

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第31卷 第12期 Vol.31 No.12 **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 12 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

基于植被遥感的西南喀斯特退耕还林工程效果评价——以贵州省毕节地区为例	李 昊, 蔡运龙, 陈睿山, 等 (3255)
扩散对破碎化景观上宿主-寄生种群动态的影响	苏 敏 (3265)
湿地功能评价的尺度效应——以盐城滨海湿地为例	欧维新, 叶丽芳, 孙小祥, 等 (3270)
模拟氮沉降对杉木幼苗养分平衡的影响	樊后保, 廖迎春, 刘文飞, 等 (3277)
中国东部森林样带典型森林水源涵养功能	贺淑霞, 李叙勇, 莫 菲, 等 (3285)
山西太岳山油松群落对采伐干扰的生态响应	郭东罡, 上官铁梁, 白中科, 等 (3296)
长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响	张焕军, 郁红艳, 丁维新 (3308)
云南元江干热河谷五种优势植物的内生真菌多样性	何彩梅, 魏大巧, 李海燕, 等 (3315)
塔里木河中游洪水漫溢区荒漠河岸林实生苗更新	赵振勇, 张 科, 卢 磊, 等 (3322)
基于 8hm 样地的天山云杉林蒸腾耗水从单株到林分的转换	张毓涛, 梁凤超, 常顺利, 等 (3330)
古尔班通古特沙漠土壤酶活性和微生物量氮对模拟氮沉降的响应	周晓兵, 张元明, 陶 冶, 等 (3340)
Pb 污染对马蔺生长、体内重金属元素积累以及叶绿体超微结构的影响	原海燕, 郭 智, 黄苏珍 (3350)
春、秋季节树干温度和液流速度对东北 3 树种树干表面 CO ₂ 释放通量的影响	王秀伟, 毛子军, 孙 涛, 等 (3358)
云南南部和中部地区公路旁紫茎泽兰土壤种子库分布格局	唐樱殷, 沈有信 (3368)
利用半球图像法提取植被冠层结构特征参数	彭焕华, 赵传燕, 冯兆东, 等 (3376)
黑河上游蝗虫与植被关系的 CCA 分析	赵成章, 周 伟, 王科明, 等 (3384)
额尔古纳河流域秋季浮游植物群落结构特征	庞 科, 姚锦仙, 王 昊, 等 (3391)
九龙江河口浮游植物的时空变动及主要影响因素	王 雨, 林 茂, 陈兴群, 等 (3399)
东苕溪中下游河岸类型对鱼类多样性的影响	黄亮亮, 李建华, 邹丽敏, 等 (3415)
基于 RS/GIS 公路路域水土流失动态变化的研究——以榆靖高速公路为例	陈爱侠, 李 敏, 苏智先, 等 (3424)
流域景观结构的城市化影响与生态风险评价	胡和兵, 刘红玉, 郝敬锋, 等 (3432)
基于景观格局的锦州湾沿海经济开发区生态风险分析	高 宾, 李小玉, 李志刚, 等 (3441)
若尔盖高原土地利用变化对生态系统服务价值的影响	李晋昌, 王文丽, 胡光印, 等 (3451)
施用鸡粪对土壤与小白菜中 Cu 和 Zn 累积的影响	张 妍, 罗 维, 崔晓勇, 等 (3460)
基于 GIS 的宁夏灌区农田污染源结构特征解析	曹艳春, 冯永忠, 杨引禄, 等 (3468)
底墒和种植方式对夏大豆光合特性及产量的影响	刘 岩, 周勋波, 陈雨海, 等 (3478)
不同施肥模式调控沿湖农田无机氮流失的原位研究——以南四湖过水区粮田为例	谭德水, 江丽华, 张 骞, 等 (3488)
丛枝菌根真菌对低温下黄瓜幼苗光合生理和抗氧化酶活性的影响	刘爱荣, 陈双臣, 刘燕英, 等 (3497)
外源半胱氨酸对铜胁迫下小麦幼苗生长、铜积累量及抗氧化系统的影响	彭向永, 宋 敏 (3504)
专论与综述	
水平扫描技术及其在生态学中的应用前景	胡自民, 李晶晶, 李 伟, 等 (3512)
研究简报	
昆仑山北坡 4 种优势灌木的气体交换特征	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (3522)
不同比例尺 DEM 数据对森林生态类型划分精度的影响	唐立娜, 黄聚聪, 代力民 (3531)
苏南丘陵区毛竹林冠截留降雨分布格局	贾永正, 胡海波, 张家洋 (3537)
外来种湿地松凋落物对土壤微生物群落结构和功能的影响	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3543)
深圳地铁碳排放量	谢鸿宇, 王习祥, 杨木壮, 等 (3551)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-06



封面图说: 自然奇观红海滩·辽宁省盘锦市——在辽河入海口生长着大片的潮间带植物碱蓬草, 举目望去, 如霞似火, 蔚为壮观, 人们习惯地称之为红海滩。粗壮的根系加快着海滩土壤的脱盐过程, 掉下的茎叶腐质后肥化了土壤, 它是大海的生态屏障。

彩图提供: 段文科先生 中国鸟网 <http://www.birdnet.cn> E-mail: dwk9911@126.com

长期施用有机无机肥对潮土微生物群落的影响

张焕军^{1,2}, 郁红艳¹, 丁维新^{1,*}

(1. 土壤与农业可持续发展国家重点实验室, 中国科学院南京土壤研究所, 南京 210008; 2. 中国科学院研究生院, 北京 100049)

摘要:微生物群落结构是土壤生态系统变化的预警及敏感指标, 可用于表征土壤质量及其生态功能变化。用磷脂脂肪酸法研究了有机肥和 NPK 肥料长期施用对华北平原潮土微生物群落结构的影响及其变化特征。结果表明: 长期施用有机和无机肥不仅提高了土壤有机碳、全氮、速效磷和速效钾等含量, 改善了土壤酸碱度, 而且显著增加了土壤微生物生物量, 其中以有机肥的效果最为明显, 增幅达到 15.4%。长期施用肥料有机肥也改变了土壤微生物的群落结构, 提高了细菌数量, 降低了放线菌含量, 而对真菌数量没有明显影响, 导致真菌与细菌的比值下降。主成分分析表明, 长期施用有机肥的土壤, 细菌以含 a19:0、br14:0、16:1 ω 5c 和 17:1 ω 9 而真菌以含 18:1 ω 10c 的微生物为优势种群, NPK 处理土壤中细菌以含 18:1 ω 7、i19:0、br18:0、16:1 ω 7t 和 a15:0 的微生物为优势种群, CK 处理中没有明显的优势种群。

关键词:潮土; 长期不同施肥处理; 磷脂脂肪酸; 微生物群落结构

The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil

ZHANG Huanjun^{1,2}, YU Hongyan¹, DING Weixin^{1,*}

1 State Key Laboratory of Soil and Sustainable Agriculture, Institute of Soil Science, Chinese Academy of Sciences, Nanjing 210008, China

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

Abstract: Soil microbial community reflecting soil quality affects the soil ecosystem functions and has been suggested as the sensitive indicator for predicting change of soil ecosystems. To understand the influence of organic manure and chemical fertilizers on the microbial biomass and community in soils of the North China Plain, soil samples were collected from the 0—20 cm tilled layer in a long-term experimental field at the Fengqiu state key agroecological experimental station, Fengqiu County, Henan Province, China, and used to measure the phospholipid fatty acid profiles of microorganisms. The study included three treatments with four replicates: control (CK, without fertilization), organic manure (OM) and chemical fertilizer NPK (NPK). The long-term application of fertilizer NPK and particularly organic manure significantly increased the concentrations of soil organic C, total N, available P and available K, and reduced soil pH compared to treatment CK. This finding indicates that organic manure application or balanced fertilization of N, P and K could efficiently improve the soil fertility, and the growing conditions were more suitable for crops and soil microorganisms.

The long-term application of organic manure significantly increased the amount of total microbial PLFAs by 15.4% compared to the value in the CK treatment, but the addition of fertilizer NPK had no significant effect. Manuring significantly increased the amount of bacterial PLFAs from 41.03 nmol/g soil in the CK treatment to 48.03 nmol/g soil in the OM treatment, but did not change the amount of fungal PLFAs, which resulted in the significant reduction of the ratio of fungi to bacteria. Fertilization slightly, but not significantly, increased the amount of bacterial PLFAs and reduced the amount of fungal PLFAs, resulting in the slight decrease of the ratio of fungi to bacteria. However, manuring and fertilization dramatically reduced the magnitude of actinomycetal PLFAs, indicating that organic manure and chemical

基金项目:国家自然科学基金项目(40971134); 国家杰出青年基金项目(40725003); 中国科学院知识创新工程重要方向项目(KZCX2-YW-439); 江苏省自然科学基金项目(BK2008057, K2009338)

收稿日期:2010-05-19; **修订日期:**2010-08-30

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: E-mail: wxding@issas.ac.cn

fertilizers both inhibited the growth of actinomycete in arable soils.

After the 21-year (1989 — 2009) application of organic manure and chemical fertilizers, only 52% of total PLFAs showed similarity among the three treatments. Principle component analysis (PCA) of PLFA was used to describe changes in microbial community, and the result showed that change in microbial community among three treatments was mainly driven by the application of fertilizers and could be attributed to the first and second principal components, which accounted for 43.1% and 30.9% of the total variation, respectively. Three treatments were located in different quadrant: the OM treatment distributed in the fourth quadrant, whereas the NPK treatment in the third quadrant and the CK treatment in the second quadrant. In the OM treatment, bacteria containing a19:0, br14:0, 16:1 ω 5c and 17:1 ω 9, and fungi containing 18:1 ω 10c were dominant microorganisms, while bacteria with 18:1 ω 7, i19:0, br18:0, 16:1 ω 7t and a15:0 for treatment NPK. In contrast, no dominant microorganisms could be identified in the CK treatment.

Key Words: fluvo-aquic soil; long-term fertilization; PLFA; microbial community

土壤微生物群落是土壤生物区系中最重要的功能组分,土壤微生物不仅是土壤养分重要的源和汇,也是土壤养分转化的重要调控者。它对微环境变化非常敏感,对土壤生态系统变化和环境胁迫反应强烈,其最显著的特点是群落结构发生改变^[1-3]。因此,土壤微生物群落被认为是土壤生态系统变化的预警及敏感指标,可以用来反映土壤质量变化。由于土壤微生物数量庞大、组成复杂,用传统土壤微生物研究法常低估土壤微生物的实际情况,无法清晰地获得它们在土壤生态系统中的重要信息。磷脂是生物细胞膜的主要组成成分,约占细胞干重的 5%,它只存在于活细胞膜中,生物细胞一旦死亡,其中的磷脂类化合物马上就会消失^[1,4-5]。不同种类微生物体内磷脂类化合物中的脂肪酸(PLFA)组成和含量存在着极大差异,可用来直接评估微生物生物量和群落结构^[6-7],是一种相对较为准确、有效的研究方法。

近年来,施肥处理对土壤养分的影响研究较多,对土壤生态功能的影响也有一些研究,但对不同肥料长期施用土壤的研究大多局限在土壤微生物生物量、呼吸强度、酶活性等方面,而对典型土壤微生物群落的研究相对较弱。

黄淮海平原土壤以轻质潮土为主,是集约化小麦-玉米一年两熟轮作种植区^[8],也是我国重要的粮食主产区,粮食播种面积占全国总面积的 20% 左右,粮食产量约占全国总量的 23%^[9]。本文以中国科学院封丘农业生态试验站有机无机肥长期定位试验田土壤样品为研究对象,采用 PLFA 定性和定量分析方法,探讨了不同肥料长期施用对土壤微生物多样性及其群落结构的影响,期望为合理施肥提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 试验地概况

试验地设在中国科学院封丘农业生态试验站(35°04'N, 113°10'E)。该地区属于半干旱、半湿润暖温带季风气候,年平均降水量 655 mm,年蒸发量 1875 mm,年平均气温为 13.9℃,无霜期 220d 左右。供试土壤为轻壤质黄潮土,发育于黄河冲积物。长期田间试验起始于 1989 年秋,采用小麦-玉米一年两熟轮作方式。试验开始前耕层(0—20 cm)土壤的理化性质为:有机碳 5.83 g C/kg、全氮 0.445 g N/kg、全磷 9.50 g P₂O₅/kg、全钾 18.6 g K₂O/kg、速效氮 9.51 mg N/kg、速效磷 1.93 mg P₂O₅/kg、速效钾 78.8 mg K₂O/kg 和 pH 8.65,土壤总体呈缺氮磷而富钾。

1.2 试验设计与样品采集

试验共涉及 3 个处理:(1)不施肥(CK), (2)有机肥(OM), (3)化学肥料 NPK(NPK)。每个处理重复 4 次。随机区组排列,小区面积为 47.5 m²。小麦和玉米每季 N 肥(尿素)和 K 肥(硫酸钾)用量分别为 150 kg N/hm² 和 150 kg K₂O/hm²,小麦和玉米 P 肥(过磷酸钙)用量分别为 75 和 60 kg P₂O₅/hm²。试验用有机肥以粉碎的麦秆为主,加入适量粉碎后的大豆饼和棉仁饼,以提高有机肥的 N 含量,每季用量约 4500 kg/hm² (以干重计)。有机肥经堆腐、发酵后施用,施用前先分析 NPK 养分含量,以等 N 量为标准,有机肥中 PK 不足

部分用化肥 PK 补足到等量。

土壤样品采集于小麦收获后的 2009 年 6 月 7 日。在各小区按蛇形取样法采集耕层土壤 10 个,每个小区样品混合均匀、形成一个混合样品,装入自封袋带回实验室,用于测定各项指标。

1.3 土壤样品分析

4PLFA 分析采用修正的 Bligh 和 Dyer 方法进行脂类提取和磷脂脂肪酸分析^[1,10]。土壤用磷酸盐缓冲液 (0.1 mol/L, pH 7.0)、氯仿和甲醇以 0.8:1:2 (体积分数) 提取,提取液用硅酸键合固相抽提柱 (silicic acid bonded solid-phase-extraction column, SPE-SI) 层析,分别用氯仿、丙酮和无水甲醇洗脱,将含磷脂的部分用氮气吹干,然后用碱性甲醇水解和皂化 (甲基化) 得到磷脂脂肪酸甲酯 (FAME)。用气相色谱和质谱联用仪 (岛津 GC-MS QP 2010 PLUS) 测定提取的 FAME。色谱条件:30.0 m×0.25 mm×0.25 mm,进样量 1 μL,载气 (氮气) 流速为 50 mL/min。升温程序为初始温度 50℃,维持 4 min,然后以 4℃/min 的速度升温至 260℃。以甲酯化的 C19:0 为内标物质。

土壤全碳和全氮分别用重铬酸钾容量法和半微量凯氏法测定,速效磷采用碳酸氢钠浸提、钼锑抗比色法测定,速效钾用醋酸铵浸提、火焰光度法测定, pH 用玻璃电极测定 (水土比为 1:1)^[11]。

1.4 数据分析

采用 Excel 2003 和 SPSS 11.5 对数据进行方差分析、相关分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对土壤养分的影响

由表 1 可见,经过 21a 的不同肥料长期施用,土壤 pH 和主要养分含量发生了明显变化。OM 和 NPK 处理土壤 pH 条件显著改善,分别比 CK 处理降低了 3.6% 和 4.8%,土壤的碱性降低;主要养分含量 OM 和 NPK 处理显著高于 CK 处理,其中以 OM 处理的养分增加最为显著,有机碳、全氮、速效磷和速效钾分别比 CK 处理提高了 271%、252%、1394% 和 241%;NPK 处理则分别比 CK 处理增加 156%、138%、794% 和 228%,而 NPK 与 OM 处理之间土壤 pH 和速效钾含量差异不明显。

表 1 不同施肥处理的土壤养分含量

Table 1 Nutrient contents in soil under different fertilizations

处理 Treatment	pH	有机碳 Organic C /(g C/kg)	全氮 Total N /(g N/kg)	速效磷 Available P /(mg P ₂ O ₅ /kg)	速效钾 Available K /(mg K ₂ O/kg)
CK	8.4b	4.5a	0.42a	1.8a	64a
OM	8.1a	12.2c	1.06c	25.1c	154b
NPK	8.0a	7.0b	0.58b	14.3b	146b

同一列不同字母表示差异达到显著水平 ($P < 0.05$)

2.2 不同施肥处理对土壤微生物 PLFA 含量的影响

Bardgett^[12] 等认为土壤中磷脂脂肪酸的组成可以反映土壤微生物群落的生物量和结构,并且很多学者也发现土壤中可提取磷脂类化合物的数量可以准确地表达土壤中各种微生物的生物量 (表 2)。

本试验中,3 种不同施肥处理土壤中共检出 29 种 PLFA,包括 18 种细菌 PLFA、5 种真菌 PLFA 和 3 种放线菌 PLFA (表 3)。从 PLFA 总量来看,施肥均促进了土壤微生物生物量的积累,OM 处理中 PLFA 总量显著高于 NPK 和 CK 处理,NPK 处理也呈增加的趋势,但与 CK 处理差异不显著。不同肥料长期施用后,不同类型微生物的变化趋势不尽相同,OM 处理中细菌数量显著高于 CK 和 NPK 处理,而 NPK 与 CK 处理之间差异不显著;OM 和 NPK 处理中革兰氏阳性菌大幅度增加,显著高于 CK 处理,但是革兰氏阴性菌含量不同处理之间差异不明显。有机肥施用显著降低了好氧细菌含量,而 NPK 施用与 CK 处理相比没有明显改变好氧细菌数量。3 种不同施肥处理之间真菌含量无显著差异,但是 CK 处理中真菌/细菌的比值却显著高于 OM 处理,表明有机肥长期施用处理后明显降低了真菌比例,而 NPK 施用也降低了真菌比例,但与 CK 处理相比没有达到显著水平。放线菌含量的变化趋势与细菌相反,CK 处理最大,分别比 OM 和 NPK 处理高出 148% 和 149%,差异达

到显著水平,而 OM 与 NPK 处理之间差异不显著。

表 2 估算微生物生物量的脂肪酸
Table 2 PLFA for calculating soil microbial biomass

微生物类型 Microbial group	磷脂脂肪酸标记 Phospholipids fatty acids signatures	文献 Reference
细菌 Bacteria	14 :0, 15:0, 16:0, 17:0, i15:0, a15:0, i17:0, a17:0, i19:0, 16:1ω7, cy17:0, cy19:0	[13-14]
革兰氏阳性菌 Gram+ bacteria	i15:0, a15:0, i17:0, a17:0	[15-17]
革兰氏阴性菌 Gram- bacteria	16 :1ω7, cy17:0, cy19:0	[15,18]
放线菌 Actinomycete	10Me16:0, 10Me17:0, 10Me18:0, 10Me20:0	[13,16]
真菌 Fungi	18 :1ω9c, 18:1ω9t, 18:2ω6, 18:3ω6, 18:3ω3	[17]
原生动物 Protozoa	21 :0, 22:0, 23:0	[19]

表 3 不同施肥处理对土壤微生物 PLFA 含量的影响
Table 3 Concentrations of PLFAs in different treatments/(nmol/g)

处理 Treatment	CK	OM	NPK
细菌 Bacteria	41.03a	48.03b	42.54a
其中:G+ (i15:0, a15:0, i17:0, a17:0)	7.23a	17.18c	12.66b
G- (cy17:0, cy19:0)	11.11a	10.39a	10.34a
好氧细菌(16:1ω7c, 18:1ω7) Aerobic bacteria	7.89b	1.24a	9.24b
其他细菌 Other bacteria	14.80	19.22	10.29
真菌(18:2ω6, 18:1ω9c) Fungi	10.24a	10.27a	9.89a
真菌/细菌比 Ratio of fungi to bacteria	0.25a	0.21b	0.23ab
放线菌(10Me16:0, 10Me18:0, 10Me20:0) Actinomycete	14.51b	9.78a	9.82a
总微生物 PLFA 量 Total microbial PLFA	63.05a	72.79b	63.25a

同一行不同字母表示差异达到显著水平 ($P < 0.05$)

2.3 不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响

主成分分析表明,主成分一的方差贡献率为 43.1%,主成分二的方差贡献率为 30.9%,两者之和达到 74%(图 1),可代表系统内的变异状况,基本可以把经过不同肥料长期施用处理的土壤区分开。由图 1 可见,CK 处理与主成分二表现出高度的正相关关系,而与主成分一相关性不大;OM 处理与主成分一呈高度正相关关系,同时与主成分二表现出一定程度的负相关;NPK 处理与主成分一和二均表现出负相关关系。主成分分析中 3 个处理相距比较远,彼此之间没有重叠,说明不同肥料长期施用后土壤中的微生物群落结构发生了显著变化。

通过对主成分的因子载荷分析(图 2),cy19:0、i17:0、a19:0、br14:0、9Me18:0、16:1ω5c、17:1ω9、i19:0、br18:0和 18:1ω7 在主成分一中的载荷值较高,是主成分一的主控因子。17:1ω5c、cy17:0、16:1ω7c、i16:0、br15:0、19:1ω9、16:1ω5t、18:1ω9 和 18:1ω10c 在主成分二上的载荷值较高,是主成分二的主控因子。结果表明,相对于 CK 处理,NPK 处理中的 18:1ω7、i19:0、br18:0、16:1ω7t、a15:0 和 br22:0 等 PLFA 类型含量显著增加,除 br22:0 代表土壤原生动物 PLFA 外,其余 PLFA 基本上都是细菌,其中 a15:0 表征革兰氏阳性菌,18:1ω7 和 i19:0 表征革兰氏阴性菌。OM 处理中 a19:0、br14:0、16:1ω5c、17:1ω9、18:1ω10c 和 br21:0 含量增加显著,其中 18:1ω10c 代表真菌,br21:0 代表土壤原生动物,其余的代表细菌。CK 处理与 OM 和 NPK 处理相比,代表放线菌的 10Me20:0 的 PLFA 含量显著增加。由此可知,有机和无机肥长期施用显著提高了细菌数量,其中 NPK 对革兰氏细菌的增加尤为明显,但是显著降低了放线菌数量。

2.4 土壤微生物 PLFA 总量与土壤性质的关系

相关分析表明,土壤微生物 PLFA 量与有机碳、全氮、速效磷和速效钾含量呈显著正相关,而与 pH 呈显著负相关(表 4)。由此可见,土壤是微生物生长和功能发挥所需能源和养分的来源。土壤 pH 值降低,碱性变

弱,促进了微生物生长,但是 pH 对微生物的影响机制,是直接作用于微生物还是通过改变土壤其它性质间接起作用,有待深入研究。

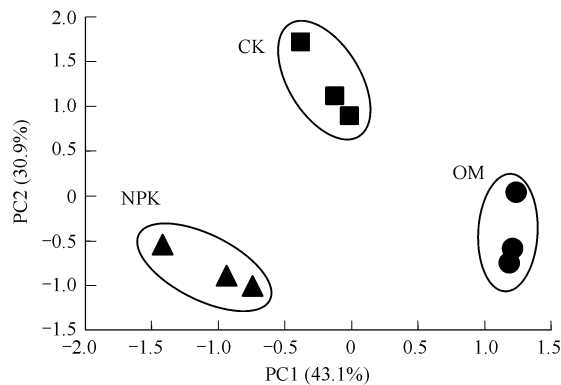


图 1 不同施肥处理土壤微生物群落 PLFA 的主成分分析
Fig. 1 Principle components analysis of PLFA profiles of soil microbial communities in different treatments

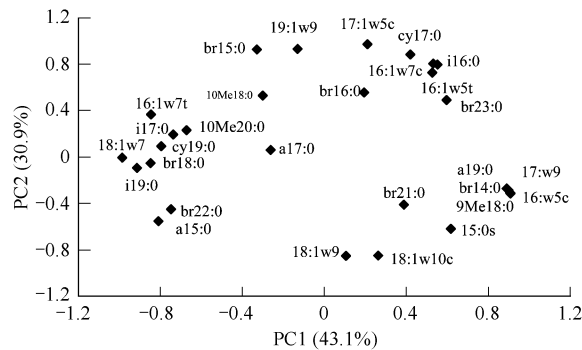


图 2 不同施肥处理土壤微生物群落 PLFA 载荷因子贡献
Fig. 2 PCA ordination of PLFA profiles of soil samples in different treatments

表 4 土壤微生物 PLFA 量与土壤性质的关系

Table 4 Relationship between the amount of PLFA and soil properties					
土壤性质 Soil properties	pH	有机碳 Organic C	全氮 Total N	速效磷 Available P	速效钾 Available K
PLFA 量 Total PLFA	-0.786 *	0.955 **	0.963 **	0.914 **	0.738 *

* 显著相关 ($P<0.05$), ** 极显著相关 ($P<0.01$)

3 结论与讨论

有机肥和无机肥长期施用一定程度提高了土壤养分含量,尤以 OM 处理效果最为显著。土壤 pH 则显著降低,以 NPK 处理降幅为最大,可能是由于土壤施入氮肥后,作物吸收铵态氮后在土壤中残留 $H^{+[20]}$ 或者土壤强烈的硝化作用产生大量的 $H^{+[21]}$,从而使土壤 pH 降低。

不同肥料长期施用促使土壤养分含量和微环境发生变化,从而诱导土壤微生物群落结构和生物量发生改变。目前,关于长期施肥对微生物群落影响研究不多,报道的结果也不尽一致。Lovell 等^[22]和 Bardgett 等^[23]发现,施用氮肥有利于细菌生长,可能通过改变养分有效性来影响微生物群落。相反,王曙光和侯彦林^[24]的研究则指出,无机氮肥施用不利于细菌生长。我们则发现,施肥增加了土壤微生物 PLFA 种类和数量,但是不同种类肥料对土壤微生物 PLFA 的影响是不同的。有机肥最有利于土壤细菌生长,因为有机肥的施用提高了土壤中有机的含量,而有机质既含有相当数量的碳、氮、磷、钾等营养元素,又具有改善土壤理化性状、提高土壤肥力的作用,为微生物生长提供了良好的环境^[25],这与褚海燕等^[26]和于树等^[4]的研究结果一致;另一方面,施用有机肥一定程度抑制了放线菌生长,这与颜慧等^[27]的结果不尽一致,他们在研究长期施肥对红壤性水稻土 PLFA 影响时发现,施用有机肥同样增加了放线菌数量,这可能与土壤类型和种植方法不同,使得微生物对施肥的响应不同有关,其原因有待深入研究。NPK 肥料平衡施用对细菌同样具有促进作用,但没有有机肥强烈;放线菌含量也比 OM 处理要高,但未达到显著水平。CK 处理中土壤真菌 PLFA/细菌 PLFA 高于施肥处理土壤,表明施肥有利于细菌生长,而真菌较细菌更能适应养分贫瘠的土壤^[23]。同类微生物(如细菌)的不同 PLFA 类型对肥料的响应不同,有机无机肥施用提高了土壤细菌数量,尤其是革兰氏阳性菌,但对革兰氏阴性菌无明显影响;有机肥施用也显著降低了好氧细菌量,但是这一现象没有发生在 NPK 肥料平衡施用的处理,这与钟文辉^[28]等的研究结果不尽相同,他们发现在红壤上施肥对革兰氏细菌和好氧细菌的生长均具有明显的促进作用,可能与施肥改善了粘质红壤结构和通气性有关。因此,评估肥料对土壤微生物影响时,需要综

合考虑土壤性质。

有关长期施肥条件下土壤中 PLFA 类型变化趋势的研究并不多,土壤 PLFA 含量与 pH 呈显著负相关(表 4),这与 Baath 和 Anderson^[19]的结果一致,他们证实微生物尤其是真菌 PLFA 数量与土壤 pH 呈显著负相关,但是明显不同于 Clegg^[29]的结果,即真菌 PLFA 数量不受土壤 pH 的影响。于树等^[4]发现,有机肥单施或者与无机肥配施的玉米地土壤均以含 a15:0、i15:0、cy17:0、i16:0、16:1 ω 7t 和 10Me18:0 的微生物为优势种群。有机肥和无机肥处理中土壤微生物优势种群是不同的。在 OM 处理中,细菌以含 a19:0、br14:0、16:1 ω 5c 和 17:1 ω 9 而真菌以含 18:1 ω 10c 等 PLFA 类型的微生物为优势种群,NPK 处理中细菌以含 18:1 ω 7、i19:0、br18:0、16:1 ω 7t 和 a15:0 等 PLFA 类型的微生物为优势种群;CK 处理中没有明显的优势种群。

References:

- [1] White D C, Davis W M, Nickels J S, King J D, Bobbie R J. Determination of the sedimentary microbial biomass by extractable lipid phosphate. *Oecologia*, 1979, 40(1): 51-62.
- [2] Moscatelli M C, Lagomarsino A, Marinari S, De Angelis P, Grego S. Soil microbial indices as bioindicators of environmental changes in a poplar plantation. *Ecological Indicators*, 2005, 5(3): 171-179.
- [3] Joergensen R G, Emmerling C. Methods for evaluating human impact on soil microorganisms based on their activity, biomass, and diversity in agricultural soils. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 2006, 169(3): 295-309.
- [4] 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.
- [5] Bai Z, He H B, Zhang W, Jie H T, Zhang X D, Wang G. PLFAs technique and its application in the study of soil microbiology. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(7): 2387-2395.
- [6] Sundh I, Borga P, Nilsson M, Svensson B H. Estimation of cell numbers of methanotrophic bacteria in boreal peatlands based on analysis of specific phospholipid fatty acids. *FEMS Microbiology Ecology*, 1995, 18(2): 103-112.
- [7] Bååth E, Anderson T H. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 5(7): 955-963.
- [8] Lei H J, Li B G, Bai Y L, Huang Y F, Lü Y Z, Li G T. Modeling and applications of soil organic matter in intensive cropping in china's huang-huai-hai plain. *Scientia Agricultura Sinica*, 2005, 38(5): 956-964.
- [9] Cao Z H, Hao J M, Liang L T. Gray comprehensive correlation analysis on major grain output and input elements of Huang-Huai-Hai Plain. *Research of Agricultural Modernization*, 2008, 29(3): 310-313.
- [10] Gebert J, Gröngroft A, Schlöter M, Gättinger A. Community structure in a methanotroph by phospholipid fatty acid biofilter as revealed analysis. *FEMS Microbiology Letters*, 2004, 240(1): 61-68.
- [11] Lu R K. Chemical Analyzing Method on Soil Agriculture. Beijing: China Agriculture Science and Technology Press, 2000: 12-179.
- [12] Bardgett R D, Hobbs P J, Frostegård Å. Changes in soil fungal: bacterial biomass ratios following reductions in the intensity of management of an upland grassland. *Biology and Fertility of Soils*, 1996, 22(3): 261-264.
- [13] Frostegård Å, Bååth E, Tunlio A. Shifts in the structure of soil microbial communities in limed forests as revealed by phospholipid fatty acid analysis. *Soil Biology and Biochemistry*, 1993, 25(6): 723-730.
- [14] Frostegård Å, 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.
- [15] O'Leary W M, Wilkinson S G. Gram-positive Bacteria in Microbial Lipids. Vol 1. London: Academic Press, 1988: 117-202.
- [16] Zogg G P, Zak D R, Ringleberg D B, MacDonald N W, Pregitzer K S, White D C. Compositional and functional shifts in microbial communities due to soil warming. *Soil Science Society of America Journal*, 1997, 61(2): 475-481.
- [17] Steinberger Y, Zelles L, Bai Q Y, von Lützow M, Munch J C. Phospholipid fatty acid profiles as indicators for the microbial community structure in soil along a climatic transect in the Judean Desert. *Biology and Fertility of Soils*, 1999, 28(3): 292-300.
- [18] Zelles L. Identification of single cultured micro-organisms based on their whole community fatty acid profiles using an extended extraction procedure. *Chemosphere*, 1999, 39(4): 665-682.
- [19] Bååth E, Anderson T H. Comparison of soil fungal/bacterial ratios in a pH gradient using physiological and PLFA-based techniques. *Soil Biology and Biochemistry*, 2003, 35(7): 955-963.
- [20] Lu J L. Plant Nutrition. 2nd ed. Beijing: China Agricultural University Press, 2003: 29-30.

- [21] Guo H J, Liu X J, Zhang Y, Shen L J, Han X W, Zhang F W, Christie P, Goulding K W T, Vitousek P M, Zhang F S. Significant acidification in major Chinese croplands. *Science*, 2010, 327(5968): 1008-1010.
- [22] Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. *Soil Biology and Biochemistry*, 1995, 27(7): 969-975.
- [23] Bardgett R D, Lovell R D, Hobbs P J, Jarvis S C. Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperate grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31(7): 1021-1030.
- [24] Wang S G, Hou Y L. Effect of diffusion of urea patch on microbial communities in soil. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(10): 2269-2274.
- [25] Shen S M. *China Soil Fertility*. Beijing: China Agricultural Press, 1998: 121-122.
- [26] Chu H Y, Lin X G, Fujii T, Morimoto S, Yagi K, Hu J L, Zhang J B. Soil microbial biomass, dehydrogenase activity, bacterial community structure in response to long-term fertilizer management. *Soil Biology and Biochemistry*, 2007, 39(11): 2971-2976.
- [27] Yan H, Zhong W H, Li Z P, Cai Z C. Effect of long-term fertilization on PLFA and enzyme activities in paddy red soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 71-75.
- [28] Zhong W H, Gu T, Wang W, Zhang B, Lin X G, Huang Q R, Shen W S. The effects of mineral fertilizer and organic manure on soil microbial community and diversity. *Plant and Soil*, 2010, 326(1/2): 511-522.
- [29] Clegg C D. Impact of cattle grazing and inorganic fertilizer additions to managed grasslands on the microbial community composition of soils. *Applied Soil Ecology*, 2006, 31(1/2): 73-82.

参考文献:

- [4] 于树, 汪景宽, 李双昇. 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.
- [5] 白震, 何红波, 张威, 解宏图, 张旭东, 王鸽. 磷脂脂肪酸技术及其在土壤微生物研究中的应用. *生态学报*, 2006, 26(7): 2387-2395.
- [8] 雷宏军, 李保国, 自由路, 黄元仿, 吕贻忠, 李贵桐. 集约农作条件下土壤有机碳动态模拟及其在黄淮海平原区的应用. *中国农业科学*, 2005, 38(5): 956-964.
- [9] 曹志宏, 郝晋珉, 梁流涛. 黄淮海平原粮食产量与主要投入要素的灰度关联分析. *农业现代化研究*, 2008, 29(3): 310-313.
- [11] 鲁如坤. *土壤农业化学分析方法*. 北京: 中国农业出版社, 2000: 12-179.
- [20] 陆景陵. *植物营养学 (第二版上册)*. 北京: 中国农业大学出版社, 2003: 29-30.
- [24] 王曙光, 侯彦林. 尿素肥斑扩散对土壤微生物群落结构的影响. *生态学报*, 2004, 24(10): 2269-2274.
- [25] 沈善敏. *中国土壤肥力*. 北京: 中国农业出版社, 1998: 121-122.
- [27] 颜慧, 钟文辉, 李忠佩, 蔡祖聪. 长期施肥对红壤水稻土磷脂脂肪酸特性和酶活性的影响. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 71-75.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 12 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Effect assessment of the project of grain for green in the karst region in Southwestern China: a case study of Bijie Prefecture	LI Hao, CAI Yunlong, CHEN Ruishan, et al (3255)
The effect of dispersal on the population dynamics of a host-parasite system in fragmented landscape	SU Min (3265)
The effect of spatial scales on wetland functions evaluation: a case study for coastal wetlands in Yancheng, Jiangsu Province	OU Weixin, YE Lifang, SUN Xiaoxiang, et al (3270)
Effects of simulated nitrogen deposition on nutrient balance of Chinese fir (<i>Cunninghamia lanceolata</i>) seedlings	FAN Houbao, LIAO Yingchun, LIU Wenfei, et al (3277)
The water conservation study of typical forest ecosystems in the forest transect of eastern China	HE Shuxia, LI Xuyong, MO Fei, et al (3285)
The ecological responses of <i>Pinus tabulaeformis</i> forests in Taiyue Mountains of Shanxi to artificial Harvesting	GUO Donggang, SHANGGUAN Tielang, BAI Zhongke, et al (3296)
The influence of the long-term application of organic manure and mineral fertilizer on microbial community in calcareous fluvo-aquic soil	ZHANG Huanjun, YU Hongyan, DING Weixin (3308)
Endophytic fungal diversity of five dominant plant species in the dry-hot valley of Yuanjiang, Yunnan Province, China	HE Caimei, WEI Daqiao, LI Haiyan, et al (3315)
Seedling recruitment in desert riparian forest following river flooding in the middle reaches of the Tarim River	ZHAO Zhenyong, ZHANG Ke, LU Lei, et al (3322)
Scaling up for transpiration of <i>Pinaceae schrenkiana</i> stands based on 8hm permanent plots in Tianshan Mountains	ZHANG Yutao, LIANG Fengchao, CHANG Shunli, et al (3330)
Responses of soil enzyme activities and microbial biomass N to simulated N deposition in Gurbantunggut Desert	ZHOU Xiaobing, ZHANG Yuanming, TAO Ye, et al (3340)
Effects of Pb on growth, heavy metals accumulation and chloroplast ultrastructure of <i>Iris lactea</i> var. <i>Chinensis</i>	YUAN Haiyan, GUO Zhi, HUANG Suzhen (3350)
Effects of temperature and sap flow velocity on CO ₂ efflux from stems of three tree species in spring and autumn in Northeast China	WANG Xiuwei, MAO Zijun, SUN Tao, et al (3358)
The soil seed bank of <i>Eupatorium adenophorum</i> along roadsides in the south and middle area of Yunnan, China	TANG Yingyin, SHEN Youxin (3368)
Extracting the canopy structure parameters using hemispherical photography method	PENG Huanhua, ZHAO Chuanyan, FENG Zhaodong, et al (3376)
The CCA analysis between grasshopper and plant community in upper reaches of Heihe River	ZHAO Chengzhang, ZHOU Wei, WANG Keming, et al (3384)
Community structure characteristics of phytoplankton in argun River Drainage Area in autumn	PANG Ke, YAO Jinxian, WANG Hao, et al (3391)
Spatial and temporal variation of phytoplankton and impacting factors in Jiulongjiang Estuary of Xiamen, China	WANG Yu, LIN Mao, CHEN Xingqun, et al (3399)
Effect of bank type on fish biodiversity in the middle-lower reaches of East Tiaoqi River, China	HUANG Liangliang, LI Jianhua, ZOU Limin, et al (3415)
Study on dynamic changes of soil and water loss along highway based on RS/GIS: an example of Yujing expressway	CHEN Aixia, LI Min, SU Zhixian, et al (3424)
The urbanization effects on watershed landscape structure and their ecological risk assessment	HU Hebing, LIU Hongyu, HAO Jingfeng, et al (3432)
Assessment of ecological risk of coastal economic developing zone in Jinzhou Bay based on landscape pattern	GAO Bin, LI Xiaoyu, LI Zhigang, et al (3441)
Impacts of land use and cover changes on ecosystem service value in Zoige Plateau	LI Jinchang, WANG Wenli, HU Guangyin, et al (3451)
Effect of chicken manure application on Cu and Zn accumulation in soil and <i>Brassica sinensis</i> L.	ZHANG Yan, LUO Wei, CUI Xiaoyong, et al (3460)
GIS analysis of structural characteristics of pollution sources in irrigable farmland in Ningxia China	CAO Yanchun, FENG Yongzhong, YANG Yinlu, et al (3468)
Effects of pre-sowing soil moisture and planting patterns on photosynthetic characteristics and yield of summer soybean	LIU Yan, ZHOU Xunbo, CHEN Yuhai, et al (3478)
<i>In situ</i> study on influences of different fertilization patterns on inorganic nitrogen losses through leaching and runoff: a case of field in Nansi Lake Basin	TAN Deshui, JIANG Lihua, ZHANG Qian, et al (3488)
Effects of AM fungi on leaf photosynthetic physiological parameters and antioxidant enzyme activities under low temperature	LIU Airong, CHEN Shuangchen, LIU Yanying, et al (3497)
Effects of exogenous cysteine on growth, copper accumulation and antioxidative systems in wheat seedlings under Cu stress	PENG Xiangyong, SONG Min (3504)
Review and Monograph	
The horizon scanning technology and its application prospect in Ecology	HU Zimin, LI Jingjing, LI Wei, et al (3512)
Scientific Note	
The gas exchange characteristics of four shrubs on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (3522)
Effect of DEM data at different scales on the accuracy of forest Ecological Classification system	TANG Lina, HUANG Jucong, DAI Limin (3531)
Canopy interception of rainfall by Bamboo plantations growing in the Hill Areas of Southern Jiangsu Province	JIA Yongzheng, HU Haibo, ZHANG Jiayang (3537)
Effects of exotic species slash pine (<i>Pinus elliottii</i>) litter on the structure and function of the soil microbial community	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3543)
The carbon emission analysis of Shenzhen Metro	XIE Hongyu, WANG Xixiang, YANG Muzhuang, et al (3551)

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 12 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 12 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	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元