

中国百种杰出学术期刊  
中国精品科技期刊  
中国科协优秀期刊  
中国科学院优秀科技期刊  
新中国 60 年有影响力的期刊  
国家期刊奖

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica

(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 2 期  
Vol.31 No.2  
**2011**



中国生态学学会  
中国科学院生态环境研究中心  
科学出版社

主办  
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

# 生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 31 卷 第 2 期      2011 年 1 月      (半月刊)

## 目 次

|  |                                  |
|--|----------------------------------|
| 长白山山杨种群的性比格局及其空间分布 .....                                     | 潘春芳,赵秀海,夏富才,等 (297)              |
| 冬季融冻过程中白三叶叶片抗氧化酶活力和渗透调节物含量变化与抗冻性的关系 .....                    | 赵 梅,周瑞莲,刘建芳,等 (306)              |
| 黄土高原主要森林类型自然性的灰色关联度分析 .....                                  | 王乃江,刘增文,徐 钊,等 (316)              |
| 两种抗生素对龙须菜的光合生理效应 .....                                       | 简建波,邹定辉,刘文华,等 (326)              |
| 典型喀斯特峰丛洼地植被群落凋落物 C:N:P 生态化学计量特征 .....                        | 潘复静,张 伟,王克林,等 (335)              |
| 塔里木河下游地下水埋深对胡杨气体交换和叶绿素荧光的影响 .....                            | 陈亚鹏,陈亚宁,徐长春,等 (344)              |
| 基于 MODIS/NDVI 的陕北地区植被动态监测与评价 .....                           | 宋富强,邢开雄,刘 阳,等 (354)              |
| 火因子对荒漠化草原草本层片植物群落组成的影响 .....                                 | 贺郝钰,苏洁琼,黄 磊,等 (364)              |
| 4 种阔叶幼苗对 PEG 模拟干旱的生理响应 .....                                 | 冯慧芳,薛 立,任向荣,等 (371)              |
| 城市带状绿地宽度与温湿效益的关系 .....                                       | 朱春阳,李树华,纪 鹏,等 (383)              |
| 西藏斧钺水鸟多样性及斑头雁繁殖活动区的变化 .....                                  | 张国钢,刘冬平,钱法文,等 (395)              |
| 王朗自然保护区大熊猫生境选择 .....   | 康东伟,康 文,谭留夷,等 (401)              |
| 东方田鼠警觉对其功能反应的作用格局 .....                                      | 陶双伦,杨锡福,邓凯东,等 (410)              |
| 台州市路桥区重金属污染对土壤动物群落结构的影响 .....                                | 白 义,施时迪,齐 鑫,等 (421)              |
| 青岛湾小型底栖生物周年数量分布与沉积环境 .....                                   | 杜永芬,徐奎栋,类彦立,等 (431)              |
| 叉尾斗鱼种群遗传变异与亲缘地理 .....  | 王培欣,白俊杰,胡隐昌,等 (441)              |
| C <sub>3</sub> 和 C <sub>4</sub> 植物寄主对华北地区棉铃虫越冬代和第一代的影响 ..... | 叶乐夫,付 雪,戈 峰 (449)                |
| 3 种海拔高度茶园中 2 种害虫与其天敌间的数量和空间关系 .....                          | 毕守东,柯胜兵,徐劲峰,等 (455)              |
| 坝上地区农田和恢复生境地地表甲虫多样性 .....                                    | 刘云慧,宇振荣,王长柳,等 (465)              |
| 若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征 .....                                | 牛 佳,周小奇,蒋 娜,等 (474)              |
| 红枣贮藏期果面微生物多样性 .....  | 沙月霞 (483)                        |
| CO <sub>2</sub> 和温度升高情况下白粉菌侵染对西葫芦生长特性的影响 .....               | 刘俊稚,葛亚明,Pugliese Massimo,等 (491) |
| 丛枝菌根真菌对中性紫色土土壤团聚体特征的影响 .....                                 | 彭思利,申 鸿,袁俊吉,等 (498)              |
| 新疆断裂带泉水中细菌群落结构的 PCR-DGGE 分析 .....                            | 吴江超,高小其,曾 军,等 (506)              |
| 石油污染对海洋浮游植物群落生长的影响 .....                                     | 黄逸君,陈全震,曾江宁,等 (513)              |
| 不同耐性水稻幼苗根系对镉胁迫的形态及生理响应 .....                                 | 何俊瑜,任艳芳,王阳阳,等 (522)              |
| 基于 CLUE-S 模型的密云县面源污染控制景观安全格局分析 .....                         | 潘 影,刘云慧,王 静,等 (529)              |
| 基于生态足迹的生态地租分析 .....  | 龙开胜,陈利根,赵亚莉 (538)                |
| 深圳市植被受损分级评价及其与景观可达性的关系 .....                                 | 刘语凡,陈 雪,李贵才,等 (547)              |
| <b>专论与综述</b>   |                                  |
| 美国、加拿大环境和健康风险管理方法 .....                                      | 贺桂珍,吕永龙 (556)                    |
| 植物蜡质及其与环境的关系 .....   | 李婧婧,黄俊华,谢树成 (565)                |
| 油田硫酸盐还原菌酸化腐蚀机制及防治研究进展 .....                                  | 庄 文,初立业,邵宏波 (575)                |
| 叶际微生物研究进展 .....  | 潘建刚,呼 庆,齐鸿雁,等 (583)              |

## 新疆断裂带泉水中细菌群落结构的 PCR-DGGE 分析

吴江超<sup>1,2</sup>, 高小其<sup>4</sup>, 曾 军<sup>3</sup>, 徐建华<sup>3</sup>, 杨晓芳<sup>4</sup>, 娄 恺<sup>1\*</sup>

(1. 新疆农业科学院微生物应用研究所, 乌鲁木齐 830091; 2. 新疆石河子职业技术学院, 石河子 832000;  
3. 新疆大学生命科学与技术学院, 乌鲁木齐 830046; 4. 新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011)

**摘要:** 乌鲁木齐 10 号泉起源于天山山脉博格达峰, 地下径流于地震断裂带, 泉水中硫化氢、甲烷等地球化学元素迁移活跃, 为揭示水文地球化学变化对地震断裂带泉水细菌群落结构的影响, 本研究对该泉水样品定期采样, 以微孔滤膜收集菌体, 使用 SDS-酶解法提取总 DNA, 对细菌 16S rDNA V 3 区进行 PCR-DGGE 分析并对条带测序, 条带的光密度信息与监测的地球化学指标进行典型相关分析 (CCA)。结果表明 B16 (Uncultured bacterium) 和  $\epsilon$ -变性菌纲 (epsilon proteobacterium) 与氟含量成正相关; 黄杆菌 B1 (*Flavobacterium*)、绿脓假单胞菌 (*Pseudomonas aeruginosa*)、B10 (Uncultured bacterium) 和腐生性葡萄球菌 (*Staphylococcus saprophyticus*) 与硫化物呈正相关; 硫微螺菌 (*Thiomicrospira arctica*)、黄杆菌 B3 (*Flavobacterium*) 及阿尔莱葡萄球菌 (*Staphylococcus arlettae*) 与氢气呈正相关。断裂带泉水细菌能够对地层深处渗透出的地球化学元素产生灵敏的应答。

**关键词:** 地球化学; 细菌群落; PCR-DGGE; 泉水

## The bacterial community structures in Xinjiang fault belt spring analyzed by PCR-DGGE

WU Jiangchao<sup>1,2</sup>, GAO Xiaoqi<sup>4</sup>, ZENG Jun<sup>3</sup>, XU Jianhua<sup>3</sup>, YANG Xiaofang<sup>4</sup>, LOU Kai<sup>1,\*</sup>

1 Institute of Microbiology, Xinjiang, Academy of Agriculture Science 830091, China

2 Xinjiang Shihezi Vocational Technical College, Xinjiang 832000, China

3 College of Life Science and Technology, Xinjiang University, Xinjiang 830046, China

4 Seismological Bureau of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Xinjiang Urumqi 830011, China

**Abstract:** Seismic fault belt is a main passageway of various kinds of gas and geochemistry elements, where are important zone for matters, energy and information transfer between lithosphere and atmosphere. Microbes living in the belt effected intensively by the hydrogeochemical changes caused by earth crust movement. The 10th spring of Urumq originates from Bogeda mountain of Tianshan mountain range, and the groundwater runoff in seismic fault belt. The spring water contains various geochemistry elements, such as sulfide, methane, hydrogen, radon, sulfide, methane, carbon dioxide, helium, fluorine and hydrarg et al, many of which may potentially act as electron donors capable of supporting chemolithotrophy-based primary production. In order to reveal the impact of hydrogeochemical changes to bacterial community in seismic fault belt spring water, thirty-one samples of spring water collected from October 12th to November 11th and their corresponding geochemical parameters were determined. Of them, ten samples were used for bacterial dynamic changing monitoring. The planktonic communities were collected by microporous membrane filtration and then total DNA were extracted by SDS-enzymatic disruption method. The V3 region of the 16S rDNA gene of those samples was analyzed by PCR-DGGE (Denaturing Gradient Gel Electrophoresis) and different bands were excised for sequencing. The DGGE fingerprints combined with hydrogeochemical parameters were analyzed by CCA (Canonical correspondence analysis). The results showed that B16 (Uncultured bacterium) and epsilon proteobacterium were positive correlate to Fluorine fluctuation and clustered as group one and two, respectively; B1 (*Flavobacterium*), *Pseudomonas aeruginosa*, B10 (Uncultured

基金项目: 973 计划前期研究专项 (2008CB417214); 新疆特殊环境微生物实验室开放课题 (XJYS0203-2008-02)

收稿日期: 2009-11-21; 修订日期: 2010-09-20

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: loukai02@mail.tsinghua.edu.cn

bacterium) and *Staphylococcus saprophyticus* were positive correlate to sulfide change; *Thiomicrospira arctica*, B3 (*Flavobacterium*) and *Staphylococcus arlettae* were positive correlated to hydrogen content. The result indicated that bacterial communities in seismic fault belt spring water could response sensitively to hydrogeochemical parameter changes, and this may provide a novel means for crust movement monitoring and earthquake forecast.

**Key Words:** geochemical; bacterial community; PCR-DGGE; spring water

地下环境是微生物的主要生境之一,高达 40% 的原核生物生物量隐匿于其中<sup>[1]</sup>。地下水生态系统为微生物提供了数量众多的异质性栖息地,这些微生物是有机体的重要碳源和营养库,在污染环境下降解烃类及芳香族化合物的转化降解<sup>[2]</sup>、饮用水及污水的净化<sup>[1]</sup>、成岩成矿<sup>[3]</sup>等方面有重要的作用,几乎参与了从地球表面到地下深部岩石圈中所有的地球化学过程。但时至今日,人们对这个生态系统知之甚少,对微生物多样性和分布特征的了解仍处于初级阶段<sup>[1]</sup>。

地球化学变化能够对地下水层中的微生物多样性产生影响。有研究表明,虽然在低 pH 的硫酸盐水体中生物量较高,但微生物多样性很低;而与之相反的是在富含  $\text{Cl}^-$  及  $\text{HCO}_3^-$  的深层地下热卤水中的微生物多样性丰富,而生物量却不高<sup>[3]</sup>。铀及硫酸盐的含量与具有亚硫酸盐还原酶基因的微生物类群分布最为相关,而 pH、镍、不可降解有机碳及总有机碳的含量与具有亚硝酸盐还原酶基因的细菌类群分布有关<sup>[4]</sup>;铀在预测微生物标记物磷脂脂肪酸(PLFA)分布类型中作用最大,总离子强度次之,硝酸盐及无机碳含量的作用最弱<sup>[5]</sup>。我国对地下水微生物的研究始于 20 世纪 50 年代末,主要开展了地质微生物地球化学作用在找矿、成矿、元素转化、污染土壤和地下水的原位微生物修复方面的工作<sup>[6]</sup>,就水文地球化学变化对微生物群落结构影响,以及对地下水微生物的动态变化规律的研究有助于人们对地下水环境做出整体评估并反映出地球内部活动的即时信息。

断裂带是地球内部各种气体和化学元素的主要迁移通道,是岩石圈和大气圈进行物质、能量、信息交换重要地点,地球放气现象强烈且受到地球内部构造的影响呈现动态变化,使断裂带地下流体中的微生物受到各种地球化学元素的影响。目前国内外地震研究机构多以地质断层等处的地球化学元素为研究对象,尝试对地震进行分析预测<sup>[7-8]</sup>,其中高小其等<sup>[7]</sup>人对 10 泉地球化学的映震特征进行了研究;断裂带处的泉水地下径流处于一个相对封闭的环境,其中的微生物群落结构对泉水的地球化学响应变化机制尚不清楚。本研究采用 PCR-DGGE 技术,以新疆乌鲁木齐红雁池断裂带 10 号泉为研究对象,通过比较泉水细菌群落结构与地下径流元素变化的相关性,研究地震断裂带泉水中细菌多样性及其对地球化学的响应。

## 1 实验材料与方法

### 1.1 乌鲁木齐 10 号泉简介

乌鲁木齐 10 号泉海拔 1042m,位于乌鲁木齐南部柳树沟——红雁池断裂带(87°37'E,43°42'N),含水层为二叠系砂岩、砾岩和少量油页岩,为沿断裂上涌的深循环地下水与较浅层的基岩裂隙承压水的混合水,深、浅两层地下水均由博格达山区的大气降水与高山积雪融水补给<sup>[7]</sup>。由于渗流路径较长,循环于地下深处,很少受到外部气象和人为因素的影响,从而使泉水能更多的携带来自地球内部的多种信息。该泉水流量为 4—7 L/s, pH 7.7,水温常年 12℃,波动很小,矿化度 1.034 g/L,属  $\text{HCO}_3^-$ - $\text{SO}_4$ - $\text{Cl}$ - $\text{Na}$  型弱碱性矿化水,为保护泉水的原始状态,泉水出口处建立了一塔楼对其进行封闭保护,内置试验装置,确保了水体样品监测的准确性。此观测点为国家地震台网监测基本水化 I 类台,也是中国新疆与哈萨克斯坦、吉尔吉斯斯坦两国进行地下流体资料交换的泉点之一<sup>[9]</sup>。

### 1.2 样品采集

从 2008 年 10 月 13 日起每天 11:00(北京时间)采集水样,直至 11 月 9 日,持续 1 个月。用无菌纯净水瓶在泉口出露处取水样 2000mL,避光,4℃ 保存。采样当日 4h 内处理样品,1000 mL 用于测定项地球化学指标,

其余 1000mL 用无菌 0.22  $\mu\text{m}$  微孔滤膜过滤,之后将滤膜放入 50 mL 无菌聚丙烯离心管中,加入 4mL GTE 缓冲液(50 mmol/L Tris-HCl,40 mmol/L EDTA,0.7M 蔗糖,pH 8.3)于  $-20^{\circ}\text{C}$  保存。

### 1.3 泉水水文地球化学指标测定

每日测定 8 项地球化学指标,分别为氢气、氦、硫化物、甲烷、二氧化碳、氩气、氟及水汞。硫化物测量采用碘量法;用气相色谱法(SP-2305 型气相色谱仪)分析甲烷、二氧化碳、氢气、氦的含量,流动相为  $\text{H}_2$  载气,在 GDX-130 (60—80 目)柱上分析  $\text{CH}_4$  和  $\text{CO}_2$ ;流动相采用氮气作载气,在 5A 分子筛柱上分析  $\text{H}_2$  和 He。水汞(XG-4 型测汞仪)及水氦(FD-125 型室内氦钍分析仪)以专用仪器测定。上述具体方法参见文献<sup>[7]</sup>。

### 1.4 泉水细菌总 DNA 提取<sup>[10]</sup>

将含 4mL GTE 缓冲液的菌体滤膜,加入溶菌酶(10mg/mL) 400 $\mu\text{L}$  至浓度 10mg/mL,37 $^{\circ}\text{C}$  水浴 2h 后转入新离心管,每管加入蛋白酶 K (20mg/mL) 40 $\mu\text{L}$  至终浓度 0.2mg/mL,50 $\mu\text{L}$  SDS 溶液(20% W/V)和 40 $\mu\text{L}$  5mol/L NaCl, 53 $^{\circ}\text{C}$  水浴 2h 后加入等体积酚:氯仿:异戊醇(25:24:1,体积分数)抽提,9000r/min 离心 5min,取上清至新离心管中加入 2/3 体积的氯仿:异戊醇(24:1,体积分数),9000r/min 离心 5min,取上清,加入 0.6 倍异丙醇 4 $^{\circ}\text{C}$  过夜沉淀,12000r/min 离心 10min,弃上清,加入 70% 预冷乙醇清洗两遍,自然风干,加入 50 $\mu\text{L}$  TE 缓冲液, $-20^{\circ}\text{C}$  保存。

### 1.5 16S rDNA 片段扩增

引物<sup>[11]</sup>为 338F 5'-CCTACGGGAGGCAGCAG-3',518R:5'-ATTACCGCGGCTGCTGG-3'。为了对 PCR 产物进行 DGGE 分析,40bp 富含 GC 碱基的“夹子”<sup>[12]</sup>加在 338R 引物的 5'端:CGCCC GCCGC GCGCG GCGGG CGGGG CG GGG GCACG GGGGG,由上海生工生物工程技术有限公司合成。

扩增体系为 25 $\mu\text{L}$  Takara loading dye mix (,1.25U Taq DNA polymerase, PCR 缓冲液,400 $\mu\text{mol/L}$  dNTP,上下游引物各 0.5 $\mu\text{L}$  (20 $\mu\text{mol/L}$ ),模板 DNA(1.5 $\mu\text{L}$ ),加无菌去离子水至 50 $\mu\text{L}$ ,终体积 50 $\mu\text{L}$ 。

反应的步骤 94 $^{\circ}\text{C}$  5min;94 $^{\circ}\text{C}$  1min,63 $^{\circ}\text{C}$  1min,72 $^{\circ}\text{C}$  30S, 30 个循环,72 $^{\circ}\text{C}$  7min(PCR 仪为 Eppendorf AG 22331 Hamburg;扩增产物用浓度为 1.5% 琼脂糖凝胶电泳检测(美国联合生物科技有限公司 GK-330C 凝胶成像系统)。

### 1.6 变性梯度凝胶电泳(Denaturing Gradient Gel Electrophoresis, DGGE)

经过预试验,最适宜的变性范围为 42% 至 68% (100% 变性胶含 7mol/L 尿素和 40% 去离子甲酰胺,梯度混合器制备变性梯度),将 45 $\mu\text{L}$  PCR 扩增产物上样到含有变性剂梯度的 8% 聚丙烯酰胺凝胶上,60 $^{\circ}\text{C}$ 、75V 电泳 14h,使用 BIO-RAD model 3000XI 电泳系统,电泳缓冲液为 1 $\times$ TAE。电泳完毕后银染<sup>[13]</sup>,并用 Canon DSC-F717 数码相机拍照。

### 1.7 16S rDNA 序列测定

切下主要 DGGE 条带,加入 20 $\mu\text{L}$  灭菌去离子水冻融 3 次(20 $^{\circ}\text{C}$ /37 $^{\circ}\text{C}$ ),取上清以 5 $\mu\text{L}$  作为模版,进行 2 次 PCR<sup>[14]</sup>,2 次 PCR 引物为 338F 5'-CCTACGGGAGGCAGCAG-3', 518R:5'-ATTACCGCGGCTGCTGG 3',由上海生工生物工程技术有限公司进行测序,将所有序列提交 Genbank,对测序结果进行 BLAST 序列比对。序列号为:GU113057—GU113070。

### 1.8 DGGE 图谱分析

使用 Quantity One 1-D Analysis Software 软件(Bio-Rad Laboratories, Hercules, CA, USA)对条带进行识别,利用 UPGMA (非对称加权算术平均数)算法进行聚类分析。图谱中的每个条带代表了 1 种细菌类群或分类单元,条带的明暗(光密度的大小)反映该种群在环境样品中的相对丰度<sup>[14-15]</sup>。

### 1.9 统计分析方法

用 CANOCO 软件对 DGGE 各主要条带的光密度与水文地球化学指标进行典型相关分析(canonical correspondence analysis, CCA),在水文地球化学特征变量构成的空间上,对断裂带泉水中的细菌群落排序作图,实现细菌种群与地球化学元素的对应排序。在主轴 1 和主轴 2 构成的平面中,箭头表征了水文地球化学

元素在平面上的相对位置,向量长短代表了其在主轴中的作用,箭头所处象限表示地球化学元素与排序轴之间相关性的正负,对主要细菌种类的丰度在主轴上的排序,可反应其与地球化学指标之间的对应关系。CCA 双序图由 CANODRAW4.5 作图软件绘制。

## 2 结果

### 2.1 10 号泉的水文地球化学指标变化

10 号泉的水文地球化学指标在监测期内变化明显(图 1),  $H_2$  含量呈现缓慢上升的趋势;  $Rn$ 、硫化物、 $Hg$ 、 $F^-$ 、 $CO_2$  波动较大,变化无规律可循。由于该泉的地下径流区深循环于地下,不受人为因素干扰,以上水文指标基本反映了地壳深部环境对断裂带泉水的作用结果。

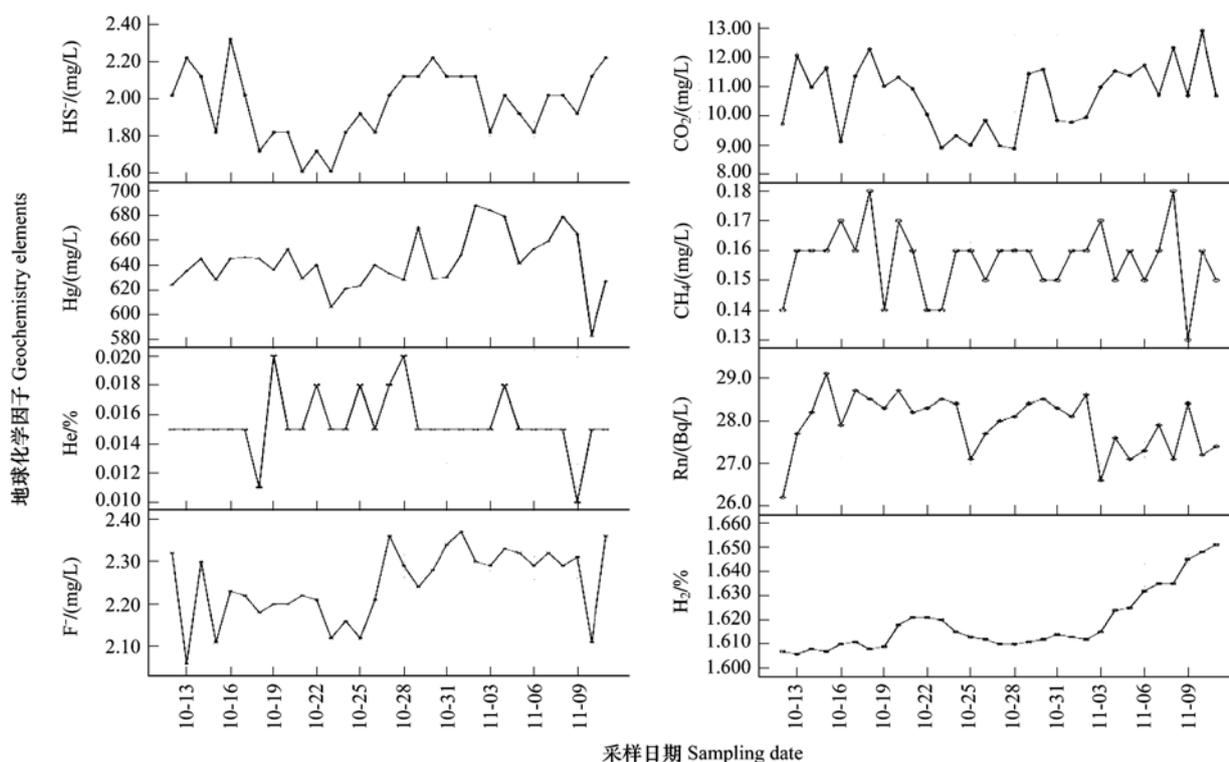


图 1 监测期内 10 号泉的水文地球化学变化

Fig. 1 Hydrogeochemistry changes in monitoring period of 10th spring

### 2.2 10 号泉水细菌群落结构及种群变化分析

通过比对 DGGE 图谱在不同日期各条带的有无及光密度数值,可以判断细菌群落结构及种群丰度变化的状况。条带 B2、B7、B10、B15 及 B24 在整个监测期均有出现(图 2),这表明 10 号泉水存在土著菌群,其丰度随时间有变化,分别属于鱼立克次体科(*Thiomicrospira arctica*)、弓形杆菌(*Arcobacter*)、阿尔莱特葡萄球菌(*Staphylococcus arlettae*)、 $\epsilon$ -变形菌(*epsilon proteobacterium*) (表 1),其中的葡萄球菌是淡水环境中常见的土著菌群<sup>[16]</sup>。条带 B1、B4 及 B23 仅在个别日期内能检测到(图 2),说明这些种群对环境因子扰动敏感,它们分属于黄杆菌属(*Flavobacterium*)、弓形杆菌(*Arcobacter*)及  $\epsilon$ -变形菌(*epsilon proteobacterium*)。聚类分析结果显示泉水细菌群落结构变化显著,不同日期条带的最大相似性为 51% (图 3),说明细菌群落在监测期内不断演替。

### 2.3 细菌群落结构变化和人文地球化学典型相关分析

根据 DGGE 图谱中的 27 个条带在 CCA 排序轴上分布情况,将其划分为 4 个类群(图 4),以 B23 和 B24 所代表的  $\epsilon$ -变性菌纲(*Epsilon proteobacterium*)为第 1 类群, B16 所代表的 *Uncultured bacterium* 为第 2 类群,这 2 个类群均与氟含量成正相关;以黄杆菌 B1 (*Flavobacterium*)、绿脓假单胞菌 B8 (*Pseudomonas aeruginosa*)、

表 1 泉水细菌 16S rDNA 片段序列比对结果

Table 1 Summary of the bacterial 16 S rDNA partial sequences identified in the spring water

| 条带序号<br>Band number | 基因登录号<br>GenBank accession No | 16S rDNA 比对最相近序列<br>Closest related species in the 16S rDNA | 相似率/%<br>Similarity |
|---------------------|-------------------------------|---|---------------------|
| B1                  | GU113057                      | 黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>                                  | 90                  |
| B2                  | GU113058                      | 鱼立克次体科 <i>Thiomicrospira arctica</i>                        | 90                  |
| B3                  | GU113059                      | 黄杆菌属 <i>Flavobacterium</i>                                  | 90                  |
| B4                  | GU113060                      | 弓形杆菌 <i>Arcobacter</i>                                      | 92                  |
| B7                  | GU113061                      | 弓形杆菌 <i>Arcobacter</i>                                      | 92                  |
| B8                  | GU113062                      | 铜绿假单胞菌 <i>Pseudomonas aeruginosa</i>                        | 94                  |
| B10                 | GU113063                      | Uncultured bacterium clone FC1_16S_94                       | 100                 |
| B11                 | GU113064                      | 腐生葡萄球菌 <i>Staphylococcus saprophyticus</i>                  | 100                 |
| B12                 | GU113065                      | 木糖葡萄球菌 <i>Staphylococcus xylosus</i>                        | 99                  |
| B13                 | GU113066                      | $\gamma$ -变形菌 <i>gamma proteobacterium</i>                  | 100                 |
| B15                 | GU113067                      | 阿尔莱特葡萄球菌 <i>Staphylococcus arlettae</i>                     | 98                  |
| B16                 | GU113068                      | Uncultured bacterium  | 92                  |
| B23                 | GU113069                      | $\epsilon$ -变形菌 <i>epsilon proteobacterium</i>              | 95                  |
| B24                 | GU113070                      | $\epsilon$ -变形菌 <i>epsilon proteobacterium</i>              | 95                  |

B10 (Uncultured bacterium) 和腐生性葡萄球菌 B11 (*Staphylococcus saprophyticus*) 为代表的与硫化物呈正相关的第 3 类群; 以硫微螺菌 B2 (*Thiomicrospira arctica*)、黄杆菌 B3 (*Flavobacterium*) 及阿尔莱特葡萄球菌 B15 (*Staphylococcus arlettae*) 为代表的与氢气呈正相关的第 4 类群。与氢向量呈正相关的类群很少, 大多数都处于 Rn 向量的负方向。第 1 类群的条带除 B24 (*epsilon proteobacterium*) 外, 均为非连续出现, 其受到的扰动较为明显。同属葡萄菌属的腐生葡萄球菌 (条带 B11) 与木糖葡萄球菌 (条带 B12) 在 CCA 排序轴上的位置完全相反 (图 4), 表明其对地球化学变化的响应模式不同。

### 3 讨论

目前微生物界一个尚未解决的问题是怎样对其普遍规律进行预测, 其中一种手段就是创造一种数学模型来评估特定生态中特征响应的潜在优点。Amir Mitchell 等人研究的微生物对环境改变的适应性预测证明了微生物能够对环境因子的改变做出做出应答, 并且其中部分的种群能够呈现规律性改变, 表现为微生物的节律<sup>[17]</sup>, 本研究对地震断裂带泉水的水文地球化学及其中的微生物进行分析研究的结果表明: 地下水微生物的某些种群能够对特定的水文地球化学指标产生响应, 这一结果与前人研究结果相同。

微生物群落组成与其栖息地环境因子密切相关。地下水中的硫酸盐和甲烷在微生物的作用下可生成硫化物<sup>[7]</sup>, 这种代谢方式在硫的生物地球化学过程起到了重要作用<sup>[18]</sup>。硫代谢细菌为乌鲁木齐 10 号泉的土著细菌类群, 它们的存在与此泉水含硫化物有关。在 CCA 双序图中的硫化物向量附近细菌种群较多 (图 4), 表明该泉水富含参与硫代谢的细菌类群; *Thiomicrospira* 做为 1 种硫代谢细菌, 在排序轴上的位置与硫化物向量

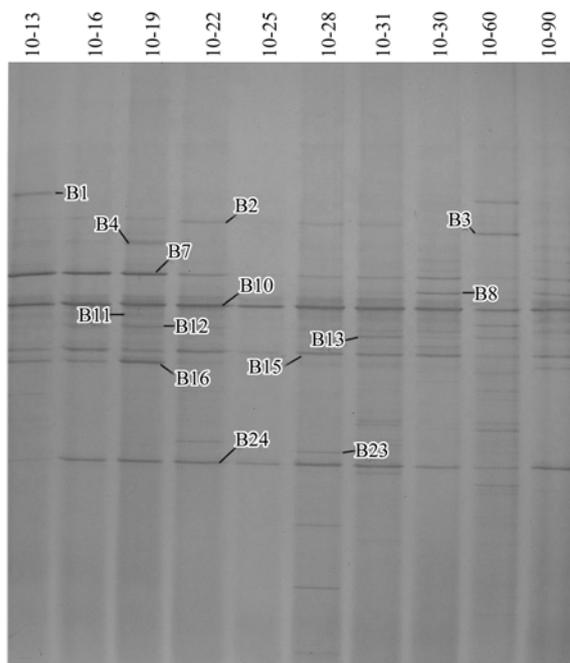


图 2 不同日期内 10 号泉水样细菌 DGGE 图谱

Fig. 2 DGGE fingerprint in different date of bacterial in the 10th spring water sample

条带 B1—B24 为回收条带, 10-13—11-09 为采样日期

不完全吻合,表明地下水生态系统的微生物受多种环境因子影响,不是单一因素作用的结果,这与 Bartłomiej 等人<sup>[3]</sup>的研究结果相同。此外,该泉属寡营养环境,故营养要求简单的假单胞菌<sup>[19]</sup>属优势种群之一。以往研究表明  $\gamma$  变形菌门是深海沉积物中的主要细菌类群,其中  $\epsilon$ -亚群的多数种群与硫代谢相关,属于有机化能营养菌,在深海“热液”区和“冷泉”区中是优势菌群<sup>[20-21]</sup>,10号泉也有  $\gamma$  变形菌门存在,说明该门广泛分布于类似生态环境中。

氦气是地壳中放射性铀、镭和钍的蜕变产物,含有放射性元素的岩石不断向四周扩散氦气,使周围水体中含有相应浓度的氦。如果地下含水层在地应力作用下发生形变,就会加速地下水的运动,增强氦气的扩散作用,使其含量增加。由于氦气直接或间接的破坏细胞内形成的化合物,因而对生物细胞具有毒害作用<sup>[22-23]</sup>。在本研究中,与氦含量正相关的种群很少,绝大部分位于水氦特征向量的反方向,说明氦含量的增加对泉水细菌丰度和多样性有抑制作用。

乌鲁木齐 10 号泉泉水存在大量可作为电子受体 ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ) 和电子供体 ( $\text{H}_2$ ,  $\text{HS}^-$ ,  $\text{CH}_4$ ) 的化学物质,可提供潜在的自养和异养的细菌代谢类型<sup>[24]</sup>。在 CCA 分析图中氦向量方向有一细菌类群分布,该类群的细菌与氦含量正相关。同时该类群位于氦和二氧化碳向量的负方向,受到二者的影响,与这两种元素负相关。氟为卤族元素中电负性最强的元素,本研究分析的结果显示其在一定浓度范围内与部分微生物种群丰度呈正相关。

地球化学元素迁移,密切对应了区域构造应力信息<sup>[25-26]</sup>。断裂带处的地球化学变化能够影响泉水细菌生长代谢,相应种群对此迅速应答并以特征性的群落结构变化显示。本研究表明地下水微生物很有可能成为监测地壳活动的一种新型手段。

## References:

- [ 1 ] Griebler C, Lueders T. Microbial biodiversity in groundwater ecosystems. *Freshwater Biology*, 2008, 10: 1365-2427.
- [ 2 ] Kazuya W, Kanako W, Yumiko K. Molecular characterization of bacterial populations in petroleum-contaminated groundwater discharged from underground crude oil storage cavities. *Applied and Environmental Microbiology*, 2000, 66(11): 4803-4809.
- [ 3 ] Bartłomiej R, Dirk S M. Correlation between microbiological and chemical parameters of some hydrothermal springs in New Mexico. *Journal of Hydrology*, 2003, 280: 272-284.
- [ 4 ] Palumbo A V, Schryver J C, Fields M W. Coupling of functional gene diversity and geochemical data from environmental samples. *Applied and Environmental Microbiology*, 2004, 70(11): 6525-6534
- [ 5 ] Jack C S, Craig C B, Susan M P, Anthony V P, Aaron D P, David C W, James P M, Philip E L. Application of nonlinear analysis methods for identifying relationships between microbial community structure and groundwater geochemistry. *Microbial Ecology*, 2006, 51: 177-188.

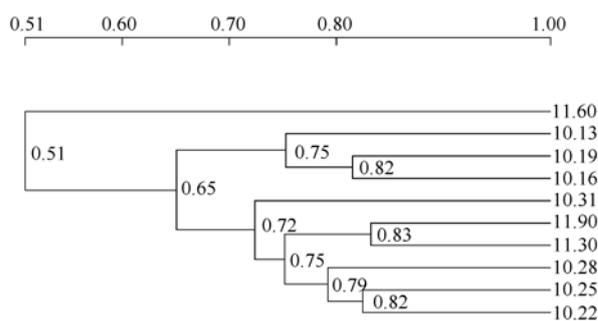


图 3 对不同日期的泉水样品细菌群落的 DGGE 聚类分析 (10-22—11-06 为采样日期)

Fig. 3 Cluster analysis for the bacterial community in spring water sample in different date (10-22—11-06 are sampling date)

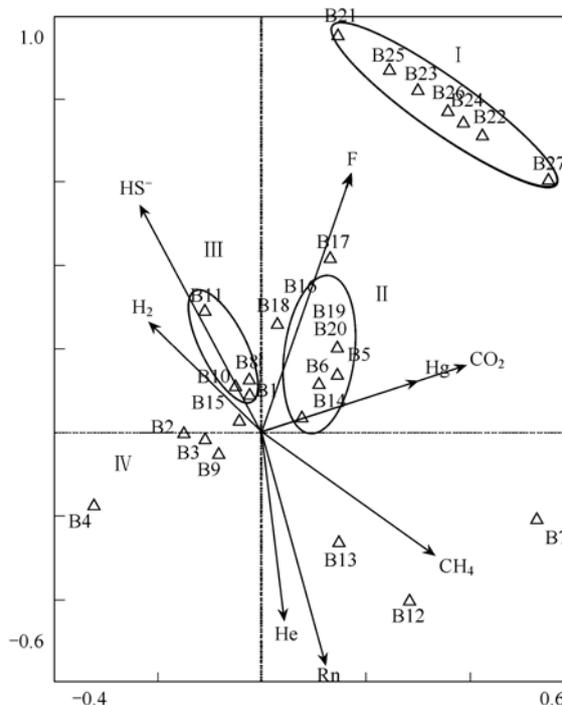


图 4 10 号泉细菌种群与水文地球化学的典型相关分析 (CCA)

Fig. 4 Canonical correspondence analysis between the different genus and geochemistry of 10th spring

- [ 6 ] Zhang S, Zhang C Y, Zhang Y, Li Z H, Zhang M. Geomicrobial geochemical processes: Significance and prospects. *Geological Bulletin of China*, 2005, 24, (10): 1027 -1031.
- [ 7 ] Gao X Q, Chen H J, Yang Y L, Li Z H, Xu Q L. Coseismic effect of Indonesia M 8.7 earthquake on Dec 26, 2004 in Xinjiang region. *Seismological and Geomagnetic Observation and Research*, 2006, 27: 40-46.
- [ 8 ] Cinzia F, Alessandro A, Rocco F, Sergio G, Mariano V. Geochemical monitoring of ground waters (1998—2001) at Vesuvius volcano (Italy). *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 2004, 133:81-104.
- [ 9 ] Gao X Q, Xu Q L, Zhang X M, Li Y P, Lu J F, Cui Y. Preliminary analysis on synthetic fluid observation of Urumq spring NO.10 and its earthquake-reflecting sensitivity. *Inland Earthquake*, 2000, 14(3): 243-251.
- [ 10 ] Shaheen B H, Nasreen B, James T H. Depth distribution of microbial diversity in Mono Lake, a meromictic soda Lake in California. *Applied and Environmental Microbiology*, 2003, 69(2): 1030-1042.
- [ 11 ] Danilo E. PCR-DGGE fingerprinting: novel strategies for detection of microbes in food. *Journal of Microbiological Methods*, 2004, 56: 297-314.
- [ 12 ] Keyser M, Witthuhn R C, Lamprecht C, Coetzee M P A, Britz T J. PCR-based DGGE fingerprinting and identification of methanogens detected in three different types of UASB granules. *Systematic and Applied Microbiology*, 2006, 29:77-84.
- [ 13 ] Sambrook J, Fritsch E F, Maniatis T. *Molecular Cloning a Laboratory Manual*. 2nd ed // Hou Y D Translated. Beijing: China Science Press, 1992.
- [ 14 ] Emilie L, Bénédite L, Loïc T H, Rols J L, Frédéric G. Analysis of bacterial diversity in river biofilms using 16S rDNA PCR-DGGE: methodological settings and fingerprints interpretation. *Water Research*, 2005, 39: 380-388.
- [ 15 ] Muyzer G, de Waal E D, Uitterlinden A G. Profiling of complex microbial populations by denaturing gradient gel electrophoresis analysis of polymerase chain reaction-amplified genes coding for 16S rRNA. *Applied and Environmental Microbiology*, 1993, 59: 695-700.
- [ 16 ] Andreas H F, Ines W, Gabriela R, Alexander K T K, Herann S, Martina M B, Romana H, Ulrich S, Gerhard H, Robert L M. Bacterial dynamics in spring water of alpine karst aquifers indicates the presence of stable autochthonous microbial endokarst communities. *Environmental Microbiology*, 2005, 7 (8): 1248-1259.
- [ 17 ] Amir M, Gal H R, Bella G, Avihu Y, Erez D, Martin K, Orna D, Yitzhak P. Adaptive prediction of environmental changes by microorganisms. *Nature*, 2009, doi:10.1038/nature08112
- [ 18 ] Shabir A D, Gijs K, Gerard M. Nested PCR-denaturing gradient gel electrophoresis approach to determine the diversity of sulfate-reducing bacteria in complex microbial communities. *Applied and Environmental Microbiology*, 2005, 71(5): 2325-2330.
- [ 19 ] Madigan M T, Martinko J M, Parker J. *Brock Biology of Microorganisms*. 8th ed. Engle- wood Cliffs NJ: Prentice-Hall, 1997: 871-875.
- [ 20 ] Longnecker K, Reysenbach A L. Expansion of the geographic distribution of a novel lineage of  $\epsilon$ -proteobacteria to a hydrothermal vent site on the Southern East Pacific Rise. *FEMS Microbial Ecology*, 2001, 35: 287-293
- [ 21 ] Lovley D R, Chapelle F H. Deep subsurface microbial processes. *Geophysics*, 1995, 33: 365-381.
- [ 22 ] Chang G L. Radon and its hazards. *Uranium Geology*, 2002, 18(2): 122-128.
- [ 23 ] Li X H, Shen Z H, Li J H. Radon hazards in water and current supervise. *Modern Preventive Medicine*, 2005, (32): 1313-1323.
- [ 24 ] Nancy N P, Dale T A, Wayne H P, Charles W G, Lyle G W. Characterization of the prokaryotic diversity in cold saline perennial springs of the Canadian high arctic. *Applied and Environmental Microbiology*, 2007: 1532-1543.
- [ 25 ] Gao X Q, Wang D, Xu Q L, Li Y P, Li X Y, Feng X H. Study on the earthquake- reflecting characteristics of sulfide and its earthquake-reflecting mechanism. *Earthquake*, 2001. 21(1): 91-97.
- [ 26 ] Gao X Q, Dilixiati, Xu Q L, Li Y P, Feng X H, Cui Y. An investigation on the characteristics of earthquake-indicating variations of F- in Urumq No.9 and No.10 springs. *Journal of Seismology*, 2002, 22(1): 5-11.

#### 参考文献:

- [ 6 ] 张胜, 张翠云, 张云, 李政红, 张明. 地质微生物地球化学作用的意义与展望. *地质通报*, 2005, 24, 10: 1027-1031.
- [ 7 ] 高小其, 陈华静, 杨又陵, 李志海, 许秋龙. 2004年12月26日印尼8.7级强震新疆地区的同震效应. *地震地磁观测与研究*, 2006, 27: 40-46.
- [ 9 ] 高小其, 许秋龙, 张学敏, 李艳萍, 卢静芳, 崔勇. 乌鲁木齐10号泉流体综合观测及映震灵敏性初析. *内陆地震*, 2000, 14(3): 243-251.
- [ 22 ] 常桂兰. 氡与氡的危害. *铀矿地质*, 2002, 18(2): 122-128.
- [ 23 ] 李晓辉, 申仲华, 李建华. 水中氡的危害及监管现状. *现代预防医学*, 2005, 32(10): 1313-1323.
- [ 25 ] 高小其, 王道, 许秋龙, 李艳萍, 李新勇, 冯晓辉. 硫化物的映震特征及其映震机理的研究. *地震*, 2001, 21(1): 91-97.
- [ 26 ] 高小其, 迪里夏提, 许秋龙, 李艳萍, 冯晓辉, 崔勇. 乌鲁木齐9、10号泉F-映震特征的研究. *地震学刊*, 2002, 22(1): 5-11.

CONTENTS

Sex ratio and spatial pattern in *Populus davidiana* in Changbai Mountain ..... PAN Chunfang, ZHAO Xiuhai, XIA Fucui, et al (297)

The relationship between freeze-tolerance and changes in activities of antioxidant enzymes and osmolyte content in the leaves of white clover during early winter freeze-thaw cycles ..... ZHAO Mei, ZHOU Ruilian, LIU Jianfang, et al (306)

Gray correlation analysis on naturalness of the primary forest types on the Losses Plateau ..... WANG Naijiang, LIU Zengwen, XU Zhao, et al (316)

Photosynthetic responses of *Gracilaria lemaneiformis* to two antibiotics ..... JIAN Jianbo, ZOU Dinghui, LIU Wenhua, et al (326)

Litter C:N:P ecological stoichiometry character of plant communities in typical Karst Peak-Cluster Depression ..... PAN Fujing, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (335)

Effects of groundwater depth on the gas exchange and chlorophyll fluorescence of *Populus euphratica* in the lower reaches of Tarim River ..... CHEN Yapeng, CHEN Yaning, XU Changchun, et al (344)

Monitoring and assessment of vegetation variation in Northern Shaanxi based on MODIS/NDVI ..... SONG Fuqiang, XING Kaixiong, LIU Yang, et al (354)

Effects of fire on the structure of herbage synusia vegetation in desertified steppe, North China ..... HE Haoyu, SU Jieqiong, HUANG Lei, et al (364)

Physiological responses of four broadleaved seedlings to drought stress simulated by PEG ..... FENG Huifang, XUE Li, REN Xiangrong, et al (371)

Effects of the different width of urban green belts on the temperature and humidity ..... ZHU Chunyang, LI Shuhua, JI Peng, et al (383)

Diversity of waterbirds and change in home range of bar-headed geese *Anser indicus* during breeding period at Hangcuo Lake of Tibet, China ..... ZHANG Guogang, LIU Dongping, QIAN Fawen, et al (395)

The habitat selection of Giant panda in Wanglang Nature Reserve, Sichuan Province, China ..... KANG Dongwei, KANG Wen, TAN Liuyi, et al (401)

Effects of vigilance on the patterns of functional responses of foraging in voles (*Microtus fortis*) ..... TAO Shuanglun, YANG Xifu, DENG Kaidong, et al (410)

Influence of heavy metal pollution on soil animal community in Luqiao, Taizhou City ..... BAI Yi, SHI Shidi, QI Xin, et al (421)

Annual quantitative distribution of meiofauna in relation to sediment environment in Qingdao Bay ..... DU Yongfen, XU Kuidong, LEI Yanli, et al (431)

Population genetic variations and phylogeography of *Macropodus opercularis* ..... WANG Peixin, BAI Junjie, HU Yinchang, et al (441)

Contribution of C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> host plants for the overwintering and 1<sup>st</sup> generation of *Helicoverpa armigera* (Hübner) in Northern China ..... YE Lefu, FU Xue, GE Feng (449)

Relationships between two species of insect pests and their natural enemies in tea gardens of three different altitudes ..... BI Shoudong, KE Shengbing, XU Jinfeng, et al (455)

The diversity of ground-dwelling beetles at cultivated land and restored habitats on the Bashang plateau ..... LIU Yunhui, YU Zhenrong, WANG Changliu, et al (465)

Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland ..... NIU Jia, ZHOU Xiaoqi, JIANG Na, et al (474)

Microbial diversity of the jujube (*Zizyphus jujuba* Mill.) fruits surface during harvesting and storage stages ..... SHA Yuexia (483)

Effects of powdery mildew infection on zucchini growth under elevated CO<sub>2</sub> and temperature ..... LIU Junzhi, GE Yaming, Pugliese Massimo, et al (491)

Impacts of arbuscular mycorrhizal fungi on soil aggregation dynamics of neutral purple soil ..... PENG Sili, SHEN Hong, YUAN Junji, et al (498)

The bacterial community structures in Xinjiang fault belt spring analyzed by PCR-DGGE ..... WU Jiangchao, GAO Xiaoqi, ZENG Jun, et al (506)

The impact of oil pollution on marine phytoplankton community growth change ..... HUANG Yijun, CHEN Quanzhen, ZENG Jiangning, et al (513)

Root morphological and physiological responses of rice seedlings with different tolerance to cadmium stress ..... HE Junyu, REN Yanfang, WANG Yangyang, et al (522)

Non-point pollution control for landscape conservation analysis based on CLUE-S simulations in Miyun County ..... PAN Ying, LIU Yunhui, WANG Jing, et al (529)

Analysis on ecological land rent based on ecological footprint ..... LONG Kaisheng, CHEN Ligen, ZHAO Yali (538)

Relationship of vegetation degradation classification and landscape accessibility classification in Shenzhen ..... LIU Yufan, CHEN Xue, LI Guicai, et al (547)

**Review and Monograph**

Risk management approaches for environmental and human health risks in the United States and Canada ..... HE Guizhen, LÜ Yonglong (556)

Plant wax and its response to environmental conditions: an overview ..... LI Jingjing, HUANG Junhua, XIE Shucheng (565)

Acid corrosion mechanism of the sulfate-reducing bacteria and protecting studies in oilfield ..... ZHUANG Wen, CHU Liye, SHAO Hongbo (575)

Advance in the research of phyllospheric microorganism ..... PAN Jiangang, HU Qing, QI Hongyan, et al (583)

# 2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊\*

(源于 2010 年版 CSTPCD 数据库)

| 排序<br>Order | 期刊 Journal                              | 总被引频次<br>Total citation | 排序<br>Order | 期刊 Journal    | 影响因子<br>Impact factor |
|-------------|---|-------------------------|-------------|---------------|-----------------------|
| 1           | 生态学报                                    | 11764                   | 1           | 生态学报          | 1.812                 |
| 2           | 应用生态学报                                  | 9430                    | 2           | 植物生态学报        | 1.771                 |
| 3           | 植物生态学报                                  | 4384                    | 3           | 应用生态学报        | 1.733                 |
| 4           | 西北植物学报                                  | 4177                    | 4           | 生物多样性         | 1.553                 |
| 5           | 生态学杂志                                   | 4048                    | 5           | 生态学杂志         | 1.396                 |
| 6           | 植物生理学通讯                                 | 3362                    | 6           | 西北植物学报        | 0.986                 |
| 7           | JOURNAL OF INTEGRATIVE<br>PLANT BIOLOGY | 3327                    | 7           | 兽类学报          | 0.894                 |
| 8           | MOLECULAR PLANT                         | 1788                    | 8           | CELL RESEARCH | 0.873                 |
| 9           | 水生生物学报                                  | 1773                    | 9           | 植物学报          | 0.841                 |
| 10          | 遗传学报                                    | 1667                    | 10          | 植物研究          | 0.809                 |

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 31 卷 第 2 期 (2011 年 1 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA  
(Semimonthly, Started in 1981)  
Vol. 31 No. 2 2011

**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

**主 编** 冯宗炜  
**主 管** 中国科学技术协会  
**主 办** 中国生态学会  
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

**出 版** 科 学 出 版 社  
地址:北京东黄城根北街 16 号  
邮政编码:100717

**印 刷** 北京北林印刷厂  
**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

**订 购** 全国各地邮局  
**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

**广告经营** 京海工商广字第 8013 号  
**许 可 证**

**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

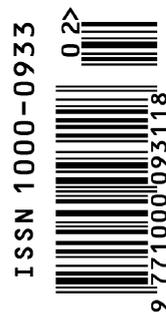
**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**Published** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North Street,  
Beijing 100717, China

**Printed** by Beijing Bei Lin Printing House,  
Beijing 100083, China

**Distributed** by Science Press  
Add:16 Donghuangchenggen North  
Street, Beijing 100717, China  
Tel:(010)64034563  
E-mail:journal@cspg.net

**Domestic** All Local Post Offices in China  
**Foreign** China International Book Trading  
Corporation  
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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