

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

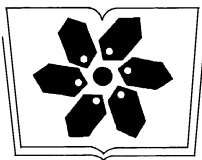
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第13期 Vol.32 No.13 **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



生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

中国科学院科学出版基金资助出版

第 32 卷 第 13 期

2012 年 7 月 (半月刊)

目 次

砂质潮间带自由生活海洋线虫对缺氧的响应——微型受控生态系研究.....	华 尔, 李 佳, 董 洁, 等 (3975)
植物种群自疏过程中构件生物量与密度的关系	黎 磊, 周道玮, 盛连喜 (3987)
基于景观感知敏感度的生态旅游地观光线路自动选址.....	李继峰, 李仁杰 (3998)
基于能值的沼气农业生态系统可持续发展水平综合评价——以恭城县为例.....	杨 谨, 陈 彬, 刘耕源 (4007)
内蒙古荒漠草原植被盖度的空间异质性动态分析.....	颜 亮, 周广胜, 张 峰, 等 (4017)
典型草地的土壤保持价值流量过程比较.....	裴 厦, 谢高地, 李士美, 等 (4025)
长沙市区马尾松人工林生态系统碳储量及其空间分布.....	巫 涛, 彭重华, 田大伦, 等 (4034)
厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性	姜 攀, 王明元 (4043)
Cd、低 Pb/Cd 下冬小麦幼苗根系分泌物酚酸、糖类及与根际土壤微生物活性的关系	贾 夏, 董岁明, 周春娟 (4052)
凉水保护区土壤产类漆酶-多铜氧化酶细菌群落结构	赵 丹, 谷惠琦, 崔岱宗, 等 (4062)
盐渍化土壤根际微生物群落及土壤因子对 AM 真菌的影响.....	卢鑫萍, 杜 茜, 闫永利, 等 (4071)
菌丝室接种解磷细菌 <i>Bacillus megaterium</i> C4 对土壤有机磷矿化和植物吸收的影响.....	张 林, 丁效东, 王 菲, 等 (4079)
闽江河口不同河段芦苇湿地土壤碳氮磷生态化学计量学特征.....	王维奇, 王 纯, 曾从盛, 等 (4087)
高山森林三种细根分解初期微生物生物量动态.....	武志超, 吴福忠, 杨万勤, 等 (4094)
模拟降水对古尔班通古特沙漠生物结皮表观土壤碳通量的影响	吴 林, 苏延桂, 张元明 (4103)
铁皮石斛组培苗移栽驯化过程中叶片光合特性、超微结构及根系活力的变化	濮晓珍, 尹春英, 周晓波, 等 (4114)
不同产量水平旱地冬小麦品种干物质累积和转移的差异分析.....	周 玲, 王朝辉, 李富翠, 等 (4123)
基于作物模型的低温冷害对我国东北三省玉米产量影响评估.....	张建平, 王春乙, 赵艳霞, 等 (4132)
黄土高原 1961—2009 年参考作物蒸散量的时空变异.....	李 志 (4139)
莫莫格湿地芦苇对水盐变化的生理生态响应.....	邓春暖, 章光新, 李红艳, 等 (4146)
不同蚯蚓采样方法对比研究.....	范如芹, 张晓平, 梁爱珍, 等 (4154)
亚洲玉米螟成虫寿命与繁殖力的地理差异.....	涂小云, 陈元生, 夏勤雯, 等 (4160)
黑河上游天然草地蝗虫空间异质性与分布格局.....	赵成章, 李丽丽, 王大为, 等 (4166)
苦瓜叶乙酸乙酯提取物对斜纹夜蛾实验种群的抑制作用.....	骆 颖, 凌 冰, 谢杰峰, 等 (4173)
长江口中国花鲈食性分析.....	洪巧巧, 庄 平, 杨 刚, 等 (4181)
基于线粒体控制区序列的黄河上游厚唇裸重唇鱼种群遗传结构.....	苏军虎, 张艳萍, 娄忠玉, 等 (4191)
镉暴露对黑斑蛙精巢 ROS 的诱导及其蛋白质氧化损伤作用机理	曹 慧, 施蔡雷, 贾秀英 (4199)
北方草地牛粪中金龟子的多样性.....	樊三龙, 方 红, 高传部, 等 (4207)
合肥秋冬季茶园天敌对假眼小绿叶蝉和茶蚜的空间跟随关系.....	杨 林, 郭 骅, 毕守东, 等 (4215)
植被、海拔、人为干扰对大中型野生动物分布的影响——以九寨沟自然保护区为例.....	张 跃, 雷开明, 张语克, 等 (4228)
基于社会网络分析法的生态工业园典型案例研究.....	杨丽花, 佟连军 (4236)
基于生命周期的户用沼气系统可用能核算——以广西恭城瑶族自治县为例.....	齐 静, 陈 彬, 戴 婧, 等 (4246)
专论与综述	
水文情势与盐分变化对湿地植被的影响研究综述	章光新 (4254)
松嫩碱化草甸土壤种子库格局、动态研究进展	马红媛, 梁正伟, 吕丙盛, 等 (4261)
一种新的景观扩张指数的定义与实现	武鹏飞, 周德民, 官辉力 (4270)
研究简报	
华山新麦草光合特性对干旱胁迫的响应.....	李 倩, 王 明, 王雯雯, 等 (4278)
美丽海绵提取物防污损作用.....	曹文浩, 严 涛, 刘永宏, 等 (4285)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 306 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 37 * 2012-07



封面图说: 涵养水源——在长白山南坡的峭壁上, 生长在坡面上的森林所涵养的水源还在汨汨地往下流个不停, 深红色的落叶掉在了苔藓上, 这里已经是长白山的深秋了。虽然雨季已经过去了很久, 但是林下厚厚的枯枝落叶层、腐殖质层、苔藓草本层所涵养的水分还在不间断地流淌, 细细的水线在壁下汇成了溪、汇成了河。涵养水源是森林的主要生态功能之一。

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

DOI: 10.5846/stxb201106030745

姜攀, 王明元. 厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的侵染率和多样性. 生态学报, 2012, 32(13): 4043-4051.

Jiang P, Wang M Y. Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(13): 4043-4051.

厦门市七种药用植物根围 AM 真菌的 侵染率和多样性

姜 攀, 王明元*

(华侨大学生物工程与技术系, 厦门 361021)

摘要:调查了福建省厦门市 7 种常见药用植物根围丛枝菌根真菌分布情况、侵染率及其多样性。结果表明: 7 种药用植物均能与 AM 真菌形成良好的共生关系, 且不同药用植物形成菌根的能力差异明显, 盐肤木根围的孢子密度最高, 29.0 个/g 土, 喜树的侵染率最高, 100%。含笑根围的孢子密度最低, 4.7 个/g 土, 鱼腥草的总侵染率最低, 4.5%。共分离鉴定 AM 真菌 4 属 63 种, 其中球囊霉属(*Glomus*) 39 种、无梗囊霉属(*Acaulospora*) 18 种、巨孢囊霉属(*Gigaspora*) 4 种、盾巨孢囊霉属(*Scutellospora*) 2 种, 其中 *Glomus*、*Acaulospora* 为优势属, 黑球囊霉 *G. melanosporum* 为优势种。盐肤木根围 AM 真菌种类最丰富, Shannon-Weiner 指数 *H* 达到 1.29。侵染率与各土壤因子均无显著相关; 孢子密度与 pH 值极显著负相关; 种的丰度与 pH 值显著负相关、与电导率极显著负相关、与孢子密度极显著正相关; Shannon-Weiner 指数 *H* 与有机质极显著负相关; 均匀度与有机质、孢子密度极显著负相关。厦门地区 AM 真菌资源十分丰富, 多样性程度高, 宿主植物不同, 土壤因子对其侵染率、孢子密度、种的丰度、Shannon-Weiner 指数、均匀度的影响也不同。为实现 AM 真菌生物技术应用于中药材规范化种植提供宝贵种质资源和理论依据。

关键词: AM 真菌; 药用植物; 土壤因子; 侵染率; 物种多样性

Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen

JIANG Pan, WANG Mingyuan*

Department of Bioengineering and Biotechnology, Huaqiao University, Xiamen 361021, China

Abstract: The distribution, colonization rate and diversity of arbuscular mycorrhizal (AM) fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants species in Xiamen, Fujian province were studied. The spores of AM fungi were isolated by modified method of wet sieving and decanting technique and identified based on spore morphology and subcellular characters. The results showed a strong symbiotic relationship between seven medicinal plants and AM fungi. The highest spore density (29.0 cfu per g soil) was found in *Rhus chinensis* while the lowest (4.7 cfu per g soil) was in *Michelia figo*. Spores of *Gigaspora* occurred rarely and only in *Houttuynia cordata* Thunb., and *Scutellospora* only in *Rosa laevigata* Michx. *Glomus melanosporum* was most frequently associated with the 7 medicinal plants species. The highest mycorrhizal colonization (100%) was recorded in *Camptotheca acuminata* Decne while the lowest (4.5%) was in *Houttuynia cordata* Thunb. The results indicated that sixty three species of four genera of AM fungi were isolated, of which thirty-nine belonged to *Glomus*, eighteen to *Acaulospora*, two to *Scutellospora* and four to *Gigaspora*. Meanwhile, *Glomus* and *Acaulospora* were the dominant genera of the seven medicinal plants and *G. melanosporum*, *A. excavata*, *G. ambisporum*, *G. clarum*, and *G. geosporum* were the prevalent AM fungi. The highest species richness (26), Shannon-Wiener index (*H*) (2.29), and evenness

基金项目: 福建省自然科学基金(2011J01222); 华侨大学人才引进项目(08BS410); 泉州市科技计划项目(2010N0123)

收稿日期: 2011-06-03; 修订日期: 2011-09-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: mywang@hqu.edu.cn

(0.83) were found in *Rhus chinensis*, *Rosa laevigata* Michx., and *Mirabilis jalapa* Linn., in contrast to the lowest one in *Houttuynia cordata* Thunb. (9), *Houttuynia cordata* Thunb. (1.06) and *Rhus chinensis*. (0.39). The frequency (F) and importance value (I) of *Glomus* and *Acaulospora* in all the plants were higher than 50 percent. As the soil characteristic may play an important role in the ecological distribution of AM fungi, available P, available K, available N, organic matter, pH and electrical conductivity of the soil samples were investigated. In the present study, the colonization had no significant correlation with the soil factors. Spore density had a highly significantly negative correlation with pH values ($P < 0.01$). Species richness correlated significantly negatively with pH ($P < 0.05$), and had a highly significantly negative correlation with electrical conductivity, while highly positive correlation with spore density ($P < 0.01$). Shannon-Wiener index (H) had a highly significantly negative correlation with organic matter ($P < 0.01$). Evenness had a highly significantly negative correlations with soil organic matter and spore density ($P < 0.01$). These results indicated a high diversity of AM fungi in Xiamen. The effects of soil factors on colonization rate, spore density, species richness, Shannon-Wiener index (H) and evenness all varied with host plants. The colonization rate, spore density and species richness had negative correlations with pH values, available P, available N and electrical conductivity. The colonization rate and Shannon-Wiener index (H) had positive correlation with available K and evenness had positive correlation with available K, organic matter, pH and electrical conductivity. AM fungi may be a potent biological resource which can stimulate the growth of medicinal plants. This study provides a valuable germplasm and theoretical basis for AM fungal biotechnology to apply to medicinal standardization on planting.

Key Words: arbuscular mycorrhizal fungi; medicinal plant; soil factor; colonization rate; species diversity

丛枝菌根 (Arbuscular mycorrhiza, AM) 真菌是一类土壤有益真菌, 对植物具有广泛的侵染性, 它们能与 80% 以上的陆生植物形成丛枝菌根^[1]。丛枝菌根的形成能够促进植物对营养元素的吸收, 增强植物抗逆性, 缓解连作障碍, 促进药用植物有效成分的合成, 在提高宿主植物的产量和品质方面起重要作用^[2-5]。目前, 有关药用植物 AM 真菌资源、生态分布和共生关系研究倍受人们关注, 马永甫等^[6]对重庆市主产的 38 种药用植物 AM 真菌侵染状况进行研究, 结果表明有 30 种供试药用植物能够形成丛枝菌根, 占供试药用植物的 78.9%, 赵婧等^[7]调查了河北安国市 10 种药用植物根围 AM 真菌资源和分布, 结果表明 10 种药用植物均形成丛枝菌根并分离出 AM 真菌 3 属 23 种。Radhika 等^[8]对印度西高止山 36 种药用植物 AM 真菌多样性进行了研究, 结果表明 30 种药用植物能够形成丛枝菌根, 共分离出 AM 真菌 5 属 42 种, 但未见厦门地区药用植物 AM 真菌多样性方面的报道。

厦门位于东经 118°04'04"、北纬 24°26'46", 地处亚热带地区, 位于太平洋地震带左侧, 大部分由丘陵组成。厦门属亚热带气候, 温和多雨, 年平均降雨量 1200 mm, 年平均气温在 21℃ 左右, 夏无酷暑, 冬无严寒, 冬暖夏凉的气候条件为丰富多彩的药用植物生长提供了有利的生态环境。本研究通过对厦门 7 种常见药用植物 AM 真菌资源、分布及与土壤理化性质相关性的分析, 探讨该地区药用植物 AM 真菌的多样性。这将为 AM 真菌生物技术在中药材规范化种植上的应用提供宝贵种质资源和理论依据, 因此开展本地区的 AM 真菌研究工作具有重要意义。

1 材料和方法

1.1 样品采集

2010 年 10 月在厦门大帽山 (24°44'N, 118°17'E)、天竺山 (24°35'N, 117°56'E) 等样地, 通过野外调查的方法选取含笑 (*Michelia figo*)、鱼腥草 (*Houttuynia cordata* Thunb.)、盐肤木 (*Rhus chinensis*)、木芙蓉 (*Hibiscus mutabilis* L.)、喜树 (*Camptotheca acuminata* Decne.)、金樱子 (*Rosa laevigata* Michx.)、紫茉莉 (*Mirabilis jalapa* Linn.) 7 种药用植物, 每种植物随机取 6 株, 每株植物取 0—30 cm 剖面土样, 每份土样 1—2 kg, 并剪取带有细根的根系, 装袋编号带回实验室。收集的根样切成 1 cm 根段, 用于 AM 真菌侵染率测定, 土壤风干后过 2 mm

筛,用于土壤性质和 AM 真菌孢子分离和鉴定。

1.2 菌根侵染率测定

AM 真菌侵染率按 Phillips 和 Hayman^[9]方法测定。然后挑选 30 个细小根段压片,在显微镜下观察菌根结构并拍照。菌根侵染率按照 Abbot 等^[10]的方法来统计,即被侵染的根段数占镜检总根段数的百分比。按照如下公式计算菌根侵染率:

$$\text{菌根侵染率}(\%) = \text{有菌根感染的根段数} / \text{检查根段总数} \times 100\%$$

根据 AM 真菌侵染分级计算对根样侵染做出评估,估测整个样品根系被 AM 真菌侵染的营养根的数目,将评估等级分为 5 个等级,0—5% 为 1 级;6%—25% 为 2 级;26%—50% 为 3 级;51%—75% 为 4 级;76%—100% 为 5 级^[11]。

1.3 AM 真菌孢子的分离和鉴定

从每份土样中取 10 g 风干土,用湿筛倾析—蔗糖离心法分离土壤中 AM 真菌孢子^[12],在体视显微镜下观察记录孢子数量、颜色、大小、连孢菌丝特征、孢子果形态等,然后挑取孢子置于载玻片上,加不同浮载剂(水、Melzer's 试剂、PVLG(聚乙烯醇-乳酸-甘油))进行压片,在生物显微镜下测量孢子的大小、厚度,观察孢子的颜色、纹饰、类型等特征并进行拍照。鉴定中辅助使用 Melzer's 试剂观察孢子壁及内含物的特异反应,对有代表性或特异性的特征随时拍照。综合以上观察结果,根据 Schenck 等^[13]的《VA 菌根鉴定手册》及国际 AM 真菌保藏中心(INVAM)的最新分类描述(<http://invam.caf.wvu.edu>),并参阅有关鉴定材料和近年来发表的新种等进行种属鉴定。

1.4 土壤理化性质的测定

土壤有机质、碱解氮、速效磷、速效钾、电导率测定分别采用重铬酸钾氧化法、碱解扩散法、 $\text{NH}_4\text{F-HCl}$ 法、硝酸溶液浸提-火焰光度法、电导率法。pH 值测定时的水土比为 5:1^[14]。

1.5 AM 真菌多样性测定

参照张美庆等^[15]方法计算 AM 真菌丰度(SR)、密度(SD)、频度(F)、相对多度(RA)、Shannon-Wiener 多样性指数(H)和物质均匀度(J)。

孢子密度(SD)指植物根围每克土壤中所含的孢子数:

$$SD = \text{所有孢子数} / \text{土壤总样本数}$$

种的丰度(SR)指植物根围每克土壤中含有的 AM 真菌种的数目:

$$SR = \text{AM 真菌总种数} / \text{土壤总样本数}$$

频度(F)指出现频率,指该种真菌的出现次数占所有物种出现次数之和:

$$F = (\text{某属或种的出现次数} / \text{土样数}) \times 100\%$$

相对多度(RA)指种的个体数在群落总物种数中的比率:

$$RA = n(\text{某属或种的孢子数}) / N(\text{该地区 AM 真菌孢子总数}) \times 100\%$$

重要值

$$I = (F + RA) / 2$$

即分离频度和相对多度的平均值。将 AM 真菌优势度按重要值(I)划分为 3 个等级,即 $I > 50\%$ 为优势属(种), $30\% < I \leq 50\%$ 为常见属(种), $I \leq 30\%$ 为少见属(种)。

Shannon-Weiner index 物种多样性指数(H),假设有 1 个包含 N 个体的随机样本,其种 i 的个体数为 N_i ,则 $P_i = N_i / N$,故 H 可用下式估计:

$$H = - \sum_{i=1}^k (P_i \ln P_i)$$

式中,k 为某样点中 AM 真菌的种数; P_i 为该样点 AM 真菌种 i 的孢子密度占该样点总孢子密度的百分比。

物种均匀度

$$J = H / \ln S$$

式中, H 为 Shannon-Weiner 指数, S 为采样点 AM 真菌种数目。

1.6 数据分析

采用 SPSS 18.0 软件进行单因素方差 (One-Way ANOVA) 分析和用 Pearson 法对不同因子间两两相关分析。

2 结果与分析

2.1 土壤理化性质

厦门地区 7 种药用植物根围土壤理化性质见表 1, 各指标在不同的药用植物间均有较明显的差别。含笑与盐肤木速效磷的含量分别为 564.31 mg/kg、545.93 mg/kg, 显著高于其他 5 种植物; 紫茉莉速效钾的含量为 261.78 mg/kg, 显著高于其他 6 种植物; 鱼腥草的碱解氮、有机质、pH 值分别为 616.90 mg/kg、163.77 g/kg、7.14 g/kg, 均显著高于其他 6 种植物; 紫茉莉的电导率为 212.20 $\mu\text{s}/\text{cm}$, 显著高于其他 6 种植物。

表 1 7 种药用植物根围土壤基本性状

Table 1 The basic soil properties of 7 medicinal plants

植物 Plant	经度 Available	纬度 Latitude	海拔 Elevation /m	速效磷 Available P /(mg/kg)	速效钾 Available K /(mg/kg)	碱解氮 Available N /(mg/kg)	有机质 Organic matter /(g/kg)	pH	电导率 Electrical conductivity /($\mu\text{s}/\text{cm}$)
含笑 <i>M. figo</i>	E118°03.269'	N24°45.507'	31	564.31a	94.55c	394.28b	117.96b	6.61d	144.35c
鱼腥草 <i>H. cordata</i>	E118°03.269'	N24°45.507'	31	545.93a	94.27c	616.90a	163.77a	7.14a	212.20b
盐肤木 <i>R. chinensis</i>	E118°03.301'	N24°45.745'	104	57.78c	73.70d	335.38c	118.05b	5.72g	46.75e
木芙蓉 <i>H. mutabilis</i>	E117°56.654'	N24°35.600'	175	16.65d	101.54b	199.18g	106.01c	6.20e	137.10c
喜树 <i>C. acuminata</i>	E117°55.921'	N24°35.288'	170	27.91cd	50.33f	255.31f	83.39e	5.91f	50.70e
金樱子 <i>R. laevigata</i>	E118°17.407'	N24°44.774'	97	12.81d	59.66e	279.08e	79.90f	6.82c	63.45d
紫茉莉 <i>M. jalapa</i>	E118°16.297'	N24°44.636'	54	114.27b	261.78a	308.34d	87.40d	7.00b	271.40a

表中同一列数据中字母不同者表示在 0.05 水平上差异显著

2.2 AM 真菌种类分布

从表 2 可以看出, 7 种药用植物根围土壤中分离鉴定出 AM 真菌 4 属 63 种, 其中球囊霉属 (*Glomus*) 39 种、无梗囊霉属 (*Acaulospora*) 18 种、巨孢囊霉属 (*Gigaspora*) 4 种、盾巨孢囊霉属 (*Scutellospora*) 2 种, 其中球囊霉属和无梗囊霉属在 7 种植物根围均有分布, 为优势属。黑球囊霉 (*G. melanosporum*) 在 7 种药用植物根围土壤中均有分布, 为共有优势种; 凹坑无梗囊霉 (*A. excavata*)、双型球囊霉 (*G. ambisporum*)、明球囊霉 (*G. clarum*)、地球囊霉 (*G. geosporum*) 为优势种; 孔窝无梗囊霉 (*A. foveata*)、细凹无梗囊霉 (*A. scrobiculata*)、沙生球囊霉 (*G. arenarium*)、褐色球囊霉 (*G. badium*)、长孢球囊霉 (*G. dolichosporum*)、网状球囊霉 (*G. reticulatum*) 为常见种; 微白巨孢囊霉 (*G. albida*)、易误巨孢囊霉 (*G. decipiens*)、极大巨孢囊霉 (*G. gigantea*)、珠状巨孢囊霉 (*G. margarita*)、美丽盾巨孢囊霉 (*S. calospora*)、透明盾巨孢囊霉 (*S. pellucida*)、穴状无梗囊霉 (*A. cavernata*)、地表球囊霉 (*G. versiforme*) 等仅在 1 种药用植物根围分布为少见种。盐肤木根围 AM 真菌种类最多, 多达 26 种; 鱼腥草根围 AM 种类最少, 只有 9 种。

表 2 丛枝菌根真菌在 7 种药用植物根围的分布情况/(个/g 土)

Table 2 The distribution of AM fungi in the rhizosphere of 7 medicinal plants

AMF 菌种 AMF species	含笑 <i>M. figo</i>	鱼腥草 <i>H. cordata</i>	盐肤木 <i>R. chinensis</i>	木芙蓉 <i>H. mutabilis</i>	喜树 <i>C. acuminata</i>	金樱子 <i>R. laevigata</i>	紫茉莉 <i>M. jalapa</i>
<i>Gigaspora G. albida</i>		0.1					
<i>G. decipiens</i>		0.1					
<i>G. gigantea</i>		0.3					
<i>G. margarita</i>		0.1					

续表

AMF 菌种 AMF species	含笑 <i>M. figo</i>	鱼腥草 <i>H. cordata</i>	盐肤木 <i>R. chinensis</i>	木芙蓉 <i>H. mutabilis</i>	喜树 <i>C. acuminata</i>	金樱子 <i>R. laevigata</i>	紫茉莉 <i>M. jalapa</i>
<i>Scutellospora S. calospora</i>						0.1	
<i>S. pellucida</i>						0.1	
<i>Acaulospora A. bireticulata</i>	0.6			0.1			
<i>A. cavernata</i>			0.1				
<i>A. delicata</i>					0.1		
<i>A. demannii</i>					0.1		
<i>A. denticulate</i>	0.1						
<i>A. elegans</i>				0.1			
<i>A. excavata</i>		0.1	0.1	1.1			0.1
<i>A. foveata</i>	0.1		0.2		0.2		
<i>A. gedanensis</i>						1.2	
<i>A. koskei</i>			0.1				
<i>A. lacunosa</i>				4.4			
<i>A. laevis</i>	0.2						
<i>A. polonica</i>	0.8						
<i>A. rehmsii</i>			0.1				
<i>A. rugosa</i>	0.6						
<i>A. scrobiculata</i>	0.1	0.1	0.1				
<i>A. spinosa</i>		0.2					
<i>A. tuberculata</i>				0.1			
<i>Glomus G. aggregatum</i>				0.1			
<i>G. albidum</i>		1.6					
<i>G. ambisporum</i>	0.1		0.1	0.1		0.1	
<i>G. arenarium</i>			0.1		0.1	0.1	
<i>G. australe</i>			0.1				
<i>G. badium</i>			2.9		0.3	0.5	
<i>G. brohultii</i>					1.6		
<i>G. claroideum</i>							1
<i>G. clarum</i>			0.2	0.1	0.2	0.2	0.2
<i>G. clavosporum</i>					0.1		
<i>G. constrictum</i>	0.1		0.1				
<i>G. convolutum</i>	0.1						1.6
<i>G. deserticola</i>					0.1		
<i>G. diaphanum</i>			0.1			0.4	
<i>G. dimorphicum</i>				0.1	0.1		
<i>G. dolichosporum</i>					1	0.2	0.2
<i>G. dominikii</i>							0.1
<i>G. etunicatum</i>			0.3			0.7	
<i>G. fasciculatum</i>			1.7		4.1		
<i>G. fecundisporum</i>			0.1				1.4
<i>G. fragile</i>						0.1	1
<i>G. geosporum</i>	0.1		0.2	0.6	0.1	0.2	
<i>G. halonatum</i>			0.1				
<i>G. heterosporum</i>	0.1						
<i>G. intraradices</i>							0.2
<i>G. lamellosum</i>					0.1		
<i>G. luteum</i>						0.2	
<i>G. macrocarpum</i>						0.9	
<i>G. magnicaule</i>				0.3			
<i>G. manihotis</i>			0.1			0.1	

续表

AMF 菌种 AMF species	含笑 <i>M. figo</i>	鱼腥草 <i>H. cordata</i>	盐肤木 <i>R. chinensis</i>	木芙蓉 <i>H. mutabilis</i>	喜树 <i>C. acuminata</i>	金樱子 <i>R. laevigata</i>	紫茉莉 <i>M. jalapa</i>
<i>G. melanosporum</i>	1.5	5.6	20.4	4.6	2.8	3.2	1.4
<i>G. monosporum</i>			0.1				
<i>G. mosseae</i>			0.4			0.1	
<i>G. occultum</i>	0.1		0.1				
<i>G. pansihalos</i>						0.1	
<i>G. pustulatum</i>						0.4	0.1
<i>G. reticulatum</i>	0.1		0.1			0.1	
<i>G. spurcum</i>			0.1				
<i>G. versiforme</i>			1				

2.3 AM 真菌属分离频度、相对多度和重要值

由表 3 可知,球囊霉属、无梗囊霉属在 7 种药用植物中的分离频度、相对多度及重要值都较高,是 7 种植物的共有优势属。巨孢囊霉属仅在鱼腥草土样中出现,是鱼腥草的优势属;盾巨孢囊霉属仅在金樱子土样中出现,是金樱子的优势属。

表 3 7 种药用植物 AM 真菌各属的分离频度(*F*)、相对多度(*RA*)和重要值(*I*)

Table 3 The frequency (*F*), relative abundance(*RA*) and importance value(*I*) of AM fungi genera of 7 species of medicinal plants

		AM 真菌 AM fungi genera			
		<i>Acaulospora</i>	<i>Glomus</i>	<i>Gigaspora</i>	<i>Scutellospora</i>
含笑 <i>M. figo</i>	<i>F</i> /%	100	100	0	0
	<i>RA</i> /%	53.19	46.81	0	0
	<i>I</i> /%	76.60	73.40	0	0
鱼腥草 <i>H. cordata</i>	<i>F</i> /%	100	100	100	0
	<i>RA</i> /%	4.88	87.80	7.32	0
	<i>I</i> /%	52.44	93.90	53.66	0
盐肤木 <i>R. chinensis</i>	<i>F</i> /%	100	100	0	0
	<i>RA</i> /%	2.41	97.59	0	0
	<i>I</i> /%	51.21	98.79	0	0
木芙蓉 <i>H. mutabilis</i>	<i>F</i> /%	100	100	0	0
	<i>RA</i> /%	49.15	50.85	0	0
	<i>I</i> /%	74.58	75.42	0	0
喜树 <i>C. acuminata</i>	<i>F</i> /%	100	100	0	0
	<i>RA</i> /%	3.64	96.36	0	0
	<i>I</i> /%	51.82	98.18	0	0
金樱子 <i>R. laevigata</i>	<i>F</i> /%	100	100	0	100
	<i>RA</i> /%	13.33	84.44	0	2.22
	<i>I</i> /%	56.67	92.22	0	51.11
紫茉莉 <i>M. jalapa</i>	<i>F</i> /%	100	100	0	0
	<i>RA</i> /%	1.37	98.63	0	0
	<i>I</i> /%	50.68	99.32	0	0

2.4 AM 真菌多样性

侵染率、侵染等级、孢子密度、种的丰度、Shannon-Weiner 指数(*H*)、均匀度(*J*)见表 4,盐肤木、喜树、紫茉莉侵染率为 5 级,含笑为 4 级,木芙蓉、金樱子均为 2 级,鱼腥草为 1 级。喜树的侵染率最高达到 100%,鱼腥草最低只有 4.50%。盐肤木孢子密度、种的丰度分别是 29 个/g 土、26,均显著高于其他 6 种植物。金樱子

Shannon-Weiner 指数 H 最高,为 2.29,显著高于其他 6 种植物。紫茉莉、含笑均匀度最高,分别为 0.83、0.79,显著高于其他 5 种植物。含笑孢子密度最低,只有 4.7 个/g 土。鱼腥草种的丰度最低为 9。鱼腥草 Shannon-Weiner 指数 H 、均匀度均最低,分别为 1.06、0.48。

表 4 7 种药用植物 AM 真菌侵染率、侵染等级和多样性指标						
Table 4 The AMF colonization, colonization level and diversity index of 7 species of medicinal plants						
植物 Plant	侵染率/% colonization	侵染等级 colonization Level	孢子密度 Spore density Spores/g soil	种的丰度 Spore Richness	Shannon-Weiner index H	均匀度 Evenness J
含笑 <i>M. figo</i>	71.5c	4	4.7e	15c	2.14b	0.79ab
鱼腥草 <i>H. cordata</i>	4.5e	1	8.2cd	9d	1.06g	0.48d
盐肤木 <i>R. chinensis</i>	88.5b	5	29a	26a	1.29f	0.39e
木芙蓉 <i>H. mutabilis</i>	13.5d	2	11.8b	12cd	1.51e	0.61c
喜树 <i>C. acuminata</i>	100.0a	5	11b	15c	2.04c	0.75b
金樱子 <i>R. laevigata</i>	16.4d	2	9 c	20b	2.29a	0.76b
紫茉莉 <i>M. jalapa</i>	84.0b	5	7.3d	11cd	1.98d	0.83a

2.5 AM 真菌与土壤因子的相关性

药用植物根围 AM 真菌与土壤因子相关关系见表 5,侵染率与各土壤因子均无显著相关;孢子密度与 pH 值极显著负相关;种的丰度与 pH 值显著负相关、与电导率极显著负相关、与孢子密度极显著正相关;Shannon-Weiner 指数 H 与有机质极显著负相关;均匀度与有机质、孢子密度极显著负相关。

表 5 7 种药用植物 AM 真菌和土壤因子间的相关性分析								
Table 5 Correlation between AM fungi and soil factors of 7 species of medicinal plants								
	速效 P Available P	速效 K Available K	碱解 N Available N	有机质 Organic matter	pH	电导率 Electrical conductivity	侵染率 Colonization	SD Spore density
速效 P	1.000							
速效 K	0.019	1.000						
碱解 N	0.832 **	-0.008	1.000					
有机质	0.752 **	-0.129	0.864 **	1.000				
pH	0.513	0.479	0.541 *	0.256	1.000			
电导率	0.441	0.839 **	0.412	0.314	0.748 **	1.000		
侵染率	-0.188	0.193	-0.291	-0.395	-0.505	-0.183	1.000	
SD	-0.431	-0.277	-0.161	0.068	-0.719 **	-0.526	0.296	1.000
SR	-0.401	-0.436	-0.303	-0.263	-0.602 *	-0.752 **	0.336	0.734 **
H	-0.222	0.070	-0.517	-0.797 **	0.097	-0.173	0.300	-0.486
J	-0.066	0.361	-0.389	-0.670 **	0.333	0.215	0.227	-0.736 **

* 在 0.05 水平上显著相关, ** 在 0.01 水平上显著相关; SD:孢子密度,SR:种的丰度, H : Shannon-Weiner 指数, J :均匀度

3 讨论

本文首次对福建省厦门地区常见药用植物根围 AM 真菌资源进行了调查研究,从 7 种药用植物根围土壤中分离鉴定出 AM 真菌 4 属 63 种,其中球囊霉属 39 种、无梗囊霉属 18 种、巨孢囊霉属 4 种、盾巨孢囊霉属 2 种。由此可见,厦门地区药用植物根围 AM 真菌资源丰富,球囊霉属种类最多,占 61.9%,无梗囊霉属次之,占 28.6%,盾巨孢囊霉属和巨孢囊霉属所占比例很少。这与张美庆等^[16]人对我国东、南沿海 AM 真菌生态分布的研究结果相似。

厦门地区 7 种药用植物均能与 AM 真菌形成良好共生关系,但不同植物根围土壤 AM 真菌种类、孢子密度、菌根侵染率和物种多样性指标有明显差异,说明 AM 真菌与宿主植物之间有一定的偏好性,AM 真菌与宿主植物的亲和力或它们之间的相互选择性很大程度上决定着 AM 真菌的生长发育和功能,这可能与不同植物根系结构特征、分泌物质、不同真菌对营养物质需求不尽相同有关^[17-18]。

土壤因子在影响 AM 真菌侵染率的过程中,彼此间存在相互制约或相互促进的复杂关系^[19]。土壤因子

影响 AM 真菌种属组成、AM 真菌的丰度、频度以及孢子密度;AM 真菌反过来也影响宿主植物和土壤微生物及其群落多样性^[20]。AM 真菌生长发育、功能和分布受多种生态因子(包括气候因子、土壤因子、土地利用方式和其他土壤微生物等)影响。土壤 pH 值,速效 N、P、K,有机质等因子不仅直接影响植物生长发育,也可通过宿主植物间接影响 AM 真菌生长和繁殖^[21]。植物类型对 AM 真菌的产孢、侵染率、种的多样性也有影响。调查结果表明,7 种药用植物都能与 AM 真菌形成丛枝菌根共生结构,但不同药用植物菌根侵染率、孢子密度、种的丰度、物种多样性、均匀度都存在一定差异。菌根侵染率还受共生双方生物学特性及环境因子的影响。

相关性分析结果表明,侵染率与各土壤因子均无显著相关关系,这点与蔡邦平等^[22]人研究厦门地区滨海植物丛枝菌根侵染的结果相似。7 种药用植物都能与 AM 真菌形成丛枝菌根共生结构,但不同药用植物菌根侵染率存在差异。含笑、盐肤木、喜树、紫茉莉 AM 真菌定殖率较高可能与这 4 种药用植物根系分泌物有关,宿主植物根系分泌的黄酮类化合物和一些挥发性物质能够刺激孢子萌发及芽管菌丝生长,从而提高菌根侵染率^[23-24]。孢子密度与 pH 值显著负相关,是因为 pH 值能够改变土壤中 H^+ 和 OH^- 的比例以及微生物的活动,从而影响土壤养分的有效性,进而影响 AM 真菌的产孢和孢子萌发^[25]。均匀度与有机质极显著负相关,刘润进等^[26]认为在一定范围内有机质含量越高,AM 真菌种和属的种类就越多,超过一定范围,AM 真菌的分布随着有机质含量增高而减少。

侵染率、孢子密度 SD 、种的丰度 SR 、物种多样性指数 H 与速效 P、碱解氮、电导率均呈负相关。出现这些结果可能是因为植物体内 P 营养水平提高,降低了根皮层细胞质膜透性,使 AM 真菌—植物界面上传递给真菌的碳水化合物减少,真菌得不到能源物质的供应从而影响 AM 真菌生长发育和功能^[27];在含 N 丰富的土壤中会有大量硝酸根离子存在,降低了 AM 真菌产孢能力,并对菌根作用产生不同程度的影响^[29];土壤电导率与 AM 真菌有着重要影响,盐浓度过高会缩短芽管伸长,抑制菌丝分支,另外在盐胁迫条件下叶绿素含量的降低光合作用强度降低,进而减少光合产物向根部的输送,影响 AM 真菌孢子的生长和发育,侵染率、 SD 、 SR 、 H 随着电导率递增而减少^[11,28]。侵染率、孢子密度 SD 、种的丰度 SR 、与 pH 值均呈负相关,AM 真菌适宜于中性—微酸性土壤,pH 值除了对孢子发芽和菌丝生长有直接影响外,还可通过提高土壤中的一些物质的可溶性,从而对菌根形成产生间接作用,土壤 pH 值过高或过低均不利于 AM 真菌侵染和菌根形成^[29];

AM 真菌被誉为“生物肥料”,能促进药用植物生长、矿质营养吸收,能提高药用植物有效成分含量,增强抗逆性,缓解连作障碍,促进药用植物健康生长。本试验为实现 AM 真菌生物技术应用与中药材规范化种植提供宝贵种质资源和理论依据,要想将这项技术很好的应用于药用植物栽培,应进一步发掘和筛选适合药用植物生长的优良 AM 真菌菌种。

References:

- [1] Trapper J M. Phylogenetic and ecologic aspects of mycotrophy in the angiosperms from an evolutionary stand- point. //Safir G R, ed. Ecophysiology of VA Mycorrhizal Plants. Boca Raton: CRC Press, 1987, 5: 26-26.
- [2] Tahiri-Alaoui A, Lingua G, Avrova A, Sampò S, Fusconi A, Antoniwi J, Berta G. A cullin gene is induced in tomato root s forming arbuscular mycorrhizae. Canadian Journal of Botany, 2002, 80(6): 607-616.
- [3] 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.
- [4] Wang S, Tang M, Niu Z C, Zhang H Q. Relationship between AM fungi resources of rare medicinal plants and soil factors in Lishan Mountain. Acta Botanica Boreali-Occidentalia Sinica, 2008, 28(2): 355-361.
- [5] Gao A X, He X L. Ecological study on AM fungi around roots of medicinal plants in the middle area of Hebei Province. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 25(3): 196-202.
- [6] Ma Y F, Yang X H, Li P M, Tong R J. Investigation of the diversity of arbuscular mycorrhizal structure of medicinal plants in Chongqing. Journal of Southwest Agricultural University: Natural Science, 2005, 27(3): 406-409.
- [7] Zhao J, He X L. Resource and distrubition of AM fungi in the rhizosphere of medicinal plants in Anguo city of Hebei province. Journal of Agricultural University of Hebei, 2010, 33(1): 39-44.
- [8] Radhika K P, Rodrigues B F. Arbuscular mycorrhizal fungal diversity in some commonly occurring medicinal plants of Western Ghats, Goa region. Journal of Forestry Research, 2010, 21(1): 45-52.

- [9] 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.
- [10] Abbot L K, Robson A D. Formation of external hyphae in soil by four species of vesicular-arbuscular mycorrhizal fungi. *New Phytologist*, 1985, 99(2): 245-255.
- [11] Liu R J, Chen Y L. *Mycorrhizology*. Beijing: Science Press, 2007.
- [12] Daniels B A, Skipper H D. Methods for the recovery and quantitative estimation of propagules from soil // Schenck N C, ed. *Methods and Principles of Mycorrhizal Research*. American Society for Phytopathology, 1982: 29-37.
- [13] Schenck N C, Perez Y. *Manual for the Identification of VA Mycorrhizal Fungi*. 2nd ed. INVAM, USA, Gainesville; University of Florida, 1989.
- [14] Bao S D. *Soil and Agricultural Chemistry Analysis*. Beijing: China Agricultural Press, 2000.
- [15] Zhang M Q, Wang Y S, Xing L J. The ecological distribution of AM fungi community in south and east coast of China. *Mycosystema*, 1998, 17(3): 274-277.
- [16] Zhang M Q, Wang Y S, Xing L J. The regional distribution of AM fungi in the east and south coast of China. *Mycosystema*, 1999, 18(2): 145-148.
- [17] Dhillion S S, Gardsjord T L. Arbuscular mycorrhizas influence plant diversity, productivity, and nutrients in boreal grasslands. *Canadian Journal of Botany*, 2004, 82(1): 104-114.
- [18] Burrows R L, Pfleger F L. Host responses to AMF from plots differing in plant diversity. *Plant and Soil*, 2002, 240(1): 169-179.
- [19] Zhang H Q, Tang M, Zhang H H. Influences of soil factors on diversity and colonization of AM fungi in the rhizosphere of *C. Korshinsk* II and *H. Rhamnoides*. *Acta Pedologica Sinica*, 2009, 46(4): 721-724.
- [20] Wang X Y, Wang D M. The study of ecological effect of the interaction between AMF and soil nutrient. *Northern Horticulture*, 2009, (6): 111-115.
- [21] An X J, He X L. Influence of soil factors on arbuscular mycorrhizal fungal infections of four legumes species in Maowusu sandy land. *Journal of Agricultural University of Hebei*, 2007, 30(1): 45-48.
- [22] Cai B P, Huang Y J, Dong Y R, Zhang X Y. Study on Arbuscular mycorrhizal Colonization with coastal plants in Xiamen. *The Botanical Gardens of China*, 2010, (13): 57-64.
- [23] Zhang Y, Xie L Y, Xiong B Q, Zeng M, Yu D. Correlation between the growth of arbuscular mycorrhizal fungi in the rhizosphere and the flavonoid content in the root of *Ginkgo Biloba*. *Mycosystema*, 2004, 23(1): 133-138.
- [24] Bécard G, Piche Y. Establishment of Vesicular-arbuscular mycorrhizae in root organ culture: review and proposed methodology. *Methods in Microbiology*, 1992, 24: 89-108.
- [25] van Aarle I M, Olsson P A, Söderström B. Arbuscular mycorrhizal fungi respond to the substrate pH of their extraradical mycelium by altered growth and root colonization. *New Phytologist*, 2002, 155(1): 173-182.
- [26] Liu R J, Liu P Q, Xu K, Lü Z F. Ecological distribution of arbuscular mycorrhizal fungi in saline alkaline soils of China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1999, 10(6): 721-724.
- [27] Feng H Y, Feng G, Wang J G, Li X L. Regulation of P status in host plant on alkaline phosphatase (ALP) activity in intraradical hyphae and development of extraradical hyphae of AM fungi. *Mycosystema*, 2003, 22(4): 589-598.
- [28] Jahromi F, Aroca R, Porcel R, Ruiz-Lozano J M. Influence of salinity on the in vitro development of *Glomus intraradices* and on the in vivo physiological and molecular responses of mycorrhizal lettuce plants. *Microbial Ecology*, 2008, 55(1): 45-53.
- [29] Liu R J, Li X L. *Arbuscular Mycorrhiza and Its Application*. Beijing: Science Press, 2000.

参考文献:

- [3] 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.
- [4] 王森, 唐明, 牛振川, 张好强. 山西历山珍稀药用植物 AM 真菌资源与土壤因子的关系. *西北植物学报*, 2008, 28(2): 355-361.
- [5] 高爱霞, 贺学礼. 河北中部药用植物 AM 真菌生态学. *干旱地区农业研究*, 2007, 25(3): 196-202.
- [6] 马永甫, 杨晓红, 李品明, 全瑞建. 重庆市主产药用植物丛枝菌根结构多样性研究. *西南农业大学学报: 自然科学版*, 2005, 27(3): 406-409.
- [7] 赵婧, 贺学礼. 河北省安国市药用植物 AM 真菌资源和分布研究. *河北农业大学学报*, 2010, 33(1): 39-44.
- [11] 刘润进, 陈应龙. *菌根学*. 北京: 科学出版社, 2007.
- [14] 鲍士旦. *土壤农化分析*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [15] 张美庆, 王幼珊, 邢礼军. 我国东、南沿海地区 AM 真菌群落生态分布研究. *菌物系统*, 1998, 17(3): 274-277.
- [16] 张美庆, 王幼珊, 邢礼军. AM 真菌在我国东、南沿海各土壤气候带的分布. *菌物系统*, 1999, 18(2): 145-148.
- [19] 张好强, 唐明, 张海涵. 土壤因子对柠条和沙棘根际 AM 真菌多样性及侵染状况的影响. *土壤学报*, 2009, 46(4): 721-724.
- [20] 王晓英, 王冬梅. 丛枝菌根真菌与土壤养分交互作用的生态效应研究. *北方园艺*, 2009, (6): 111-115.
- [21] 安秀娟, 贺学礼. 土壤因子对毛乌素沙地豆科植物 AM 真菌侵染的影响. *河北农业大学学报*, 2007, 30(1): 45-48.
- [22] 蔡邦平, 黄耀坚, 董怡然, 张秀英. 厦门地区滨海植物丛枝菌根侵染的研究. *中国植物园*, 2010, (13): 57-64.
- [23] 张勇, 谢丽源, 熊丙全, 曾明, 余东. 银杏根际丛枝菌根真菌生长与根系黄酮含量的相关性研究. *菌物学报*, 2004, 23(1): 133-138.
- [26] 刘润进, 刘鹏起, 徐坤, 吕志范. 中国盐碱土壤中 AM 真菌的生态分布. *应用生态学报*, 1999, 10(6): 721-724.
- [27] 冯海艳, 冯固, 王敬国, 李晓林. 植物磷营养状况对丛枝菌根真菌生长及代谢活性的调控. *菌物系统*, 2003, 22(4): 589-598.
- [29] 刘润进, 李晓林. *丛枝菌根及其应用*. 北京: 科学出版社, 2000.

CONTENTS

Responses of sandy beach nematodes to oxygen deficiency: microcosm experiments	HUA Er, LI Jia, DONG Jie, et al (3975)
Allometric relationship between mean component biomass and density during the course of self-thinning for <i>Fagopyrum esculentum</i> populations	LI Lei, ZHOU Daowei, SHENG Lianxi (3987)
Automatic site selection of sight-seeing route in ecotourism destinations based on landscape perception sensitivity	LI Jifeng, LI Renjie (3998)
Emergy evaluation for sustainability of Biogas-linked agriculture ecosystem: a case study of Gongcheng county	YANG Jin, CHEN Bin, LIU Gengyuan (4007)
Spatial heterogeneity of vegetation coverage and its temporal dynamics in desert steppe, Inner Mongolia	YAN Liang, ZHOU Guangsheng, ZHANG Feng, et al (4017)
Soil conservation value flow processes of two typical grasslands	PEI Sha, XIE Gadi, LI Shimei, et al (4025)
Spatial distribution of carbon storage in a 13-year-old <i>Pinus massoniana</i> forest ecosystem in Changsha City, China	WU Tao, PENG Chonghua, TIAN Dalun, et al (4034)
Colonization rate and diversity of AM fungi in the rhizosphere of seven medicinal plants in Xiamen	JIANG Pan, WANG Mingyuan (4043)
Effects of Cd, Low Concentration Pb/Cd on the contents of phenolic acid and simple glucides exuding from winter wheat seedlings root and the relationship between them and rhizosphere soil microbial activity	JIA Xia, DONG Suiming, ZHOU Chunjuan (4052)
The community structure of laccase-like multicopper oxidase-producing bacteria in soil of Liangshui Nature Reserve	ZHAO Dan, GU Huiqi, CUI Daizong, et al (4062)
Effects of soil rhizosphere microbial community and soil factors on arbuscular mycorrhizal fungi in different salinized soils	LU Xinping, DU Qian, YAN Yongli, et al (4071)
The effects of inoculation with phosphate solubilizing bacteria <i>Bacillus megaterium</i> C4 in the AM fungal hyphosphere on soil organic phosphorus mineralization and plant uptake	ZHANG Lin, DING Xiaodong, WANG Fei, et al (4079)
Soil carbon, nitrogen and phosphorus ecological stoichiometry of <i>Phragmites australis</i> wetlands in different reaches in Minjiang River estuary	WANG Weiqi, WANG Chun, ZENG Congsheng, et al (4087)
Dynamics of soil microbial biomass during early fine roots decomposition of three species in alpine region	WU Zhichao, WU Fuzhong, YANG Wanqin, et al (4094)
Effects of simulated precipitation on apparent carbon flux of biologically crusted soils in the Gurbantunggut Desert in Xinjiang, Northwestern China	WU Lin, SU Yangui, ZHANG Yuanming (4103)
Changes in photosynthetic properties, ultrastructure and root vigor of <i>Dendrobium candidum</i> tissue culture seedlings during transplantation	PU Xiaozhen, YIN Chunying, ZHOU Xiaobo, et al (4114)
Analysis of dry matter accumulation and translocation for winter wheat cultivars with different yields on dryland	ZHOU Ling, WANG Zhaoxue, LI Fucui, et al (4123)
Impact evaluation of low temperature to yields of maize in Northeast China based on crop growth model	ZHANG Jianping, WANG Chunyi, ZHAO Yanxia, et al (4132)
Spatiotemporal variations in the reference crop evapotranspiration on the Loess Plateau during 1961—2009	LI Zhi (4139)
Eco-physiological responses of <i>Phragmites australis</i> to different water-salt conditions in Momoge Wetland	DENG Chunnuan, ZHANG Guangxin, LI Hongyan, et al (4146)
Comparative study of different earthworm sampling methods	FAN Ruqin, ZHANG Xiaoping, LIANG Aizhen, et al (4154)
Geographic variation in longevity and fecundity of the Asian corn borer, <i>Ostrinia furnacalis</i> Guenée (Lepidoptera: Crambidae)	TU Xiaoyun, CHEN Yuansheng, XIA Qinxin, et al (4160)
Analysis on grasshopper spatial heterogeneity and pattern of natural grass in upper reaches of Heihe	ZHAO Chengzhang, LI Lili, WANG Dawei, et al (4166)
Inhibition effects of ethyl acetate extracts of <i>Momordica charantia</i> leaves on the experimental population of <i>Spodoptera litura</i>	LOU Ying, LING Bing, XIE Jiefeng, et al (4173)
Feeding habits of <i>Lateolabrax maculatus</i> in Yangtze River estuary	HONG Qiaoqiao, ZHUANG Ping, YANG Gang, et al (4181)
Genetic structure of <i>Gymnodontichus pachycheilus</i> from the upper reaches of the Yellow River as inferred from mtDNA control region	SU Junhu, ZHANG Yanping, LOU Zhongyu, et al (4191)
Toxicity mechanism of Cadmium-induced reactive oxygen species and protein oxidation in testes of the frog <i>Rana nigromaculata</i>	CAO Hui, SHI Cailei, JIA Xiuying (4199)
The diversity of scarab beetles in grassland cattle dung from North China	FAN Sanlong, FANG Hong, GAO Chuanbu, et al (4207)
Spatial relationships among <i>Empoasca vitis</i> (Gothé) and <i>Toxoptera aurantii</i> (Boyer) and natural enemies in tea gardens of autumn-winter season in Hefei suburban	YANG Lin, GUO Hua, BI Shoudong, et al (4215)
Effects of vegetation, elevation and human disturbance on the distribution of large- and medium-sized wildlife: a case study in Jiuzhaigou Nature Reserve	ZHANG Yue, LEI Kaiming, ZHANG Yuke, et al (4228)
Research of typical EIPs based on the social network analysis	YANG Lihua, TONG Lianjun (4236)
Exergy-based life cycle accounting of household biogas system: a case study of Gongcheng, Guangxi	QI Jing, CHEN Bin, DAI Jing, et al (4246)
Review and Monograph	
The effects of changes in hydrological regimes and salinity on wetland vegetation: a review	ZHANG Guangxin (4254)
Advances in research on the seed bank of a saline-alkali meadow in the Songnen Plain	MA Hongyuan, LIANG Zhengwei, LÜ Bingsheng, et al (4261)
A new landscape expansion index: definition and quantification	WU Pengfei, ZHOU Demin, GONG Huili (4270)
Scientific Note	
Response of photosynthetic characteristics of <i>Psathyrostachys huashanica</i> Keng to drought stress	LI Qian, WANG Ming, WANG Wenwen, et al (4278)
The antifouling activities of <i>Callispongia</i> sponge extracts	CAO Wenhao, YAN Tao, LIU Yonghong, et al (4285)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,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,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 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 13 期 (2012 年 7 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 13 (July, 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:100071	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