

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

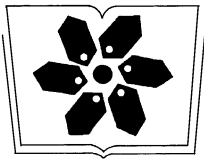
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第1期 Vol.33 No.1 **2013**

中国生态学会
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 33 卷 第 1 期 2013 年 1 月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 生态整合与文明发展..... 王如松 (1)
- 干旱半干旱区坡面覆被格局的水土流失效应研究进展 高光耀,傅伯杰,吕一河,等 (12)
- 城市林木树冠覆盖研究进展 贾宝全,王 成,邱尔发,等 (23)
- 环境质量评价中的生物指示与生物监测 Bernd Markert,王美娥,Simone Wünschmann,等 (33)
- 水溶性有机物电子转移能力及其生态效应 毕 冉,周顺桂,袁 田,等 (45)

个体与基础生态

- 凋落物和增温联合作用对峨眉冷杉幼苗抗氧化特征的影响 杨 阳,杨 燕,王根绪,等 (53)
- 不同浓度 5-氨基乙酰丙酸(ALA)浸种对 NaCl 胁迫下番茄种子发芽率及芽苗生长的影响
..... 赵艳艳,胡晓辉,邹志荣,等 (62)
- 缺镁胁迫对纽荷尔脐橙叶绿素荧光特性的影响 凌丽俐,彭良志,王男麒,等 (71)
- 松嫩草地 66 种草本植物叶片性状特征..... 宋彦涛,周道玮,王 平,等 (79)
- 花蜜中酚类物质对群落中同花期植物传粉的影响..... 赵广印,李建军,高 洁 (89)
- 桉树枝瘿姬小蜂连续世代种群生命表..... 朱方丽,邱宝利,任顺祥 (97)

种群、群落和生态系统

- 蒙古栎地理分布的主导气候因子及其阈值 殷晓洁,周广胜,隋兴华,等 (103)
- 河静黑叶猴果实性食物组成、选择及其对种子的扩散作用..... 阮海河,白 冰,李 宁,等 (110)
- 2010 秋季东海今生颗石藻的空间分布 靳少非,孙 军,刘志亮 (120)
- OPRK1 基因 SNP 与梅花鹿日间行为性状的相关性 吕慎金,杨 燕,魏万红 (132)
- 鄱阳湖流域非繁殖期鸟类多样性 邵明勤,曾宾宾,徐贤柱,等 (140)
- 人工巢箱条件下两种山雀鸟类的同域共存机制 李 乐,张 雷,殷江霞,等 (150)
- 桉-栎不同混合比例凋落物分解过程中土壤动物群落动态 李艳红,杨万勤,罗承德,等 (159)
- 三峡库区生态系统服务功能重要性评价 李月臣,刘春霞,闵 婕,等 (168)

景观、区域和全球生态

- 黄土高原小流域不同地形下土壤有机碳分布特征 李林海,郜二虎,梦 梦,等 (179)
- 海岸带地理特征对沉水植被丰度的影响..... 吴明丽,李叙勇,陈年来 (188)
- 玛纳斯河流域扇缘带不同植被类型下土壤物理性质 曹国栋,陈接华,夏 军,等 (195)

资源与产业生态

- 农田开垦对三江平原湿地土壤种子库影响及湿地恢复潜力 王国栋,Beth A Middleton,吕宪国,等 (205)
- 漫溢干扰过程中微地形对幼苗定居的影响 安红燕,徐海量,叶 茂,等 (214)
- 黑龙江流域夏玉米产量提升限制因素 徐丽娜,陶洪斌,黄收兵,等 (222)
- 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性 慕东艳,吕国忠,孙晓东,等 (229)

桑沟湾养殖生态系统健康综合评价 傅明珠,蒲新明,王宗灵,等 (238)

城乡与社会生态

基于“OOAO 原则”的罗源湾生态质量状况综合评价 吴海燕,吴耀建,陈克亮,等 (249)

四十里湾营养状况与浮游植物生态特征 李 斌,白艳艳,邢红艳,等 (260)

生态足迹深度和广度:构建三维模型的新指标 方 恺 (267)

中国东西部中小城市景观格局及其驱动力 齐 杨,邬建国,李建龙,等 (275)

研究简报

南海陆坡沉积物细菌丰度预测 李 涛,王 鹏 (286)

浑善达克沙地榆树疏林幼苗更新空间格局 刘 振,董 智,李红丽,等 (294)

光 and 不同打破种子休眠方法对紫茎泽兰种子萌发及幼苗状态的影响 姜 勇,李艳红,王文杰,等 (302)

学术争鸣

关于植物群丛划分的探讨 邢韶华,于梦凡,杨立娟,等 (310)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 35 * 2013-01



封面图说:外来入侵物种紫茎泽兰——紫茎泽兰约于 20 世纪 40 年代由缅甸传入中国云南南部后迅速蔓延,现已在云南、贵州、四川、广西、重庆、湖北、西藏等省区广泛分布和危害,并仍以每年大约 30 km 的速度扩散。紫茎泽兰为多年生草本或亚灌木,号称“植物界杀手”。其对环境的适应性极强,疯长蔓延,能极大耗损土壤肥力。它的植株能释放多种化感物质,排挤其他植物生长而形成单优种群,它破坏生物多样性,威胁到农作物、畜牧草甚至林木,且花粉能引起人类过敏性疾病等,目前尚无有效治理对策。

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

DOI: 10.5846/stxb201109061305

慕东艳, 吕国忠, 孙晓东, 王娜, 赵志慧. 黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性. 生态学报, 2013, 33(1): 0229-0237.

Mu D Y, Lü G Z, Sun X D, Wang N, Zhao Z H. Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 0229-0237.

黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性

慕东艳^{1,2}, 吕国忠^{2,*}, 孙晓东², 王娜^{1,2}, 赵志慧²

(1. 辽宁师范大学生命科学学院, 大连 116029; 2. 大连民族学院环境与资源学院, 大连 116600)

摘要: 为了解黑龙江省药用植物根际土壤真菌的种群结构和区系分布特点, 于 2010 年 7 月份和 10 月份, 在黑龙江省的伊春、铁力、绥化、哈尔滨、牡丹江和佳木斯 6 个中药材产区共采集土壤样品 220 份, 所采集的药用植物种类主要有五味子、平贝母、刺五加、党参、防风、柴胡、桔梗、黄芩等 14 种。经稀释平板法和土壤颗粒平板法分离共获得 1016 株真菌, 经形态鉴定归为 35 属 86 种, 其中接合菌 7 属 10 种, 占 7.78%; 子囊菌 1 属 2 种, 占 0.69%; 无性型真菌 27 属 74 种, 占 70.76%, 其余 20.77% 的菌株为不产孢真菌。试验结果表明, 黑龙江省药用植物根际土壤真菌的种群多样性丰富, 其中青霉属 *Penicillium*、曲霉属 *Aspergillus*、木霉属 *Trichoderma*、镰孢菌属 *Fusarium* 是优势种群, 粘帚霉属 *Gliocladium*、金孢属 *Chrysosporium*、毛霉属 *Mucor*、枝孢属 *Cladosporium*、枝顶孢属 *Acremonium*、根霉属 *Rhizopus* 是亚优势种群。不同药用植物根际土壤真菌区系的结构和组成存在一定的差异。除无孢类群外, 青霉属 *Penicillium*、曲霉属 *Aspergillus*、木霉属 *Trichoderma* 和镰孢菌属 *Fusarium* 是 14 种药用植物根际土壤真菌的优势菌群。五味子、平贝母和柴胡是黑龙江省种植的主要中药材, 它们在 6 个采样地点间的真菌种群的多样性水平存在差异, 其中伊春地区的多样性指数 ($H' = 2.9574$) 和丰富度指数 ($R = 5.6683$) 最高, 而佳木斯地区的均匀度指数 ($J = 0.9200$) 最高。不同地区的相似性水平也存在差异, 其中牡丹江与绥化的药用植物根际土壤真菌种群组成之间的相似性系数最高 ($C_j = 0.6315$), 牡丹江与哈尔滨的相似性最低 ($C_j = 0.3704$)。

关键词: 药用植物; 土壤真菌; 优势菌群; 多样性指数; 相似性系数

Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province

MU Dongyan^{1,2}, LÜ Guozhong^{2,*}, SUN Xiaodong², WANG Na^{1,2}, ZHAO Zhihui²

1 College of Life Science, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China

2 College of Environment and Resources, Dalian Nationalities University, Dalian 116600, China

Abstract: Heilongjiang Province is one of the major medicinal plant-growing areas in China. In order to understand the population structure and distribution characteristics of fungal species in rhizosphere soil of cultivated medicinal plants, the authors investigated and collected 220 rhizosphere soil samples in the fields of 14 medicinal plants grown in Yichun, Tieli, Suihua, Harbin, Mudanjiang and Jiamusi regions of Heilongjiang Province during July to October, 2010. The mainly investigated medicinal plants included *Acanthopanax senticosus*, *Anemarrhena asphodeloides*, *Arctium lappa*, *Belamcanda chinensis*, *Bupleurum chinense*, *Carthamus tinctorius*, *Codonopsis pilosula*, *Dioscorea nipponica*, *Fritillaria ussuriensis*, *Leonurus artemisia*, *Platycodon grandiflorus*, *Saposhnikovia divaricata*, *Schisandra chinensis*, and *Scutellaria baicalensis*. In this paper, we took the traditional morphological methods to identify fungal species. This study is aimed at the following three aspects: to investigate the detailed species and distribution pattern of sporulating fungi in rhizosphere soil of cultivated medicinal plants in six regions of Heilongjiang Province, to analyze the fungal diversity in rhizosphere soil of different medicinal plants, to collect potentially economic fungal resources, and to understand ecological characteristics of

基金项目: 国家自然科学基金 (30770009, 31170020)

收稿日期: 2011-09-06; 修订日期: 2012-08-22

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: lvgz@dlnu.edu.cn

rhizosphere soil fungi of medicinal plants in the studied areas.

After fungal isolation by means of soil dilution plate and soil particle plate and culture on standard media, totally 1016 fungal isolates were obtained. Based on colony and spore production, 86 fungal species belonging to 35 genera were morphologically identified, including ten species in seven genera of Zygomycetes (7.78%), two species in one genus of Ascomycetes (0.69%), and 74 species in 27 genera of anamorphic fungi (70.76%), the left 20.77% of all isolates were sterile on media. The results indicated that plentiful fungal diversity was present in the cultivated medicinal plant rhizosphere soil in Heilongjiang Province. Of which the species in *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma* and *Fusarium* were the predominant groups of fungi, their relative isolating frequencies were 16.93%, 14.76%, 8.46% and 6.69% respectively. The species of *Gliocladium*, *Chrysosporium*, *Mucor*, *Cladosporium*, *Acremonium* and *Rhizopus* were the subdominant groups, their relative frequencies were 5.02%, 4.23%, 4.13%, 3.74%, 2.36% and 2.26% respectively. The fungal population structures and compositions were different in the rhizosphere soil of all the medicinal plants. *Penicillium*, *Aspergillus*, *Trichoderma* and *Fusarium* occurred in all the 14 investigated medicinal plants, and they were the predominant groups, but their distribution frequencies were different in different medicinal plants. The plentiful fungal isolates of *Trichoderma* and *Gliocladium* cultured from the rhizosphere soil of various medicinal plants were of economical significance for bio-control of medicinal plants soil-borne diseases and bio-transformation of Chinese herbal medicines.

The medicinal plants of *Schisandra chinensis*, *Fritillaria ussuriensis* and *Bupleurum chinense* were most extensively cultivated in Heilongjiang Province, and the fungal diversities in the rhizosphere soil of the above three medicinal plants all grown in six investigated regions were significantly different. Yichun was the highest in Shannon diversity index ($H' = 2.9574$) and Margalef richness index ($R = 5.6683$). Jiamusi was the highest in Pielou evenness index ($J = 0.9200$). The fungal diversities in the six regions were different in similarity. It ranged from 0.3704 to 0.6315, and of which the similarity coefficient of fungal populations in medicinal plant rhizosphere soil was higher ($C_j = 0.6315$) for Mudanjiang and Suihua, while it was lower for Mudanjiang and Harbin ($C_j = 0.3704$). Our results showed that the factors such as cropping patterns of medicinal plants, climate and soil environment evidently affected the fungal diversity and similarity in the rhizosphere soil of medicinal plants.

Key Words: Medicinal plant; soil fungus; predominant population; diversity index; similarity coefficient

植物根际土壤中通常生长着大量各种类型的微生物,包括细菌、真菌、放线菌等^[1]。其中许多微生物能通过固氮作用,促进磷等矿物质营养的吸收以及抑制土传病原体等方式促进植物的生长和发育,保护植物健康生长^[2]。但是,某些微生物却以植物根系作为侵染点侵染植物,从而对植物的生长造成危害,包括某些致病真菌、卵菌、细菌和线虫等。这些土传致病菌在时间和空间上的传播对于植物的生长造成了极大的危害。另外,植物根际土壤中各种有益微生物通过竞争、拮抗与重寄生等作用有效地抑制了土传病害的发生与传播。植物根际有益微生物和有害微生物之间的生态关系对于植物健康生长与发育发挥着巨大的不可替代的作用^[3-5]。

黑龙江省是我国中药材主要产区之一,其中药材的产销总量占到全国的 15% 左右,其所产北药也因其质量好而畅销国内外。特别是五味子、平贝母和柴胡的人工栽培地区广泛,栽培面积大,产量高。近年来,随着药用植物种植面积的增加以及连作或复种面积的不断扩大,随之而产生的土传病害也越来越严重,已经成为生产中的难点问题^[6]。大多数名贵中药材的药用部位是根及根茎等地下部分,而土传病原菌则侵染和危害中药材的根部,引起根部病害,严重影响中药材的质量和产量,并造成重要经济损失^[7-8]。

随着药用植物病害危害的不断加重,药农使用化学农药的种类和剂量不断增加,不仅污染了环境,而且造成中药材农药残留量严重超标,严重影响药材质量,不利于药材的加工甚至出口。利用拮抗真菌防治药用植物土传病害不仅是生产无公害和优质中药材的保证,同时也能够保持生态平衡,实现农业可持续发展^[9]。由

于不同的药用植物或同一药用植物的不同生长期其根系分泌物不同,其根际微生物种类、数量和优势菌种均不同。研究药用植物根际土壤真菌多样性,从中可以筛选到更多拮抗真菌或有益真菌,为研制生防菌剂和开展药用植物根际土传病害的生物防治提供生防菌种资源保障。另外,在药用植物根际土壤中蕴藏着大量具有生物转化能力的真菌种类,可用于中药活性成分的生物转化^[10]。因此,研究不同的药用植物根际土壤真菌的多样性具有重要的理论研究和实际应用价值。

本研究采用传统的形态学方法对分离自黑龙江省多种药用植物根际土壤的真菌进行鉴定,并对其种群组成和生态分布进行统计与分析。本文研究的首要目的是要明确黑龙江省药用植物根际土壤真菌的种类资源及区系分布特点,同时为筛选针对药用植物土传病害的拮抗生防菌株和具有生物转化功能的菌株提供丰富真菌资源。

1 材料与方法

1.1 土壤样品的采集

在2010年7月份和10月份,对黑龙江省伊春、铁力、绥化、哈尔滨、牡丹江、佳木斯等6个地区栽培的药用植物的根际土壤进行取样,共采集土壤样品220份(表1),采集的药用植物种类有五味子、平贝母、刺五加、防风、党参、柴胡、黄芩、桔梗、穿山龙、牛蒡、知母、射干、益母草和红花,共14种。采样方法为三点或五点混合采样法。土壤样品为采自粘附在不同药用植物根系上和受根系分泌物影响的土壤颗粒,即根际土壤。在某一地区某种药用植物种植区内选取3个或5个(根据种植面积来选取)采集点,采样前除去药用植物主根系周围土壤表层的枯枝落叶等杂物后,将表层2—3 cm的土层(即未粘附在主根系上的土壤)铲去,然后选取距植物主根系表面0—1 cm范围内,沿主根系2—15 cm深处土层范围内的土壤样品(即受植物根系分泌物影响的土壤)进行采集,多点采集的土壤样品经充分混合后取约100 g土壤装入无菌的塑料袋中,并记录采样时间、地点和采集样品种类,带回实验室后立即进行真菌的分离。

表1 黑龙江省药用植物根际土壤样品的采集地点

Table 1 The rhizosphere soil sampling regions of medicinal plants grown in Heilongjiang Province

采样地点 Sampling region	药用植物种类 The investigated medicinal plants	土壤样品总数 Amount of soil samples
伊春	五味子、平贝母、柴胡、射干、牛蒡、黄芩、防风	35
铁力	五味子、平贝母、柴胡、穿山龙、益母草、射干、黄芩、知母、防风	41
绥化	五味子、平贝母、柴胡、益母草、牛蒡、红花、党参	35
哈尔滨	五味子、平贝母、柴胡、穿山龙、刺五加、牛蒡、桔梗、知母、黄芩、防风	46
牡丹江	五味子、平贝母、柴胡、益母草、刺五加、龙胆草、桔梗、党参	38
佳木斯	五味子、平贝母、柴胡、益母草、射干	25

五味子、平贝母和柴胡在各地区均各采集了5份土样

1.2 土壤真菌的分离

采用稀释平板法和土壤颗粒平板法进行土壤真菌的分离,分离培养基为孟加拉红培养基。(1)稀释平板法:称取10 g土壤样品放入装有90 mL无菌水的三角瓶中,将三角瓶置于摇床上振荡25—30 min,使土壤颗粒均匀分散于无菌水中,得到稀释倍数为10的土壤悬浮液,从中吸取1 mL移入装有9 mL无菌水的试管中,充分振荡混匀,为稀释倍数 10^2 的悬浮液,再吸取 10^{-2} 稀释液1 mL,移入装有9 mL无菌水的试管中,混匀后即成稀释倍数为 10^3 的悬浮液;依此类推,制成 10^{-4} 的土壤稀释液。吸取 10^{-2} 、 10^{-3} 、 10^{-4} 稀释液1 mL置于培养皿中,每个稀释度重复2次,与已熔化并冷却至40℃左右的孟加拉红培养基混合均匀,然后置于25℃恒温培养箱中培养。(2)土壤颗粒平板法:用灭菌的小扁勺取土样0.005 g左右,分散、弄碎后,将其均匀散布在凝固了的孟加拉红培养基上,每个土样重复2次,然后将培养皿置于25℃恒温培养箱内培养。5—7 d后,对分离到的真菌菌落进行计数和分析,将单个菌落挑出纯化并保存菌种。

1.3 土壤真菌的纯化与鉴定

通过尖端菌丝挑取法,将在孟加拉红平板培养基上生长出的不同形态和颜色的真菌菌落转接入PDA培

培养基或其它标准培养基(SNA、SMA、CYA、CA、MEA、PCA 培养基等)上进行纯化培养,于 25 ℃ 恒温培养箱中培养 5—15 d 后,在光学显微镜下进行显微形态观察,参照相关真菌分类文献^[11-16]进行真菌形态鉴定。

1.4 数据处理

分离频率用于比较和判断真菌的优势种群,分离频率的计算公式:

$$\text{分离频率}(\%) = \text{某一分离物的总数(株)} / \text{所有分离物总数(株)} \times 100\%$$

真菌种群的多样性水平通过 Shannon 多样性指数(H')、Pielou 均匀度指数(J)和 Margalef 丰富度指数(R)进行分析:

$$\text{Shannon 多样性指数} \quad H' = - \sum P_i \ln P_i \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n)$$

$$\text{Pielou 均匀度指数} \quad J = H' / \ln S$$

$$\text{Margalef 丰富度指数} \quad R = (S - 1) / \ln N$$

式中, P_i 是第 i 种的个体数占总个体数的比例,可以用 $P_i = N_i / N$ 求出, N_i 为第 i 种物种个体数, N 为总个体数, S 为每个样品中的物种总数。

Jaccard 相似性指数

$$C_j = c / (a + b - c)$$

式中, a, b 分别为两种生境类型中真菌的种数或属数, c 为两种生境类型中共有的真菌种数或属数,用于比较两个生境中真菌种类组成的相似程度。根据 Jaccard 相似性系数原理:当 C_j 为 0.00—0.25 时,为极不相似;当 C_j 为 0.25—0.50 时,为中等不相似;当 C_j 为 0.50—0.75 时,为中等相似;当 C_j 为 0.75—1.00 时,为极相似。

2 结果与分析

2.1 黑龙江省药用植物根际土壤真菌的种类与数量组成特点

通过对黑龙江省 6 个地区的 14 种药用植物根际土壤真菌的分离培养,共分离得到真菌 1016 株,其中 805 株真菌经形态鉴定明确到种级分类单位,它们属于 35 属 86 种(表 2)。而其它 211 株为培养条件下不产生子实体结构而无法明确其分类地位的真菌,统一归入无孢类群,根据菌落及菌丝形态特征,将它们初步归为 5 个类群组。试验中经分离和鉴定出的真菌种类分别是接合菌门的被孢霉属 *Mortierella*、毛霉属 *Mucor*、小克银汉霉属 *Cunninghamella*、犁头霉属 *Absidia*、孢球托霉属 *Gongronella*、根霉属 *Rhizopus*、接霉属 *Zygorhynchus* 共 7 属 10 种,占总菌株数的 7.78%;子囊菌门的毛壳属 *Chaetomium*,即 1 属 2 种,占 0.69%;无性型真菌的 27 属 74 种,占 70.76%,分别是青霉属 *Penicillium* 14 个种,曲霉属 *Aspergillus* 12 个种,木霉属 *Trichoderma* 8 个种,镰孢菌属 *Fusarium* 5 个种,金孢属 *Chrysosporium* 4 个种,轮枝菌属 *Verticillium* 3 个种,枝顶孢属 *Acremonium*、腐质霉属 *Humicola*、枝孢属 *Cladosporium*、粘帚霉属 *Gliocladium*、漆斑菌属 *Myrothecium*、拟青霉属 *Paecilomyces*、帚霉属 *Scopulariopsis* 各 2 个种,链格孢属 *Alternaria*、节菱孢属 *Arthrrium*、白僵菌属 *Beauveria*、单孢霉属 *Chloridium*、外瓶霉属 *Exophiala*、膝梗孢属 *Gonytrichum*、白地霉属 *Geotrichum*、粘束孢属 *Graphium*、丝蕈霉属 *Papulaspora*、茎点霉属 *Phoma*、毛癣菌属 *Trichophyton*、毛束霉属 *Trichurus*、沃德霉属 *Wardomyces*、枝穗霉属 *Clonostachys* 各 1 个种。

在分离获得的各土壤真菌类群中,无孢类群真菌数量最多,占菌株总数的 20.77%,是黑龙江省栽培药用植物根际土壤中的最大的未知种类的真菌类群。*Penicillium*、*Aspergillus*、*Trichoderma* 及 *Fusarium* 是黑龙江省栽培药用植物根际土壤中可明确真菌种类中数量最多的类群,分别占到菌株总数的 16.93%、14.76%、8.46% 和 6.69%,是药用植物根际土壤中的优势种群。而 *Gliocladium*、*Chrysosporium*、*Mucor*、*Cladosporium*、*Acremonium*、*Rhizopus* 分别占菌株总数的 5.02%、4.23%、4.13%、3.74%、2.36% 和 2.26%,是药用植物根际土壤中的亚优势种群。*Paecilomyces* 和 *Alternaria* 是第三大优势种群,分别占 1.48% 和 1.18%(表 3)。*Clonostachys*、*Exophiala*、*Geotrichum*、*Gonytrichum*、*Mortierella*、*Papulaspora*、*Trichophyton* 的菌株数仅为 1,是黑龙江省栽培药用植物根际土壤中的稀有真菌种群。

如表 2 所示,不同药用植物根际土壤真菌的种群组成和结构存在一定的差异,各真菌属种在不同的药用植物根际土壤中的优势度不同,不同的药用植物的根际土壤真菌区系结构也不同。在 14 种药用植物中,从五

表 2 黑龙江省药用植物根际土壤真菌种群组成

真菌属名 Fungal genus	菌株数 Amount of fungal strains														总计 Total
	五味子	平贝母	刺五加	穿山龙	益母草	柴胡	黄芩	桔梗	党参	牛蒡	知母	射干	防风	红花	
犁头霉属 <i>Absidia</i>	2	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	5
枝顶孢属 <i>Acremonium</i>	8	5	1	0	0	1	1	1	2	0	0	1	1	3	24
链格孢属 <i>Alternaria</i>	4	2	2	1	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	12
曲霉属 <i>Aspergillus</i>	20	18	15	7	11	12	9	5	9	6	15	9	6	8	150
节菱孢属 <i>Arthrinium</i>	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	4
白僵菌属 <i>Beauveria</i>	1	1	1	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	6
毛壳属 <i>Chaetomium</i>	3	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	7
单孢霉属 <i>Chloridium</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	2
金孢属 <i>Chrysosporium</i>	10	8	3	2	6	3	0	1	1	1	2	2	0	4	43
枝孢属 <i>Cladosporium</i>	11	2	6	0	1	2	3	1	0	2	2	1	3	4	38
枝穗霉属 <i>Clonostachys</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
小克银汉霉属 <i>Cunninghamella</i>	1	0	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	3
外瓶霉属 <i>Exophiala</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
镰孢菌属 <i>Fusarium</i>	8	13	5	4	3	3	5	3	8	3	3	3	3	4	68
白地霉属 <i>Geotrichum</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
粘帚霉属 <i>Glocladium</i>	11	8	1	7	1	7	4	0	2	1	2	2	5	0	51
孢球托霉属 <i>Gongronella</i>	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	2
膝梗孢属 <i>Gonytrichum</i>	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1
粘束孢属 <i>Graphium</i>	1	0	0	0	1	0	0	0	1	0	1	0	0	0	4
腐质霉属 <i>Humicola</i>	2	0	0	0	1	0	0	0	2	2	0	0	0	0	7
被孢霉属 <i>Mortierella</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
毛霉属 <i>Mucor</i>	5	2	3	2	4	5	3	1	3	2	3	3	4	2	42
漆斑菌属 <i>Myrothecium</i>	0	1	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	4
拟青霉属 <i>Paecilomyces</i>	2	1	3	0	1	1	0	1	0	1	0	2	0	3	15
丝蓂霉属 <i>Papulaspora</i>	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
青霉属 <i>Penicillium</i>	24	18	11	19	8	9	16	15	9	7	11	5	14	6	172
茎点霉属 <i>Phoma</i>	1	1	2	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	6
根霉属 <i>Rhizopus</i>	5	3	4	1	1	1	0	2	2	2	0	1	0	1	23
帚霉属 <i>Scopulariopsis</i>	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	1	4
木霉属 <i>Trichoderma</i>	15	10	9	3	5	8	7	5	6	4	5	3	4	2	86
毛癣菌属 <i>Trichophyton</i>	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
毛束霉属 <i>Trichurus</i>	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2
轮枝菌属 <i>Verticillium</i>	2	1	2	1	0	1	0	1	0	0	1	0	0	1	10
沃德霉属 <i>Wardomyces</i>	2	1	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	5
接霉属 <i>Zygorhynchus</i>	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3
无孢类群															
Mycelia sterilia 1	7	4	1	0	1	2	6	0	0	0		4	6	4	35
Mycelia sterilia 2	9	8	3	2	4	8	3	4	7	0	1	3	7	1	60
Mycelia sterilia 3	5	7	5	0	0	0	2		3	5	2	0	1	0	30
Mycelia sterilia 4	7	0	4	4	3	4	1	5	4	2	5	4	2	2	47
Mycelia sterilia 5	0	6	6	2	0	3	7	9	0	5	1	0	0	0	39
总计 Total	176	125	87	48	51	74	71	70	59	48	56	45	58	48	1016
属数 No. of Genera	29	22	15	14	12	29	12	13	14	16	12	13	10	14	

五味子 *Schisandra chinensis*; 平贝母 *Fritillaria ussuriensis*; 刺五加 *Acanthopanax senticosus*; 穿山龙 *Dioscorea nipponica*; 益母草 *Leonurus artemisia*; 柴胡 *Bupleurum chinense*; 黄芩 *Scutellaria baicalensis*; 桔梗 *Platycodon grandiflorus*; 党参 *Codonopsis pilosula*; 牛蒡 *Arctium lappa*; 知母 *Anemarrhena asphodeloides*; 射干 *Belamcanda chinensis*; 防风 *Saposhnikovia divaricata*; 红花 *Carthamus tinctorius*

表 3 黑龙江省药用植物根际土壤真菌优势种群的分离频率

Table 3 The isolating frequencies of the major fungal genera in the rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province

真菌属名 Fungal genus	分离频率 Relative frequency/%	真菌属名 Fungal genus	分离频率 Relative frequency/%
无孢类群 Mycelia sterilia	20.77%	青霉属 <i>Penicillium</i>	16.93%
曲霉属 <i>Aspergillus</i>	14.76%	木霉属 <i>Trichoderma</i>	8.46%
镰孢菌属 <i>Fusarium</i>	6.69%	粘帚霉属 <i>Gliocladium</i>	5.02%
金孢属 <i>Chrysosporium</i>	4.23%	毛霉属 <i>Mucor</i>	4.13%
枝孢属 <i>Cladosporium</i>	3.74%	枝顶孢属 <i>Acremonium</i>	2.36%
根霉属 <i>Rhizopus</i>	2.26%	拟青霉属 <i>Paecilomyces</i>	1.48%
链格孢属 <i>Alternaria</i>	1.18%	其它 Others	7.99%

其他: 剩余 23 属真菌(菌株数不超过 10 个)分别占总菌株数比例的总和

五味子根际土壤中分离获得的真菌种类最多,达到 33 属真菌。无孢类群是 14 种药用植物根际土壤真菌中数量占优的类群,但它们最少属于 5 个菌落特征明显不同的类群。除无孢类群外,五味子根际土壤中的优势类群是青霉属、曲霉属和木霉属,它们占五味子根际土壤真菌总菌株数的相对分离频率分别为 13.64%、11.36% 和 8.52%。从平贝母根际土壤中分离出 26 属真菌,其优势类群为青霉属、曲霉属和镰孢菌属,它们占平贝母根际土壤真菌总菌株数的相对分离频率分别为 14.4%、14.4% 和 10.4%。从柴胡根际土壤中分离得到 20 属真菌,其优势类群为曲霉属、青霉属和木霉属,它们占柴胡根际土壤真菌总菌株数的相对分离频率分别为 16.22%、12.16% 和 10.81%。其余 11 种药用植物根际土壤中除无孢类群外,青霉属、曲霉属、木霉属和镰孢菌属也为优势真菌类群。

2.2 黑龙江省 3 种主要药用植物根际土壤真菌种群结构组成与多样性分析

五味子、平贝母、柴胡是黑龙江省栽培区域最广泛和栽培面积最大的药用植物,它们在伊春、铁力、绥化、哈尔滨、牡丹江和佳木斯地区均有种植,且种植面积较大。以这 3 种药用植物为目标植物来分析它们的根际土壤真菌多样性。

2.2.1 不同地区 3 种主要药用植物根际土壤真菌多样性特点

在黑龙江省 6 个采样地点间的药用植物根际土壤真菌种群的多样性水平存在差异(表 4)。从真菌属的数量上看,黑龙江省伊春地区的最高,共分离到 25 属真菌,而绥化的最低,仅分离到 14 属真菌。伊春地区真菌多样性指数(H')和丰富度指数(R)均最高,分别为 2.9574 和 5.6683,而佳木斯地区真菌均匀度指数(J)最高,为 0.9200。

表 4 黑龙江省 6 个采样地区 3 种主要药用植物根际土壤真菌种群的多样性指数

Table 4 Diversity indices of fungal communities in rhizosphere soil of three main medicinal plants in six sampling regions of Heilongjiang Province

采样地点 Sampling region	属数 No. of Genera	菌株数 No. of isolates	多样性指数 Diversity index(H')	均匀度 Evenness index(J)	丰富度 Richness index(R)
伊春	25	69	2.9574	0.9188	5.6683
铁力	23	78	1.6300	0.5199	5.0497
绥化	14	49	2.3973	0.9084	3.3403
哈尔滨	20	78	2.6208	0.8748	4.3611
牡丹江	17	58	2.5591	0.9033	3.9405
佳木斯	17	43	1.6066	0.9200	4.2540

2.2.2 不同地区 3 种主要药用植物根际土壤真菌组成的相似性

在黑龙江省 6 个采样地点间药用植物根际土壤真菌的种群相似性系数在 0.3704—0.6315 之间,最高值为牡丹江与绥化的 0.6315,最低值为牡丹江与哈尔滨的 0.3704(表 5)。根据 Jaccard 相似性原理,各地区之间的真菌相似性系数处于中等不相似与中等相似之间。总体来看,黑龙江省 6 个采样地区的药用植物根际土

壤真菌种群相似性较低。

表 5 黑龙江省 6 个采样地区 3 种主要药用植物根际土壤真菌相似性系数 (C_j)

Table 5 Similarity coefficients of the fungi isolated from rhizosphere soil of three main medicinal plants in six sampling regions of Heilongjiang Province

采样地点 Sampling site	伊春	铁力	绥化	哈尔滨	牡丹江	佳木斯 Jiamusi
伊春	1.0000	0.5000	0.4444	0.4516	0.5000	0.5000
铁力		1.0000	0.4800	0.4828	0.5385	0.5385
绥化			1.0000	0.4167	0.6315	0.5500
哈尔滨				1.0000	0.3704	0.4231
牡丹江					1.0000	0.6190
佳木斯						1.0000

3 讨论

关于药用植物内生真菌多样性及微生物群落多样性的系统研究报道较多^[17-19],而有关药用植物根际土壤真菌多样性的系统研究报道较少。本研究从黑龙江省 6 个地区栽培的药用植物根际土壤样品中分离和鉴定出真菌 35 属 86 种,对不同的药用植物以及不同地区药用植物根际土壤真菌的种类组成、区系分布和多样性特点进行了比较分析。研究结果表明,青霉属 *Penicillium*、曲霉属 *Aspergillus*、木霉属 *Trichoderma* 及镰孢菌属 *Fusarium* 真菌是黑龙江省药用植物根际土壤真菌的优势类群,这与已有的关于药用植物根际土壤真菌多样性的报道相似^[20-21]。不同药用植物根际土壤中存在丰富的真菌资源,但其真菌种类组成、数量和分布具有较大的差异性。五味子根际土壤真菌中青霉属、曲霉属和木霉属为优势菌群,与潘争艳等^[22]对辽宁栽培五味子根际土壤真菌的研究结果相似。不同种类药用植物根际土壤真菌的种类组成存在很大差异,且相同种类真菌的数量也存在较大差异。这种差异性可能是由不同药用植物根系分泌物的不同所造成的^[23-24]。

多样性指数用来分析真菌种群或群落的多样性,丰富度指数用来反映真菌种属丰富性特点,均匀度指数是反映真菌种群分布特点的重要指标,而相似性系数是反映两个不同地区真菌种群组成相似程度的重要指数。本文以黑龙江省主产的五味子、平贝母和柴胡为典型代表进行分析,发现栽培地区不同,这 3 种药用植物的根际土壤真菌种群多样性水平的差异较大,相似程度较低。物种多样性指数、丰富度指数和均匀度指数与其生境中的土壤环境、植被以及人为因素(如栽培措施和管理水平)影响密切相关。伊春、铁力、绥化和牡丹江虽都地处山区,林地面积广,土壤肥沃,富含有机质,但是,伊春的五味子、平贝母和柴胡种植方式以林下种植为主,且历史悠久;绥化和牡丹江地区有农田种植和林下种植两种方式,而铁力地区却以农田种植为主,林下种植为辅,种植方式的不同导致其根际土壤真菌多样性水平存在差异,相似性程度较低。在哈尔滨地区这 3 种药用植物种植方式以农田种植方式为主,种植区土壤肥沃,水源充足,气候适宜,所以,其根际土壤真菌多样性水平较高。而在佳木斯地区它们的种植方式虽为农田种植,但种植区位于土壤相对贫瘠地带,水源也不充足,所以其根际土壤真菌多样性水平低,但是,其均匀度指数最高,说明该地区虽真菌种类资源不丰富,但分布却很均匀,这可能是由于种植区域内土壤生态环境差异不大造成的。虽然五味子、平贝母和柴胡在哈尔滨和佳木斯均为农田种植,但是,由于哈尔滨气候条件、种植区地理位置较佳木斯佳,其相似性程度较低。综上所述,药用植物的种植方式对其根际土壤真菌多样性水平存在较大影响,同时气候条件和土壤环境对其土壤真菌多样性水平也有一定的影响。本文试验结果反映了栽培生境不同对药用植物根际土壤真菌多样性存在不同程度的影响,与陈曦等^[20]和杨皓^[25]等的研究结论相一致。由于本研究采用传统的土壤真菌分离及形态学鉴定方法,可能导致不可培养或菌落生长较慢的真菌菌株被忽视。另外,本研究没有对不产孢类群真菌菌株进行确切鉴定(如采用 DNA 分子序列分析等),所以,导致本研究获得的黑龙江省药用植物根际土壤真菌多样性指数相对低些。

木霉菌 *Trichoderma* 和粘帚霉菌 *Gliocladium* 是非常重要的生防菌,由于它们具有生长迅速和具有拮抗和

重寄生的优势特点,它们对土壤中的许多病原菌具有拮抗生防作用^[26-27],已有较多报道利用木霉菌和粘帚霉菌防治植物土传病害,且取得较好防效^[28-29]。本研究从黑龙江省药用植物根际土壤中分离得到木霉菌 8 种 86 株和粘帚霉菌 2 种 51 株,有望从中筛选到可用于植物土传病害防治的有效生防菌株。另外,这些年来关于利用真菌转化药用植物活性成分的研究报道很多,而且从中筛选出了具有较高生物活性的真菌菌株^[30-32],这些类群的真菌通常能从药用植物的根际土壤中分离获得。不同药用植物的根系分泌物不同,其根际土壤中可能蕴藏着具有转化药用植物活性成分的功能真菌资源。本研究分离获得的大量真菌菌株也为今后开展微生物转化中药活性成分研究提供了丰富的真菌资源。

References:

- [1] Zhang W, Wei H L, Gao H W, Hu Y G. Advances of studies on soil microbial diversity and environmental impact factors. *Chinese Journal of Ecology*, 2005, 24(1): 48-52.
- [2] Denison R F, Bledsoe C, Kahn M, O'Gara F, Simms E L, Thomashow L S. Cooperation in the rhizosphere and the "free rider" problem. *Ecology*, 2003, 84(4): 838-845.
- [3] Barea J M, Pozo M J, Azcón R, Azcón-Aguilar C. Microbial co-operation in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 2005, 56(417): 1761-1778.
- [4] Berg G, Smalla K. Plant species and soil type cooperatively shape the structure and function of microbial communities in the rhizosphere. *FEMS Microbiology Ecology*, 2009, 68(1): 1-13.
- [5] Raaijmakers J M, Paulitz T C, Steinberg C, Alabouvette C, Moëgne-Loccoz Y. The rhizosphere: a playground and battlefield for soilborne pathogens and beneficial microorganisms. *Plant and Soil*, 2009, 321(1/2): 341-361.
- [6] Zhang Z Y, Lin W X. Continuous cropping obstacle and allelopathic autotoxicity of medicinal plants. *Chinese Journal of Eco-Agriculture*, 2009, 17(1): 189-196.
- [7] Ding W L. A Colored Atlas of Medicinal Plant Pests and Pest Control. Beijing: China Agriculture Press, 2002: 1-79.
- [8] Gao W W, Jiao X L, Bi W, He C N. Variation of ginsenosides in infected roots of American ginseng (*Panax quinquefolium*). *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2008, 33(24): 2905-2907, 2953.
- [9] Ding W L, Cheng H Z, Chen J. Research on preventing the medicinal plant diseases with *Trichoderma harzianum* preparation. *China Journal of Chinese Materia Medica*, 2003, 28(1): 24-27.
- [10] Zhang W, Sun X D, Zhang P, Lü G Z. Screening of the active fungal strains with high specificity to biotransform ginsenoside Rb1 into Rd. *Mycosystema*, 2011, 30(2): 305-311.
- [11] Domsch K H, Gams W, Anderson T H. Compendium of Soil Fungi. London: Academic Press, 1980: 1-859.
- [12] Gams W, Bissett J. Morphology and identification of *Trichoderma* // Kubicek C P, Harman G E, eds. *Trichoderma and Gliocladium*. Volume 1. Basic Biology, Taxonomy and Genetics. London: Taylor and Francis Ltd, 1998: 3-34.
- [13] Pei K Q. Taxonomic Studies on the Psychrophilic and Psychrotrophic Mucorales from China [D]. Beijing: Institute of Microbiology, Chinese Academy of Sciences, 1998: 1-87.
- [14] Qi Z T, Kong H Z, Sun Z M. Flora Fungorum Sinicorum Vol. 5 (*Aspergillus* et Teleomorphi Cognati). Beijing: Science Press, 2003: 1-173.
- [15] Leslie J F, Summerell B A, Bullock S. The *Fusarium* Laboratory Manual. Oxford: Blackwell Publishing, 2006: 1-278.
- [16] Kong H Z, Wang L. Flora Fungorum Sinicorum Vol. 35 (*Penicillium* et Teleomorphi Cognati). Beijing: Science Press, 2007: 1-269.
- [17] Huang W Y, Cai Y Z, Hyde K D, Corke H, Sun M. Biodiversity of endophytic fungi associated with 29 traditional Chinese medicinal plants. *Fungal Diversity*, 2008, 33: 61-75.
- [18] Sun J Q, Guo L D, Zang W, Ping W X, Chi D F. Diversity and ecological distribution of endophytic fungi associated with medicinal plants. *Science in China Series C: Life Sciences*, 2008, 38(5): 475-484.
- [19] Karthikeyan B, Jaleel C A, Lakshmanan G M A, Deiveekasundaram M. Studies on rhizosphere microbial diversity of some commercially important medicinal plants. *Colloids and Surfaces B: Biointerfaces*, 2008, 62(1): 143-145.
- [20] Chen X, Sun X D, Bi S Y, Zhang W, Yang H, Lü G Z, Xin X, Sun X Y. Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Liaoning Province. *Mycosystema*, 2010, 29(3): 321-328.
- [21] Zhang R, Liu Z H, Yang H, Bai X M, Xu H Y. Analysis of ecological characteristics and classification of fungal community in rhizosphere soil of ginseng in Jilin province. *Journal of Jilin Agricultural Sciences*, 2008, 33(1): 47-50.
- [22] Pan Z Y, Fu J F, Zhou R J, Wang H. Preliminary study of soil fungi in *Schisandra chinensis* garden and screening antagonism strains. *Journal of*

- Jilin Agricultural University, 2007, 29(6): 636-639.
- [23] Bais H P, Weir T L, Perry L G, Gilroy S, Vivanco J M. The role of root exudates in rhizosphere interactions with plants and other organisms. *Annual Review of Plant Biology*, 2006, 57(1): 233-266.
- [24] Broeckling C D, Broz A K, Bergelson J, Manter D K, Vivanco J M. Root exudates regulate soil fungal community composition and diversity. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, 74(3): 738-744.
- [25] Yang H. Preliminary Study on the Rhizosphere Fungi of Some Medicinal Plants in Sichuan [D]. Chengdu: Sichuan Agricultural University, 2008: 1-87.
- [26] Papavizas G C. *Trichoderma* and *Gliocladium*: biology, ecology, and potential for biocontrol. *Annual Review of Phytopathology*, 1985, 23(1): 23-54.
- [27] Whipps J M. Microbial interactions and biocontrol in the rhizosphere. *Journal of Experimental Botany*, 2001, 52(Suppl 1): 487-511.
- [28] Whipps J M, Davies K G. Success in biological control of plant pathogens and nematodes by microorganisms // Gurr G, Wratten S D, eds. *Measures of Success in Biological Control*. Dordrecht, the Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 2000: 231-269.
- [29] Whipps J M, Lumsden R D. Commercial use of fungi as plant disease biological control agents: status and prospects // Butt T M, Jackson C W, Magan N, eds. *Fungi as Biocontrol Agents: Progress, Problems and Potential*. Wallingford, UK: CABI Publishing, 2001: 9-22.
- [30] Ning L L, Qu G Q, Ye M, Guo H Z, Bi K S, Guo D. Cytotoxic biotransformed products from triptonide by *Aspergillus niger*. *Planta Medica*, 2003, 69(9): 804-808.
- [31] Ge W Z, Li N, Shan L H, Liu H M. Microbial transformation of 4-ene-3-one steroids by *Mucor racemosus*. *Acta Microbiologica Sinica*, 2007, 47(3): 540-543.
- [32] Zhou W, Yan Q, Li J Y, Zhang X C, Zhou P. Biotransformation of *Panax notoginseng* saponins into ginsenoside compound K production by *Paecilomyces bainier* sp. 229. *Journal of Applied Microbiology*, 2008, 104(3): 699-706.

参考文献:

- [1] 张薇, 魏海雷, 高洪文, 胡跃高. 土壤微生物多样性及其环境影响因子研究进展. *生态学杂志*, 2005, 24(1): 48-52.
- [6] 张重义, 林文雄. 药用植物的化感自毒作用与连作障碍. *中国生态农业学报*, 2009, 17(1): 189-196.
- [7] 丁万隆. 药用植物病虫害防治彩色图谱. 北京: 中国农业出版社, 2002: 1-79.
- [8] 高微微, 焦晓林, 毕武, 何春年. 罹病西洋参根内主要人参皂苷含量的变化. *中国中药杂志*, 2008, 33(24): 2905-2907, 2953.
- [9] 丁万隆, 程惠珍, 陈君. 应用木霉制剂防治几种药用植物病害的研究. *中国中药杂志*, 2003, 28(1): 24-27.
- [10] 张薇, 孙晓东, 张萍, 吕国忠. 专一转化人参二醇类皂苷 Rb1 为 Rd 的真菌菌株的筛选. *菌物学报*, 2011, 30(2): 305-311.
- [13] 裴克全. 中国低温毛霉的分类学研究 [D]. 北京: 中国科学院微生物研究所, 1998: 1-87.
- [14] 齐祖同, 孔华忠, 孙增美. 中国真菌志第五卷 (曲霉属及相关有性型). 北京: 科学出版社, 2003: 1-173.
- [16] 孔华忠, 王龙. 中国真菌志第三十五卷 (青霉属及其相关有性型属). 北京: 科学出版社, 2007, 1-269.
- [18] 孙剑秋, 郭良栋, 臧威, 平文祥, 迟德富. 药用植物内生真菌多样性及生态分布. *中国科学 C 辑: 生命科学*, 2008, 38(5): 475-484.
- [20] 陈曦, 孙晓东, 毕思远, 张薇, 杨红, 吕国忠, 辛鑫, 孙晓燕. 辽宁地区药用植物根际土壤真菌多样性的研究. *菌物学报*, 2010, 29(3): 321-328.
- [21] 张睿, 刘志恒, 杨红, 白晓穆, 徐怀友. 吉林省人参根际土壤真菌群落生态特征及区系分析. *吉林农业科学*, 2008, 33(1): 47-50.
- [22] 潘争艳, 傅俊范, 周如军, 王慧. 五味子园根际真菌多样性初探及拮抗菌株筛选. *吉林农业大学学报*, 2007, 29(6): 636-639.
- [25] 杨皓. 四川几种道地药材根际土壤真菌的初步研究 [D]. 四川: 四川农业大学, 2008.
- [31] 葛文中, 李楠, 单丽红, 刘宏民. 总状毛霉对 4-烯-3-酮甾体的生物转化研究. *微生物学报*, 2007, 47(3): 540-543.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.33, No.1 January, 2013 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Integrating ecological civilization into social-economic development WANG Rusong (1)
- The effect of land cover pattern on hillslope soil and water loss in the arid and semi-arid region: a review
..... GAO Guangyao, FU Bojie, LÜ Yihe, et al (12)
- The status and trend on the urban tree canopy research JIA Baoquan, WANG Cheng, QIU Erfa, et al (23)
- Bioindicators and Biomonitoring in Environmental Quality Assessment
..... Bernd Markert, WANG Mei'e, Simone Wünschmann, et al (33)
- Electron transfer capacities of dissolved organic matter and its ecological effects ... BI Ran, ZHOU Shungui, YUAN Tian, et al (45)

Autecology & Fundamentals

- Antioxidative responses of *Abies fabri* seedlings to litter addition and temperature elevation
..... YANG Yang, YANG Yan, WANG Genxu, et al (53)
- Effects of seed soaking with different concentrations of 5-aminolevulinic acid on the germination of tomato (*Solanum lycopersicum*)
seeds under NaCl stress ZHAO Yanyan, HU Xiaohui, ZOU Zhirong, et al (62)
- Influence of magnesium deficiency on chlorophyll fluorescence characteristic in leaves of Newhall navel orange
..... LING Lili, PENG Liangzhi, WANG Nanqi, et al (71)
- Leaf traits of 66 herbaceous species in Songnen grassland in Northeast China
..... SONG Yantao, ZHOU Daowei, WANG Ping, et al (79)
- Effects of nectar secondary compounds on pollination of co-flowering species in a natural community
..... ZHAO Guangyin, LI Jianjun, GAO Jie (89)
- The continuous life-table of *Leptocybe invasa* ZHU Fangli, QIU Baoli, REN Shunxiang (97)

Population, Community and Ecosystem

- Dominant climatic factors of *Quercus mongolica* geographical distribution and their thresholds
..... YIN Xiaojie, ZHOU Guangsheng, SUI Xinghua, et al (103)
- Fruit diet, Selectivity and Seed dispersal of Hatinh langur (*Trachypithecus francoisi hatinhensis*)
..... Nguyen Haiha, BAI Bing, LI Ning, et al (110)
- The distribution of living coccolithophore in East China Sea in autumn, 2010 JIN Shaofei, SUN Jun, LIU Zhiliang (120)
- The association of OPRK1 gene SNP with sika deer (*Cervus nippon*) diurnal behavior traits
..... LÜ Shenjin, YANG Yan, WEI Wanhong (132)
- Preliminary study on bird composition and diversity in Poyang Lake watershed during non-breeding period
..... SHAO Mingqin, ZENG Binbin, XU Xianzhu, et al (140)
- Coexistence mechanism of two species passerines in man-made nest boxes LI Le, ZHANG Lei, YIN Jiangxia, et al (150)
- Dynamics on soil faunal community during the decomposition of mixed eucalypt and alder litters
..... LI Yanhong, YANG Wanqin, LUO Chengde, et al (159)
- RS/GIS-based integrated evaluation of the ecosystem services of the Three Gorges Reservoir area (Chongqing section)
..... LI Yuechen, LIU Chunxia, MIN Jie, et al (168)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The distribution of soil organic carbon as affected by landforms in a small watershed of gully region of the Loess Plateau
..... LI Linhai, GAO Erhu, MENG Meng, et al (179)
- Effects of coastal geographical characteristics on the abundance of submerged aquatic vegetation
..... WU Mingli, LI Xuyong, CHEN Nianlai (188)
- Analysis of soil physical properties under different vegetation types in the alluvial fan area of Manas River watershed
..... CAO Guodong, CHEN Jiehua, XIA Jun, et al (195)

Resource and Industrial Ecology

- Effects of farming on wetland soil seed banks in the Sanjing Plain and wetland restoration potential
..... WANG Guodong, Beth A Middleton, LÜ Xianguo, et al (205)

Effects of the microhabitats on the seedling emergence during the flooding disturbance	
.....	AN Hongyan, XU Hailiang, YE Mao, et al (214)
Analysis on the limiting factors to further improve yield of summer maize in Heilonggang River Valley	
.....	XU Lina, TAO Hongbin, HUANG Shoubing, et al (222)
Fungal diversity in rhizosphere soil of medicinal plants in Heilongjiang Province	
.....	MU Dongyan, LÜ Guozhong, SUN Xiaodong, et al (229)
Integrated assessment of mariculture ecosystem health in Sanggou Bay	FU Mingzhu, PU Xinming, WANG Zongling, et al (238)
Urban, Rural and Social Ecology	
The integrative assessment on ecological quality status of Luoyuan Bay based on ‘OOAO principle’	
.....	WU Haiyan, WU Yaojian, CHEN Keliang, et al (249)
Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay	
.....	LI Bin, BAI Yanyan, XING Hongyan, et al (260)
Ecological footprint depth and size: new indicators for a 3D model	FANG Kai (267)
Landscape dynamics of medium- and small-sized cities in eastern and western China: a comparative study of pattern and driving forces	QI Yang, WU Jianguo, LI Jianlong, et al (275)
Research Notes	
Prediction of bacterial species richness in the South China Sea slope sediments	LI Tao, WANG Peng (286)
Spatial pattern of seedling regeneration of <i>Ulmus pumila</i> woodland in the Otindag Sandland	
.....	LIU Zhen, DONG Zhi, LI Hongli, et al (294)
Impacts on seed germination features of <i>Eupatorium adenophorum</i> from variable light stimulation and traditional dormancy-broken methods	JIANG Yong, LI Yanhong, WANG Wenjie, et al (302)
Opinions	
Discus for classification of plant association	XING Shaohua, YU Mengfan, YANG Lijuan, et al (310)

《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 33 卷 第 1 期 (2013 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 1 (January, 2013)

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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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:100717	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 90.00 元