

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

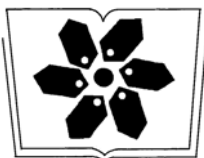
Acta Ecologica Sinica



第34卷 第3期 Vol.34 No.3 **2014**

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 34 卷 第 3 期

2014 年 2 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 灾后生态恢复评价研究进展 刘孝富, 王文杰, 李京, 等 (527)
- 基于生态能量视角的我国小水电可持续性分析 庞明月, 张力小, 王长波 (537)

个体与基础生态

- 北部湾北部海域夏季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力 马璐, 曹文清, 张文静, 等 (546)
- 鲢鱼和胡子鲢的两性异形与雌性个体生育力 樊晓丽, 林植华, 丁先龙, 等 (555)
- 环境温度对白头鹇代谢产热和蒸发失水的影响 林琳, 曹梦婷, 胡益林, 等 (564)
- 灌溉对沙拐枣幼苗生长及氮素利用的影响 黄彩变, 曾凡江, 雷加强, 等 (572)
- PAHs 污染土壤植物修复对酶活性的影响 朱凡, 洪湘琦, 闫文德, 等 (581)
- 基于修正 RISKE 模型的重庆岩溶地区地下水脆弱性评价 魏兴萍, 蒲俊兵, 赵纯勇 (589)
- 排水沟蓄水条件下农田与排水沟水盐监测 潘延鑫, 罗纨, 贾忠华, 等 (597)

种群、群落和生态系统

- 高寒退化草地不同海拔梯度狼毒种群分布格局及空间关联性 高福元, 赵成章, 卓马兰草 (605)
- 捕食者对空心莲子草叶甲种群的生物胁迫 刘雨芳, 李菲, 桂芳艳, 等 (613)
- 夏、冬季南海北部浮游植物群落特征 马威, 孙军 (621)
- 磨盘山天然次生林凋落物数量及动态 范春楠, 郭忠玲, 郑金萍, 等 (633)
- 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响 刘方春, 邢尚军, 马海林, 等 (642)
- 随机森林算法基本思想及其在生态学中的应用——以云南松分布模拟为例 张雷, 王琳琳, 张旭东, 等 (650)
- 基于水文平衡的湿地退化驱动因子定量研究 侯鹏, 申文明, 王桥, 等 (660)
- 华北低丘山地人工林蒸散的控制因子 黄辉, 孟平, 张劲松, 等 (667)
- 新疆天山高寒草原不同放牧管理下的 CO_2 , CH_4 和 N_2O 通量特征 贺桂香, 李凯辉, 宋韦, 等 (674)

景观、区域和全球生态

- 宁夏生态足迹影响因子的偏最小二乘回归分析 马明德, 马学娟, 谢应忠, 等 (682)
- 引黄灌区土壤有机碳密度剖面特征及固碳速率 董林林, 杨浩, 于东升, 等 (690)
- 自养微生物同化 CO_2 的分子生态研究及同化碳在土壤中的转化 吴小红, 简燕, 陈晓娟, 等 (701)

资源与产业生态

- 基于能值分析法的矿区循环经济系统生态效率分析 孙玉峰, 郭全营 (710)

基于 AD-AS 模型的海岸带生态系统综合承载力评估——以舟山海岸带为例 苏盼盼,叶属峰,过仲阳,等 (718)

城乡与社会生态

基于增强回归树和 Logistic 回归的城市扩展驱动力分析 李春林,刘 淼,胡远满,等 (727)

研究简报

陕西省不同生态区大气氮素干湿沉降的时空变异 梁 婷,同延安,林 文,等 (738)

不同覆盖方式对旱地果园水热特征的影响 刘小勇,李红旭,李建明,等 (746)

长白山苔原带土壤动物群落结构及多样性..... 王振海,殷秀琴,蒋云峰 (755)

最大可允许填海面积模拟——厦门西海域案例研究 林琛琛,饶欢欢,刘 岩,等 (766)

学术信息与动态

2013 年水文土壤学与自然资源可持续利用国际学术研讨会述评 张 骁,赵文武 (774)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 252 * zh * P * ￥90.00 * 1510 * 29 * 2014-02



封面图说: 云南松树冠——云南松为松科松属裸子植物,多生长在海拔 1000—3500m 的高山,喜光、耐干旱、耐瘠薄,适应酸性的红壤、黄壤,在其他树种不能生长的贫瘠石砾地或冲刷严重的荒山坡分布,易于天然更新。主要分布于四川西南部、云南、西藏东南部、贵州西部、广西西部,常形成大面积纯林,尤以云南分布最广,故有云南松之称。云南松树高可达 30m,胸径达 1m,树皮呈灰褐色,叶通常 3 针一束,鲜有两针,球果圆锥状卵圆形,种子近卵圆形或倒卵形。树干通直,木质轻软细密,是优质造纸、人造板原料,富含松脂是云南松的重要特点之一。

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

DOI: 10.5846/stxb201211061552

刘方春, 邢尚军, 马海林, 陈波, 丁延芹, 杜秉海. 持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响. 生态学报, 2014, 34(3): 642-649.

Liu F C, Xing S J, Ma H L, Chen B, Ding Y Q, Du B H. Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(3): 642-649.

持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量及结构多样性影响

刘方春¹, 邢尚军^{1,*}, 马海林¹, 陈波², 丁延芹², 杜秉海²

(1. 山东省林业科学研究院, 山东省森林植被生态修复工程技术研究中心, 济南 250014;

2. 山东农业大学生命科学学院, 泰安 271018)

摘要:以 1 年生吉塞拉实生容器苗为试材, 采用绿色荧光蛋白基因标记技术, 研究了干旱胁迫(连续干旱 0、7、14、21、28 d 和 35 d)对樱桃根际促生细菌 YT3 的标记菌 YT3-gfp 数量的影响, 同时结合平板计数法和末端限制性片段长度多态性分析(terminal restriction fragment length polymorphism, T-RFLP)技术, 研究了干旱对樱桃土壤中的微生物数量及细菌群落结构多样性影响。结果表明:樱桃根际土壤中的 YT3-gfp 数量是非根际土壤中的 8.75—28.77 倍, 随着持续干旱强度的增加, YT3-gfp 的数量先增加后减小。干旱对根际土壤中 YT3-gfp 数量的影响大于对非根际土壤的影响, 分别在持续干旱至第 21 天和 28 天时, YT3-gfp 的数量达到最大值。随着持续干旱强度的增加, 根际土壤中细菌和放线菌数量先增加后减小, 而真菌的数量一直减少。此外, 持续干旱至第 21 天或 28 天时, 樱桃根际土壤具有最高的丰富度指数、多样性指数和最低的优势度指数。基于 T-RFLP 的主成分分析结果显示持续干旱 14—35 d 时, 其细菌群落结构成为一个相对独立的群, 群落结构趋于多样性; 而持续干旱 7 d 和 42 d 构成另外两个相对独立的群, 群落结构趋于简单。以上分析可知, 干旱对土壤微生物影响显著, 一定强度的干旱可提高细菌和放线菌数量, 提高细菌群落结构多样性, 适当干旱对维持根际土壤细菌群落结构多样性是有益的。

关键词:干旱; 根际; 微生物; 樱桃; 群落结构; 绿色荧光蛋白; 末端限制性片段长度多态性

Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere

LIU Fangchun¹, XING Shangjun^{1,*}, MA Hailin¹, CHEN Bo², Ding Yanqin², DU Binghai²

1 Shandong Academy of Forest, Shandong Engineering Research Center for Ecological Restoration of Forest Vegetation, Jinan 250014, China

2 College of Life Science, Shandong Agricultural University, Tai'an 271018, China

Abstract: Drought stress in soil can be crucial to plant yield because it reduces growth rate, stem elongation, leaf expansion, and stomatal movements. Several microorganisms in the rhizosphere soil are free-living, soil-borne bacteria that aggressively colonize the rhizosphere or plant roots. The efficiency of rhizosphere microorganisms in promoting plant growth has been demonstrated in numerous greenhouse and field studies on different plant species. However, studies on the influences of continuous drought on rhizosphere microbial populations and community diversity are limited. Therefore, a bacterial strain with known positive effects on plant growth, named YT3, was used in the present study to investigate the effect of continuous drought on soil bacteria population. The bacterial strain was isolated and screened using the serial dilution method on the rhizosphere soil of sweet cherry (*Cerasus pseudocerasus*) growing fields. YT3-gfp was labeled with green fluorescent protein into plant growth-promoting rhizobacteria YT3. A pot experiment was conducted to determine whether continuous drought stress (continuous drought of 7, 14, 21, 28, 35, and 42 d) could benefit YT3-gfp activities in sweet cherry rhizosphere soil. In addition, the effect of continuous drought stress on microbial populations, as well as the

基金项目: 山东省科学技术发展计划攻关资助项目(2007GG2009007, 2010GSF10621)

收稿日期: 2012-11-06; 修订日期: 2013-03-04

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xingsj-126@126.com

community diversity in rhizosphere soil was investigated by plate culture method and terminal restriction fragment length polymorphism (T-RFLP) analysis. The results showed that the YT3-gfp populations in the rhizosphere soil were 8.75 to 28.77 times higher than those in the non-rhizosphere soil of sweet cherry. The YT3-gfp amount increased simultaneously with the continuous drought stress in rhizosphere soil or non-rhizosphere soil; however, a decrease was also observed during the severe drought stress period. YT3-gfp in the rhizosphere was more easily subjected to drought stress than that in non-rhizosphere soil. The maximum YT3-gfp amounts in rhizosphere soil and non-rhizosphere soil were observed on day 21 at 166×10^4 CFU/g and on day 28 at 6.7×10^4 CFU/g. Along with continuous drought stress, bacteria and actinomycete populations, as well as the total microorganism amounts, first increased then decreased; however, fungus populations in the rhizosphere soil of sweet cherry decreased continuously. Continuous drought stress significantly influenced the T-RFLP profiles in the rhizosphere soils of sweet cherry seedlings. The T-RFLP profiles showed that some special terminal restriction fragments (T-RFs) decreased, and some T-RFs disappeared with continuous drought stress. However, some T-RFs appeared under certain drought stress conditions. The highest Margalef and Shannon indexes and the lowest Simpson's index were observed on days 21 or 28 after continuous drought stress. Moreover, the principal component analysis for T-RFs of the different treatments showed that an independent group of bacterial community structure was formed during continuous drought stress in 14 days to 35 days, indicative of the diversiform community structure. The other two independent groups were formed on days 7 and 42 after continuous drought, respectively, indicative of the simplified community structure. Consequently, soil bacteria community structure was significantly influenced by continuous drought stress. Certain drought stress can improve the bacteria and actinomycete populations, and increase the microbial community diversity. Therefore, certain drought stress is beneficial to the sustainable microbial community structure in sweet cherry rhizosphere soil.

Key Words: drought; rhizosphere; microorganism; *Cerasus pseudocerasus*; community diversity; green fluorescent protein; terminal restriction fragment length polymorphism

土壤微生物是土壤有机质和土壤养分转化和循环的动力,对土壤肥力的形成起着积极的作用^[1-2]。土壤微生物群落结构是土壤生态功能的基础,与土壤的化学性质、土壤团聚体的形成等密切相关^[3],群落结构的改变可以作为预示土壤变化的指标^[4-5]。土壤微生物结构容易受外界环境,比如盐分、温度、湿度等的影响而发生变化。

干旱是限制植物产量最重要的环境因子,也是影响树木成活与生长的重要限制因子^[6]。大量研究表明,干旱可影响植物调节酶含量、刺激部分植物根系生长、限制植物生长等^[7]。而关于干旱与土壤微生物之间相互关系的研究很少。有研究表明,干旱对土壤微生物具有较大的影响,接种一些微生物可提高植物的抗旱能力。Liu 等发现在美国新墨西哥州北部沙漠牧场中,夏季干旱试验区的微生物多样性比夏季和春季的对照中低^[8];也有研究表明,土壤中接种微生物后,可缓解干旱对植物的伤害,提高草坪植物的抗旱性,并可促进植物生长^[9-10]。然而不同强度的干旱对根际土壤微生物数量,尤其是群

落结构多样性的影响不得而知。YT3 是从樱桃根际土壤中筛选出的一株植物根际促生细菌,由于根际促生细菌的专一性,本文以 1 年生吉塞拉实生容器苗为试材,以荧光蛋白标记后的 YT3-gfp 作为指示细菌,研究了持续干旱对樱桃根际土壤细菌数量和群落结构多样性的影响,旨在揭示干旱对根际土壤微生物特征的影响,为植物的合理灌溉提供理论和科学依据。

1 材料和方法

1.1 供试材料

樱桃苗 (*Cerasus pseudocerasu*) 为山东省林科院利用无纺布容器育苗技术繁育的 1 年生‘吉塞拉’实生容器苗,平均株高为 (55.7 ± 1.87) cm,平均地径 (0.89 ± 0.03) cm。供试土壤类型为潮土,来源于山东省林科院的试验苗圃,其速效氮、速效磷和速效钾含量分别为 54.3、34.2 mg/kg 和 102.4 mg/kg,有机质为 8.90 g/kg, pH 为 7.95。

YT3 是从樱桃根际土壤筛选出的 1 株根际促生

细菌,通过对其进行形态学观察、生理生化测定以及 16S rDNA 序列及系统发育分析,将其鉴定为假单胞菌属 (*Pseudomonas* sp.),已保藏于中国微生物菌种保藏管理中心 (CGMCC No. 5319)。YT3-gfp 是 YT3 的绿色荧光蛋白标记菌,供体菌和辅助菌分别为中国农业大学提供的 S17-1 (pMP2444) 和 MM294

(pRK2013),通过三亲本杂交的方法将外源基因导入受体菌。YT3-gfp 的荧光镜检图片及菌落形态如图 1 所示。将 YT3-gfp 在非选择压力下以 1% 的接种量连续转接 6 次 (24 h/次) 后,质粒丢失率为 6%,标记基因质粒在受体菌中可稳定遗传。

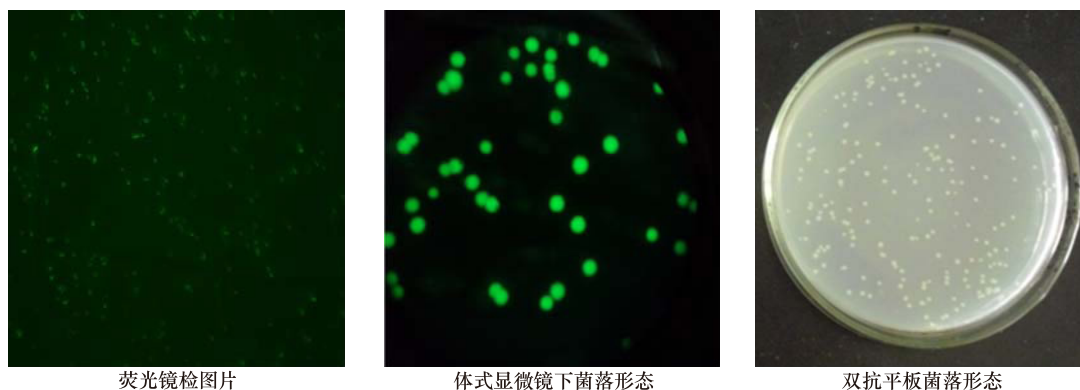


图 1 YT3-gfp 的荧光镜检图片及其菌落形态

Fig.1 Picture of YT3-gfp by fluorescence microscopy and its colony morphology

1.2 试验设计及取样方法

试验于 2011 年 5—8 月在山东省林业科学研究所的塑料大棚中进行,采用盆栽试验,随机区组设计。盆高 20 cm,宽 30 cm,每盆装土 13 kg。2011-5-27 将樱桃容器苗定植,然后将 100 ml YT3-gfp 菌液均匀浇灌于樱桃根系周围,加入的总活菌数约为 30×10^8 CFU。2011-7-12 挑选长势一致的樱桃盆栽苗开始干旱胁迫试验。共设置 6 个水分处理,以 7 d 为一个处理周期,分别连续干旱 7 d、14 d、21 d、28 d、35 d 和 42 d 后,分别记作 D7、D14、D21、D28、D35 和 D42。按照试验设计 (表 1) 在不同日期进行灌溉,每

次灌溉均浇水至土壤田间持水量的 85%。2011-8-23 干旱胁迫结束时,各试验处理的相对含水量分别为田间持水量的 76.59% (湿润)、65.78% (较适宜)、60.68% (适宜)、51.25% (轻度干旱)、42.74% (中度干旱) 和 33.19% (重度干旱)。采用剥落分离法取样,将带土植株取出,先轻轻抖落大块不含根系的土壤 (非根际土),然后用力将根表面附着的土壤全部抖落下来,迅速装入塑料袋内 (根际土)^[11]。根际土用于 YT3-gfp 数量、细菌、放线菌、真菌和 T-RFLP 的测定,非根际土用于 YT3-gfp 数量的测定。

表 1 持续干旱处理试验设计

Table 1 Continuous drought treatment of experiment

处理 Treatments	处理时间 Treat time (月-日 Month-day)						
	07-12	07-19	07-26	08-02	08-09	08-16	08-23
D7	+	+	+	+	+	+	-
D14	+	+	+	+	+	-	-
D21	+	+	+	+	-	-	-
D28	+	+	+	-	-	-	-
D35	+	+	-	-	-	-	-
D42	+	-	-	-	-	-	-

+正常浇水;-停止浇水;D7、D14、D21、D28、D35 和 D42 分别表示连续干旱 7、14、21、28、35 d 和 42 d

1.3 测定方法

YT3-gfp 数量的测定:用无菌水系列倍比稀释土壤样品,分别吸取 100 μ l,悬浮液涂布 LB 抗性平板,

37 $^{\circ}$ C 培养 24—48 h 后,根据抗性平板上生长的菌落形态和荧光显微镜下发出的荧光信号 (图 1) 鉴定并计数 YT3-gfp 的数量。

三大功能微生物数量的测定采用稀释平板法。土壤微生物种群数量测定采用稀释平板法。真菌的测定采用马丁培养基+孟加拉红+硫酸链霉素;放线菌的测定采用改良高氏 1 号培养基+重铬酸钾;细菌的测定采用牛肉膏蛋白胨琼脂培养基。用 0.1 ml 消毒移液管取每个稀释度悬液,无菌操作,接种于消毒培养皿,重复 3 次,每种菌均以不加悬液的消毒蒸馏水作空白对照。

T-RFLP 的测定:样品基因组总 DNA 的提取纯化使用 E.Z.N.A. Soil DNA Kit(美国 OMEGA 公司)。采用上游引物 27F-FAM(5'-FAM-AGAGTTTGATCCTGGCTCAG-3') 和下游引物 1492R (5'-GGTTACCTGTTACGACTT-3') 扩增 16S rDNA。PCR 反应条件及产物回收均参考宋洪宁(2010)等人的方法^[12]。酶切产物用 ABI 3730 测序仪扫描,扫描结果采用 Peak Scanner Software v1.0 分析。

1.4 统计分析

细菌群落多样性分析:单个 T-RF (Terminal Restriction Fragment) 的相对峰面积 (A_p) 通过公式 $A_p = n_i / N \times 100$ 进行计算(n_i 为单个 T-RF 的峰面积, N 为图谱中所有峰的面积的总和)。 A_p 值采用片段长度在 50—500 bp 区间且大于 1% 的 T-RF 数值进行统计分析。以图谱中每一个可统计的 T-RF 视为一个 OTU (operational taxonomic unit), 以 T-RF 的相对峰面积作为对应的 OTU 的丰度。根据图谱中 OTU 的种类及其丰度通过 BIO-DAP 程序进行多样性分析。根据 T-RFs 在不同样品图谱中的分布及丰度, 采用 SPSS 软件对样品进行主成分分析^[12]。利用 Phylogenetic Assignment Tool (<http://secure.limnology.wisc.edu/trflp/>) 对主要的 T-RFs 所代表的物种进行推测。

YT3-gfp 及三大功能微生物数量的显著性检验采用 Excel 2007 和 SPSS 软件进行相关分析, 结果为 3 次重复试验的平均值, 变异系数的计算公式为: 变异系数 = (标准差/平均值) $\times 100\%$ ^[13-14]。

2 结果与分析

2.1 YT3-gfp 数量

持续干旱对樱桃土壤中的 YT3-gfp 数量影响(图 2)可以看出, 在不同干旱强度条件下, 根际土壤中的 YT3-gfp 的数量是非根际土壤中的 8.75—28.77

倍。可见, YT3 主要是定殖于樱桃根际土壤中, 而非根际土壤中定殖数量非常少。持续干旱对 YT3-gfp 的数量影响显著, 不同处理间差异达显著水平。无论是根际土壤还是非根际土壤中, 随着干旱强度的增加, YT3-gfp 的数量逐渐增加, 达到某一干旱强度后又开始逐渐降低。根际土壤和非根际土壤中的 YT3-gfp 数量分别在干旱持续第 21 天和 28 天时达最大值, 分别为 166×10^4 CFU/g 土和 6.7×10^4 CFU/g 土。此外, 根际土壤中, 不同干旱强度对 YT3-gfp 数量影响的变异系数为 50.89%, 而对非根际土壤影响的变异系数仅为 11.32%。由此可见, 根际土壤中 YT3-gfp 数量受持续干旱的影响显然大于非根际土壤中受到的影响。

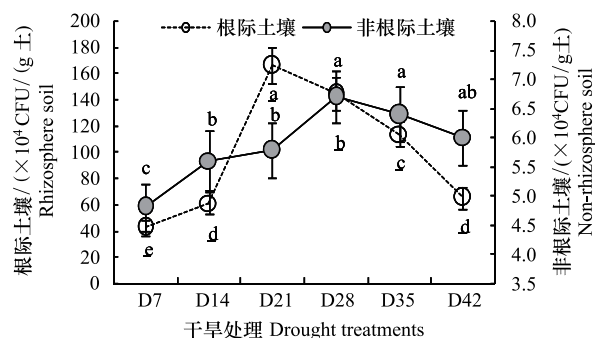


图 2 不同干旱强度下樱桃实生苗土壤中的 YT3-gfp 数量 ($M \pm SD$)

Fig.2 Effect of continuous drought on YT3-gfp populations in the soils of sweet cherry seedlings ($M \pm SD$)

2.2 根际土壤微生物数量

表 2 显示了持续干旱对樱桃根际土壤中三大功能微生物数量及微生物总量的影响, 可以看出, 樱桃根际土壤中微生物以细菌为主, 不同干旱强度下, 细菌占微生物总量的比例为 63.76%—88.53%, 放线菌比例为 11.42%—36.03%, 而真菌所占比例仅为 0.059%—0.27%。不同干旱强度对土壤中可培养的微生物数量影响显著, 随着干旱时间的延长, 根际土壤中可培养细菌和放线菌的变化趋势基本一致, 呈先增加后减少的趋势, 分别在干旱胁迫至第 21 天和 28 天时数量最高。受细菌数量变化的影响, 在干旱胁迫至 21 d 时, 根际土壤的微生物总量最高。真菌数量变化趋势同细菌和放线菌有所不同, 随着干旱时间的持续增加, 真菌数量呈一直减少的趋势, 干旱胁迫至 42 d 时真菌数量仅为 7 d 时的 53.40%。从不同功能微生物菌落变化的变异系数值可以看出, 干旱对细菌影响的变异系数最大, 放线菌次之, 而真

菌最小^[13-14]。

2.3 基于 T-RFLP 图谱的微生物多样性分析

2.3.1 样品 T-RFLP 图谱分析及主要片段定性分析

不同实验处理根际土壤的 T-RFLP 图谱如图 3 所示,图片中的每个峰相当于一种细菌,峰越多则细菌种类越多,峰面积代表该细菌的含量。可以看出,6 种不同干旱处理均在 66 bp、91 bp 和 136 bp 条带下具有优势 T-RFs。共有条带中,随着持续干旱强度增加的变化趋势差异很大。一些条带相对峰面积始

终差异不大(66 bp),一些条带相对峰面积呈减少趋势(91 bp),而一些条带在持续干旱至某一程度时达到最大值(136 bp)。在一些特有条带中,部分条带随着干旱胁迫持续的增加呈降低趋势,甚至有部分条带会消失(91 bp、127 bp、138 bp、148 bp 和 150 bp);持续干旱至某一强度时,会出现一些特有条带,干旱强度再增加,特有条带则会消失(57 bp、88 bp 和 262 bp)。

表 2 持续干旱对樱桃实生苗根际土壤中微生物数量影响(M±SD)

Table 2 Effect of continuous drought on microbial populations in the rhizosphere soils of sweet cherry seedlings (M±SD)			
处理 Treatments	细菌 Bacteria /×10 ⁶	放线菌 Actinomycetes /×10 ⁵	真菌 Fungus /×10 ⁴
D7	11.40±1.01 cd	40.67±5.01 d	4.11±0.28 a
D14	31.03±2.54 b	53.01±4.29 c	4.17±0.31 a
D21	48.33±5.17 a	62.33±4.65 b	3.20±0.21 b
D28	18.87±2.34 c	83.33±5.54 a	2.93±0.22 b
D35	8.73±1.31 d	49.33±3.29 c	2.97±0.26 b
D42	8.30±1.24 d	35.03±1.98 d	2.19±0.19 c
CV ^② /%	75.08 a	32.01 b	17.13 c

小写字母为 LSD 多重比较结果,相同字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著(P<0.05);②变异系数

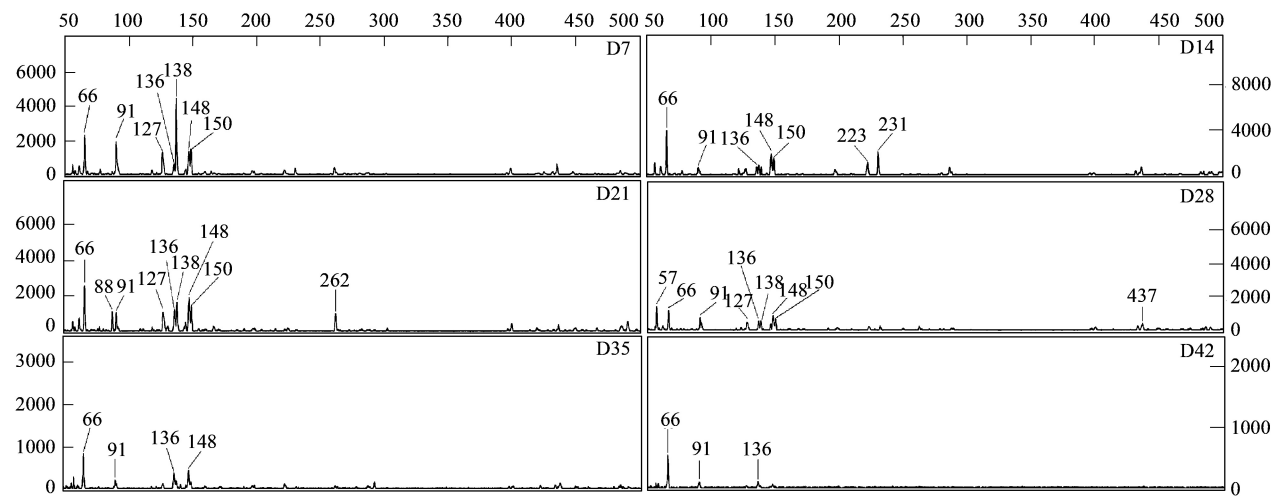


图 3 不同试验处理冬枣樱桃实生苗土壤的 T-RFLP 图谱
Fig.3 T-RFLP profiles of drought treatments in the rhizosphere soils of sweet cherry seedlings

将 T-RFs 数据输入 Phylogenetic Assignment Tool 数据库进行比对,对图谱中优势峰可能代表的物种进行了推测。结果表明,除了 57 bp 的优势峰无法推测外,图谱中一些优势峰可能代表的物种为: *Actinobacteria* (66 bp), *β-Proteobacteria/γ-Proteobacteria/Bacteroidetes* (88 bp), *γ-Proteobacteria/Bacteroidetes/Actinobacteria* (91 bp), *α-Proteobacteria/β-Proteobacteria/γ-Proteobacteria/δ-Proteobacteria* (127 bp), *β-*

Proteobacteria/γ-Proteobacteria/Firmicutes/Actinobacteria (136 bp), *γ-Proteobacteria/Firmicutes* (138 bp), *α-Proteobacteria/β-Proteobacteria/Actinobacteria/Firmicutes* (148 bp), *α-Proteobacteria/Firmicutes/Actinobacteria* (150bp), *Firmicutes* (262 bp) 和 *α-Proteobacteria/Firmicutes* (437 bp)。

2.3.2 多样性指数分析

根据 T-RFLP 图谱(图 3)中的 OUT 的数量、种

类及丰度,分别计算 6 个土壤样品的细菌多样性指数(表 3)。可以看出,持续干旱对樱桃实生苗根际土壤的细菌群落结构多样性产生较大影响。随着持续干旱强度的增加,樱桃实生苗根际土壤 Margalef 指数(丰富度指数)和 Shannon 指数(多样性指数)逐渐升高,在干旱胁迫至第 21 天时,基本达到最高值,

而 Simpson's 指数(优势度指数)逐渐降低,在干旱胁迫至第 28 天时最低。持续干旱从第 35 天到第 42 天时,根际土壤的 Margalef 指数和 Shannon 指数迅速降低,而 Simpson's 指数急速上升,说明干旱胁迫超过 35 d,土壤细菌群落结构多样性受到较为严重的影响。

表 3 持续干旱对樱桃实生苗根际土壤细菌多样性影响(M $\pm$ SD)

Table 3 Effect of continuous drought on species diversity in the rhizosphere soils of sweet cherry seedlings (M $\pm$ SD)

处理 Treatments	马格列夫指数 Margalef index	香农指数 Shannon index	辛普森指数 Simpson's index
D7	2.704 $\pm$ 0.196 b	2.154 $\pm$ 0.134 c	0.122 $\pm$ 0.008 bc
D14	2.964 $\pm$ 0.121 b	2.231 $\pm$ 0.135 bc	0.096 $\pm$ 0.004 c
D21	3.419 $\pm$ 0.139 a	2.699 $\pm$ 0.109 a	0.081 $\pm$ 0.004 d
D28	2.981 $\pm$ 0.112 b	2.311 $\pm$ 0.124 b	0.075 $\pm$ 0.006 d
D35	2.721 $\pm$ 0.176 b	2.040 $\pm$ 0.098 c	0.102 $\pm$ 0.008 c
D42	0.946 $\pm$ 0.062 c	0.889 $\pm$ 0.052 d	0.421 $\pm$ 0.024 a

Margalef index(丰富度指数);Shannon index(多样性指数);Simpson's Index(优势度指数)

2.3.3 基于 T-RFLP 的主成分分析

根据 T-RFs 在持续干旱根际土壤样品图谱中的分布及丰度进行主成分分析(PCA),结果显示,第一主成分方差贡献率 66.22%,第二主成分方差贡献率 16.45%,第三主成分方差贡献率 9.06%,三者贡献和为 91.73%,可以代表整个系统状况。6 个处理 T-RFLP 图谱的 PCA 结果显示(图 4),持续干旱对细菌多样性影响可以分为 3 个相对独立的群,持续干旱 14—35 d 时距离较近,可视为一个相对独立的群,而持续干旱 7 d 和 42 d 时,可视为另外两个相对独立的群。这说明本实验条件下不同干旱时间对根际

土壤细菌群落多样性有强烈影响,干旱时间太长(42d)或者太短(7d)均会造成根际土壤细菌多样性下降,而适度干旱(14—35d)可不同程度的提高细菌群落结构多样性。

3 结论与讨论

3.1 干旱对 YT3-gfp 数量的影响

本研究借助绿色荧光蛋白基因标记技术,利用樱桃实生苗根际促生细菌 YT3 的标记菌 YT3-gfp 作为目标菌,研究持续干旱对微生物数量的影响。研究发现,在不同干旱强度下,樱桃实生苗根际土壤中的 YT3-gfp 数量是非根际土壤中的 8.75—28.77 倍,说明根际促生细菌 YT3 主要定殖在樱桃根际土壤中,这与前人的研究结论基本相似^[15-16]。因此,本研究使用的 YT3-gfp 可以代表根际土壤微生物。

持续干旱对 YT3-gfp 种群数量产生了显著影响。非根际土壤中的数量较少,随干旱强度变化的幅度较小,而根际土壤中的数量较大,随干旱强度的持续增加,YT3-gfp 呈现逐渐增加而后又开始减少的趋势。不同干旱强度下 YT3-gfp 数量变化的变异系数反应出,持续干旱主要是影响到了根际土壤中的 YT3-gfp 数量变化。因此,持续干旱主要是对根际土壤中的微生物数量产生较大影响。微生物活性需要根系分泌物中的一些有机物质作为能量来源^[17],干旱会影响到根系的生长和根系活力,从而影响到根系分泌物质的含量,影响根际土壤中的微生物数量。

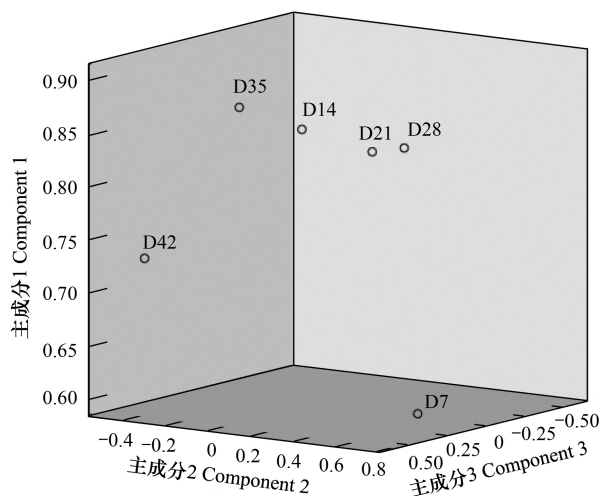


图 4 基于土壤样品 T-RFLP 图谱的主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis for T-RFs of T-RFLP profiles in different treatments

有研究报道,植物受到干旱胁迫时,生物量优先向根系分配^[18],侧根和根系总长度增加,>1 mm 的侧根数目显著增加,根系活力有所增强^[19],根系活力及根系形态的变化可能会改变根系分泌物质的数量。因此,在胁迫程度适中时,根系活力最强,根系分泌物质势必增加^[20],导致细菌所需的有机碳能源增加,从而导致 YT3-gfp 数量在一定干旱程度时最高;而随着干旱程度的持续增加,根系生长及活力明显受到抑制,YT3-gfp 数量开始受到抑制,数量下降。

3.2 对三大功能微生物数量影响

在不同干旱强度的条件下,细菌占微生物总量的比例为 63.76%—89.49%,放线菌比例为 10.46%—36.03%,而真菌所占比例仅为 0.11%—0.30%,土壤中微生物以细菌为主,这与前人的研究结论基本一致^[21]。由于土壤中细菌、真菌和放线菌差异很大,不能通过标准差看出干旱对 3 种功能微生物的影响程度。通过变异系数可以反应干旱对三大功能微生物影响程度的大小。结果显示干旱强度的增加对三大功能微生物影响并不一致,对细菌影响最为显著,放线菌次之,而对真菌影响最小。这应该与不同微生物在根际土壤中所占比例差异有关。随着干旱强度的增加,根际土壤中细菌和放线菌呈先增加后减少的趋势,而真菌则一直减少。前面分析可知,土壤中细菌数量大,所需能源物质多,受根系活动影响明显。随着干旱强度的增加,根系活动的变化导致了细菌数量呈规律性的变化。而土壤中的真菌数量相对很少,所需能源物质较少,根系活动对其产生的间接作用也较小。土壤中的病原菌多为一些真菌^[22],因此,持续干旱可能会对一些土传病害有抑制作用。有研究发现一定程度的干旱条件下,更有利于细菌作用的发挥^[10],也有研究报道,土壤真菌和放线菌比固氮菌更容易适应干旱条件^[23]。而本研究结果认为细菌比真菌更容易适应干旱条件,与前人研究结果并不完全相同。这可能与微生物生长条件、供试土壤种类及干旱胁迫强度的差异等原因有关。

3.3 对细菌群落结构多样性影响

由于研究方法的局限性,土壤中约有 80%—99% 的微生物未被认识和鉴别,通过常规手段不可能获得全面的信息^[24]。T-RFLP 技术可获得土壤微生物系统的发育信息,是一种非常有效的评价土壤

微生物群落多样性的方法^[25-26]。在外在环境一致的前提下,本研究着重研究了不同干旱强度对樱桃实生苗根际土壤中细菌多样性影响。基于 T-RFLP 图谱的多样性指数分析说明,干旱对根际土壤中的细菌的种类及丰度产生了很大影响。一定强度的干旱可提高樱桃实生苗根际土壤中的细菌群落结构多样性,而过度干旱或者过度湿润导致细菌群落结构多样性指数降低。从 T-RFLP 图谱主要片段定性分析结果分析,持续干旱对 *Actinobacteria* 影响较小,而 γ -*Proteobacteria*/*Bacteroidetes*/*Actinobacteria* 的数量随干旱胁迫强度的增加逐渐减少,诸如 β -*Proteobacteria*/ γ -*Proteobacteria* / *Firmicutes*/*Actinobacteria* 等一些物种在不同干旱强度下均有一定的比例存在,但在适宜干旱强度下数量更高。 β -*Proteobacteria*/ γ -*Proteobacteria*/*Bacteroidetes* 和 *Firmicutes* 等一些物种只有在适宜的干旱强度下才会出现,而干旱强度过大或者过小的环境下并不会成为优势菌群。基于土壤样品 T-RFLP 图谱的主成分分析结果显示,持续干旱至第 14—35 天时构成一个相对独立的群,细菌群落多样性指数也较高,而持续干旱 7 d 和 42 d 构成另外两个相对独立的群。在实际应用中,适度的干旱对于维持土壤微生物群落结构的多样性是有益的,土壤含水量过高或者干旱持续时间过长,均会造成根际土壤中的微生物群落结构失去平衡,从而影响植物的正常生长。

大量研究表明,不同的环境条件,诸如温度、土壤性质或其他土著微生物活力等均会对土壤微生物造成影响^[8, 11, 27-28]。土壤含水量不同,势必会引起土壤养分有效性、土壤通气性、pH 和 Eh 等土壤理化性质的改变,而这些变化可能会对土壤微生物产生一定影响,这也将是我们未来研究的重点。

References:

- [1] Abbasi M K, Sharif S, Kazmi M, Sultan T, Aslam M. Isolation of plant growth promoting rhizobacteria from wheat rhizosphere and their effect on improving growth, yield and nutrient uptake of plants. *Plant Biosyst*, 2011, 145: 159-168.
- [2] Weyens N, Lelie D V D, Taghavi S, Newman L, Vangronsveld J. Exploiting plant-microbe partnerships to improve biomass production and remediation. *Trends Biotechnol*, 2009, 27: 591-598.
- [3] Guo W H, Zhou G J, Wang, Q, Wang W, Han X M, Wang R Q, Zhou, J, Pang X G, Zhan, J C, Dai, J R. Soil microbial community diversity and its relationships with geochemical elements under different farmlands in Shouguang, China.

- Communications in Soil Science and Plant Analysis, 2011, 42 (9): 1008-1026.
- [4] Lamb E G, Kennedy N, Siciliano S D. Effects of plant species richness and evenness on soil microbial community diversity and function. Plant and Soil, 2011, 338: 483-495.
- [5] Van Bruggen A H C, Semenov A M. In search of biological indicators for soil health and disease suppression. Applied Soil Ecology, 2000, 15: 13-24.
- [6] Feng H F, Xue L, Ren X R, Fu J D, Zheng W G, Shi X L. Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(2): 371-382.
- [7] Mouillon J M, Gustafsson P, Harryson P. Structural investigation of disordered stress proteins. comparison of full-length dehydrins with isolated peptides of their conserved segments. Plant Physiology, 2006, 141(2): 638-650.
- [8] Liu X, Lindeman W C, Whitford W G, Steiner R L. Microbial diversity and activity of disturbed soil in the northern Chihuahuan Desert. Biology and Fertility of Soils, 2000, 32(3): 243-249.
- [9] Arkhipova T N, Prinsen E, Veselov S U. Cytokinin producing bacteria enhance plant growth in drying soil. Plant Soil, 2007, 292: 305-315.
- [10] Duo L A, Wang J J, Zhao S L. Effects of municipal compost extracted complex microbial communities on physio-ecological characteristics of turfgrass under drought stress. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(16): 4717-4724.
- [11] Wang X P, Zabowski D. Nutrient composition of Douglas-fir rhizosphere and bulk soil solutions. Plant Soil, 1998, 200:13-20.
- [12] Song H N, Du B H, Zhang M Y, Lu X M, Li Z H, Ding Y Q. Effect of environmental factors on bacterial community in Lake Dongping sediment. Acta Microbiologica Sinica, 2010, 50(8): 1065-1071.
- [13] Liu F C, Ma H L, Ma B Y, Du Z Y, Duan C H.. Effect of super absorbent polymer on container seedling growth of *Fraxinus chinensis* and the nutrient and dru matter accumulation. Scientia Silvae Sinicae, 2011, 47(9): 62-68.
- [14] Zhang L, Albert A. A novel definition of the multivariate coefficient of variation. Biom J, 2010, 52(5): 667-675.
- [15] Bednars B S, Krzepiko A. Effect of different fertilization on enzyme activity in rhizosphere and non-rhizosphere of amaranth. International Agrophysics, 2009, 23: 409-412.
- [16] Qi X J, Wang E S, Xing M, Zhao W, Chen X. Rhizosphere and non-rhizosphere bacterial community composition of the wild medicinal plant *Rumex patientia*. World Journal of Microbiology & Biotechnology. 2012, 28: 2257-2265.
- [17] Cheng W, Zhang Q, Coleman D C, Carroll C R, Hoffman C A. Is available carbon limiting microbial respiration in the rhizosphere. Soil Biol Biochem, 1996, 28: 1283-1288.
- [18] An Y Y, Liang Z S, He W F. Growth and physiological responses of the *Periploca sepium* Bunge seedlings to drought stress, Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(3): 716-725.
- [19] Li W R, Zhang S Q, Ding S Y, Shan L. Root morphological variation and water use in alfalfa under drought stress. Acta Ecologica Sinica, 2010, 30(19): 5140-5150.
- [20] Si Q T Y. Effect of soil drought stress on the physiological activities in the seeds and roots of *Prunus mongolica* Maxim[D]. Hohhot: Inner Mongolia Normal University, 2007.
- [21] Yang S, Xing S, Liu C, Du Z, Wang H, Xu Y. Effects of root pruning on the vegetative growth and fruit quality of Zhanhuadongzao trees. Hort. Sci., 2010, 37(1): 14-21.
- [22] Liu F C, Xing S J, Ma H L, Du Z Y, Ma B Y, Chen B, Du B H. Effect of PGPR fertilizer on biological characteristics in *Cerasus pseudocerasus* rhizosphere. Chin J Appl Environ Biol, 2012, 18 (5): 722-727.
- [23] Wang Y X, Ren L H, Wong B Q, Ying Z Y, Huang Y B. Ecological effect of drought Stress on microbial groups in the soil with *Chamaecrista rotundifolia*. Journal of Xiamen University (Natural Science), 2005, 44(supp): 66-68.
- [24] Yin D H, Gao G P, Xia F, Wang W. Effects of the introduction of biocontrol agent *Trichoderma harzianum* T4 on the bacterial community in cucumber rhizosphere. Scientia Agricultura Sinica, 2012, 45(2): 246-254.
- [25] Abdo Z, Schuette U M E, Bent S J, Williams C J, Forney L J, Joyce P. Statistical methods for characterizing diversity of microbial communities by analysis of terminal restriction fragment length polymorphisms of 16S rRNA genes. Environmental Microbiology, 2006, 8(5): 929-938.
- [26] Osborne C A, Rees G N, Bernstein Y, Janssen P H. New threshold and confidence estimates for terminal restriction fragment length polymorphism analysis of complex bacterial communities. Applied and Environmental Microbiology, 2006, 72 (2): 1270-1278.
- [27] Lipson D A, Schmidt S K. Seasonal changes in an alpine soil bacterial community in Colorado Rocky Mountains. Applied and Environmental Microbiology, 2004, 70: 2867-2879.
- [28] Ahmad F, Ahmad I, Khan M S. Screening of free-living rhizospheric bacteria for their multiple plant growth promoting activities. Microbiological Research, 2008, 163(2): 173-181.

参考文献:

- [6] 冯慧芳, 薛立, 任向荣, 傅静丹, 郑卫国, 史小玲. 4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应. 生态学报, 2011, 31(2): 371-382.
- [10] 多立安, 王晶晶, 赵树兰. 垃圾堆肥复合菌剂对干旱胁迫下草坪植物生理生态特性的影响. 生态学报, 2011, 31(16): 4717-4724.
- [12] 宋洪宁, 杜秉海, 张明岩, 路晓萌, 李正华, 丁延芹. 环境因素对东平湖沉积物细菌群落结构的影响. 微生物学报, 2010, 50(8): 1065-1071.
- [13] 刘方春, 马海林, 马丙尧, 杜振宇, 段春华. 容器基质育苗中保水剂对白蜡生长及养分和干物质积累的影响. 林业科学, 2011, 47(9): 62-68.
- [18] 安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳. 杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应. 生态学报, 2011, 31(3): 716-725.
- [19] 李文尧, 张岁岐, 丁圣彦, 山仑. 干旱胁迫下紫花苜蓿根系形态变化及与水分利用的关系. 生态学报, 2010, 30(19): 5140-5150.
- [20] 斯琴图雅. 土壤干旱胁迫对蒙古扁桃种子及根系生理活动的影响[D]. 呼和浩特: 内蒙古师范大学, 2007.
- [22] 刘方春, 邢尚军, 马海林, 杜振宇, 马丙尧, 陈波, 杜秉海. PGPR 生物肥对甜樱桃 (*Cerasus pseudocerasus*) 根际土壤生物学特征的影响. 应用与环境生物学报, 2012, 18(5): 722-727.
- [23] 王义祥, 任丽花, 翁伯琦, 应朝阳, 黄毅斌. 土壤干旱胁迫对圆叶决明土壤微生物的生态效应. 厦门大学学报(自然科学版), 2005, 44(supp): 66-68.
- [24] 尹丹韩, 高观朋, 夏飞, 王伟. 生防菌哈茨木霉 T4 对黄瓜根围土壤细菌群落的影响. 中国农业科学, 2012, 45(2): 246-254.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.3 Feb., 2014 (Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- Research advances and prospects of post-disaster ecological restoration assessment
..... LIU Xiaofu, WANG Wenjie, LI Jing, et al (527)
- The sustainability analysis of small hydropower plants in China based on ecological energetic accounting
..... PANG Mingyue, ZHANG Lixiao, WANG Changbo (537)

Autecology & Fundamentals

- An ecological study on zooplankton in the northern Beibu Gulf V: the effects of microzooplankton grazing on phytoplankton in summer
..... MA Lu, CAO Wenqing, ZHANG Wenjing, et al (546)
- Sexual size dimorphism and female individual fecundity of *Silurus asotus* and *Clarias fuscus*
..... FAN Xiaoli, LIN Zhihua, DING Xianlong, et al (555)
- Effect of environmental temperature on thermogenesis and evaporative water loss in Chinese bulbuls (*Pycnonotus sinensis*)
..... LIN Lin, CAO Mengting, HU Yilin, et al (564)
- Effects of irrigation on plant growth and nitrogen use characteristics of *Calligonum caput-medusae* Schrenk seedlings
..... HUANG Caibian, ZENG Fanjiang, LEI Jiaqiang, et al (572)
- Enzymatic activity during phytoremediation of polycyclic aromatic hydrocarbon impacted soil
..... ZHU Fan, HONG Xiangqi, YAN Wende, et al (581)
- Assessment of karst groundwater vulnerability in Chongqing based on revised RISKE model
..... WEI Xingping, PU Junbing, ZHAO Chunyong (589)
- Monitoring salt and water dynamics in farmland and drainage ditch in a saline environment under reduced drainage intensity
..... PAN Yanxin, LUO Wan, JIA Zhonghua, et al (597)

Population, Community and Ecosystem

- Spatial distribution and spatial association of *Stellera chamaejasme* population in the different altitude in degraded alpine grassland
..... GAO Fuyuan, ZHAO Chengzhang, ZHUO MA Lancuo (605)
- Biotic stress of predators on population of alligator weed flea beetle, *Agasicles hygrophila* (Col.: Chrysomelidae)
..... LIU Yufang, LI Fei, GUI Fangyan, et al (613)
- Characteristics of phytoplankton community in the northern South China Sea in summer and winter
..... MA Wei, SUN Jun (621)
- The amount and dynamics of litterfall in the natural secondary forest in Mopan Mountain
..... FAN Chunnan, GUO Zhongling, ZHENG Jinping, et al (633)
- Effects of continuous drought on soil bacteria populations and community diversity in sweet cherry rhizosphere
..... LIU Fangchun, XING Shangjun, MA Hailin, et al (642)
- The basic principle of random forest and its applications in ecology: a case study of *Pinus yunnanensis*
..... ZHANG Lei, Wang Linlin, ZHANG Xudong, et al (650)
- Quantitative analysis of driving factors for wetland degradation based on hydrology balance
..... HOU Peng, SHEN Wenming, WANG Qiao, et al (660)
- Stomatal and environmental control on evapotranspiration in a plantation in the lower mountain areas of North China
..... HUANG Hui, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (667)
- The fluxes of carbon dioxide, methane and nitrous oxide in alpine grassland of the Tianshan Mountains, Xinjiang
..... HE Guixiang, LI Kaihui, SONG Wei, et al (674)

Landscape, Regional and Global Ecology

- Analysis the relationship between ecological footprint (EF) of ningxia and influencing factors: Partial Least-Squares Regression (PLS)
..... MA Mingde, MA Xuejuan, XIE Yingzhong, et al (682)
- Profile distribution patterns of soil organic carbon and the rate of carbon sequestration in Ningxia Irrigation Zone
..... DONG Linlin, YANG Hao, YU Dongsheng, et al (690)
- Molecular mechanism on carbon dioxide assimilation of autotrophic microorganism and carbon translocation in agricultural soils
..... WU Xiaohong, JIAN Yan, CHEN Xiaojuan, et al (701)

Resource and Industrial Ecology

- Ecological efficiency analysis of the circular economy system in mining area based on emergy analytic approach
..... SUN Yufeng, GUO Quanying (710)
- Assessing synthetic carrying capacity based on AD-AS model: a case study in Coastal Zone, Zhoushan
..... SU Panpan, YE Shufeng, GUO Zhongyang, et al (718)

Urban, Rural and Social Ecology

- Driving forces analysis of urban expansion based on boosted regression trees and Logistic regression
..... LI Chunlin, LIU Miao, HU Yuanman, et al (727)

Research Notes

- Spatial-temporal variability of dry and wet deposition of atmospheric nitrogen in different ecological regions of Shaanxi
..... LIANG Ting, TONG Yan'an, LIN Wen, et al (738)
- The effects of different mulching way on soil water thermal characteristics in pear orchard in the arid area
..... LIU Xiaoyong, LI Hongxun, LI Jianming, et al (746)
- Structure and diversity of soil fauna communities in the tundra of the Changbai Mountains, China
..... WANG Zhenhai, YIN Xiuqin, JIANG Yunfeng (755)
- Modeling the total allowable area for coastal reclamation: a case study of Xiamen, China
..... LIN Chenchen, RAO Huanhuan, LIU Yan, et al (766)

《生态学报》2014 年征订启事

《生态学报》是由中国科学技术协会主管,中国生态学学会、中国科学院生态环境研究中心主办的生态学高级专业学术期刊,创刊于 1981 年,报道生态学领域前沿理论和原始创新性研究成果。坚持“百花齐放,百家争鸣”的方针,依靠和团结广大生态学科工作者,探索生态学奥秘,为生态学基础理论研究搭建交流平台,促进生态学研究深入发展,为我国培养和造就生态学科人才和知识创新服务、为国民经济建设和发展服务。

《生态学报》主要报道生态学及各分支学科的重要基础理论和应用研究的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;新书评价和学术、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 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 34 卷 第 3 期 (2014 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 3 (February, 2014)

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

国内外公开发刊

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 90.00 元