

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)

# 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, 王艳芬\*

(中国科学院研究生院, 北京 100049)

**摘要:** 土壤水分含量的空间异质性是引起湿地生态系统结构和功能空间变异的关键因素。目前有关低纬度高寒湿地土壤水分对微生物群落结构影响的研究较少。于2007年4月(冷季)和8月(暖季)采集若尔盖高寒湿地常年淹水和无淹水两种水分条件的土壤样品, 利用磷脂脂肪酸方法分析其微生物群落结构。结果表明, 土壤微生物总生物量、细菌生物量、革兰氏阳性细菌及革兰氏阴性细菌生物量均表现为常年淹水土壤高于无淹水土壤, 且4月份高于8月份; 与土壤通气量关系密切的真菌、放线菌, 其生物量表现为无淹水土壤显著高于常年淹水土壤; 反映群落组成的真菌: 细菌磷脂脂肪酸比值也表现为无淹水土壤显著高于常年淹水土壤。磷脂脂肪酸的主成分分析表明, 水分条件不同的两种土壤中微生物群落结构显著不同, 季节变化并未引起土壤微生物群落结构的改变。

**关键词:** 若尔盖湿地; 土壤水分条件; 微生物群落结构; 磷脂脂肪酸

## Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland

NIU Jia, ZHOU Xiaoqi, JIANG Na, WANG Yanfen\*

Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

**Abstract:** Soil moisture condition is heterogeneous and a key causative factor of spatial variation of ecosystem structure and function in wetlands. Microorganisms mediate fundamental processes in wetland ecosystems, such as C and N turnover, and are sensitive to soil moisture conditions. However, effects of soil moisture on microbial community have been poorly studied in alpine wetland at low latitude. Zoige alpine wetland is located in the east part of the Qinghai-Tibetan Plateau. It is the highest wetland, with the altitude of approximate 3400 m, and characterized by low temperature as well as low latitude (32°10'—34°10'N). To clarify the influence of soil water content on microbial diversity in Zoige alpine wetland, community structures were characterized for soil microorganisms from two sites with contrastive soil moisture conditions.

Soil samples were collected to the depth of 10 cm from neighboring flooding (down slope) and non-flooding (upslope) sites, 6 km away from the Flower Lake side in April (cold season) and August (warm season), 2007. Soil physical and chemical properties were measured using traditional methods. Phospholipid fatty acids (PLFAs) analysis was applied to determine soil microbial biomasses and investigate microbial community structure. Dilution-plate method was used to compare bacterial colonies under temperature gradient of 15°C, 25°C, and 37°C.

Results showed that soil organic carbon content, total nitrogen content and pH value were significantly higher in flooding soil than non-flooding soil. It could be attributed to the low decomposition rate of organic matter due to permanent inundation in the former site. PLFA analysis identified 17 different fatty acids in all sampling sites. The PLFA profiles were dominated by 16:1 $\omega$ 7c, i16:0, 18:1 $\omega$ 9c, 18:1 $\omega$ 8c, which together accounted for approximately 51.02%—61.64% of the total PLFA. Three of them were the biomarkers of gram-negative bacteria. Total microbial biomass, bacterial biomass, gram-positive and gram-negative bacterial biomass were all higher in flooding soil, and were higher in April than in August. High soil organic carbon content in flooding soil might partially explain high microbial biomass there. Plate counting

基金项目: 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-418)

收稿日期: 2009-12-02; 修订日期: 2010-03-15

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: yfwang@gucas.ac.cn

demonstrated higher bacterial colonies at 15 °C than at 25 °C and 37 °C, which might account for higher bacterial biomass in cold season. Gram-negative bacterial biomass was higher than gram-positive bacteria in all sampling sites, which might be attributed to the high pH value of Zoige wetland soil.

PLFA analysis revealed that the aerobic fungi and actinomycetes had higher biomass in non-flooding soil with more aeration pores than flooding site, and were all higher in cold season than in warm season. Fungi:bacteria PLFA ratio which reflected microbial community structure was also higher in non-flooding soil. However, the ratio hadn't been affected by the seasonal variation.

Principal component analysis exhibited a significant difference in microbial community structures between the two sites, in both cold and warm seasons. However, the difference was insignificant between cold and warm seasons in either site.

The results suggested that soil moisture condition was likely the main factor controlling the spatial and temporal variation of microbial community structure in Zoige alpine wetland. And there might be a larger quantity of cold-adaptive microbes in this ecosystem.

**Key Words:** Zoige wetland; soil moisture condition; microbial community structure; PLFA

土壤微生物主要由细菌、真菌、放线菌及原生动物和藻类等组成,是生物地球化学循环的重要参与者<sup>[1]</sup>。微生物群落结构的研究是目前微生物生态学研究热点,它指在一定区域内或生境下,微生物组成、数量及相互关系,决定了生态功能的特性和强弱,是实现生态功能、标记环境变化的重要因素<sup>[2]</sup>。

磷脂是活细胞膜上的重要组分,其含量与微生物的生物量存在相对固定的比例关系<sup>[3]</sup>,并且磷脂在细胞死亡后迅速降解,因此,运用磷脂脂肪酸(PLFA)方法不仅克服了传统微生物培养方法的局限,还可以准确、快捷地研究环境中微生物的群落结构并对微生物生物量进行定量分析<sup>[4]</sup>。

在各类型的生态系统中,湿地是一类介于陆地与海洋生态系统之间的特殊生态系统。湿地土壤水分通过影响湿地沉积物的氧化还原电位、有机碳的矿化<sup>[5]</sup>,全氮、全磷等养分的分布<sup>[6]</sup>,成为影响湿地生态系统最关键的因素之一。已有的研究表明,湿地土壤水分也是影响土壤微生物群落结构的重要因素。Bossio 等<sup>[7]</sup>在研究水稻土壤微生物时发现,淹水造成了土壤中微生物生物量、真菌:细菌磷脂脂肪酸比值的降低,并且改变了土壤微生物群落结构。Unger 等<sup>[8]</sup>的研究也发现,持续淹水降低了土壤总微生物、好氧细菌、革兰氏阳性细菌和革兰氏阴性细菌生物量,并改变了微生物群落结构。因此,土壤水分条件的不同强烈影响着土壤中微生物的生物量和群落结构。

此外,许多研究已报道微生物群落组成随着季节而发生变化,如 Lipson 等<sup>[9]</sup>研究北美落基山高寒草甸微生物群落时发现,微生物生物量在冷季高于暖季,季节变化通过影响区域温度和可利用底物影响微生物群落。凌云等<sup>[10]</sup>运用 DGGE 方法对人工芦苇湿地研究也发现,随着水体流动与季节更替,人工湿地中优势细菌一直在发生变化。由此可见,对土壤不同水分条件下微生物群落结构的研究结合冷暖季节的比较,更能全面地反映当地土壤微生物群落的真实情况。

位于青藏高原的若尔盖湿地(Zoige wetland)是世界上为数不多的低纬度永冻土湿地,具有高海拔、高有机质含量、对气候变化极度敏感等特点<sup>[11]</sup>,同时它也是青藏高原甲烷排放的中心之一<sup>[12]</sup>。已有的关于若尔盖高寒湿地的报道多为在宏观尺度上对当地土壤活性有机碳、植被、动物群落及气体通量的研究成果<sup>[12-14]</sup>,对土壤微生物的研究较少,仅有的是对当地功能微生物产甲烷菌的研究,如探究在刚毛荸荠群落土壤中主要的产甲烷菌类群及其生理生化特点<sup>[15-16]</sup>。

本研究选择若尔盖高寒湿地水分条件差异较大的两种土壤(常年淹水和无淹水),以湿地土壤水分对微生物群落的影响为切入点,运用 PLFA 方法研究这两种土壤在冷季(4 月份)和暖季(8 月份)微生物群落结构特征,以期揭示土壤水分对若尔盖湿地微生物群落结构的影响,为研究若尔盖湿地生物地化循环,以及微生物群落对重要生态系统过程的影响,提供科学依据和理论基础。

## 1 材料方法

### 1.1 研究地概况

若尔盖高寒湿地位于四川省北部,川甘两省交界处(32°10′—34°10′N,101°45′—103°55′E),地处青藏高原,平均海拔 3400—3600 m,总面积 19600 km<sup>2</sup>,是一个相对完整的自然地理区域。湿地主要由黄河东岸的一连串小湖泊、池塘、淡水沼泽、泥炭地和高原草地组成,原始生境保存较好。若尔盖湿地属于高原寒温带湿润气候,每年 11 月份至翌年 4 月份受西伯利亚和蒙古冷空气控制,5 月份至 10 月份受西南季风控制,没有明显的四季之分,仅可分出冷暖两季。当地年均降水量 640 mm,多年平均气温为 0.6—1.2 °C,区内最暖月为 7 月份(平均气温 9.1—11.4 °C),最冷月为 1 月份(平均气温 -8.2—-10.9 °C)。若尔盖湿地植物群落以多年生苔草和蒿草等植物为优势种,主要类型有藏蒿草(*kobresia tibetica*)、木里苔草(*carex muliensis*)、刚毛荸荠(*Eleocharis valleculosa*)、小狸藻(*Utricularia intermedia*)、苔藓(*Leptodictyum riparium*)等。

### 1.2 取样方法

在距离当地花湖自然保护区 6 km 处,选取土壤水分条件具有明显差异的两块区域作为采样地,分别定义为坡上(33°55.837′—33°55.887′N, 102°52.834′—102°52.703′E, 海拔(3507 ± 5) m)和坡下(33°55.672′—33°55.693′N, 102°52.220′—102°52.283′E, 海拔(3432 ± 4.6) m)。坡上无淹水,土壤含水量较低;坡下常年淹水,土壤处于淹水饱和状态。根据当地气候特点,分别于 2007 年 4 月(冷季)和 8 月(暖季)进行取样。采样时,每隔 100 m 左右设置一个 1 m × 1 m 的样方,在每个样方内用土钻(直径 5 cm)采集 10 个表层(0—10 cm)土样,除去植物残体和大石块等后装入塑料袋中充分混匀,并密封保存于冰盒中取回。部分样品保存于 4 °C 条件下,并在采集后两周内进行土壤理化性质的分析;部分样品在 -20 °C 条件下,冷冻保存待用于 PLFA 分析。

### 1.3 实验测定方法

#### 1.3.1 土壤基本理化性质的测定

4 °C 保存的土样经自然风干后过 2mm 筛,进行土壤基本理化性质分析,具体方法如下<sup>[17]</sup>。土壤含水量采用烘干法测定;pH 采用水土比 2.5:1, pH 计测定;土壤有机碳采用重铬酸钾氧化-外热源法;全氮采用半微量凯氏法。

#### 1.3.2 磷脂脂肪酸(PLFA)测定

磷脂脂肪酸(PLFA)方法综合采用 Zelles<sup>[18]</sup>和 Pennanen<sup>[19]</sup>所描述的方法并进行了改进,具体步骤如下。

取 4 g 新鲜土样,用氯仿、甲醇和磷酸缓冲液的混合液(1:2:0.8),避光振荡提取,离心,将上清液转入分液漏斗中,补加磷酸缓冲液和氯仿,室温避光过夜分层。收集下层氯仿相,氮气吹干。100—200 目硅胶柱层析,分离出磷脂。依次用氯仿、丙酮和甲醇溶剂洗脱,收集甲醇洗脱液,氮气吹干。加入甲醇:甲苯混合液(1:1)和 0.2 mol/L 的 KOH 甲醇溶液,37 °C 反应 20 min。冷却至室温,依次加入醋酸中和,氯仿:正己烷(1:4)和适量超纯水后静置分层,取上清液(正己烷相),氮气吹干,直接用于检测或 -20 °C 保存待测。

测定所用内标为正 19 烷脂肪酸甲酯(Sigma-Aldrich Co., USA)。采用气相色谱/质谱联用仪(6890GC/5973MSD, Agilent Technologies Co., USA)测定。

脂肪酸的命名规则如下:碳原子总数:双键数 ω 烯键距离甲基端的位置。前缀 a-、i-分别代表异型和同型,后缀 c-、t-分别表示顺式和反式,cy-表示环丙烷脂肪酸,ME 前的数字代表甲基取代基团距分子羧基端 C 原子的数目。

土壤微生物总生物量和各菌群生物量的分析是基于对标志性脂肪酸的定量统计(nmol/g 干土)得到的。全部测得的 PLFA 含量之和用来表示微生物总生物量<sup>[20]</sup>。指示细菌生物量的脂肪酸有:i14:0, i15:0, a15:0, 15:0, i16:0, i17:0, a17:0, cy17:0, 17:0, 18:1ω7, 18:1ω8, 18:1ω9, 18:1ω10, cy19:0<sup>[21]</sup>。其中指示革兰氏阳性菌细菌的主要为支链饱和脂肪酸,包括有 15:0, a15:0, i15:0, i16:0, i17:0, a17:0。指示革兰氏阴性菌细菌的主要为单烯和环丙烷脂肪酸,包括有 16:1ω7t, 16:1ω5t, cy17:0, 18:1ω5, 18:1ω7, 18:1ω8, cy19:0。18:2ω6, 9 和

10ME18:0 分别用来指示真菌和放线菌生物量<sup>[22]</sup>。

### 1.3.3 温度梯度培养计数

分别在 15 °C (嗜冷菌的最适生长温度)、25 °C (室温菌的最适生长温度)、37 °C (体温菌的最适生长温度) 培养并采用稀释平板计数法对若尔盖湿地土壤细菌数量进行测定。

### 1.4 数据分析

所有测定结果以烘干土壤质量表示。统计分析采用 SPSS 13.0, 运用方差分析比较供试土壤的理化性质、总 PLFA 含量、各菌群 PLFA 含量及真菌:细菌 PLFA 比值的差异;运用主成分分析(PCA)方法分析土壤 PLFA 数据,旋转方法为最大方差正交旋转(Varimax)。作图采用 Origin 7.5。

## 2 结果与分析

### 2.1 土壤理化性质

在整个测定期间,无论冷季还是暖季,坡下的土壤有机碳、全氮、pH 和含水量数值均极显著地高于坡上 ( $P < 0.01$ ) (表 1)。坡下的有机碳分别为坡上的 2.4 倍和 2.7 倍;全氮分别为坡上的 2.2 倍和 3.2 倍。所有供试土壤 pH 值均为碱性 (pH 值范围为 7.90—8.04)。此外,坡下土壤常年处于淹水饱和状态,而坡上的土壤含水量则相对较低。

表 1 若尔盖湿地土壤基本理化性质

Table 1 Soil physicochemical properties of Zoige wetland

项目 Item	4 月 April		8 月 August	
	坡上 Upslope	坡下 Down slope	坡上 Upslope	坡下 Downs lope
有机碳 Organic carbon/(g/kg)	64.77 ± 0.11	158.61 ± 0.10 **	51.65 ± 0.09	139.58 ± 0.08 **
全氮 N-total/(g/kg)	4.30 ± 0.01	9.39 ± 0.13 **	4.13 ± 0.10	13.09 ± 0.05 **
pH	7.90 ± 0.01	8.04 ± 0.01 **	7.91 ± 0.02	8.04 ± 0.03 **
含水量 water content/%	20.81 ± 0.01	淹水(地表水位 5 cm)	19.34 ± 1.61	淹水(地表水位 10cm)

数据为平均值 ± 标准差 ( $n=3$ ); \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )

### 2.2 土壤磷脂脂肪酸组成分析

对 4 月(冷季)和 8 月(暖季)干、湿条件下的土壤进行磷脂脂肪酸分析,共检测出 17 种不同的脂肪酸(表 2),其中相对含量较大的脂肪酸有 16:1 $\omega$ 7c、i16:0、18:1 $\omega$ 9c、18:1 $\omega$ 8c,共占 PLFA 总量的 51.02—61.64%,

表 2 若尔盖湿地土壤磷脂脂肪酸组成及占总量的比例

Table 2 List of identified soil PLFAs and their mol% of Zoige wetland

磷脂脂肪酸 PLFAs	4 月 April		8 月 August	
	坡上 Upslope	坡下 Down slope	坡上 Upslope	坡下 Down slope
14:0	1.36 ± 0.07	1.21 ± 0.12 **	1.01 ± 0.02	1.37 ± 0.07 **
i14:0	1.27 ± 0.12	2.15 ± 0.12	1.61 ± 0.05	2.70 ± 0.55 *
9ME15:0	7.21 ± 0.19	7.76 ± 0.57	6.18 ± 0.34	8.47 ± 3.03
a15:0	6.32 ± 0.36	8.73 ± 1.24 *	5.90 ± 0.43	10.43 ± 1.87 *
16:0	5.00 ± 0.20	1.58 ± 0.17 **	4.63 ± 0.27	2.23 ± 0.47 **
16:1 $\omega$ 7c	9.23 ± 0.24	16.30 ± 0.99 **	8.09 ± 1.03	11.88 ± 1.75 *
16:1 $\omega$ 5t	6.27 ± 0.27	3.75 ± 0.22 **	4.95 ± 0.81	2.65 ± 0.53 *
i16:0	14.09 ± 0.21	15.93 ± 0.95 *	17.70 ± 1.52	18.85 ± 1.17
17:0	3.05 ± 0.10	1.93 ± 0.36 **	2.32 ± 0.29	3.05 ± 2.07
a17:0	1.97 ± 0.03	2.20 ± 0.48	1.98 ± 0.16	0.95 ± 0.17 **
cy17:0	3.15 ± 0.16	3.30 ± 0.35	2.23 ± 0.20	0.00 ± 0.00 **
18:2 $\omega$ 6,9	4.71 ± 0.03	2.13 ± 1.10 *	5.15 ± 0.60	1.59 ± 0.15 **
18:1 $\omega$ 9c	12.20 ± 0.30	8.12 ± 0.30 **	13.34 ± 0.85	7.67 ± 0.82 **
18:1 $\omega$ 8c	15.49 ± 0.64	19.41 ± 0.90 **	15.53 ± 1.94	21.50 ± 4.16 **
18:0	3.17 ± 0.11	2.93 ± 0.37	4.05 ± 0.48	4.01 ± 0.42
10ME18:0	2.75 ± 0.06	0.53 ± 0.19 **	2.36 ± 0.08	0.00 ± 0.00 **
cy19:0	2.75 ± 0.12	2.05 ± 0.25 *	2.96 ± 0.84	2.64 ± 0.86

数据为平均值 ± 标准差 ( $n=3$ ); \* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )

三种为单烯不饱和脂肪酸,它们是革兰氏阴性菌细菌的特征脂肪酸,占总量的 1/3 左右。

4 月,坡下脂肪酸 14:0、16:0、16:1 $\omega$ 5t、17:0、18:2 $\omega$ 6、9、18:1 $\omega$ 9c、10ME18:0、cy19:0 的相对含量低于坡上 ( $P < 0.05$ ),主要为革兰氏阴性菌细菌、真菌和放线菌的特征脂肪酸;8 月份,坡下脂肪酸 16:0、16:1 $\omega$ 5t、a17:0、cy17:0、18:2 $\omega$ 6、9、18:1 $\omega$ 9c、10ME18:0 的相对含量低于坡上 ( $P < 0.05$ ),主要的脂肪酸仍是革兰氏阴性菌细菌、真菌和放线菌的特征脂肪酸。由此可见,土壤干湿条件差异以及季节的改变主要引起了土壤中革兰氏阴性菌细菌、真菌和放线菌生物量的变化。

## 2.3 干湿土壤条件下微生物群落结构特征分析

### 2.3.1 土壤微生物总生物量分析

PLFA 总量可以用来表征土壤中活的微生物总生物量,由 PLFA 总量(图 1)可以看出,4 月份坡下土壤脂肪酸总量最高,为(124.01  $\pm$  19.64) nmol/g,而坡上土壤仅为(84.78  $\pm$  3.41) nmol/g。8 月份坡上和坡下土壤脂肪酸和 4 月份相比总量都较低,分别为(63.06  $\pm$  8.78) nmol/g 和(65.05  $\pm$  17.72) nmol/g。由此可见,4 月冷季土壤微生物总生物量显著高于 8 月份暖季。

### 2.3.2 土壤细菌生物量及 G<sup>+</sup>、G<sup>-</sup> 细菌生物量的分析

细菌、革兰氏阳性菌与革兰氏阴性菌细菌的生物量与土壤总微生物生物量变化大致相同(图 1),细菌 PLFA 含量占微生物总生物量 85% 左右,进一步证明了若尔盖湿地土壤微生物以细菌为主。温度梯度培养实验结果发现,15  $^{\circ}$ C 和 25  $^{\circ}$ C 的细菌菌落数量级均达到 10<sup>5</sup>,且前者菌落数略高于后者,而 37  $^{\circ}$ C 的细菌菌落数量级仅为 10<sup>4</sup>。此外,革兰氏阳性菌细菌 PLFA 含量在 4 月和 8 月间差异不显著,G<sup>-</sup> 细菌 PLFA 含量在 4 月显著高于 8 月,且在所有供试土壤中 G<sup>-</sup> 细菌丰度均高于革兰氏阳性菌细菌(图 1)。

### 2.3.3 土壤真菌、放线菌、真菌:细菌比值的分析

坡下真菌特征脂肪酸 18:2 $\omega$ 6、9 和放线菌特征脂肪酸 10ME18:0 在 4 月份和 8 月份都显著低于坡上 ( $P < 0.05$ )(图 2),并且在 8 月份,坡下检测不到放线菌特征脂肪酸。真菌与细菌的 PLFA 比值可以表征真菌与细菌之间生物量的关系,同时也反应出微生物群落结构变化,本研究发现,坡上的真菌:细菌脂肪酸比值显著高于坡下(图 3),但不同季节之间(4 月份和 8 月份)真菌:细菌脂肪酸比值差异不大。

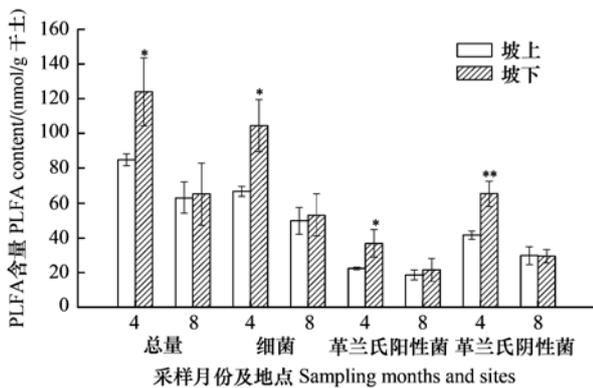


图 1 若尔盖湿地土壤总微生物、细菌、革兰氏阳性菌细菌和革兰氏阴性菌细菌 PLFA 含量

Fig. 1 The amount of soil PLFAs (total, bacterial, gram-positive bacteria, gram-negative bacteria) of Zoige

\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )

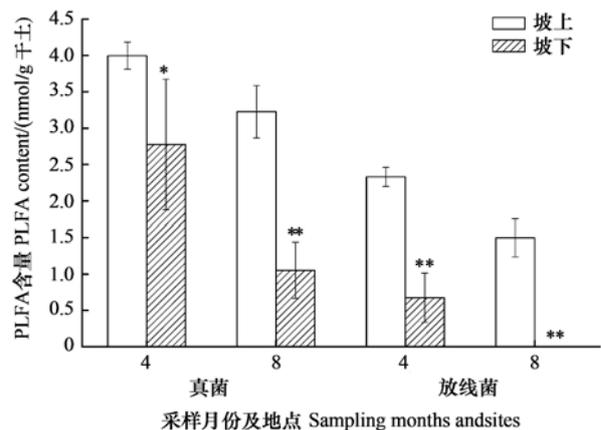


图 2 若尔盖湿地土壤真菌和放线菌 PLFA 含量

Fig. 2 The amount of soil PLFAs (fungi, actinomycetes) of Zoige wetland

\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )

### 2.3.4 土壤微生物群落结构的分析

运用主成分分析(PCA)方法比较 4 月份和 8 月份坡上、坡下 PLFA 图谱(图 4),可获得两个主成分,第一

主成分的方差贡献率为 48.87%,第二主成分的方差贡献率为 48.15%,累计贡献率达到 97.02%,因此主成分一和主成分二基本上可以全面反映研究区域微生物群落情况并将两种类型的土壤微生物群落区分开来。坡下的各点相距较近,与第一主成分高度正相关,坡上的各点相距较近,与第二主成分高度正相关,坡上、坡下土壤中微生物在主成分图上相距较远,说明这两种土壤微生物群落结构差异显著。

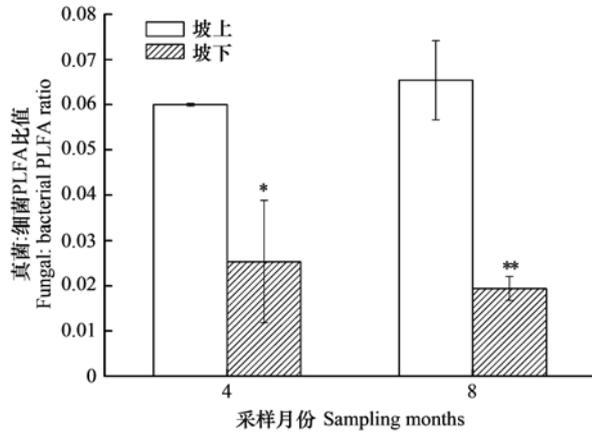


图3 真菌:细菌 PLFA 比值

Fig. 3 Soil fungal-bacterial PLFA ratio

\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )

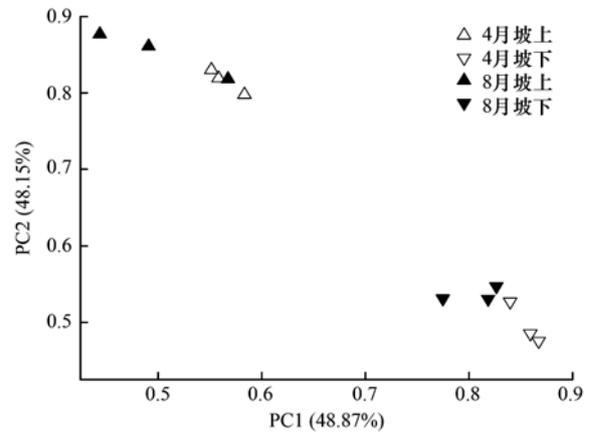


图4 若尔盖湿地土壤微生物群落 PLFA 图谱主成分分析

Fig. 4 Principal component analysis of PLFA profiles from soil microbial communities of Zoige wetland

\* 表示差异显著 ( $P < 0.05$ ), \*\* 表示差异极显著 ( $P < 0.01$ )

### 3 讨论

#### 3.1 PLFA 种类

本研究运用 PLFA 方法检测出 17 种脂肪酸,反映出当地微生物多样性的信息。相关的研究表明,不同类型土壤中可检测到的 PLFA 种类数差异较大。于树等<sup>[23]</sup>运用 PLFA 方法研究玉米地土壤微生物时,检测到 15 种脂肪酸。文倩等<sup>[24]</sup>对北方农牧交错带林地、草地微生物的 PLFA 分析共检测到 23 种脂肪酸。Wu 等<sup>[25]</sup>由南至北(21.4—47.4°N)对我国东部 12 个城市共 14 种土样的 PLFA 分析发现不同地理区域的土壤 PLFA 种类差异显著(23—34 种)。与已有的研究相比,若尔盖湿地 PLFA 种类较农田土壤丰富,但少于我国东部城市土壤。

#### 3.2 微生物群落结构影响因素

在以水的存在为主要特征的湿地生态系统中,湿地生物、土壤和水文相互作用。本研究发现土壤水分条件的不同对好氧微生物真菌和放线菌产生了直接影响,在常年淹水的坡下土壤中二者生物量较低,且真菌:细菌脂肪酸比值也显著低于无淹水的坡上土壤。这可能是由于淹水导致土壤中溶解氧含量的减少,不利于好氧的真菌和放线菌的生长,进而降低了真菌在微生物总量中的比例,使得微生物群落结构发生改变。Bossio 等<sup>[7]</sup>和刘岳燕等<sup>[26]</sup>在对水稻土进行相关研究时,以及 Unger 等<sup>[8]</sup>对漫滩进行相关研究时,均得出了相同的结论。土壤水分还可以通过影响土壤有机碳、全氮含量等理化性质,对土壤微生物群落结构产生影响。土壤水分的增加可导致土壤通气性变差,减缓有机质分解速率,使有机质及其他一些营养元素更易于累积。田应兵等<sup>[6]</sup>对若尔盖湿地进行研究时发现,土壤水分含量与土壤有机碳、全氮等含量成正相关,这与本研究中常年淹水的坡下土壤有更高的有机碳和总氮的结果一致。而土壤碳、氮含量被认为是土壤微生物生长的主要限制因素<sup>[27]</sup>。本研究中土壤有机碳和总氮较高的坡下,土壤微生物总生物量和各菌群生物量均显著高于坡上。Kraigher 等<sup>[28]</sup>运用 T-RFLP 和克隆文库方法对泥炭沼泽中的微生物进行研究发现,土壤有机碳与土壤微生物生物量成正比;Wu 等<sup>[25]</sup>对我国 14 种土壤的相关研究也表明土壤微生物总 PLFA 含量与土壤有机碳含量呈显著正相关。此外,土壤 pH 也是微生物群落结构的影响因素之一。Aciego Pietri 等<sup>[29]</sup>和 Wu 等<sup>[25]</sup>的研究都指出,高 pH 的土壤革兰氏阴性菌细菌的丰度高于革兰氏阳性菌细菌,且革兰氏阴性菌细菌丰度与 pH 呈正

相关。本研究也发现 pH 偏碱性的若尔盖湿地土壤,所有供试样品中革兰氏阴性菌细菌的丰度都高于革兰氏阳性菌细菌。这可能与革兰氏阳性菌细菌有适应酸性环境的独特机制而不适宜在偏碱性的环境中生存<sup>[30]</sup>,或者土壤 pH 增高使糖类和氨基酸的有效性增加促进革兰氏阴性菌细菌生长有关<sup>[31]</sup>。

本研究还对季节变化对微生物群落结构的影响进行了分析。冷季(4 月份)和暖季(8 月份)微生物群落的比较表明,冷季微生物总生物量和各菌群生物量均高于暖季,这与白震等<sup>[32]</sup>和 Rogers 等<sup>[33]</sup>研究发现夏季微生物生物量最高的结果并不相同。而 Lipson 等<sup>[9]</sup>对北美落基山高寒草甸微生物生物量进行研究时,发现了与本研究类似的结论,即秋季和冬季微生物生物量高于冰雪融化后的春季。其认为冬季植物凋落物多,土壤中可利用底物丰富,故微生物生物量高;而暖季植物根系分泌物、温度变化以及可利用底物的改变都导致了微生物生物量的降低。若尔盖地区与北美落基山地区的情况可能有着相似之处:一方面,季节的变化亦可引起若尔盖地区土壤微生物可利用底物的改变;另一方面,Zhang 等<sup>[16]</sup>在对若尔盖地区功能微生物产甲烷菌(古菌)的研究中发现嗜冷产甲烷菌在该环境中占据重要地位,而本研究的温度梯度培养计数也发现细菌菌落数在低温时高于常温,据此可推测嗜冷微生物在若尔盖湿地土壤中占有优势地位,则冷季到暖季温度的升高将可能导致当地适应低温生长的微生物的生物量减少。此外,本研究还发现季节的变化尽管造成了微生物生物量的改变,但是主成分分析结果却表明冷暖两季微生物群落结构的差异并不大,故主要是土壤水分条件的不同影响了若尔盖湿地微生物群落结构。

#### 4 结论

本研究对若尔盖湿地冷暖两季(4 月份和 8 月份),水分条件差异显著的两种土壤中微生物群落 PLFA 分析结果表明:

(1) 若尔盖高寒湿地水分条件差异显著的土壤(干/湿土壤),微生物生物量和群落结构差异显著。在常年淹水的坡下,土壤微生物总生物量、细菌生物量、革兰氏阳性菌及革兰氏阴性菌细菌生物量均显著高于无淹水的坡上,但好氧微生物如真菌和放线菌生物量在坡上较高。坡上和坡下微生物群落结构明显不同。

(2) 季节的变化,即由冷变暖,导致若尔盖湿地微生物总生物量及各菌群生物量的减少。因此推测该地区以嗜冷菌为主,在温度升高时,其生物量减少。但是季节变化并没有改变土壤中微生物的群落结构。

(3) 对于干湿土壤条件下微生物群落结构特征的分析表明,土壤水分条件不同对若尔盖湿地微生物群落结构影响比季节变化更大。

#### References:

- [ 1 ] Zhou D Q. Microbiology. Beijing: Higher Education Press, 2002: 1-7.
- [ 2 ] Chen Y L, Wang H, Hu H Y, Liang W, Guo Y F. Research progress on analytical technologies used in microbial community. Ecology and Environment, 2005, 14(1): 127-133.
- [ 3 ] Vestal J R, White D C. Lipid analysis in microbial ecology-quantitative approach to the study of microbial communities. BioScience, 1989, 39(8): 535-541.
- [ 4 ] Qi H Y, Xue K, Zhang H X. Phospholipid fatty acid analysis and its applications in microbial ecology. Acta Ecologica Sinica, 2003, 23(8): 1576-1582.
- [ 5 ] Yang G R, Tong C L, Xiao H A, Wu J S. Effects of water content on redox potential and carbon mineralization of wetland sediments. Environmental Science, 2009, 30(8): 2382-2386.
- [ 6 ] Tian Y B, Xiong M B, Song G Y. Restoration succession of wetland soils and their changes of water and nutrient in Ruergai Plateau. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(1): 21-25.
- [ 7 ] Bossio D A, Scow K M. Impacts of carbon and flooding on soil microbial communities: phospholipid fatty acid profiles and substrate utilization patterns. Microbial Ecology, 1998, 35(3): 265-278.
- [ 8 ] Unger I M, Kennedy A C, Muzika R M. Flooding effects on soil microbial communities. Applied Soil Ecology, 2009, 42(1): 1-8.
- [ 9 ] Lipson D A, Schadt C W. Changes in soil microbial community structure and function in an alpine dry meadow following spring snow melt. Microbial Ecology, 2002, 43(3): 307-314.
- [ 10 ] Ling Y, Lin J, Xu Y T. Microbial community changes in reed constructed wetland in different seasons. Urban Environment & Urban Ecology,

- 2009, 22(4): 8-10.
- [11] Jin H J, Cheng G D, Xu B Q, Nakano T. Study on CH<sub>4</sub> fluxes from alpine wetlands at the Huashixia permafrost station, Tibetan Plateau. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 1998, 20(2): 172-174.
- [12] Chen H, Wu N, Gao Y H, Wang Y F, Luo P, Tian J Q. Spatial variations on methane emissions from Zoige alpine wetlands of Southwest China. *Science of The Total Environment*, 2009, 407(3): 1097-1104.
- [13] Chen H, Gao Y H, Yao S P, Wu N, Wang Y F, Luo P, Tian J Q. Spatiotemporal variation of methane emissions from alpine wetlands in Zoige plateau. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3425-3438.
- [14] Gao J Q, Xu X L, Zhang F, Wang C M. Distribution characteristics of soil labile carbon along water table gradient of alpine wetland soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2008, 22(3): 126-131.
- [15] Zhang G S, Tian J Q, Jiang N, Guo X P, Wang Y F, Dong X Z. Methanogenic community in Zoige wetland of Tibetan plateau and phenotypic characterization of a dominant uncultured methanogen cluster ZC- I. *Environmental Microbiology*, 2008, 10(7): 1850-1860.
- [16] Zhang G S, Jiang N, Liu X L, Dong X Z. Methanogenesis from methanol at low temperatures by a novel psychrophilic methanogen, "*methanobolus psychrophilus*" sp. nov., prevalent in Zoige wetland of the Tibetan plateau. *Applied and Environmental Microbiology*, 2008, 74(19): 6114-6120.
- [17] Lu R K. *Agricultural Analysis Methods of Soil*. Beijing: Chinese Agricultural Technology Press, 2000.
- [18] Zelles L, Bai Q Y, Fractionation of fatty acids derived from soil lipids by soil phase extraction and their quantitative analysis by GC-MS. *Soil Biology & Biochemistry*, 1993, 25(44): 495-507.
- [19] Pennanen T, Liski J, Bååth E, Kitunen V, Uotila J, Westman C J, Fritze H. Structure of the microbial communities in coniferous forest soils in relation to site fertility and stand development stage. *Microbial Ecology*, 1999, 38(2): 168-179.
- [20] Zelles L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterisation of microbial communities in soil: a review. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(2): 111-129.
- [21] Frostegård A, Bååth E. The use of phospholipid fatty acid analysis to estimate bacterial and fungal biomass in soil. *Biology and Fertility of Soils*. 1996, 22(1/2): 59-65.
- [22] Bååth E, Anderson T H. Comparison of soil fungal/bacteria ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biology & Biochemistry*, 2003, 35(7): 955-963.
- [23] Yu S, Wang J K, Li S Y. Effect of long-term fertilization on soil microbial community structure in corn field with the method of PLFA. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(9): 4221-4227.
- [24] Wen Q, Lin Q M, Zhao X R, Li G T, Zhao P Y. Application of PLFA analysis in determination of soil microbial community structure in woodland, cropland and grassland in farmland-pasture interweaving zone of north China. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 321-327.
- [25] Wu Y P, Ma B, Zhou L, Wang H Z, Xu J M, Kemmitt S, Brookes P C. Changes in the soil microbial community structure with latitude in eastern China, based on phospholipid fatty acid analysis. *Applied Soil Ecology*, 2009, 43(2/3): 234-240.
- [26] Liu Y Y, Yao H Y, Huang C Y. Influence of soil moisture regime on microbial community diversity and activity in a paddy soil. *Acta Pedologica Sinica*, 2006, 43(5): 828-834.
- [27] Wardle D A. A comparative assessment of factors which influence microbial biomass carbon and nitrogen levels in soil. *Biological Reviews*, 2008, 67(3): 321-358.
- [28] Kraigher B, Stres B, Hacin J, Ausec L, Mahne I, Elsas J D, Mandic-Mulec I. Microbial activity and community structure in two drained fen soils in the Ljubljana Marsh. *Soil Biology & Biochemistry*, 2006, 38(9): 2762-2771.
- [29] Aciego Pietri J C, Brookes P C. Substrate inputs and pH as factors controlling microbial biomass, activity and community structure in an arable soil. *Soil Biology & Biochemistry*, 2009, 41(7): 1396-1405.
- [30] Cotter P D, Hill C. Surviving the acid test: responses of Gram-positive bacteria to low pH. *Microbiology and Molecular Biology Reviews*, 2003, 67(3): 429-453.
- [31] Grayston S J, Campbell C D, Bardgett R D, Mawdsley J L, Clegg C D, Ritz B S, Griffiths B S, Rodwell J S, Edwards S J, Davies W J, Elston D J, Millard P. Assessing shifts in microbial community structure across a range of grasslands of differing management intensity using CLPP, PLFA and community DNA techniques. *Applied Soil Ecology*, 2004, 25(1): 63-84.
- [32] Bai Z, He H B, Xie H T, Zhang M, Zhang X D. Influences of fertilization and seasonal variation on microbial community in a Chinese Mollisol. *Environmental Science*, 2008, 29(11): 3230-3239.
- [33] Rogers B F, Tate I I I. Temporal analysis of the soil microbial community along a toposequence in Pineland soils. *Soil Biology & Biochemistry*, 2001, 33(10): 1389-1401.

#### 参考文献:

- [1] 周德庆. 微生物学教程. 北京: 高等教育出版社, 2002: 1-7.

- [ 2 ] 车玉伶,王慧,胡洪营,梁威,郭玉凤. 微生物群落结构和多样性解析技术研究进展. 生态环境, 2005, 14(1): 127-133.
- [ 4 ] 齐鸿雁,薛凯,张洪勋. 磷脂脂肪酸谱图分析方法及其在微生物生态学领域的应用. 生态学报, 2003, 23(8): 1576-1582.
- [ 5 ] 杨钙仁,童成立,肖和艾,吴金水. 水分控制下的湿地沉积物氧化还原电位及其对有机碳矿化的影响. 环境科学, 2009, 30(8): 2382-2386.
- [ 6 ] 田应兵,熊明标,宋光煜. 若尔盖高原湿地土壤的恢复演替及其水分与养分变化. 生态学杂志, 2005, 24(1): 21-25.
- [ 10 ] 凌云,林静,徐亚同. 景观人工湿地微生物群落结构的季节变化. 城市环境与城市生态, 2009, 22(4): 8-10.
- [ 11 ] 金会军,程国栋,徐柏青,中野智子. 青藏高原花石峡冻土站高寒湿地  $\text{CH}_4$  排放研究进展, 冰川冻土, 1998, 20(2): 172-174.
- [ 13 ] 陈槐,高永恒,姚守平,吴宁,王艳芬,罗鹏,田建卿. 若尔盖高原湿地甲烷排放的时空异质性. 生态学报, 2008, 28(7): 3425-3438.
- [ 14 ] 高俊琴,徐兴良,张锋,王春梅. 水分梯度对若尔盖高寒湿地土壤活性有机碳分布的影响. 水土保持学报, 2008, 22(3): 126-131.
- [ 17 ] 鲁如坤. 土壤农业化学分析方法. 北京: 中国农业科技出版社, 2000.
- [ 23 ] 于树,汪景宽,李双异. 应用 PLFA 方法分析长期不同施肥处理对玉米地土壤微生物群落结构的影响. 生态学报, 2008, 28(9): 4221-4227.
- [ 24 ] 文倩,林启美,赵小蓉,李贵桐,赵沛一. 北方农牧交错带林地、耕地和草地土壤微生物群落结构特征的 PLFA 分析. 土壤学报, 2008, 45(2): 321-327.
- [ 26 ] 刘岳燕,姚槐应,黄昌勇. 水分条件对水稻土微生物群落多样性及活性的影响. 土壤学报, 2006, 26(7): 2387-2315.
- [ 32 ] 白震,何红波,解宏图,张明,张旭东. 施肥与季节更替对黑土微生物群落的影响. 环境科学, 2008, 29(11): 3230-3239.

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 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 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 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

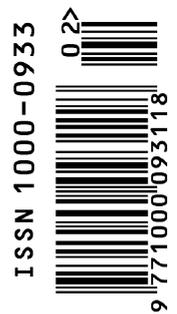
**Editor-in-chief** FENG Zong-Wei  
**Supervised** by China Association for Science and Technology  
**Sponsored** by Ecological Society of China  
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS  
Add: 18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

**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