等 (5786)
连江鱼类群落多样性及其与环境因子的关系.....	李 捷, 李新辉, 贾晓平, 等 (5795)
溶氧水平对鲫鱼代谢模式的影响.....	张 伟, 曹振东, 付世建 (5806)
象山港人工鱼礁区的网采浮游植物群落组成及其与环境因子的关系.....	江志兵, 陈全震, 寿 鹿, 等 (5813)
填海造地导致海湾生态系统服务损失的能值评估——以套子湾为例.....	李睿倩, 孟范平 (5825)
城市滨水景观的视觉环境质量评价——以合肥市为例.....	姚玉敏, 朱晓东, 徐迎碧, 等 (5836)
专论与综述	
生态基因组学研究进展.....	施永彬, 李钧敏, 金则新 (5846)
海洋酸化生态学研究进展.....	汪思茹, 殷克东, 蔡卫君, 等 (5859)
纺锤水蚤摄食生态学研究进展.....	胡思敏, 刘 胜, 李 涛, 等 (5870)
河口生态系统氨氧化菌生态学研究进展.....	张秋芳, 徐继荣, 苏建强, 等 (5878)
嗜中性微好氧铁氧化菌研究进展.....	林超峰, 龚 骏 (5889)
典型低纬度海区(南海、孟加拉湾)初级生产力比较.....	刘华雪, 宋星宇, 黄洪辉, 等 (5900)
植物叶片最大羧化速率及其对环境因子响应的研究进展.....	张彦敏, 周广胜 (5907)
中国大陆鸟类栖息地选择研究十年.....	蒋爱伍, 周 放, 覃 玥, 等 (5918)
研究简报	
孵化温度对赤链蛇胚胎代谢和幼体行为的影响.....	孙文佳, 俞 霄, 曹梦洁, 等 (5924)
不同培肥茶园土壤微生物量碳氮及相关参数的变化与敏感性分析.....	王利民, 邱珊莲, 林新坚, 等 (5930)
施肥对两种莧菜吸收积累镉的影响.....	李凝玉, 李志安, 庄 萍, 等 (5937)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 322 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 36 * 2012-09



封面图说: 冬天低空飞翔的丹顶鹤——丹顶鹤是鹤类中的一种, 因头顶有“红肉冠”而得名。是东亚地区特有的鸟种, 因体态优雅、颜色分明, 在这一地区的文化中具有吉祥、忠贞、长寿的象征, 是传说中的仙鹤, 国家一级保护动物。丹顶鹤具备鹤类的特征, 即三长——嘴长、颈长、腿长。成鸟除颈部和飞羽后端为黑色外, 全身洁白, 头顶皮肤裸露, 呈鲜红色。丹顶鹤每年要在繁殖地和越冬地之间进行迁徙, 只有在日本北海道等地是留鸟, 不进行迁徙, 这可能与冬季当地人有组织地投喂食物, 食物来源充足有关。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201108181216

贺学礼, 马丽, 孟静静, 王平. 不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响. 生态学报, 2012, 32(18): 5721-5728.

He X L, Ma L, Meng J J, Wang P. Effects of AM fungi on the growth and nutrients of *Salvia miltiorrhiza* Bge. under different soil water and fertilizer conditions. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(18): 5721-5728.

不同水肥条件下 AM 真菌对丹参幼苗生长和营养成分的影响

贺学礼*, 马 丽, 孟静静, 王 平

(河北大学 生命科学学院, 保定 071002)

摘要: 利用盆栽接种试验, 探讨不同水肥条件下 AM 真菌摩西球囊霉 *Glomus mosseae* 对丹参幼苗生长和微量元素的影响, 为丹参水肥合理施用提供理论依据。结果表明, 不同水肥条件下, 接种 AM 真菌显著提高了根系侵染率和生物量。40% 相对含水量、不同施 P 水平, 接种株丹参酮含量升高, 总黄酮、丹参素及地下部总酚酸含量降低, 植株 Zn 及地上部 Ca、K、Mn、Fe 含量升高, 而对植株 Mg、Cu 和地下部 Ca、K、Mn、Fe 无显著影响; 接种效应随施 P 量不同而变化。70% 相对含水量、不同施 P 水平, 接种株药用成分含量显著升高, 植株 Ca、Mn 和地上部 K、Cu 及地下部 Fe 和 Zn 含量升高, 而对植株 Mg、地下部 K、Cu 和地上部 Fe 和 Zn 含量无显著影响。不同水分和同一施 P 水平, 接种株丹参酮含量升高, 地上部 Ca、K 和地下部 Zn 含量升高, 接种效应因土壤含水量不同而变化, 其中以 70% 含水量时效果最好。说明 AM 真菌能促进宿主植物根系对水分和矿质元素的吸收与利用, 提高水分和 P 肥利用率, 降低水分和 P 胁迫对丹参的伤害程度, 其中以 70% 相对含水量, 施 P 量为 0.16 gP/kg 土时 AM 真菌对丹参的接种效果最佳。

关键词: AM 真菌; 水肥条件; 生长量; 营养元素; 丹参

Effects of AM fungi on the growth and nutrients of *Salvia miltiorrhiza* Bge. under different soil water and fertilizer conditions

HE Xueli*, MA Li, MENG Jingjing, WANG Ping

College of Life Science, Hebei University, Baoding 071002, China

Abstract: *Salvia miltiorrhiza* Bge. is a medicinal plant and perennial herb with relieving pain promoting blood circulation, and so on. In recent years, to supplying people's the demand, the area of cultivation *Salvia* was increasing in Hebei province, but the quality was reducing because of non-standard planting and improper use of fertilizer and pesticides. Therefore, it has become the popular areas of researches to improve yield and quality of *Salvia* at home and abroad.

Arbuscular mycorrhizal (AM) fungi are a class of beneficial soil microbes. It is well known that AM fungi can enhance the resistance of plants to stressful situations, such as drought, salt, nutrient deficiency, etc. At the same time, AM fungi can form a good symbiotic relationship with the almost ninety percent of vascular plants. Some researches have shown that the arbuscular mycorrhizal symbiosis has significant interactive effects with water and fertilizer. The paper mainly studied the effects of arbuscular mycorrhizal fungi (*Glomus mosseae*) on the growth and nutrient of *Salvia miltiorrhiza* under different soil water and fertilizer conditions with pot experiment in greenhouse. The experimental design include two water treatments (drought stress, 40% of soil relative water content; normal water, 70% of soil relative water content). The amount of phosphorus included three levels — low phosphorus (0.08 gP/kg soil, P1), normal phosphorus (0.16 gP/kg soil, P2)

基金项目: 河北省教育厅重点项目 (ZH2006007); 河北省自然科学基金创新药物基地专项 (2008B030); 河北大学省基金预研项目 (2006Y10)

收稿日期: 2011-08-18; **修订日期:** 2012-02-02

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xuelh1256@yahoo.com.cn

and high phosphorus (0.24 gP/kg soil, P3). The same condition inoculated differently with *Glomus mosseae* and non-mycorrhizal inoculation.

The results showed that the treatment inoculated with AM fungi significantly promoted growth of host plant and infection rate, but the effect of inoculation were affected by soil water and P level. Under 40% relative water content and different P levels, the inoculation of AM fungi on host plant has different influence on two water levels, Results as follows. The content of tanshinone in root significantly increased under P1, P2, P3 level; Both the content of tanshinone, Ca, Fe in shoot and Zn in root clearly went up only under P1, P2 level; The content of K, Zn in shoot increase only with P3 level; And the Mn in shoot increased only under P2, P3 level; However, when under P1, P2, P3 level, the content of danshensu in shoot and root, total phenolic and total flavonoids in root significantly reduced; Only with P1, P2 level, the total flavonoids in shoot decreased obviously. Under 70% relative water content, inoculation of AM fungi on *Salvia miltiorrhiza* Bge. has different influence on two water levels as follows. The content of total flavonoids, total phenolic in shoot and root, tanshinone, Fe in shoot and Ca, Mn in shoot all increased under P1, P2, P3 level; The content of danshensu and Zn in root also rised but only under P1, P2 level; The content of Mn in root increased only under P2, P3 level; Cu in shoot, Ca in root and K in shoot significantly increased under P1, P2 and P3 level respectively. The growth of *Salvia miltiorrhiza* Bge. was inhibited by water stress, but the inhibition was alleviated after inoculated with AM fungi. Therefore, AM fungi can form a good symbiotic relationship with *Salvia miltiorrhiza* Bge.. Inoculation of AM fungi on the *Salvia miltiorrhiza* Bge. had the best effect under 70% relative water content and P2(0.16 gP/kg soil) level.

Key Words: AM fungi; water-fertilizer condition; growth quality; microelement; *Salvia miltiorrhiza* Bge

丹参(*Salvia miltiorrhiza* Bge.)为唇形科鼠尾草属多年生草本植物,具有祛瘀止痛、活血通经、清心除烦等功能。近年来,河北栽培丹参面积不断增加以供应市场需求,然而不规范种植及农药、化肥使用不当,使得丹参生长的土壤环境日益恶化,造成丹参产量和质量下降。因此,通过生物途径来提高植物产量和品质已成为国内外研究的热点领域^[1]。

AM(arbuscular mycorrhiza)真菌是广泛分布的一类土壤有益微生物,能与90%以上维管植物根系形成共生联合体,不仅能促进植物吸收利用土壤矿质元素和水分,提高产量和品质,也能减少化肥和农药投入^[2-4]。胁迫条件下,AM共生体依靠其高效的营养物质吸收和转运系统^[5-6],提高了植物养分吸收效率,缓解了胁迫对宿主植物造成的伤害。然而,AM共生体提高宿主植物抵御胁迫的机制并不仅仅局限于养分吸收和转运方面,它对植物的积极影响还包括改善土壤成分与结构,增加其稳定性等^[7]。由于AM真菌对植物有诸多有益的生理和生态效应,使得有关药用植物AM真菌资源发掘及其共生关系研究倍受关注^[8-9],如贺学礼等研究了丹参AM真菌多样性及其促生效应^[10-12],而有关水肥条件与AM真菌对丹参生长的耦合效应未见报道。本试验在土培条件下研究了不同水肥和AM真菌对丹参生长和营养成分含量的影响,以便为充分利用菌根生物技术提高丹参产量和品质提供依据。

1 材料和方法

1.1 材料

供试植物为丹参*Salvia miltiorrhiza*。接种剂是摩西球囊霉*Glomus mosseae*经黑麦草扩繁后获得的含有孢子、菌丝和侵染根段的根际土。供试土壤取自河北保定农田土,土壤有机质11.48 mg/g,碱解N 61.60 μg/g,速效P 19.31 μg/g,pH(H₂O)8.30。装盆前过2 mm筛,按土:沙(2:1)混匀,晾干备用,试验容器为23 cm×21 cm×22 cm的塑料盆,每盆装土4 kg。供试肥料为尿素、KH₂PO₄·2H₂O和K₂SO₄。田间最大持水量为21%。

1.2 试验设计

参考贺学礼等^[11-12]对丹参水分和施P量的研究结果,本试验设2个土壤相对含水量,即40%(水分胁迫)和70%(正常水分),同一水分下低磷(P1)、中磷(P2)和高磷(P3)3个P水平,,即0.08、0.16和0.24

gP/kg 土,同一水肥条件下设接种(AM)和不接种(CK) 2 个处理,接种处理每盆均匀层施菌剂 40 g,对照处理加同等质量的灭菌菌剂和接种物过滤液。同时,每盆加尿素 0.321 g 和 K_2SO_4 0.335 g。每个处理重复 4 次,试验盆随机排列。2010 年 9 月 9 日播种,出苗后间苗,每盆两株,植株生长期间,温室常规管理。2010 年 11 月 21 日开始用称重法进行水分处理,于 2011 年 1 月 6 日收获植株,进行指标测定。

1.3 测定方法

菌根侵染率按 Phillips 和 Hayman 方法^[13]测定,植株干重用称重法,黄酮和丹参酮含量用超声波提取分光光度法,总酚酸用比色法^[14],丹参素用水提法^[15],微量元素用火焰原子吸收光谱法^[15]。菌根依赖性=(菌根植株干重/无菌根植株干重) $\times 100\%$ ^[16]。

1.4 数据分析

试验数据用 Excel 和 SPSS16.0 统计软件 One-Way ANOVA 程序进行统计分析,不同水肥条件下接种或对照平均值按 Duncan 新复极差分析进行多重比较,同一水肥条件下接种与对照用 *T*-test 进行分析比较,水分、AM 真菌和施 P 量各自的作用、两两之间及三者之间的交互作用用 Univariate 程序进行多因素方差分析。

2 结果与分析

2.1 丹参植株生长量

由表 1 可知,两水分条件下,同一施 P 量,接种 AM 真菌显著提高了菌根侵染率。不同施 P 量,未接种株菌根侵染率随 P 水平升高显著降低;接种株则先升后降,在 P2 时最大。

表 1 不同水肥条件下 AM 真菌对丹参生长量的影响

Table 1 Effects of AM fungi on the growth of *Salvia miltiorrhiza* under different soil water and fertilizer conditions

土壤含水量/% Water content	处理 Treatments	每盆干重 Dry weight per pot		侵染率 Colonization/%	菌根依赖性 Mycorrhizal dependency/%
		地上部 Shoot/g	地下部 Root/g		
40	CK	P1	0.254b	0.449b	25.0a
		P2	0.283a	0.467a	22.5b
		P3	0.152c	0.188c	18.3c
	AM	P1	0.359e*	0.512e*	58.2e*
		P2	0.512d*	0.578d*	66.6d*
		P3	0.213f*	0.268f*	43.0f*
	AM	P1	0.398A	0.435A	28.0A
		P2	0.212B	0.301B	25.1B
		P3	0.125C	0.148C	20.0C
70	CK	P1	0.386D*	0.558E*	63.5E*
		P2	0.398D*	0.612D*	70.1D*
		P3	0.118E	0.167F*	55.1F*
	AM	P1	0.386D*	0.558E*	63.5E*
		P2	0.398D*	0.612D*	70.1D*
		P3	0.118E	0.167F*	55.1F*
	AM	P1	0.386D*	0.558E*	63.5E*
		P2	0.398D*	0.612D*	70.1D*
		P3	0.118E	0.167F*	55.1F*
显著性 Significant	<i>P</i> (W)		0.000	0.000	0.000
	<i>P</i> (AM)		0.000	0.000	0.000
	<i>P</i> (P)		0.000	0.000	0.000
	<i>P</i> (W $\times$ AM)		0.000	0.000	0.012
	<i>P</i> (AM $\times$ P)		0.000	0.000	0.000
	<i>P</i> (W $\times$ P)		0.000	0.000	0.107
	<i>P</i> (W $\times$ AM $\times$ P)		0.354	0.000	0.032

AM:接种摩西球囊霉;CK:未接种;同一列*表示同一水肥下接种与对照在 5% 水平差异显著,同一列不同字母表示不同处理在 5% 水平上差异显著;*P* 表示不同处理间在 5% 水平上的交互效应

40% 水分下,同一施 P 量,接种 AM 真菌显著提高了植株干重。不同施 P 量,植株干重随 P 水平升高先升后降,在 P2 时达最大值。菌根依赖性分别为 19.29、61.19 和 29.31。

70% 水分下,同一施 P 量,接种 AM 真菌显著提高了植株干重(地上部 P3 除外)。不同施 P 量,未接种株

干重随 P 水平升高显著降低;接种株地上部干重在 P3 显著低于 P1 和 P2,地下部干重先升后降,在 P2 达最大值。菌根依赖性分别为 11.76、49.21 和 4.21。

多因素方差分析结果表明,水分和 AM 真菌对植株干重及菌根侵染率有显著影响;P 水平对植株干重及菌根侵染率有显著影响;水分和 AM 真菌、AM 真菌和 P 水平对植株干重和菌根侵染率有显著交互作用;水分和 P 水平只对植株干重有显著交互作用;水分、AM 真菌和 P 水平对地下部干重和菌根侵染率有显著交互作用。

2.2 丹参营养元素含量

2.2.1 钾(K)、钙(Ca)、镁(Mg)含量

由表 2 可知,40%水分下,同一施 P 量,接种 AM 真菌提高了丹参地上部 Ca 和 K 含量,对植株 Mg、地下部 Ca 和 K 含量无显著影响,地上部 Ca 在 P1、P2 差异显著,地上部 K 仅在 P3 差异显著。不同施 P 量,随 P 水平升高,地上部 Ca 含量先升后降,在 P2 有最大值,地上部 K 含量先降后升,在 P2 时达最小值,植株 Mg、地下部 Ca 和 K 随 P 水平升高无显著变化。

70%水分下,同一施 P 量,接种 AM 真菌提高了丹参 Ca、地上部 K 含量,对植株 Mg、地下部 K 无显著影响,地上部 Ca 差异显著,地下部 Ca 仅在 P2 差异显著,地上部 K 仅在 P3 差异显著。不同施 P 量,未接种株地上部 K 含量随施 P 量升高先降后升,在 P2 达最小值,地上部 Ca 含量先升后降,在 P2 达最大值;植株 Mg、地下部 K、Ca 和接种株地上部 K 含量随 P 水平升高无显著变化。

表 2 不同水肥条件下 AM 真菌对丹参 K、Ca、Mg 含量的影响

Table 2 Effects of AM fungi on the content of K, Ca and Mg of *Salvia miltiorrhiza* under different soil water and fertilizer conditions

土壤含水量/% Water content		处理 Treatments	K/(μg/g)		Ca/(μg/g)		Mg/(μg/g)	
			地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root
40	CK	P1	2143.25a	1943.88a	8760.5b	1346.1a	256.88a	248.50a
		P2	2032.87b	1840.63a	9158.6a	1244.1a	251.88a	248.00a
		P3	2050.00ab	1824.25a	8418.5c	1286.8a	253.88a	249.63a
	AM	P1	2205.25d	2013.63d	9273.7e *	1105.9d	255.00d	249.25d
		P2	2112.00e	1894.00d	9675.0d *	1138.8d	255.38d	253.00d
		P3	2161.87de *	1962.38d	8398.6f	1418.5d	253.75d	254.75d
70	CK	P1	2177.50A	1870.50A	8379.0B	1168.4A	261.25A	249.21A
		P2	2125.50AB	1883.25A	9415.1A	1079.6A	255.50A	254.75A
		P3	2039.25B	1904.75A	7783.5C	1283.5A	259.13A	253.75A
	AM	P1	2165.38D	1992.38D	8648.7E *	1346.1D	258.50D	250.38E
		P2	2201.75D	1881.13D	9661.8D *	1503.9D *	258.38D	250.50E
		P3	2209.5D *	1907.50D	7859.2F *	1573.0D	261.13D	256.63D
显著性 Significant	P(W)		0.099	0.833	0.000	0.301	0.366	0.149
	P(AM)		0.001	0.048	0.000	0.097	0.903	0.201
	P(P)		0.086	0.159	0.000	0.079	0.912	0.049
	P(W×AM)		0.882	0.458	0.001	0.010	0.983	0.184
	P(AM×P)		0.089	0.660	0.000	0.350	0.914	0.428
	P(W×P)		0.170	0.699	0.000	0.923	0.957	0.828
	P(W×AM×P)		0.448	0.482	0.000	0.412	0.989	0.342

2.2.2 铜(Cu)、锰(Mn)、铁(Fe)、锌(Zn)含量

由表 3 可知,40%水分下,同一施 P 量,接种 AM 真菌提高了植株 Zn、地上部 Mn 和 Fe 含量,对植株 Cu 及地下部 Mn、Fe 含量无显著影响,地上部 Mn 含量在 P2、P3 时差异显著,地上部 Zn 含量仅在 P3 差异显著,地上部 Fe、地下部 Zn 含量在 P1、P2 时差异显著。不同施 P 量,植株地下部 Zn 及未接种株地下部 Cu、地上部

Mn 含量随施 P 量升高先升后降,在 P2 时达最大值,接种株地上部 Zn 含量先降后升,在 P2 时达最小值,接种株 Mn 及地下部 Fe 含量在 P1 时最低,差异显著;未接种株地上部 Fe 含量在 P3 最高,差异显著;接种株地上部 Fe 随 P 水平升高先升后降,在 P2 有最大值,未接种株地下部 Fe 含量在 P3 显著高于 P2,地上部 Cu、接种株地下部 Cu、未接种株地下部 Mn 和地上部 Zn 含量随 P 水平升高无显著变化。

70%水分下,同一施 P 量,接种 AM 真菌提高了丹参 Mn、地上部 Cu、地下部 Fe 和 Zn 含量,对地下部 Cu、地上部 Fe 和 Zn 含量无显著影响,地上部 Mn 和地下部 Fe 差异显著,地上部 Cu 仅在 P1 时差异显著,地下部 Mn 在 P2、P3 时差异显著,地下部 Zn 在 P1、P2 时差异显著。不同施 P 量,未接种株地上部 Cu 和 Mn 含量随 P 梯度升高显著升高,在 P3 显著高于 P1;接种株地上部 Cu 则先升后降,在 P2 时最大,地上部 Mn 在 P3 达最大值,差异显著;地下部 Mn 在 P1 达最小值,差异显著;植株地上部 Fe 含量随施 P 量升高先升后降,在 P2 最大;接种株地下部 Fe 和地上部 Zn 含量在 P1 时最低,差异显著;地下部 Zn 在 P1 时最高,差异显著;接种株地下部 Cu 及未接种株 Zn、地下部 Fe 含量随 P 梯度升高无显著变化。

多因素方差分析结果表明(表 3),水分对植株 Mn、Zn 及地上部 Fe 含量有显著影响。AM 真菌对植株 Mn、Fe、地上部 Cu 及地下部 Zn 含量有显著影响。水分和 AM 真菌对植株 Fe 及地下部 Cu、Mn、Zn 含量有显著交互作用。AM 真菌和 P 水平对植株 Mn、地上部 Cu、Fe 及地下部 Zn 含量有显著交互作用。水分和 P 水平对植株 Cu、Fe、地上部 Mn 及地下部 Zn 含量有显著交互作用。水分、AM 真菌和 P 水平对地上部 Cu、Mn、Fe 及地下部 Zn 含量有显著交互作用。

Table 3 Effects of AM fungi on the content of Cu、Mn、Fe and Zn of <i>Salvia miltiorrhiza</i> under different soil water and fertilizer conditions										
土壤含水量/% Water content		处理 Treatments	Cu/(μg/g)		Mn/(μg/g)		Fe/(μg/g)		Zn/(μg/g)	
			地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root
40	CK	P1	8.788a	2.620b	39.250b	31.625a	568.38b	797.50ab	21.125a	131.00b *
		P2	10.845a	10.845a	45.125a	32.750a	577.25b	763.63b	21.125a	143.62a *
		P3	12.901a	2.620b	36.750b	34.500a	735.00a	876.50a	19.375a	11.875c
	AM	P1	22.154d	12.901d	39.125e	27.500e	620.00f *	754.75e	20.500e	93.75e
		P2	22.154d	19.070d	52.625d *	32.750d	1136.50d *	845.75d	19.750e	112.37d
		P3	21.126d	7.760d	52.125d *	36.875d	744.87e	885.38d	25.125d *	9.88f
70	CK	P1	0.563C	1.591B	36.250C	31.625B	594.75C	742.75A	23.125A	16.13A
		P2	4.676B	8.788AB	45.125B	33.875AB	1064.00A	831.63A	26.375A	12.13A
		P3	9.817A	14.957A	56.125A	36.250A	861.12B	747.13A	26.125A	15.50A
	AM	P1	7.760E *	5.704D	47.500E *	31.625E	546.50F	867.75E *	20.375E	146.50D *
		P2	54.027D *	6.732D	49.250E *	46.750D *	952.12D	986.25D *	26.750D	18.875E *
		P3	20.098E	11.873D	62.500D *	43.375D *	855.62E	973.00D *	25.500D	15.875E
显著性 Significant	P(W)	0.963	0.590	0.000	0.000	0.000	0.064	0.001	0.000	
	P(AM)	0.000	0.057	0.000	0.007	0.000	0.000	0.890	0.000	
	P(P)	0.036	0.096	0.000	0.000	0.000	0.010	0.067	0.000	
	P(W×AM)	0.136	0.039	0.790	0.002	0.000	0.001	0.221	0.000	
	P(AM×P)	0.032	0.441	0.001	0.014	0.000	0.257	0.130	0.000	
	P(W×P)	0.048	0.002	0.000	0.125	0.001	0.022	0.107	0.000	
	P(W×AM×P)	0.045	0.916	0.000	0.153	0.000	0.241	0.131	0.000	

2.3 丹参药用成分含量

由表 4 可知,40%水分下,同一施 P 量,接种 AM 真菌提高了植株丹参酮含量,降低了植株总黄酮、丹参素及地下部总酚酸含量,对地上部总酚酸含量无显著影响;地上部丹参酮和总黄酮含量在 P1、P2 时差异显著,地下部丹参酮、总黄酮和总酚酸含量差异显著,丹参素含量仅在 P3 时差异显著。不同施 P 量,接种株地上部

丹参酮、植株地下部丹参酮和地上部总酚酸含量随 P 梯度升高先升后降,在 P2 有最大值,未接种株地上部总黄酮和接种株地上部丹参素含量在 P3 显著降低,接种株地下部总黄酮和未接种株地下部总酚酸含量在 P1 显著高于 P2,接种株地下部总酚酸在 P1 显著低于 P2 和 P3,未接种株地下部总黄酮含量随 P 梯度升高显著增加,植株地下部丹参素、接种株地上部总黄酮及未接种株地上部丹参酮和丹参素随 P 梯度升高无显著变化。

70% 水分下,同一施 P 量,接种 AM 真菌提高了丹参酮、总黄酮、总酚酸和丹参素含量,植株总黄酮、总酚酸及地上部丹参酮含量差异显著,地下部丹参酮含量仅在 P2 差异显著,地上部丹参素含量在 P1 和 P3 差异显著,地下部丹参素在 P1 和 P2 差异显著。不同施 P 量,植株地上部总黄酮、总酚酸、丹参素、地下部丹参酮及接种株地下部总黄酮、总酚酸、丹参素含量随 P 梯度升高先升后降,在 P2 有最大值;未接种株地下部总黄酮、总酚酸含量在 P1 显著降低,地上部丹参酮含量在 P2 显著高于 P,地下部丹参素含量在 P3 显著降低。

多因素方差分析结果表明(表 4),水分对植株地下部丹参酮、总黄酮及地上部丹参素含量有显著影响。AM 真菌对植株丹参酮、总酚酸、丹参素及地下部总黄酮含量有显著影响。P 水平对植株总黄酮、总酚酸、地上部丹参酮、丹参素含量有显著影响。水分和 AM 真菌对植株总黄酮、总酚酸、地下部总酚酸及地上部丹参素有显著交互作用。AM 真菌和 P 水平对植株丹参酮、总酚酸、地下部总黄酮及地上部丹参素含量有显著交互作用。水分和 P 水平对植株总黄酮、总酚酸、丹参素及地下部丹参酮含量有显著交互作用。水分、AM 真菌及 P 水平对植株总黄酮、丹参素、地下部丹参酮及总酚酸含量有显著交互作用。

表 4 不同水肥条件下 AM 真菌对丹参药用成分的影响
Table 4 Effects of AM fungi on medicine components of *Salvia miltiorrhiza* under different soil water and fertilizer conditions

土壤含水量/% Water content	处理 Treatments		总黄酮 Flavonoids/($\mu\text{g/g}$)		丹参酮 Tanshinone/($\mu\text{g/g}$)		总酚酸 Total phenolic/($\mu\text{g/g}$)		丹参素 Danshensu/($\mu\text{g/g}$)	
			地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root	地上部 Shoot	地下部 Root
40	CK	P1	3.284a	4.670c *	3.487a	4.379c	1.472b	3.157a	2.886a	1.716a
		P2	3.958a	5.119b *	3.159a	4.588a	2.303a	2.917b	2.876a	1.899a
		P3	1.959b	6.122a *	3.395a	4.470b	1.310c	3.040ab	2.767a *	2.034a *
	AM	P1	24.154d *	4.452d	3.710de *	4.641e *	1.656e	3.313e *	2.806d	1.832d
		P2	21.458d *	4.153e	3.972d *	4.837d *	2.833d	3.687d *	2.803d	1.624d
		P3	15.991d	4.288de	3.448e	4.550f *	1.025f	3.659d *	2.554e	1.759d
	CK	P1	1.981B	3.486B	3.186B	4.300B	1.332B	2.401B	2.154C	1.977A *
		P2	2.363A	4.497A	3.513A	4.221C	1.594A	3.196A	2.725A	2.014A *
		P3	1.959B	4.542A	3.317AB	4.562A	1.321B	3.218A	2.538B	1.780B
70	AM	P1	2.999E *	4.861E *	3.972D *	4.344F *	2.091E *	3.486E *	2.647F *	1.546F
		P2	4.153D *	5.209D *	4.077D *	5.191D	2.961D *	4.385D *	2.793D	1.962D
		P3	2.610F *	4.737E *	3.631D *	4.615E	1.801F *	3.386E *	2.741E	1.837E
显著性 Significant	P(W)		0.240	0.000	0.289	0.002	0.194	0.075	0.000	0.230
	P(AM)		0.479	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.007	0.000
	P(P)		0.000	0.000	0.041	0.000	0.000	0.000	0.000	0.069
	P(W $\times$ AM)		0.000	0.000	0.245	0.000	0.000	0.000	0.000	0.967
	P(AM $\times$ P)		0.758	0.000	0.025	0.000	0.000	0.000	0.002	0.726
	P(W $\times$ P)		0.007	0.000	0.450	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
	P(W $\times$ AM $\times$ P)		0.000	0.032	0.153	0.000	0.690	0.000	0.003	0.000

3 讨论与结论

试验结果表明,丹参能与 AM 真菌形成良好共生关系。土壤 P 和含水量高低直接影响菌根共生状态和有益效应的发挥。不同水肥条件下,土著 AM 真菌对丹参根系有不同程度的侵染,接种 AM 真菌后显著提高了菌根侵染率,并在两种水分条件下 P2 时侵染率最高,低 P 和高 P 均会抑制菌根侵染。这是由于接种 AM 真

菌扩大了根系吸收范围,加强了宿主植物对土壤水分和 P 等营养元素的吸收和利用,提高了水分和 P 肥利用率,从而促进了药用植物生长,增加植株生物量^[2-3]。低 P 不能满足丹参和 AM 真菌生长所需 P 营养,使菌根生长受到抑制;高 P 使宿主根细胞膜透性降低,影响 AM 真菌生长发育,导致侵染率降低^[17]。水分胁迫下菌根侵染率较正常水分低,说明水分胁迫抑制了摩西球囊霉对丹参根系的侵染。Graham 等^[18]认为,水分胁迫下 AM 真菌菌丝可能起着桥梁作用,把根系与干旱状况下根系难于吸收的土壤水分连接起来,降低了水分胁迫对菌根侵染的抑制作用,这是接种 AM 真菌后提高菌根侵染率,增加植株生物量的原因之一,也是增强植物抗旱性或耐旱性的重要原因。菌根依赖性描述一定土壤肥力下植物通过菌根产生最大生物量或产量所能达到的程度^[16],其大小与植物 P 营养状况紧密相关。本试验中,两水分条件下菌根依赖性均在 P2 时最强,进一步说明在 P2 水平接种 AM 真菌提高丹参生物量的程度最强。

研究表明,丛枝菌根可通过提高亲和力、降低吸收临界浓度、产生菌丝分泌物、增加吸收面积、缩短扩散面积等机制来促进 P、Zn、Cu、Ca、K 等矿质养分的吸收^[2-3]。本试验中,未接种株对矿质养分的吸收因 P 营养不足和水分胁迫而受到抑制;接种后提高了正常水分下植株 Ca 和 Mn、地上部 K 和 Cu、地下部 Fe 和 Zn 及水分胁迫下植株 Zn、地上部 K、Ca、Mn 和 Fe 含量,但就其对植物营养的重要性而言,菌根对 Zn 和 Cu 的吸收更为重要,因为这两种元素在土壤中移动性弱,根际会出现营养亏缺区,根际本身吸收的 Zn 和 Cu 不能满足植物生长的正常需要^[3]。

研究表明,AM 真菌能够直接或间接影响植物次生代谢,导致植物次生代谢产物发生变化,而这些次生代谢产物在植物和 AM 真菌之间形成的共生关系中起着重要作用^[19-21]。本试验中,适宜水肥条件下,接种株丹参酮含量显著高于对照株,可能是由于 AM 真菌作为一种生物诱导子通过提高糖中间代谢产物来提高丹参酮类物质含量;胁迫条件下不利于丹参酮积累。接种 AM 真菌显著提高了正常水分下植株总黄酮含量,降低了水分胁迫下植株总黄酮含量,由于在正常水分下 AM 真菌促进了植株总黄酮的合成,而在水分胁迫下黄酮类物质发挥了本身具有的抗氧化活性,使黄酮类物质维持在较低水平^[22]。有研究表明,多数植株地上部总黄酮含量显著高于地下部^[23],而本试验结果则相反,这可能与植株收获时期和成分积累程度不同有关。AM 真菌对植株总酚酸和丹参素含量的影响机制尚不明,可能是由于 AM 真菌促进根系对微量元素的吸收,微量元素作为催化剂参与植物体内某些有机合成反应或作为植物活性成分的结构物质,直接或间接影响到有效成分的合成与积累,最终影响中药材产量和品质^[24-25]。

综上结果表明,AM 真菌与丹参能形成良好的共生关系,水分、AM 真菌和 P 梯度组合对丹参幼苗生长和品质总体上表现出显著交互作用。水分胁迫、低 P 或高 P 均会影响丹参幼苗正常生长,接种 AM 真菌能有效提高植株矿质元素和水分的吸收与运输,促进植株生长发育,改善丹参品质。不同水肥处理中,以 70% 土壤相对含水量、施 P 量 0.16 gP/kg 土时接种效果最佳,此时土壤中 N、P 比为 0.15:0.16,与韩建萍^[26]等研究的丹参最佳施肥配比(1:1)基本一致。

References:

- [1] Zhang Y, Zeng M, Xiong B Q, Yang X H. Ecological significance of arbuscular mycorrhiza biotechnology in modern agricultural system. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(4): 613-617.
- [2] Strack D, Fester T, Hause B, Schliemann W, Walter M H. Arbuscular mycorrhiza: biological, chemical, and molecular aspects. *Journal of Chemical Ecology*, 2003, 29(9): 1955-1979.
- [3] Koide R T, Schreiner R P. Regulation of the vesicular-arbuscular mycorrhizal symbiosis. *Annual Review of Plant Physiology and Plant Molecular Biology*, 1992, 43(1): 557-581.
- [4] Smith S E, Read D J. *Mycorrhizal Symbiosis*. 2nd ed. San Diego: Academic Press, 1997: 605-605.
- [5] Barea J M, Jeffries P. Arbuscular mycorrhizas in sustainable soil-plant systems // arma A, Hock B, eds. *Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. New York: Springer, 1995: 521-561.
- [6] Varma A, Hock B. *Mycorrhiza: Structure, Function, Molecular Biology and Biotechnology*. New York: Springer, 1998: 305-391.
- [7] Wright S F. Management of arbuscular mycorrhizal fungi // Zobel R W, Wright S F, eds. *Roots and Soil Management: Interactions between Roots and the Soil*. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, 2005: 183-197.

- [8] Chen M M, Chen B D, Wang X J, Zhu Y G, Wang Y S. Influences of arbuscular mycorrhizal fungi (AMF) on the growth and ecological stoichiometry of clover and ryegrass grown in monoculture or in mixture at different phosphorus (P) levels. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(4): 1980-1986.
- [9] Zhao X, Wang B W, Yan X F. Effect of arbuscular mycorrhiza on camptothecin content in *Camptotheca acuminata* seedlings. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(4): 1057-1062.
- [10] He X L, Wang L Y, Ma J, Zhao L L. AM fungal diversity in the rhizosphere of *Salvia miltiorrhiza* in Anguo City of Hebei Province. *Biodiversity Science*, 2010, 18(2): 175-181.
- [11] He X L, Li J, He C. Effects of AM fungi on the chemical components of *Salvia miltiorrhiza* Bge. under different N-applied levels. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2007, 25(14): 182-185.
- [12] Meng J J, He X L. Effects of AM fungi on growth and nutritional contents of *Salvia miltiorrhiza* Bge. under drought stress. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2011, 34(1): 51-55.
- [13] Phillips J M, Hayman D S. Improved procedures for clearing roots and staining parasitic and vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi for rapid assessment of infection. *Transactions of the British Mycological Society*, 1970, 55(1): 158-161.
- [14] Ye Y. Comparative Study on the Determination of Salvianolic Acids Content by Colorimetry and HPLC. *Journal of Zhejiang University of Traditional Chinese Medicine*, 2006, 30(4): 350-351.
- [15] Wang X K. *Experimental Principle and Technology of Plant Physiology and Biochemistry*. Beijing: Higher Education Press, 2006.
- [16] Gerdemann J W. Vesicular-arbuscular mycorrhizae//Torrey J G, Clarkson D T, eds. *The Development and Function of Roots*. London: Academic Press, 1975: 575-575.
- [17] Lynch J P, Deikman J. *Phosphorus in Plant Biology: Regulatory Roles in Molecular, Cellular, Organismic, and Ecosystem Processes*. Maryland: American Society of Plant Physiologists Rockville, 1998: 157-157.
- [18] Graham J H, Syvertsen J P. Influence of vesicular-arbuscular mycorrhiza on the hydraulic conductivity of roots of two citrus rootstocks. *New Phytologist*, 1984, 97(2): 277-284.
- [19] Morandi D. Occurrence of phytoalexins and phenolic compounds in endomycorrhizal interactions, and their potential role in biological control. *Plant and Soil*, 1996, 185(2): 241-251.
- [20] Vierheilig H, Bago B, Albrecht C, Poulin M J, Piché Y. Flavonoids and arbuscular mycorrhizal fungi//Manthey J A, Buslig B S, eds. *Flavonoids in the Living System*. New York: Plenum Press, 1998, 439: 9-33.
- [21] Akiyama K, Matsuoka H, Hayashi H. Isolation and identification of a phosphate deficiency-induced C-glycosylflavonoid that stimulates arbuscular mycorrhiza formation in melon roots. *Molecular Plant-Microbe Interactions*, 2002, 15(4): 334-340.
- [22] Foyer C H, Lelandais M, Kunert K J. Photooxidative stress in plants. *Physiologia Plantarum*, 1994, 92(4): 696-717.
- [23] Graham L T. Flavonoid and isoflavonoid distribution in developing soybean seedling tissues and in seed and root exudates. *Plant Physiology*, 1991, 95(2): 594-603.
- [24] Liu A, Hamel C, Hamilton R I, *et al.* Acquisition of Cu, Zn, Mn and Fe by mycorrhizal maize (*Zea mays* L.) grown in soil at different P and micronutrient levels. *Mycorrhiza*, 2000, 9: 331-336.
- [25] Diaz G, Azcona C, Honrubia M. Influence of arbuscular mycorrhizae on heavy metal (Zn and Pb) up take and growth of *Lygeum spartum* and *Anthyllis cytisoides*. *Plant and Soil*, 1996, 180: 241-249.
- [26] Han J P, Liang Z S, Sun Q, Wei X R, Wang J M, Deng H S. Study on the characteristic of assimilating nitrogenous phosphorous fertilizer and the accumulation disciplinarian of total tanshinons of *Salvia miltiorrhiza*. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2004, 29(3): 207-211.

参考文献:

- [1] 张勇, 曾明, 熊丙全, 杨晓红. 丛枝菌根(AM)生物技术在现代农业体系中的生态意义. *应用生态学报*, 2003, 14(4): 613-617.
- [8] 陈梅梅, 陈保冬, 王新军, 朱永官, 王幼珊. 不同磷水平土壤接种丛枝菌根真菌对植物生长和养分吸收的影响. *生态学报*, 2009, 29(4): 1980-1986.
- [9] 赵昕, 王博文, 阎秀峰. 丛枝菌根对喜树幼苗喜树碱含量的影响. *生态学报*, 2006, 26(4): 1057-1062.
- [10] 贺学礼, 王凌云, 马晶, 赵丽莉. 河北省安国地区丹参根围 AM 真菌多样性. *生物多样性*, 2010, 18(2): 175-181.
- [11] 贺学礼, 李君, 贺超. AM 真菌与施氮量对丹参幼苗化学成分的影响. *中国农学通报*, 2007, 25(14): 182-185.
- [12] 孟静静, 贺学礼. 干旱胁迫下 AM 真菌对丹参生长和养分含量的影响. *河北农业大学学报*, 2011, 34(1): 51-55.
- [14] 叶勇. 比色法与高效液相色谱法对丹参酚酸含量测定比较研究. *浙江中医药大学学报*, 2006, 30(4): 350-351.
- [15] 王学奎. *植物生理生化实验原理和技术*. 北京: 高等教育出版社, 2006.
- [26] 韩建萍, 梁宗锁, 孙群, 卫新荣, 王敬民, 邓寒霜. 丹参根系氮、磷营养吸收及丹参酮累积规律研究. *中国中药杂志*, 2004, 29(3): 207-211.

CONTENTS

Hyperspectral characteristics of typical subtropical trees at different levels of simulated acid rain	SHI Qilong, JIANG Hong, CHEN Jian, et al (5621)
Wind fields and the development of wind corridors in the urban metropolis of the Pearl River Delta	SUN Wu, WANG Yiming, WANG Yuelei, et al (5630)
Dynamics of canopy structure and understory light in montane evergreen broadleaved forest following a natural disturbance in North Guangdong	OU Yudian, SU Zhiyao (5637)
The influence of 4 species of preys on the development and fecundity of <i>Orius similis</i> Zheng	ZHANG Changrong, ZHI Junrui, MO Lifeng (5646)
Woody seedling regeneration in secondary succession of monsoon broad-leaved evergreen forest in Puer, Yunnan, Southwest China	LI Shuaifeng, LIU Wande, SU Jianrong, et al (5653)
Scale-dependent spatial variation of species abundance and richness in two mixed evergreen-deciduous broad-leaved karst forests, Southwest China	ZHANG Zhonghua, HU Gang, ZHU Jiedong, et al (5663)
The spatial heterogeneity of soil nutrients in a mid-subtropical <i>Castanopsis kawakamii</i> natural forest	SU Songjin, LIU Jinfu, HE Zhongsheng, et al (5673)
Effects of <i>Vetiveria zizanioides</i> L. growth on chemical and biological properties of copper mine tailing wastelands	XU Decong, ZHAN Jing, CHEN Zheng, et al (5683)
Effects of different irrigation regimes on characteristics of transpiring water-consumption of three desert species	SHAN Lishan, LI Yi, ZHANG Ximing, et al (5692)
The response of euhalophyte <i>Salicornia europaea</i> L. to different nitrogen forms	NIE Lingling, FENG Juanjuan, LÜ Sulian, et al (5703)
Dynamic analysis on spatial pattern of dominant tree species of cold-temperate coniferous forest in the succession process in the Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, BI Runcheng, ZHANG Jintun, et al (5713)
Effects of AM fungi on the growth and nutrients of <i>Salvia miltiorrhiza</i> Bge. under different soil water and fertilizer conditions	HE Xueli, MA Li, MENG Jingjing, et al (5721)
The dynamics of soil respiration in a winter wheat field with plastic mulched-ridges and unmulched furrows	SHANGGUAN Yuxian, SHI Ripeng, HAN Kun, et al (5729)
Cattle dung composted by different methods had different effects on the growth and quality of soybean	GUO Liyue, LIU XueMei, ZHAN Lijie, et al (5738)
Nitrogen budget modelling at the headwaters of Urumqi River Based on the atmospheric deposition and runoff	WANG Shengjie, ZHANG Mingjun, WANG Feiteng, et al (5747)
Evaluating the ecosystem sustainability of circular agriculture based on the energy theory: a case study of the Xingyuan circular agriculture demonstration site in Fuqing City, Fujian	ZHONG Zhenmei, WENG Boqi, HUANG Qinlou, et al (5755)
Effects of cold exposure and recovery on viability and energy consumption in the sub-adult female giant spiny frogs (<i>Paa spinosa</i>)	LING Yun, SHAO Chen, XIE Zhigang, et al (5763)
A comparison of night-interruption on diapause-averting among two populations of the cotton bollworm, <i>Helicoverpa armigera</i>	CHEN Yuansheng, TU Xiaoyun, CHEN Chao, et al (5770)
Effects of soil erosion control measures on soil organic carbon and total nitrogen in a small watershed	ZHANG Yanjun, GUO Shengli, NAN Yafang, et al (5777)
Comparative analysis of Lugu Lake watershed ecosystem function under different management authorities	DONG Rencai, GOU Yaqing, LI Siyuan, et al (5786)
Relationship between fish community diversity and environmental factors in the Lianjiang River, Guangdong, China	LI Jie, LI Xinhui, JIA Xiaoping, et al (5795)
Effect of dissolved oxygen level on metabolic mode in juvenile crucian carp	ZHANG Wei, CAO Zhendong, FU Shijian (5806)
Community composition of net-phytoplankton and its relationship with the environmental factors at artificial reef area in Xiangshan Bay	JIANG Zhibing, CHEN Quanzhen, SHOU Lu, et al (5813)
Emergency appraisal on the loss of ecosystem service caused by marine reclamation: a case study in the Taozi Bay	LI Ruiqian, MENG Fanping (5825)
Assessing the visual quality of urban waterfront landscapes: the case of Hefei, China	YAO Yumin, ZHU Xiaodong, XU Yingbi, et al (5836)
Review and Monograph	
Advances in ecological genomics	SHI Yongbin, LI Junmin, JIN Zexin (5846)
Advances in studies of ecological effects of ocean acidification	WANG Siru, YIN Kedong, CAI Weijun, et al (5859)
Advances in feeding ecology of <i>Acartia</i>	HU Simin, LIU Sheng, LI Tao, et al (5870)
Research progress on ammonia-oxidizing microorganisms in estuarine ecosystem	ZHANG Qiufang, XU Jirong, SU Jianqiang, et al (5878)
Recent progress in research on neutrophilic, microaerophilic iron(II)-oxidizing bacteria	LIN Chaofeng, GONG Jun (5889)
A comparison study on primary production in typical low-latitude seas (South China Sea and Bay of Bengal)	LIU Huaxue, SONG Xingyu, HUANG Honghui, et al (5900)
Advances in leaf maximum carboxylation rate and its response to environmental factors	ZHANG Yanmin, ZHOU Guangsheng (5907)
10-years of bird habitat selection studies in mainland China: a review	JIANG Aiwu, ZHOU Fang, QIN Yue, et al (5918)
Scientific Note	
The effects of incubation temperature on embryonic metabolism and hatchling behavior in the Red-banded Snake, <i>Dinodon rufonotatum</i>	SUN Wenjia, YU Xiao, CAO Mengjie, et al (5924)
Sensitivity analysis and dynamics of soil microbial biomass carbon, nitrogen and related parameters in red-yellow soil of tea garden with different fertilization practices	WANG Limin, QIU Shanlian, LIN Xinjian, et al (5930)
Effect of fertilizers on Cd uptake of two edible amaranthus herbs	LI Ningyu, LI Zhian, ZHUANG Ping, et al (5937)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 18 期 (2012 年 9 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 18 (September, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:1000717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元