

ISSN 1000-0933  
CN 11-2031/Q

# 生态学报

## Acta Ecologica Sinica



第34卷 第11期 Vol.34 No.11 **2014**

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 34 卷 第 11 期 2014 年 6 月 (半月刊)

## 目 次

### 前沿理论与学科综述

土壤大孔隙流研究现状与发展趋势..... 高朝侠,徐学选,赵娇娜,等 (2801)

### 能源基地生态修复

我国大型煤炭基地建设的生态恢复技术研究综述..... 吴 钢,魏 东,周政达,等 (2812)

国家大型煤电基地生态环境监测技术体系研究——以内蒙古锡林郭勒盟煤电基地为例.....

..... 魏 东,全 元,王辰星,等 (2821)

基于 DPSIR 模型的国家大型煤电基地生态效应评估指标体系 ..... 周政达,王辰星,付 晓,等 (2830)

西部干旱区煤炭开采环境影响研究..... 雷少刚,卞正富 (2837)

露天煤矿区生态风险受体分析——以内蒙古平庄西露天煤矿为例..... 高 雅,陆兆华,魏振宽,等 (2844)

草原区矿产开发对景观格局和初级生产力的影响——以黑岱沟露天煤矿为例.....

..... 康萨如拉,牛建明,张 庆,等 (2855)

三七对土壤中镉、铬、铜、铅的累积特征及健康风险评价 ..... 林龙勇,阎秀兰,廖晓勇,等 (2868)

某焦化场地土壤中多环芳烃分布的三维空间插值研究..... 刘 庚,毕如田,权 腾,等 (2876)

### 个体与基础生态

杉木人工混交林对土壤铝毒害的缓解作用 ..... 雷 波,刘 彬,罗承德,等 (2884)

基于  $\delta^{15}\text{N}$  稳定同位素分析的人工防护林大型土壤动物营养级研究 ..... 张淑花,张雪萍 (2892)

铅镉抗性菌株 JB11 强化植物对污染土壤中铅镉的吸收 ..... 金忠民,沙 伟,刘丽杰,等 (2900)

陕北地区石油污染土壤中不动杆菌属的筛选、鉴定及降解性能 ..... 王 虎,吴玲玲,周立辉,等 (2907)

祁连山高山植物根际土放线菌生物多样性..... 马爱爱,徐世健,敏玉霞,等 (2916)

新疆沙冬青 AM 和 DSE 真菌的空间分布 ..... 姜 桥,贺学礼,陈伟燕,等 (2929)

聚糠茶水剂对不同积温带玉米花后叶片氮同化的影响..... 高 娇,董志强,徐田军,等 (2938)

内蒙古河套灌区玉米与向日葵霜冻的关键温度..... 王海梅,侯 琼,云文丽,等 (2948)

四种类型栓皮栎栲胶含量..... 尹艺凝,张文辉,何景峰,等 (2954)

食物胁迫对翅二型丽斗蟋飞行肌和繁殖发育的影响..... 吴红军,赵吕权,曾 杨,等 (2963)

颜色对梨小食心虫产卵选择性的影响..... 杨小凡,马春森,范 凡,等 (2971)

缓释单萜类挥发物对落叶松毛虫行为及落叶松主要防御蛋白的影响..... 林 健,刘文波,孟昭军,等 (2978)

### 种群、群落和生态系统

黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构 ..... 胡婵娟,郭 雷,刘国华 (2986)

刺参池塘底质微生物群落功能多样性的季节变化..... 闫法军,田相利,董双林,等 (2996)  
基于 DGGE 技术的茯砖茶发花过程细菌群变化分析 ..... 刘石泉,胡治远,赵运林 (3007)

### 景观、区域和全球生态

中国区域间隐含碳排放转移..... 刘红光,范晓梅 (3016)  
西南地区退耕还林工程主要林分 50 年碳汇潜力 ..... 姚 平,陈先刚,周永锋,等 (3025)  
青海湖流域草地植被动态变化趋势下的物候时空特征..... 李广泳,李小雁,赵国琴,等 (3038)  
黑龙江省温带森林火灾碳排放的计量估算..... 魏书精,罗碧珍,孙 龙,等 (3048)  
三峡库区森林植被气候生产力模拟..... 潘 磊,肖文发,唐万鹏,等 (3064)  
三峡水库支流拟多甲藻水华的形成机制..... 朱爱民,李嗣新,胡 俊,等 (3071)  
流域库坝工程开发的生物多样性敏感度分区..... 李亦秋,鲁春霞,邓 欧,等 (3081)

### 城乡与社会生态

基于集对分析的京津冀区域可持续发展协调能力评价..... 檀菲菲,张 萌,李浩然,等 (3090)  
江西省自然保护区发展布局空缺分析 ..... 黄志强,陆 林,戴年华,等 (3099)  
鄱阳湖生态经济区生态经济指数评价 ..... 黄和平,彭小琳,孔凡斌,等 (3107)  
基于有害干扰的中国省域森林生态安全评价..... 刘心竹,米 锋,张 爽,等 (3115)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q \* 1981 \* m \* 16 \* 328 \* zh \* P \* ¥90.00 \* 1510 \* 35 \* 2014-06



**封面图说:** 三峡库区森林植被——三峡地区属亚热带区域,山高坡陡、地形复杂、物种丰富,森林是其最重要的自然资源之一,其面积占到库区总面积的 37%左右,库区内现有森林可初步分为 2 个植被型组,8 个植被型,18 个群系组,44 个群系,102 个群丛,主要树种有马尾松、杉树、柏树等,低海拔处多为落叶阔叶林、常绿阔叶林,较高海拔分布有针阔混交林、针叶混交林、灌木林等,人工林主要有经济林、竹林等。对三峡库区森林气候生产力进行模拟,分析库区森林植被的生产力并进行预测,可以为三峡库区的生态建设决策提供科学依据。

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/stxb201306081455

胡婵娟, 郭雷, 刘国华. 黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下土壤微生物群落结构. 生态学报, 2014, 34(11): 2986-2995.

Hu C J, Guo L, Liu G H. Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area. Acta Ecologica Sinica, 2014, 34(11): 2986-2995.

## 黄土丘陵沟壑区不同植被恢复格局下 土壤微生物群落结构

胡婵娟<sup>1</sup>, 郭雷<sup>1</sup>, 刘国华<sup>2,\*</sup>

(1. 河南省科学院地理研究所, 郑州 450052; 2. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085)

**摘要:**针对典型黄土丘陵沟壑区陕西延安羊圈沟小流域坡面上单一刺槐林、单一撂荒地以及林草搭配的草地-林地-草地及林地-草地-林地 4 种不同植被格局, 利用磷脂脂肪酸 (phospholipid fatty acid, PLFA) 谱图分析法对土壤微生物群落结构进行监测研究, 旨在揭示坡面上不同的植被恢复格局对土壤微生物群落结构的影响。研究发现 4 种不同植被格局下, 2 种林草搭配的植被格局磷脂脂肪酸的结构比较相似, 与单一植被格局相比, 表层土壤中表征真菌的特征脂肪酸所占的比例有所提高。主成分分析显示 4 种植被格局 0—10 cm 土壤微生物群落结构存在差异, 差异主要存在于 2 种林草搭配的植被格局与 2 种单一的植被格局之间, 其中草地-林地-草地的植被格局与刺槐林和撂荒地之间土壤微生物群落结构的差异均达到了显著水平。不同微生物菌群的量在 4 种植被格局土壤间显著性差异主要存在于表层土壤中的细菌菌群和革兰氏阳性菌, 革兰氏阴性菌和真菌在 4 种植被格局土壤之间无显著差异。总之, 4 种不同植被恢复格局的土壤微生物群落结构存在差异且差异主要存在于表层土壤, 坡面上人工林的种植及林草搭配的恢复模式较直接撂荒更有利于提高微生物菌群的生物量。

**关键词:**微生物; 群落结构; 植被格局; 磷脂脂肪酸

### Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area

HU Chanjuan<sup>1</sup>, GUO Lei<sup>1</sup>, LIU Guohua<sup>2,\*</sup>

<sup>1</sup> Institute of Geographical Sciences, Henan Academy of Sciences, Zhengzhou 450052, China

<sup>2</sup> State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China

**Abstract:** Soil erosion is still severe in the Loess Plateau, and vegetation restoration practices are effective measures to fight it by reducing nutrient loss and improving soil quality. Soil microorganisms are important for soil ecosystem, which play crucial roles in biogeochemical cycling and ecosystem functioning. Soil biological and biochemical properties, such as microbial biomass, microbial community composition, and microbial functional diversity are frequently used for detecting accurate changes in soil properties. The major purpose of this study therefore, is to discover the effects of different vegetation restoration patterns on soil microbial community structures in the Loess Plateau. The study area was located in Yangjuangou catchment, a typical loess hilly area near Yan'an city of northern Shaanxi province, China. Four typical hillslopes, including F (artificial forest), G (grass), G-F-G (grass on the upper and lower slopes and artificial forest on the middle slope), and F-G-F (artificial forest on the upper and lower slopes and grass on the middle slope), were chosen. Several soil sampling sites, each covered by an area of 200m<sup>2</sup>, were conducted on the summit, shoulder, backslope, footslope and toeslope along each hillslope, respectively. Three experimental plots in each site were conducted with an area of 25 m<sup>2</sup>. Soil samples in the first two vertical layers (0—10 cm and 10—20 cm) were collected in August of 2007, for analyzing soil microbial community structure and soil physicochemical properties. Soil microbial community structure was analyzed by

基金项目: 中国科学院战略性先导科技专项资助(XDA01050104)

收稿日期: 2013-06-08; 网络出版日期: 2014-02-24

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: ghliu@rcees.ac.cn

using phospholipid fatty acid (PLFA) analytical method and soil physicochemical properties were done by general soil and agricultural chemistry analytical methods. Results showed that significant difference of phospholipid fatty acid composition existed between different soil layers and soils with different vegetation restoration patterns, mainly in surface soil layer collected from G-F-G and F-G-F differing with that from F and G. The proportion of phospholipid fatty acid indicated fungi was higher in the surface soils under G-F-G and F-G-F, compared to F and G. Principal components analysis (PCA) showed that in the 0—10 cm soil layer, the phospholipid fatty acid structure of G-F-G was different with that of F and G, while the phospholipid fatty acid structure of F-G-F was different with F significantly. The biomass of soil bacteria, fungi, Gram-negative bacteria and Gram-positive bacteria under F-G-F pattern were all captured the highest values. There was significant difference of soil bacteria biomass and Gram-positive bacteria biomass in the surface soil layers among the four mentioned vegetation restoration patterns. The biomass of soil bacteria and fungi, however, had non-significant difference among 10—20 cm soil layers with different vegetation restoration patterns. Redundancy analysis (RDA) showed that soil organic carbon and total nitrogen had more important relationship with soil microbial community. However, the effects of some physicochemical properties such like pH and bulk density on soil microbial community needed more study. In conclusion, microbial community structure was dissimilar in soils and significant difference mainly appeared in surface soil layers under four vegetation restoration patterns. The roles of artificial forestation and forest-grass collocation on the slope in improving soil microbial biomass were believed much better than abandoned farmland.

**Key Words:** microorganism; community structure; vegetation pattern; phospholipid fatty acid

土壤微生物作为土壤生态系统重要的组成部分,在土壤生态系统的能量流动和养分转化中起着重要的作用<sup>[1]</sup>。土壤微生物群落组成是土壤过程的重要限制因子<sup>[2-3]</sup>,微生物群落的组成和活性很大程度上决定生物地球化学循环、土壤有机物的代谢过程以及土壤的肥力和质量<sup>[4]</sup>。另外,由于土壤微生物对外界条件诸如土地利用变化、管理措施、耕作等的变化反应较其他土壤理化指标更为敏感,与土壤生态系统的稳定和健康息息相关,土壤微生物生物量、群落组成及多样性常常被用来作为土壤质量变化的表征指标<sup>[5-8]</sup>。

磷脂脂肪酸(phospholipid fatty acid, PLFA)谱图分析法作为非培养的生物化学分析方法,在微生物生态学的研究中得到了越来越多的应用,已经被用于研究土壤受到诸如耕作措施、污染、熏蒸的干扰后微生物群落结构发生的改变<sup>[9-11]</sup>、土壤质量的改变<sup>[12-13]</sup>以及不同植被影响下微生物群落结构的改变<sup>[14]</sup>。环境样品中的 PLFA 谱图可以代表整个活的微生物群落<sup>[15]</sup>,PLFA 具有结构多样性和生物特异性,土壤中 PLFA 的存在及其丰度可揭示特定生物或生物种群的存在及其丰度,通过对 PLFA 的定量测定可完成对微生物活细胞生物量的了解,并可通过 PLFA 种类的分析了解土壤微生物群落结构。

黄土丘陵沟壑区地形支离破碎,是全国乃至全世界水土流失最为严重的地区<sup>[16]</sup>。近年来,随着退

耕还林还草政策的推广以及水土保持措施的大力实施,该区域植被恢复工作取得了很大成效,水土流失现状得到了有效遏制。植被的恢复减少了径流、泥沙和养分的流失,加之植被恢复过程中不断的向土壤输入有机物质,良好地改善了土壤质量。同时,植被的恢复对土壤微生物也产生了很大影响<sup>[17]</sup>,但是,不同土地利用方式、不同恢复植被对土壤微生物的影响存在差异。研究表明,在不同施肥措施的农田系统,自然的森林和草地生态系统中微生物的群落组成均存在较大差异<sup>[18-20]</sup>,对不同种类植被下微生物区系的研究也表明植被不同,土壤微生物的活性和数量都存在显著差异<sup>[21]</sup>。本文以黄土丘陵沟壑区为研究区域,利用磷脂脂肪酸谱图分析法研究不同植被格局下土壤微生物群落结构的变化规律,能够更好的了解干旱及侵蚀环境下,植被及环境因子对微生物的影响,同时也能够为黄土丘陵沟壑地区植被恢复的评价提供良好的科学基础。

## 1 试验材料与方法

### 1.1 研究区域概况

研究区位于陕西省延安市羊圈沟小流域(36°41'—36°42' N, 109°30'—109°31' E),流域面积 2.02 km<sup>2</sup>,该区地形破碎,沟壑纵横,属于黄土高原丘陵沟壑地貌,暖温带半干旱季风气候,海拔 1025—1250 m,年平均降雨量 550 mm,降雨量年内和年际间变化

很大,70%的降雨集中在每年的7月至9月。该区域土壤类型主要为黄绵土,抗蚀性差,水土流失严重<sup>[22]</sup>。

在羊圈沟小流域内选择4个典型坡面:单一刺槐林坡面、单一撂荒草地坡面、在上坡、中坡和下坡分别分布为草地、林地和草地的草地-林地-草地搭配坡面及分布为林地、草地和林地的林地-草地-林地搭

配的坡面。坡面上林地均为恢复年限为25a的刺槐林,草地为同期退耕后形成的撂荒地。每个坡面由上而下将坡面划分为坡顶、坡肩、坡背、坡脚和坡趾等5个典型地形部位。自坡顶到坡趾设置5到6个样地,每个样地约200 m<sup>2</sup>,每个样地内设置3个样方,面积为25 m<sup>2</sup>,具体样地信息见表1。

表1 4种不同植被格局下的样地特征

Table 1 The characteristics of four sampling sites with different vegetation patterns

	海拔 /m Altitude	坡度/(°) Slope degree	坡向/(°) Slope aspect	经纬度 Longitude and latitude
刺槐林 <i>Robinia pseudoacacia</i> forest	1155—1235	9—31	东偏南 40	109°31'E36°42'N
撂荒草地 Grass	1205—1250	8—22	西偏北 37	109°30'E 36°42'N
草地-林地-草地 Grass-Forest-Grass	1148—1229	10—30	东偏南 27	109°30'E 36°42'N
林地-草地-林地 Forest-Grass-Forest	1138—1217	13—29	西偏南 42	109°31'E36°42'N

## 1.2 土壤样品的采集及分析

于2007年8月,用直径为5 cm土钻在每个样方中采集5—7钻表层(0—10 cm)和10—20 cm土样,分别混合为1个土壤样品,一部分土样风干过2 mm筛用于pH值和电导率的测定,过100目筛用于有机碳和全氮的测定。另一部分过2 mm筛冷冻干燥后放入-20℃冰箱保存用于土壤微生物群落结构的测定。具体测定方法:容重采用环刀法,pH值用酸度计(土:水=1:2.5),电导率用电导率仪(土:水=1:2.5),土壤有机碳用重铬酸钾氧化外加加热法,全氮用半微量凯式法<sup>[23]</sup>。4种植被格局下土壤理化性质见胡婵娟等<sup>[24]</sup>。

PLFA分析方法参考Frostegård等的方法<sup>[11]</sup>。试验开始前所有的器皿均用正己烷润洗3次。

(1)提取 称取4.00 g土样(冷冻干燥且过100目筛)装入30 mL的玻璃离心管中,在通风橱内依次加入3.6 mL磷酸缓冲液,4 mL氯仿,8 mL甲醇;振荡1 h,然后置于离心机中用2500 r/min离心10 min。取上清液转移至30 mL的分液漏斗中,再加3.6 mL磷酸缓冲液,4 mL氯仿到分液漏斗中,摇匀过夜分离。第2天转移分液漏斗中的氯仿相至新试管中,N<sub>2</sub>气吹干氯仿(温度不超过30℃)。

(2)分离 过硅胶柱(100—200目,120℃活化1 h)。过柱前先用5 mL氯仿润湿柱子,然后用15 mL氯仿分3次洗涤转移吹干的样品至柱子内,氯仿滴干后再加入20 mL丙酮,完全滴干后用甲醇将柱子底部洗干净,再加10 mL甲醇过柱,收集甲醇相,

N<sub>2</sub>气吹干。

(3)甲酯化 用1 mL液态物质(1:1)溶解吹干的脂类物质,加入1 mL 0.2 mol/L KOH(用甲醇做溶剂),35℃培养15 min。冷却至室温后,依次加入2 mL氯仿:正己烷(1:4)的混合液,1 mL 1 mol/L的醋酸用以中和样品,加2 mL超纯水,混均匀2000 r/min离心5 min。取上层正己烷溶液,再加2 mL氯仿:正己烷(1:4)于试管中,2000 r/min离心5 min,移取上层正己烷,合并2次的正己烷溶液,N<sub>2</sub>气吹干,提取样品在-20℃暗处保存,准备上机检测。上机时样品用200 mL正己烷溶解,以19:0甲酯作为内标物,在气相色谱仪(Hewlett-Packard 6890 series GC, FID)上采用MIDI软件系统(MIDI, Inc, Newark, DE)进行分析,测定磷脂脂肪酸各组分的含量。

PLFA的总量和单个PLFA的量可以用内标19:0来进行计算。真菌的量用18:2 $\omega$ 6c来表征;细菌的量用下列脂肪酸总和来表征:i14:0, i15:0, a15:0, 15:0, i16:0, 16:1 $\omega$ 9, 16:1 $\omega$ 7t, i17:0, a17:0, 17:0, cy17:0, 18:1 $\omega$ 7, cy19:0;革兰氏阴性菌的量用16:1 $\omega$ 7t, 16:1 $\omega$ 7c, cy17:0, 18:1 $\omega$ 7和cy19:0表征;革兰氏阳性菌的量用i15:0, a15:0, i16:0, i16:1, i17:0, a17:0表征<sup>[25]</sup>。

## 1.3 数据分析方法

采用Excel 2003、SPSS软件及CANOCO软件进行数据处理和统计分析,采用单因素方差分析(one-way ANOVA)和最小显著差异法(Least significant differences, LSD)比较不同数据组间的差异,用主成

分分析法 (Principal component analysis, PCA) 来分析磷脂脂肪酸的原始数据。微生物菌群与土壤理化性质之间的关系用冗余分析方法 (Redundancy analysis, RDA) 进行分析。

### 2 结果与分析

#### 2.1 不同植被格局下土壤微生物群落结构的组成 在 4 种不同植被格局下的表层土壤和 10—20

cm 土壤中分别检测到 66 种和 68 种磷脂脂肪酸,包括直链饱和脂肪酸、支链饱和脂肪酸、环丙基脂肪酸、单不饱和脂肪酸以及双不饱和脂肪酸。土壤中磷脂脂肪酸主要以细菌的脂肪酸为主。对表层土壤及 10—20 cm 土壤中含量较高的 42 和 46 种磷脂脂肪酸占总脂肪酸的百分比进行分析后得到了磷脂脂肪酸在土壤剖面上的分布结构图,如图 1 和图 2 所示。由图 1 可见,表层土壤中,4 种不同的植被格局

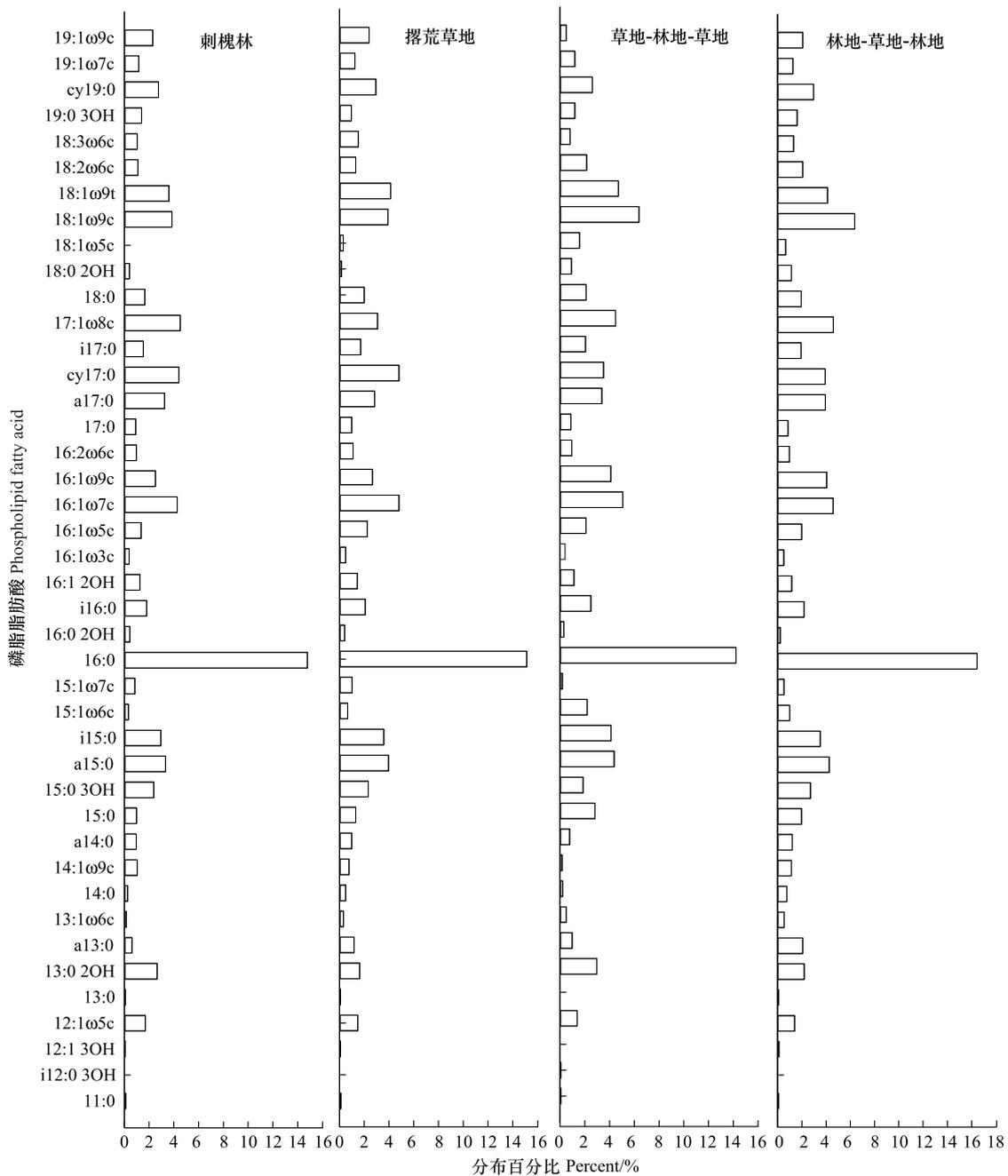


图 1 0—10 cm 土壤不同种类磷脂脂肪酸在不同植被格局下的分布

Fig.1 Distribution of different phospholipid fatty acids (PLFA) in 0—10 cm soils under different vegetation patterns

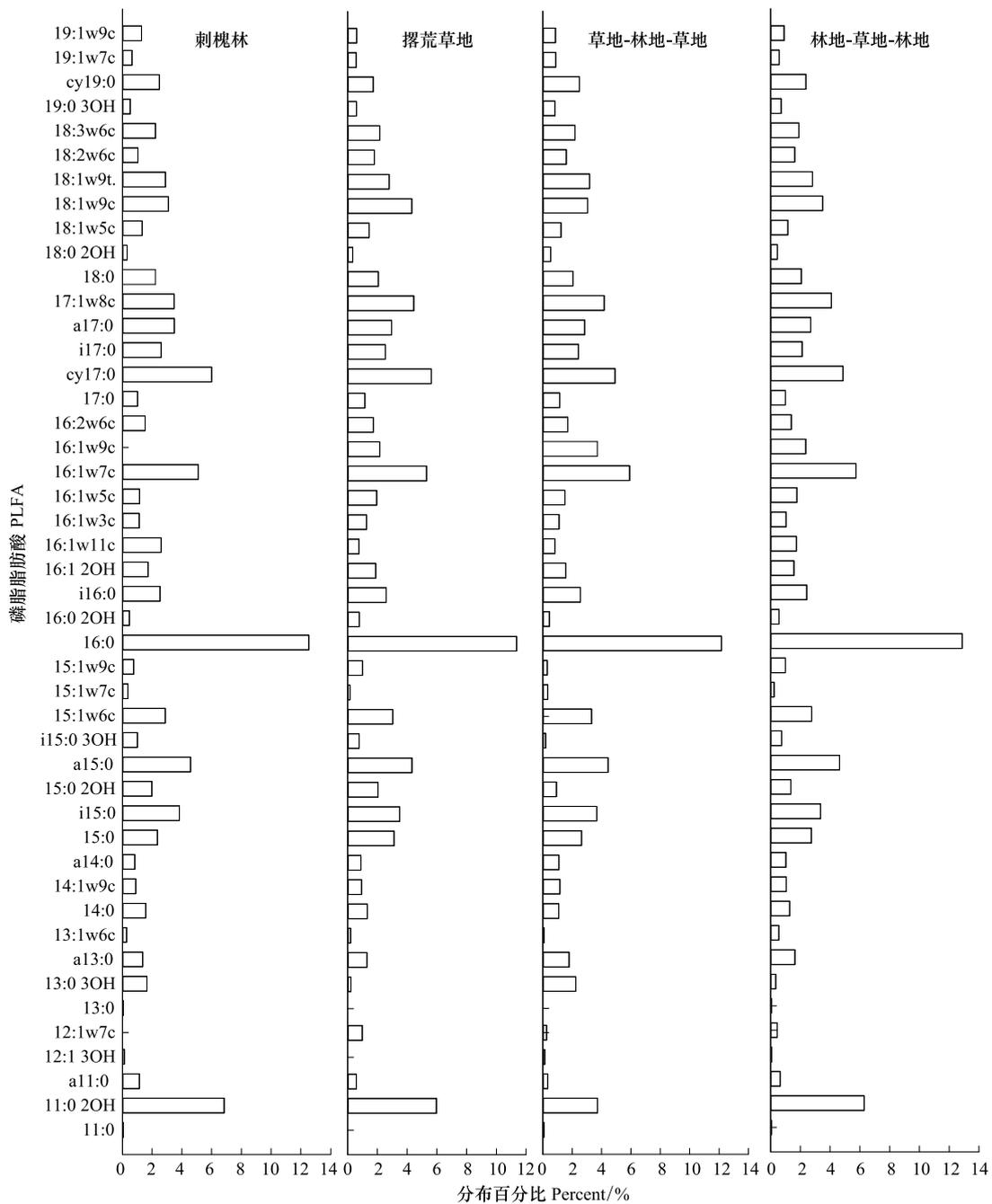


图 2 10—20 cm 土壤不同种类磷脂脂肪酸在不同植被格局下的分布  
 Fig.2 Distribution of different PLFA in 10—20 cm soils under different vegetation patterns

下土壤微生物的磷脂脂肪酸均以 16:0 含量最高,且 2 种单一植被格局磷脂脂肪酸的结构较为相似, 16:0、16:1w7c 和 cy17:0 3 种脂肪酸单体的总含量占总磷脂脂肪酸含量的 20% 以上, 2 种林草搭配的植被格局磷脂脂肪酸的结构组成比较相似, 其中, 16:0、16:1w7c、17:1w8c 和 18:1w9c 4 种磷脂脂肪酸单体的含量较高, 占总磷脂脂肪酸的 30% 以上, 与单一的植被格局相比, 表征真菌的 18:2w6c 所占的比

例有所增加。如图 2 所示, 对于 10—20 cm 的土壤, 4 种植物格局下土壤微生物的磷脂脂肪酸结构较为相似, 均以 11:0 2OH、a15:0、16:0、16:1w7c 和 cy17:0 等脂肪酸的含量较高, 占总磷脂脂肪酸含量的 30% 左右。对 4 种不同植被格局下表征细菌及真菌的特征脂肪酸分别进行方差分析发现, 15:0、a15:0、i15:0、i16:0、a17:0、i17:0 等几种特征脂肪酸在 4 种植物格局土壤中存在显著差异, 但主要存在于表层土壤,

10—20 cm 土壤 4 种植被格局下特征脂肪酸之间未见显著差异。

将 4 种植被格局下表层土壤和 10—20 cm 土壤中磷脂脂肪酸单体所占总磷脂脂肪酸的百分比进行主成分分析,对于 0—10 cm 表层土壤,提取出来的 2 大主成分能够解释变异量的 37.98%,如图 3 所示,4 种不同的植被格局在主成分 1 方向上的得分系数差异显著 ( $F=5.703, P=0.006$ ),差异主要存在于 2 种林草搭配的植被格局与 2 种单一的植被格局之间,

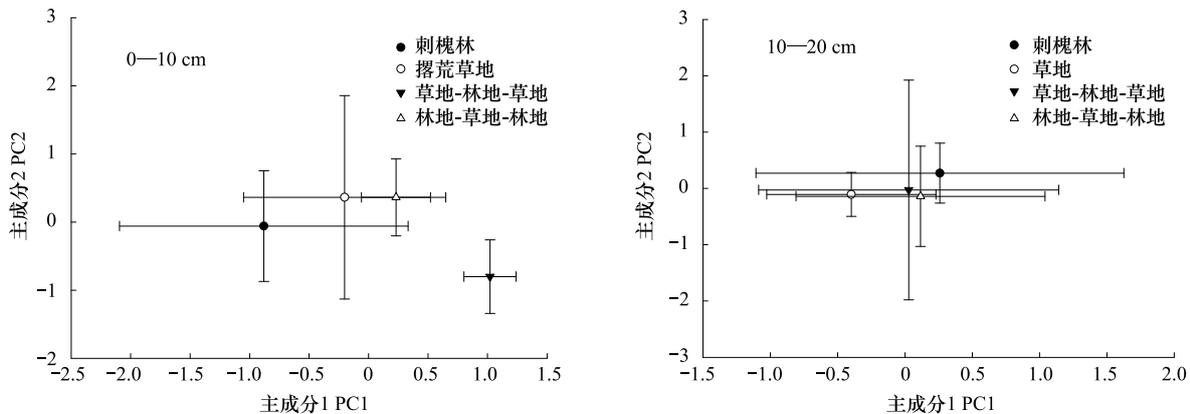


图 3 不同植被格局下微生物磷脂脂肪酸主成分分析图

Fig.3 Plot of Principal component 1 (PC1) versus Principal component 2 (PC2) scores from principal components analysis of PLFA data distinguished among sampling soils with different vegetation patterns

## 2.2 不同植被格局下土壤细菌、真菌、革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌的量

如图 4 所示,除刺槐林和撿荒草地真菌的含量 10—20 cm 高于 0—10 cm 土壤外,细菌、革兰氏阴性菌和阳性菌表层土壤的含量均高于 10—20 cm 土壤。方差分析显示,4 种不同植被格局下各微生物菌群之间的差异主要存在于表层土壤中,10—20 cm 土壤各指标不同植被格局间均未见显著性差异。对于表层土壤,林地-草地-林地植被搭配格局下土壤细菌的含量显著高于撿荒草地。真菌含量的大小顺序为林地-草地-林地>草地-林地-草地>撿荒草地>刺槐林地,但由于各样地之间真菌含量的变异较大,4 种植被格局样地间未见显著差异。革兰氏阴性菌和阳性菌分别在 51.36—59.92 nmol/g 和 57.94—77.89 nmol/g 之间变化,其中革兰氏阴性菌的含量与细菌总量在不同植被格局下的变化趋势相似,刺槐林和林地-草地-林地高于撿荒草地和草地-林地-草地,但 4 种不同植被格局样地间差异未达到显著水平。革兰氏阳性菌与阴性菌不同,表现为 2 种林草搭配的

其中草地-林地-草地的植被格局与刺槐林和撿荒草地之间微生物群落结构的差异均达到了显著水平,而林地-草地-林地的微生物群落结构只与刺槐林地之间存在显著性差异。对于 10—20 cm 土壤,提取出来的 2 大主成分分别解释变异量的 36.24% 和 10.33%,但如图 3 所示,代表 4 种植被格局的点分布较为集中,在主成分 1 和主成分 2 上得分系数间均未见显著性差异。

植被格局样地高于 2 种单一的植被格局且林地-草地-林地显著高于撿荒草地。细菌/真菌和革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌 (Gram-positive bacteria/Gram-negative bacteria,  $G^+/G^-$ ) 也是 2 个表征土壤微生物群落结构的重要指标,如图 4 所示,土壤细菌与真菌的比在刺槐林、撿荒草地、草地-林地-草地和林地-草地-林地 4 种植被格局下呈递减趋势,其中刺槐林和林地-草地-林地之间的差异达到了显著水平,而  $G^+/G^-$  表现为草地-林地-草地显著高于刺槐林地和撿荒草地。对于 10—20 cm 土壤,微生物群落在土壤中的分布较为相似,各菌群的含量之间均未见显著性差异。

## 2.3 土壤微生物群落同土壤理化性质的关系

为了探讨不同的微生物菌群之间,微生物菌群与土壤理化性质之间的关系,运用 CANOCO 软件对土壤细菌、真菌、革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌及细菌/真菌 (Bacteria/Fungi, B/F) 和  $G^+/G^-$  与土壤有机碳 (SOC)、总氮 (TN)、容重 (BD)、电导率 (EC)、pH 值和土壤含水量 (SM) 进行 RDA 分析。0—10 cm 和

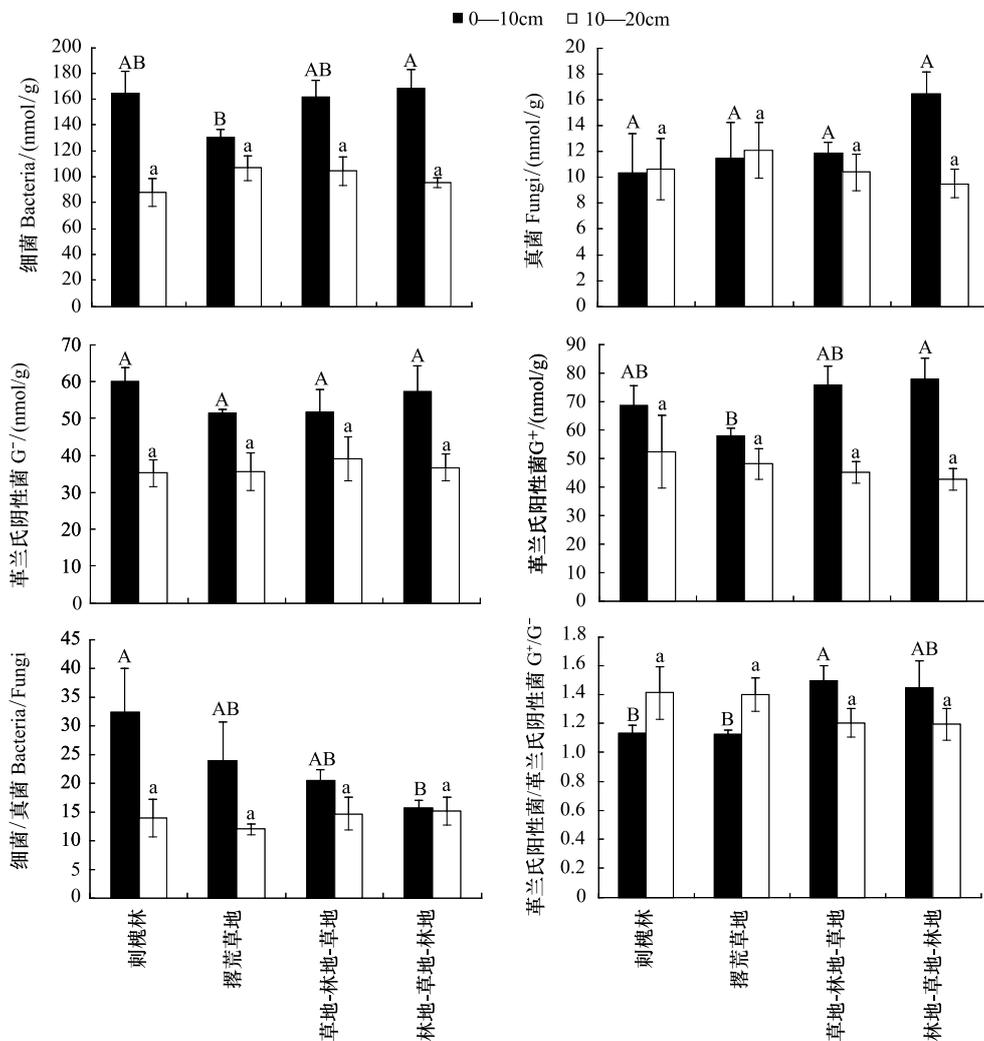


图4 不同植被格局下细菌、真菌、革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌的含量及细菌/真菌和革兰氏阳性菌/革兰氏阴性菌

Fig.4 The amounts of PLFA for bacteria, fungi, Gram-negative bacteria ( $G^-$ ) and Gram-positive bacteria ( $G^+$ ), and the value of bacteria/fungi and  $G^+/G^-$  in soils under different vegetation patterns

图中大写字母不同代表4种不同植被格局0—10 cm土壤之间差异显著,小写字母不同代表4种不同植被格局10—20 cm土壤之间差异显著,  $P < 0.05$

10—20 cm 土壤的分析结果如图 5 所示。图中 2 条射线之间的夹角代表相关性大小, 夹角越小, 代表相关性越大, 呈直角的时候二者无相关关系。箭头方向一致代表呈正相关关系, 否之则呈负相关关系。由图 5 所示, 对于 0—10 cm 土壤, 细菌和革兰氏阴性菌之间关系最为密切, 而土壤理化性质中, 土壤有机碳和总氮对土壤微生物群落的影响最大, 且与细菌、革兰氏阴性菌和革兰氏阳性菌之间是正相关关系。土壤中真菌含量主要受土壤容重的影响, 二者呈正相关关系。对于 10—20 cm 土壤, 真菌和革兰氏阳性菌变化趋势一致, 细菌和革兰氏阴性菌变化一致, 有机碳、总氮与革兰氏阳性菌、真菌及细菌之

间均呈现较为明显的正相关关系, pH 值与  $G^+/G^-$  之间存在显著的负相关关系。

### 3 讨论

#### 3.1 不同植被格局下土壤微生物群落结构的组成

磷脂脂肪酸的分析方法是基于非培养方式的测定方法, 通过测定土壤微生物细胞膜上磷脂脂肪酸的种类和含量, 来表征微生物的多样性和分析微生物的群落组成和结构。磷脂脂肪酸的分析能够更深入的了解细菌群落结构, 许多研究者已经根据磷脂脂肪酸的结构确定了不同菌群所包含的化学型<sup>[26-27]</sup>。本研究表层土壤和 10—20 cm 土壤中分别

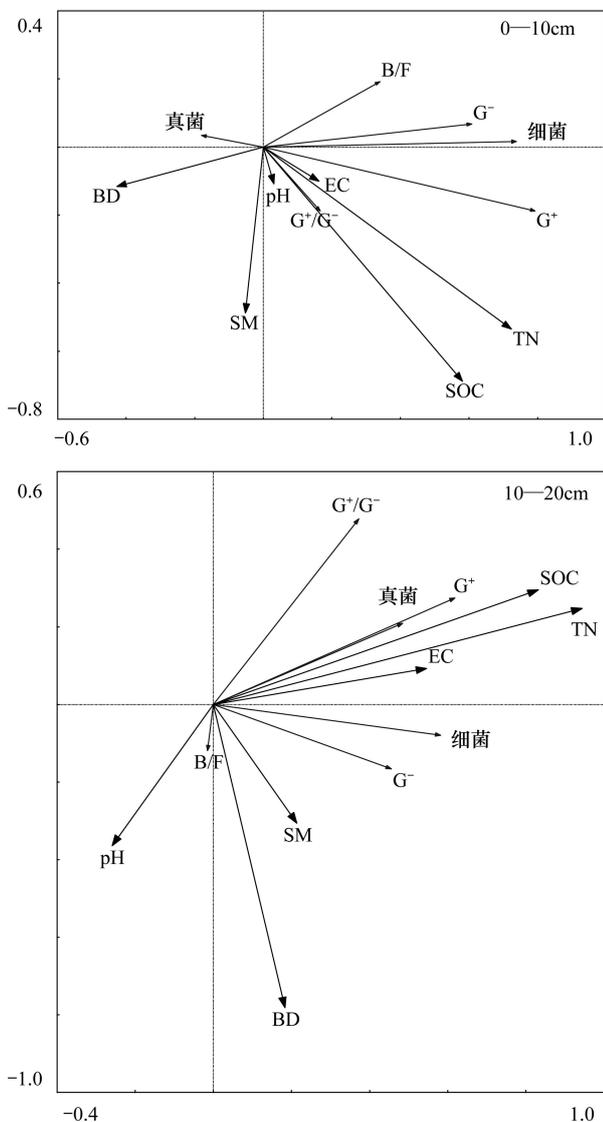


图5 细菌、真菌、革兰氏阴性菌、革兰氏阳性菌与土壤理化性质之间的关系

Fig.5 Relationships among bacteria, fungi, G<sup>-</sup>, G<sup>+</sup> and soil properties using redundancy analysis

检测倒 66 种和 68 种磷脂脂肪酸单体, 主要以细菌的磷脂脂肪酸种类为主, 其中表征假单胞菌的特征脂肪酸 16:0 的含量在不同土层和不同植被格局的样地土壤间均占最高比例, 这与以往的研究结果相似<sup>[28]</sup>。4 种植被格局之间微生物群落结构的差异主要存在于表层土壤且主要存在于 2 种林草搭配的植被格局与 2 种单一的植被格局之间。植物的生长对土壤微生物的群落结构有着直接和间接的影响, 一方面可以直接通过根系分泌物和凋落物的输入, 为微生物的生长提供必要的碳源, 另一方面可以通过改变土壤结构和营养状况从而间接的改变微生物的生存环境。以往的研究表明, 不同的植物根系和凋

落物对微生物的群落组成产生的影响存在差异<sup>[29-30]</sup>。本文研究区域黄土丘陵沟壑区水土流失严重, 坡面上不同的植被一方面通过自身的生长影响地下土壤生态系统, 另一方面通过减缓水土流失过程对土壤质量产生影响。坡面上不同的植被恢复格局不但植被生长类型存在差异, 同时对土壤水土流失过程的影响也存在差异, 因此坡面上不同的植被格局对土壤微生物的影响是多方面的。之前该区域已有的研究表明坡面上不同的植被格局对土壤的侵蚀、土壤微生物生物量及功能多样性的影响差异显著<sup>[31]</sup>, 本研究表明, 土壤微生物群落组成在不同的植被恢复格局下同样存在显著差异。

### 3.2 不同植被格局下土壤微生物菌群的分布

对不同植被格局下细菌、真菌和革兰氏阴性菌和阳性菌磷脂脂肪酸的含量及细菌/真菌和 G<sup>-</sup>/G<sup>+</sup> 进行分析后发现, 林草搭配的两种植被格局与单一的植被格局相比有效的增加了细菌和真菌的含量, 且真菌增加的比例较高, 显著性差异主要存在于林地-草地-林地和撂荒草地之间, 总体来讲, 种植人工林及林草搭配的植被格局比单一的撂荒能够更有效的提高微生物各菌群的含量。Patra 等<sup>[14]</sup> 的研究表明不同的植被种类对微生物磷脂脂肪酸的含量存在不同的影响, 4 种不同植被格局的土壤微生物磷脂脂肪酸含量的差异与林地和草地之间的差别存在一定的联系, 刺槐林的种植与撂荒草地相比某种程度上为微生物的生长提供了更有利的条件。微生物各菌群的含量与土壤理化性质之间的 RDA 分析显示土壤有机碳、总氮与细菌群落呈正相关关系, 这与以往研究结果相一致<sup>[32-33]</sup>。Aciego Pielri 等<sup>[34]</sup> 的研究指出, 高 pH 的土壤中革兰氏阴性菌的丰富度高于革兰氏阳性菌, 本研究中 10—20 cm 土壤层中的分析也发现 G<sup>+</sup>/G<sup>-</sup> 与 pH 值之间呈负相关关系, 但表层土壤当中 G<sup>+</sup>/G<sup>-</sup> 与 pH 值之间成正相关关系。对于土壤容重对微生物菌群的影响, 表层土壤和 10—20 cm 土壤层中真菌、革兰氏阴性菌与土壤容重的关系呈现了相反的规律。10—20 cm 土壤层相对与表层土壤来讲, 受扰动相对比较小, 而表层土壤受植被的生长、水土流失的影响及人为因素的影响较大, 微生物生长的环境影响因素相对较多。对于不同土层微生物菌群与土壤容重、pH 值等土壤理化性质之间的关系还需要进一步的探讨和研究。

#### 4 结论

通过对 4 种不同植被格局下 0—10 cm 和 10—20 cm 土壤微生物磷脂脂肪酸的测定,分析了不同植被格局下微生物群落结构的组成,得到了如下结论:

(1) 不同植被格局下的不同土层间磷脂脂肪酸的结构和组成存在差异,10—20 cm 与表层土壤中所包含的磷脂脂肪酸种类的数量相似,但不同的磷脂脂肪酸单体所占的比例存在差异。不同植被格局下磷脂脂肪酸结构和组成在 10—20 cm 土壤层较为相似,在表层土壤差异显著且差异主要存在于 2 种林草搭配的植被格局与 2 种单一植被格局的土壤之间,林草搭配的植被格局土壤表征真菌的特征脂肪酸较单一的植被格局在微生物群落结构中的比例有所提高。

(2) 不同植被格局下的土壤细菌、真菌、革兰氏阴性菌和阳性菌的磷脂脂肪酸含量之间存在一定差异,林地-草地-林地土壤细菌和真菌的含量均高于其他 3 种植被格局的土壤。细菌在表层土壤中的含量高于 10—20 cm 土壤且表层土壤差异显著,土壤真菌含量在 4 种植被格局间差异不显著,种植人工林及林草搭配的植被格局与撂荒草地相比一定程度上可以有效的提高土壤微生物菌群的含量。

#### References:

- [ 1 ] Harris J A, Birch P. Soil microbial activity in opencast coal mine restoration. *Soil Use and Management*, 1989, 5(4): 155-160.
- [ 2 ] Cavigelli M A, Robertson G P. The functional significance of denitrifier community composition in a terrestrial ecosystem. *Ecology*, 2000, 81: 1402-1414.
- [ 3 ] Balser T, Kinzig A, Firestone M. The functional consequences of biodiversity // Kinzig A, Pacala S, Tilman D, eds. *The Functional Consequences of Biodiversity*. Princeton: Princeton University Press, 2002: 265-293.
- [ 4 ] Zelles L. Fatty acid patterns of phospholipids and lipopolysaccharides in the characterization of microbial communities in soil: a review. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 29(2): 111-129.
- [ 5 ] Miller M, Dick R P. Dynamics of soil C and microbial biomass in whole soil and aggregates in two cropping systems. *Applied Soil Ecology*, 1995, 2(4): 253-261.
- [ 6 ] Pascual J A, Garcia C, Hernandez T, Moreno J L, Ros M. Soil microbial activity as a biomarker of degradation and remediation processes. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(13): 1877-1883.
- [ 7 ] Steenwerth K L, Jackson L E, Calderon F J, Stromberg M R, Scow K M. Soil microbial community composition and land use history in cultivated and grassland ecosystems of coastal California. *Soil Biology and Biochemistry*, 2002, 34(11): 1599-1611.
- [ 8 ] Bucher A E, Lanyon L E. Evaluating soil management with microbial community-level physiological profiles. *Applied Soil Ecology*, 2005, 29(1): 59-71.
- [ 9 ] Zelles L, Rackwitz R, Bai Q Y, Beck T, Beese F. Discrimination of microbial diversity by fatty acid profiles of phospholipids and lipopolysaccharides in differently cultivated soils. *Plant and Soil*, 1995, 170(1): 115-122.
- [ 10 ] Frostegård A, Tunlid A, Baath E. Phospholipid fatty acid composition, biomass and activity of microbial communities from two soil types experimentally exposed to different heavy metals. *Applied and Environmental Microbiology*, 1993, 59(11): 3605-3617.
- [ 11 ] Macalady J L, Fuller M E, Scow K M. Effects of metan sodium fumigation on soil microbial activity and community structure. *Journal of Environmental Quality*, 1998, 27: 53-63.
- [ 12 ] Bossio D A, Scow K M, Gunapala N, Graham K J. Determinants of soil microbial communities: effects of agricultural management, season, and soil type on phospholipid fatty acid profiles. *Microbial Ecology*, 1998, 36(1): 1-12.
- [ 13 ] Petersen S O, Deboz K, Schjonning P, Christensen B T, Elmholt S. Phospholipid fatty acid profiles and C availability in wet-stable macro-aggregates from conventionally and organically farmed soils. *Geoderma*, 1998, 78(3): 181-196.
- [ 14 ] Patra A K, Le Roux X, Grayston S J, Loiseau P, Louault F. Unraveling the effects of management regime and plant species on soil organic carbon and microbial phospholipid fatty acid profiles in grassland soils. *Bioresource Technology*, 2008, 99(9): 3545-3551.
- [ 15 ] Ringelberg D B, Davis J D, Smith G A, Piffner S M, Nichols P D, Nickels J S, Henson J M, Wilson J T, Yates M, Campbell D H, Read H W, Stocksdales T T, White D C. Validation of signature polarlipid fatty acid biomarkers for alkane-utilizing bacteria in soils and subsurface aquifer materials. *FEMS Microbiology Letters*, 1989, 62(1): 39-50.
- [ 16 ] Fu B J, Chen L D, Qiu Y, Wang J, Meng Q H. *Land Use Structure and Ecological Process in the Hilly Area of the Loess Plateau, China*. Beijing: Commercial Press, 2002: 1-12.
- [ 17 ] Hu C J, Guo L. Advances in the research of ecological effects of vegetation restoration. *Ecology and Environmental Sciences*, 2012, 21(9): 1640-1646.
- [ 18 ] Marschner P, Kandeler E, Marschner B. Structure and function of the soil microbial community in a long-term fertilizer experiment. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(3): 453-461.
- [ 19 ] Dickens H E, Anderson J M. Manipulation of soil microbial

- bommunity structure in bog and forest soils using chloroform fumigatin. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31 ( 14 ): 2049-2058.
- [20] Maire N, Borcard D, Laczkó E, Matthey W. Organic matter cycling in grassland soils of the Swiss Jura mountains: biodiversity and strategies of the living communities. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(9): 1281-1293.
- [21] Söderberg K H, Olsson P A, Bååth E. Structure and activity of the bacterial community in the rhizosphere of different plant species and the effect of arbuscular mycorrhizal colonization. *FEMS Microbiology Ecology*, 2002, 40(3): 223-231.
- [22] Fu B J, Chen L D, Ma K M. The effect of land use change on the regional environment in the Yangjuangou catchment in the Loess Plateau of China. *Acta Geographica Sinica*, 1999, 54 ( 3 ): 241-246.
- [23] Lu R K. *Analytical Methods for Soils and Agricultural Chemistry*. Beijing: China Agricultural Science and Technology Press, 1999.
- [24] Hu C J, Liu G H, Chen L D, Wu Y Q. Vegetation and soil properties under different vegetation patterns along the slope in the hilly area of the Loess Plateau. *Arid Land Geography*, 2012, 35 ( 5 ): 787-794.
- [25] 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.
- [26] Findlay R H, Trexler M B, Guckert J B, White D C. Laboratory study of disturbance in marine sediments; response of a microbial community. *Marine Ecology Progress Series*, 1990, 62: 121-133.
- [27] Gillan F T, Hogg R W. A method for the estimation of bacterial biomass and community structure in mangrove associated sediments. *Journal of Microbiological Methods*, 1984, 2 ( 5 ): 275-293.
- [28] Zhou B Q, Chen C R, Zhang H, Lan Z M, You J, Xing S H. Micro-flora difference in forestry soils with various vegetation types. *Journal of Fujian Agriculture and Forestry University*, 2009, 38(5): 542-547.
- [29] Zhang S X, Chen F L, Zheng H. Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(11): 3020-3026.
- [30] Cesarz S, Fender A C, Beyer F, Valtanen K, Pfeiffer B, Gansert D, Hertel D, Polle A, Daniel R, Leuschner C, Scheu S. Roots from beech (*Fagus sylvatica* L.) and ash (*Fraxinus excelsior* L.) differentially affect soil microorganisms and carbon dynamics. *Soil Biology and Biochemistry*, 2013, 61: 23-32.
- [31] Hu C J, Fu B J, Liu G H, Jin T T, Guo L. Vegetation patterns influence on soil microbial biomass and functional diversity in a hilly area of the Loess Plateau, China. *Journal of Soil and Sediments*, 2010, 10(6): 1082-1091.
- [32] Tian Q, Xia H P, Zhou L X. Analysis of soil microbial diversity by phospholipid fatty acid method in coniferous forest and schima superba plantation in Heshan, Guangdong province. *Journal of Tropical and Subtropical Botany*, 2011, 19(2): 97-104.
- [33] Niu J, Zhou X Q, Jiang N, Wang Y F. Characteristics of soil microbial communities under dry and wet condition in Zoige alpine wetland. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(2): 474-482.
- [34] Aciego Pietri J C A, Brookes P C. Substrate inputs and pH as factors controlling microbial biomass, activity and community structure in an arable soil. *Soil Biology and Biochemistry*, 2009, 41(7): 1396-1405.

#### 参考文献:

- [16] 傅伯杰, 陈利顶, 邱扬, 王军, 孟庆华. 黄土丘陵沟壑区土地利用结构与生态过程. 北京: 商务出版社, 2002: 1-12.
- [17] 胡婵娟, 郭雷. 植被恢复的生态效应研究进展. *生态环境学报*, 2012, 21(9): 1640-1646.
- [22] 傅伯杰, 陈利顶, 马克明. 黄土丘陵区小流域土地利用变化对生态环境的影响——以延安市羊圈沟流域为例. *地理学报*, 1999, 54(3): 241-246.
- [23] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业科技出版社, 1999.
- [24] 胡婵娟, 刘国华, 陈利顶, 吴雅琼. 黄土丘陵区坡面尺度上不同植被格局下植物群落和土壤性质研究. *干旱区地理*, 2012, 35(5): 787-794.
- [28] 周碧青, 陈成熔, 张辉, 兰忠明, 游娟, 邢世和. 不同覆被类型林地土壤微生物区系的差异性. *福建农林大学学报*, 2009, 38(5): 542-547.
- [29] 张圣喜, 陈法霖, 郑华. 土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应. *生态学报*, 2011, 31 ( 11 ): 3020-3026.
- [32] 田倩, 夏汉平, 周丽霞. 磷脂脂肪酸法分析鹤山针叶林和荷木林的土壤微生物多样性. *热带亚热带植物学报*, 2011, 19 ( 2 ): 97-104.
- [33] 牛佳, 周小奇, 蒋娜, 王艳芬. 若尔盖高寒湿地干湿土壤条件下微生物群落结构特征. *生态学报*, 2011, 31(2): 474-482.

**ACTA ECOLOGICA SINICA Vol.34, No.11 June, 2014 (Semimonthly)**  
**CONTENTS**

**Frontiers and Comprehensive Review**

Review on macropore flow in soil ..... GAO Zhaoxia, XU Xuexuan, ZHAO Jiaona, et al (2801)

**Ecological Restoration**

A summary of study on ecological restoration technology of large coal bases construction in China .....  
..... WU Gang, WEI Dong, ZHOU Zhengda, et al (2812)

The ecology and environment monitoring technical systems in national large-scale coal-fired power base: a case study in Xilingol  
League, Inner Mongolia ..... WEI Dong, QUAN Yuan, WANG Chenxing, et al (2821)

Evaluation index system on ecological effect of national large-scale coal-fired power base based on the dpsir conceptual model .....  
..... ZHOU Zhengda, WANG Chenxing, FU Xiao, et al (2830)

Research progress on the environment impacts from underground coal mining in arid western area of China .....  
..... LEI Shaogang, BIAN Zhengfu (2837)

Ecological risk receptors analysis of pingzhuang western open-cut coal mining area in inner mongolia .....  
..... GAO Ya, LU Zhaohua, WEI Zhenkuan, et al (2844)

Impacts of mining on landscape pattern and primary productivity in the grassland of Inner Mongolia; a case study of Heidaigou  
open pit coal mining ..... KANG Sarula, NIU Jianming, ZHANG Qing, et al (2855)

Accumulation of soil Cd, Cr, Cu, Pb by *Panax notoginseng* and its associated health risk .....  
..... LIN Longyong, YAN Xiulan, LIAO Xiaoyong, et al (2868)

3D interpolation of soil PAHs distribution in a coking contaminated site of China ... LIU Geng, BI Rutian, QUAN Teng, et al (2876)

**Autecology & Fundamentals**

Catabatic effect from artificial mixed plantation of *Cunninghamia lanceolata* on soil aluminum toxicity .....  
..... LEI Bo, LIU Bin, LUO Chengde, et al (2884)

Study on the trophic levels of soil macrofauna in artificial protection forests by means of stable nitrogen isotopes .....  
..... ZHANG Shuhua, ZHANG Xueping (2892)

Lead- and cadmium-resistant bacterial strain JB11 enhances lead and cadmium uptake in the phytoremediation of soils .....  
..... JIN Zhongmin, SHA Wei, LIU Lijie, et al (2900)

Identification and oil-degrading performance of *Acinetobacter* sp. isolated from North Shaanxi oil-contaminated soil .....  
..... WANG Hu, WU Lingling, ZHOU Lihui, et al (2907)

Phylogenetic and physiological diversity of actinomycetes isolated from plant rhizosphere soils in the Qilian Mountains .....  
..... MA Aiai, XU Shijian, MIN Yuxia, et al (2916)

Spatial distribution of AM and DSE fungi in the rhizosphere of *Ammopiptanthus nanus* .....  
..... JIANG Qiao, HE Xueli, CHEN Weiyan, et al (2929)

Effects of PASP-KT-NAA on maize leaf nitrogen assimilation after florescence over different temperature gradients .....  
..... GAO Jiao, DONG Zhiqiang, XU Tianjun, et al (2938)

Key temperatures of corn and sunflower during cooling process in Hetao irrigation district, Inner Mongolia .....  
..... WANG Haimei, HOU Qiong, YUN Wenli, et al (2948)

The content of tannin extract in four types of *Quercus variabilis* ..... YIN Yining, ZHANG Wenhui, HE Jingfeng, et al (2954)

Effect of food stress on flight muscle and reproduction development in a wing dimorphic cricket, *Velarifictorus ornatus* .....  
..... WU Hongjun, ZHAO Lüquan, ZENG Yang, et al (2963)

- Effect of colours on oviposition preference of the oriental fruit moth, *Grapholita molesta* Busck ..... YANG Xiaofan, MA Chunsen, FAN Fan, et al (2971)
- Monoterpene volatiles affecting host selection behavior of *Dendrolimus superans* and the activities of defense protein in larch needles ..... LIN Jian, LIU Wenbo, MENG Zhaojun, et al (2978)
- Population, Community and Ecosystem**
- Soil microbial community structure under different vegetation restoration patterns in the loess hilly area ..... HU Chanjuan, GUO Lei, LIU Guohua (2986)
- Seasonal variation of functional diversity of microbial communities in sediment and shelter of sea cucumber (*Apostichopus japonicus*) cultural ponds ..... YAN Fajun, TIAN Xiangli, DONG Shuanglin, et al (2996)
- Analysis of bacterial flora during the fahua-fermentation process of fuzhuan brick tea production based on DGGE technology ..... LIU Shiquan, HU Zhiyuan, ZHAO Yunlin (3007)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- CO<sub>2</sub> emissions transfer embedded in inter-regional trade in China ..... LIU Hongguang, FAN Xiaomei (3016)
- Carbon sequestration potential of the major stands under the Grain for Green Program in Southwest China in the next 50 years ..... YAO Ping, CHEN Xiangang, ZHOU Yongfeng, et al (3025)
- Characteristics of spatial and temporal phenology under the dynamic variation of grassland in the Qinghai Lake watershed ..... LI Guangyong, LI Xiaoyan, ZHAO Guoqin, et al (3038)
- Estimates of carbon emissions caused by forest fires in the temperate climate of Heilongjiang Province, China, from 1953 to 2012 ... WEI Shujing, LUO Bizhen, SUN Long, et al (3048)
- Simulation of the climatic productivity of forest vegetation in Three Gorges Reservoir area ..... PAN Lei, XIAO Wenfa, TANG Wanpeng, et al (3064)
- The mechanism for occurrence of *Peridiniopsis* blooms in the tributaries of Three Gorges Reservoir ..... ZHU Aimin, LI Sixin, HU Jun, et al (3071)
- Biodiversity sensitivity zoning of river dam and reservoir engineering development ... LI Yiqiu, LU Chunxia, DENG Ou, et al (3081)
- Urban, Rural and Social Ecology**
- Assessment on coordinative ability of sustainable development of Beijing-Tianjin-Hebei Region based on set pair analysis ..... TAN Feifei, ZHANG Meng, LI Haoran, et al (3090)
- Vacancy analysis on the development of nature reserves in Jiangxi Province ..... HUANG Zhiqiang, LU Lin, DAI Nianhua, et al (3099)
- Evaluation of ecological economy index in the poyang lake ecological economic zone ..... HUANG Heping, PENG Xiaolin, KONG Fanbin, et al (3107)
- Research on China's provincial forest ecological security appraisal based on the detrimental interferences ..... LIU Xinzhu, MI Feng, ZHANG Shuang, et al (3115)

# 《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 11 期 (2014 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 34 No. 11 (June, 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

**主 编** 王如松  
**主 管** 中国科学技术协会  
**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

**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**  
**许 可 证** 京海工商广字第 8013 号

**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** WANG Rusong  
**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 90.00 元