

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

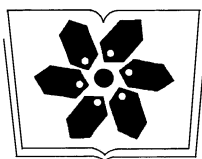
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 22 期
Vol.30 No.22
2010



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 30 卷 第 22 期

2010 年 11 月 (半月刊)

目次

高温对水稻叶片蛋白质表达的影响·····	曹云英,段 骅,王志琴,等 (6009)
茶园间作柑桔杨梅或吊瓜对叶蝉及蜘蛛类群数量和空间格局的影响·····	叶火香,崔 林,何迅民,等 (6019)
鼠尾藻生长与生殖的权衡·····	张树宝,唐永政,王志芳,等 (6027)
不同氮素水平下超高产夏玉米冠层的高光谱特征·····	陈国庆,齐文增,李 振,等 (6035)
近 100 年植被破坏侵蚀环境下土壤质量退化过程的定量评价 ·····	郑粉莉,张 锋,王 彬 (6044)
毛乌素沙地南缘沙漠化临界区域土壤养分的空间异质性·····	邱开阳,谢应忠,许冬梅,等 (6052)
CO ₂ 浓度倍增对干旱胁迫下黄瓜幼苗膜脂过氧化及抗氧化系统的影响 ·····	李清明,刘彬彬,艾希珍 (6063)
小兴安岭阔叶红松林粗木质残体空间分布的点格局分析·····	刘妍妍,金光泽 (6072)
光照对鄂东南 2 种落叶阔叶树种幼苗生长、光合特性和生物量分配的影响 ·····	杨 莹,王传华,刘艳红 (6082)
不同耕作和覆盖方式对紫色丘陵区坡耕地水土及养分流失的影响·····	林超文,罗春燕,庞良玉,等 (6091)
黄土残塬沟壑区流域次生植被物种分布的地形响应·····	王盛萍,张志强,张建军,等 (6102)
农村土地经营权流转对区域景观的影响——以北京市昌平区为例·····	刘 同,李 红,孙丹峰,等 (6113)
基于农户响应的北方农牧交错带生态改善策略·····	徐建英,柳文华,常 静,等 (6126)
滨岸不同植物配置模式的根系空间分布特征·····	仲启铖,杜 钦,张 超,等 (6135)
三江平原小叶章湿地剖面土壤微生物活性特征·····	杨桂生,宋长春,宋艳宇,等 (6146)
不同水分处理对湿地松幼苗生长与根部次生代谢物含量的影响·····	李昌晓,魏 虹,吕 茜,等 (6154)
生活污水慢渗生态处理对土壤及杨树生长的影响·····	白保勋,杨海青,樊 巍,等 (6163)
玉米连作及其施肥对土壤微生物群落功能多样性的影响·····	时 鹏,高 强,王淑平,等 (6173)
茶园 4 种半翅目主要害虫与其捕食性天敌的关系·····	周夏芝,毕守东,柯胜兵,等 (6183)
采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响·····	李金岚,洪坚平,谢英荷,等 (6193)
典型区域果园表层土壤 5 种重金属累积特征·····	杨世琦,刘国强,张爱平,等 (6201)
工业园区氮代谢——以江苏宜兴经济开发区为例·····	武娟妮,石 磊 (6208)
公路绿化带对路旁土壤重金属污染格局的影响及防护效应——以山西省主要公路为例·····	王 慧,郭晋平,张芸香,等 (6218)
奥运期间北京 PM _{2.5} 、NO _x 、CO 的动态特征及影响因素 ·····	曾 静,廖晓兰,任玉芬,等 (6227)
新疆绿洲农田土壤-棉花系统 9 种矿质元素生物循环特征 ·····	韩春丽,刘 娟,张旺锋,等 (6234)
甘肃省黄土高原旱作玉米水分适宜性评估·····	姚小英,蒲金涌,姚茹莘,等 (6242)
基于粪便 DNA 的马鹿种群数量和性比 ·····	田新民,张明海 (6249)
专论与综述	
水生态功能分区研究中的基本问题·····	唐 涛,蔡庆华 (6255)
土壤水分遥感监测研究进展·····	杨 涛,官辉力,李小娟,等 (6264)
中国北方气候暖干化对粮食作物的影响及应对措施·····	邓振镛,王 强,张 强,等 (6278)
问题讨论	
城市物质流分析框架及其指标体系构建·····	陈 波,杨建新,石 焱,等 (6289)
研究简报	
湖南会同不同退耕还林模式初期碳密度、碳贮量及其空间分布特征 ·····	田大伦,尹刚强,方 晰,等 (6297)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 300 * zh * P * ¥70.00 * 1510 * 32 * 2010-11

采煤塌陷地不同施肥处理对土壤微生物群落结构的影响

李金岚, 洪坚平*, 谢英荷, 王红芬, 韩旭

(山西农业大学资源环境学院, 太谷 030801)

摘要: 采用磷脂脂肪酸(PLFA)分析方法, 对山西长治襄垣五阳煤矿采煤沉陷区复垦土壤的微生物群落结构进行了研究。结果表明: 施肥处理能够不同程度的增加土壤微生物的 PLFA 总量、细菌 PLFA 量和真菌 PLFA 量, 其中化肥 + 有机肥处理下的土壤微生物 PLFA 总量, 细菌 PLFA 量和真菌 PLFA 量增加作用比较明显, 差异显著于对照处理; 对不同施肥处理的复垦土壤微生物群落 PLFA 进行主成分分析也可得出化肥 + 有机肥处理下的土壤微生物的群落结构变化比较大, 从因子载荷图上进一步分析可知, 化肥 + 有机肥处理下的土壤中代表真菌的不饱和脂肪酸 C18:2 ω 6t、C18:3 ω 6、18:1 ω 9t、18:3 ω 3 的含量较高, 这些脂肪酸将化肥 + 有机肥处理与单施化肥和对照处理区分开来, 产生了明显的优势种群。土壤 PLFA 总量与土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量都有很好的相关性, 相关系数分别为 0.76, 0.85, 0.67 和 0.67。

关键词: 采煤沉陷区; 复垦土壤; 土壤微生物群落结构; 磷脂脂肪酸

Effects of different fertilization treatments on reclaimed soil microbial community structure in core-mining subsidence area

LI Jinlan, HONG Jianping*, XIE Yinghe, WANG Hongfen, HAN Xu

College of Resources and Environment, Shanxi Agricultural University, Taigu 030801, China

Abstract: This paper preliminarily studied the microbial community structure of reclaimed soil in core-mining subsidence area of WuYang coal mine in XiangYuan of ShanXi province by using PLFA analysis methods. The results showed that the total PLFA, bacterial PLFA and fungal PLFA in a reclaimed soil were increased under fertilization treatments compared to the controls. After the content of soil total PLFA were analyzed in core-mining subsidence area under different fertilization treatments, it was shown that at seeding and jointing stage, the total PLFA between fertilization treatments and control were not significant different, but at heading and maturing, the total PLFA was obviously increased under the treatment of manure with chemical fertilizers, and was significant different from these of control. At seeding, soil bacteria PLFA content under the treatment of manure with chemical fertilizers increased by 120.7% compared to control, and was significant different from these of control. The content of soil bacterial PLFA was obviously increased under the treatment of manure with chemical fertilizers at jointing and heading, and was significant different from that of the control. At maturing stage, the difference was not significant among all the treatments. We also analyzed soil fungi PLFA in core-mining subsidence area under different fertilization treatments. At seeding stage, soil fungal PLFA content was also obviously increased under the treatment of manure with chemical fertilizers compared with other treatments, increasing by 126% compared to control, and was significant different from that of control. At jointing stage, soil fungal PLFA content increased sharply under chemical fertilizers treatment, and was significant different from control. At heading stage, the soil PLFA of fungi under different treatments were significantly different, and the soil PLFA content of fungi reached 325.24nmol/g in the treatment of manure with chemical fertilizers. At maturing stage, the soil PLFA content of fungi under different treatments decreases

基金项目: 山西省重大科技攻关项目(20060310990103); 山西省科技攻关项目(2006031027); 国家“十一五”支撑计划项目(2008BADA4B09)

收稿日期: 2010-03-02; **修订日期:** 2010-09-19

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: hjpsx@yahoo.com.cn

rapidly compared to the control, and the difference was not significant among all the treatments. The principal component analysis of reclaimed soil PLFA data in core-mining subsidence area under different fertilization treatment indicated that the first principal component (PC1) of the PLFA data has a great contribution to data variation, and the contribution rate was 74.8%, especially the treatment of manure with chemical fertilizers, and it showed a high positive correlation with the first principal component. It could also be seen in factor loading graph that most unsaturated fatty acids like C18:2 ω 6t、C18:3 ω 6、18:1 ω 9t、18:3 ω 3 which represent fungi were concentrated mainly in area of the treatment of manure with chemical fertilizers and in higher content. It suggested that the treatment of manure with chemical fertilizers had great influence on soil microbial community structure of fungi, which may increase the soil microbial community diversities and produce dominant microorganisms. In addition, the soil total PLFA had good correlation with the amounts of organic matter, alkali-hydrolyzable-N, available P and available K. The relative coefficients were 0.76, 0.85, 0.67 and 0.67 respectively. It can be proved that soil nutrient content was main factors of energy and nutrition for growth of microorganisms.

Key Words: core-mining subsidence area; reclaimed soil; soil microbial community structure; phospholipid fatty acid

山西省是我国重要能源重化工基地,素有“煤炭之乡”的称号。全省含煤面积 6.2 万 km², 占全省总面积的 39.6%^[1]。但是近年来由于大规模的煤炭开采,对土地资源和生态环境造成了极大破坏,特别是井工开采造成了矿区大面积地表沉陷。因此,在山西开展采煤沉陷区的土地复垦迫在眉睫。土地复垦的限制因子很多,其中提高复垦土壤的肥力是土地复垦成功与否的关键所在^[2-3]。在采煤塌陷区土地复垦的研究中,目前主要集中在如何重构土壤^[4-5]、如何修复重金属污染^[6]和植被恢复^[2]等,虽然对复垦后土壤肥力及微生物性状也进行了一些研究^[7-12],但在塌陷复垦措施对土壤微生物的影响方面研究较少,尤其从土壤微生物群落结构方面研究复垦土地肥力变化的报道甚少。

磷脂脂肪酸分析技术是一种不需要经过培养就能获得土壤中微生物信息的方法。它存在于活细胞的细胞膜中,具有属的特异性,不同属的微生物通过不同生化途径而形成不同的 PLFAs^[13]。其组成及含量显示出极大的差异,可用来直接估价其微生物的生物量及群落结构^[14-15],是一种较为准确、有效的研究方法。我国近年来运用磷脂脂肪酸(phospholipid fatty acid, PLFA)技术对土壤微生物群落结构变化的影响方面做了一些研究^[16-20],其中在土壤微生物群落结构变化与土壤肥力相关性的研究中,于树^[21]通过试验得出不同施肥处理下的土壤微生物群落结构与土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾之间有很好的相关性,颜慧^[22]也报道了长期施肥下的红壤水稻土细菌 PLFA 与土壤有效磷和全氮均呈现了显著的正相关,白震^[23]已证明长期施用有机肥改善了土壤微生物群落结构及其生态功能,最终使农田黑土的基本理化性状得到显著改善;本文运用 PLFA 技术研究山西长治襄垣五阳煤矿采煤沉陷地复垦土壤的微生物群落结构,旨在揭示塌陷复垦土壤微生物群落结构的演变规律,为采煤沉陷区复垦土壤肥力的快速恢复提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验区概况

试验田位于山西省长治市襄垣县王桥镇西山底村,属潞安集团五阳煤矿井田范围,地处东经 113°00′56″,北纬 36°27′16″;属低山丘陵地带,平均海拔 970m;属暖温带半湿润大陆性季风气候,年平均气温 9.5℃,年平均降水量 532.8mm,无霜期 160d。

1.2 供试材料

供试土壤为采煤塌陷复垦 1a 土壤,其有机质含量为 10.28g/kg,全氮 0.06 g/kg,全磷 0.15g/kg,全钾 18.92 g/kg,碱解氮 25.86mg/kg,速效磷 4.46mg/kg,速效钾 133.39mg/kg;

供试有机肥为鸡粪,含有机质 473.6 mg/g, N 28mg/g, P₂O₅ 14mg/g, K₂O 8mg/g;

种植作物为玉米,品种为瑞普 9 号,生育期 125d。

1.3 试验设计

本试验按照等量施肥的原则进行处理,试验处理分别为:

①对照(CK) 不施肥

②化肥(C) 施入尿素 630kg/hm²,磷酸一铵 879kg/hm²,硫酸钾 481.5kg/hm²

③化肥 + 有机肥(CM) 尿素 600kg/hm²,磷酸一铵 813kg/hm²,硫酸钾 473.1 kg/hm²,鸡粪 1398kg/hm²。

试验小区面积为 163.2m²,每小区重复 3 次。试验于 2009 年 4 月 27 日播种,10 月 10 日收获。土样采集时间为玉米的 4 个生育期,分别为:苗期(6 月 2 日),拔节期(7 月 15 日),抽雄期(8 月 20 日)和成熟期(10 月 10 日),采样深度为 0—20cm,每个试验小区取 5 点混合样作为该小区的代表样品。

1.4 分析项目及方法

田间采回的土样一部分经过 <2mm 孔径的筛子,除去植物残渣,冻干后于 -20℃ 保存,直至磷脂分析;一部分土样风干后经过 <1mm 和 <0.149mm 孔径的筛子用于测定土样养分含量。

土壤有机质的测定采用重铬酸钾容量法-外加热法;碱解 N 采用碱解扩散法;速效 P 采用 NaHCO₃ 浸提-钼锑抗比色法;速效 K 采用 NH₄OAc 浸提-火焰光度法。

土壤微生物磷脂脂肪酸(PLFA)的测定和分析采用修正的 Bligh 和 Dyer^[24] 方法。

(1)提取 称 3g 鲜土用混合浸提液(柠檬酸缓冲液:氯仿:甲醇 = 0.8:1:2)在 <18℃ 避光震荡 2h(200r/min)后离心 10min(3000 r/min),重复操作取上清液。再加入 4.8mL 柠檬酸缓冲液和 6mL 氯仿,震荡 1min,静止约 1h,间隔放气,避光隔夜静置,远离热源。经隔夜静置分离后,吸走上层水相,保留底层氯仿相,在氮气流下吹干氯仿。

(2)分离 用 10mL 氯仿清洗硅胶柱,1mL 氯仿溶解样品后注入硅胶柱内,然后依次分别加入 10mL 氯仿、10mL 丙酮、8mL 甲醇,收集甲醇相在氮气流下吹干。

(3)甲脂化 向吹干样品中加入 1mL 甲醇:甲苯(1:1)和 1mL 0.2mol/L KOH 甲醇溶液,手动摇晃 1min,放入水浴 35℃ 温浴 15 min 后冷却到室温,依次加入 2mL 去离子水,0.3mL 1mol/L 冰醋酸,2mL 正己烷与氯仿混合液(正己烷:氯仿 = 4:1),漩涡混合 30s,然后 4000r/min 离心 5min,重复提取 1 次,合并两次提取的正己烷相,氮气流下吹干, -20℃ 冷冻保存,在上机测定前用 60μL 正己烷(色谱纯)定溶待测。色谱柱为 hp52 MS (30μm × 0.25μm × 0.25μm)石英毛细管柱。

气象色谱分析条件 柱温 70℃ 保持 3min 后,以 20℃/min 升到 190℃,再以 1.5℃/min 升到 200℃,最后以 10℃/min 升至 280℃。所用外标为 Supelco TM37 Component FAME Mix。

脂肪酸的命名 脂肪酸链长以碳原子总数计算,从羧基开始,冒号后数字代表双键数目,ω 后数字代表双键的位置(从羧基端算起)。c(cis)表示顺势双键,t(trans)表示反势双键,i(iso)表示顺势支链,a(antiso)表示反势支链,br 表示不确定支链位置,Me 表示甲基位置,cy 表示环丙基。细菌以 14:0, 15:0, 16:0, 17:0, i15:0, a15:0, i17:0, a17:0, i19:0, 16:1ω7, cy17:0, cy19:0 表示,这里亦用饱和脂肪酸 14:0, 15:0, 16:0, 17:0 之和辅助指示细菌生物量;革兰氏阳性细菌以 i15:0, a15:0, i17:0, a17:0 表示,革兰氏阴性细菌以 16:1ω7, cy17:0, cy19:0 表示,放线菌以 10Me16:0, 10Me17:0, 10Me18:0 表示,真菌以 18:1ω9c, 18:1ω9 t, 18:2ω6, 18:3ω6, 18:3ω3, 21:0, 23:0 表示^[21]。

1.5 数据分析

本文数据采用方差分析和主成分分析等数学统计方法,分析软件为 Excel2003, SPSS13 和 DPS7.05。

2 结果与分析

2.1 不同施肥处理对复垦土壤微生物 PLFA 总量的影响

通过对不同施肥处理下的复垦土壤在玉米苗期、拔节期、抽雄期和成熟期的微生物 PLFA 总量进行方差分析得出图 1,从图中可知,土壤 PLFA 总量在苗期、抽雄期和成熟期的变化趋势一致,都是化肥 + 有机肥处理下的土壤 PLFA 总量 > 化肥处理 > 对照处理,而土壤 PLFA 总量在拔节期的时候是单施化肥处理下的土壤

PLFA 总量最大。

在苗期,单施化肥处理和化肥+有机肥处理的土壤 PLFA 总量分别比对照增加了 0.06% 和 18.6%,与对照处理之间差异不显著;拔节期,各处理间差异也不显著,单施化肥处理和化肥+有机肥处理的土壤 PLFA 总量分别高于对照处理 44.5% 和 34%,单施化肥处理的 PLFA 含量最高;到了抽雄期,单施化肥处理下的土壤 PLFA 总量比对照增加了 47.1%,与对照处理差异不显著,而化肥+有机肥处理的土壤 PLFA 总量比对照增加了 152.6%,差异显著于其它处理;在成熟期,土壤中 PLFA 总量的变化趋势与抽雄期一致,即化肥+有机肥处理下的土壤 PLFA 总量最大,其次是单施化肥处理,分别比对照处理增加 109.7% 和 39.8%,且化肥+有机肥处理显著差异于单施化肥和对照处理。纵观玉米各个生育期,单施化肥和化肥+有机肥处理都能不同程度的提高土壤微生物 PLFA 总量,其中化肥+有机肥处理在玉米生长后期增加土壤 PLFA 总量的作用比较大,而单施化肥处理则差一些。这是因为有机肥的施入为玉米的生长提供了充足的养分,玉米的根系可以为土壤中的微生物提供营养物质,同时有机肥也为微生物的生长提供了丰富的碳源,刺激了土壤中微生物的生长,增加了土壤中微生物的总量,这与 Béhme^[25] 和 Peacock^[26] 的研究一致。

对不同施肥处理下的复垦土壤在玉米苗期、拔节期、抽雄期和成熟期的细菌 PLFA 量进行方差分析得到图 2,从图中可知:苗期,单施化肥处理下的土壤细菌 PLFA 量比对照处理增加了 1.7%,差异不显著,化肥+有机肥处理的细菌 PLFA 总量比对照处理增加了 120.7%,差异显著于单施化肥和对照处理,有机肥的施入能够为微生物的生长提供营养物质,促进细菌的生长;拔节期,单施化肥处理和化肥+有机肥处理下的细菌 PLFA 量分别比对照增加了 100.3% 和 66.3%,都差异显著于对照处理,说明在拔节期施肥能够促进玉米生长的同时也为土壤中的微生物提供了所需的营养成分,促进了细菌的繁殖;抽雄期,单施化肥处理和化肥+有机肥处理下的细菌 PLFA 量较对照而言,分别增加了 207.2% 和 246.2%,都差异显著于对照;到了成熟期,各处理间的细菌 PLFA 量差异不显著,且较其他 3 个时期相比各处理间的土壤细菌 PLFA 量骤然减少。由于在玉米生长后期一直没有降雨,有机肥和化肥的肥效不能够很好的发挥,不能为植物和土壤中的微生物提供养分和水分,所以土壤中的细菌 PLFA 量不断的减少。纵观玉米不同生育期,单施化肥处理和化肥+有机肥处理都能增加土壤细菌的 PLFA 量,这与 Lovell^[27] 的研究一致,因为施肥能够提供细菌生长所需的氮源。

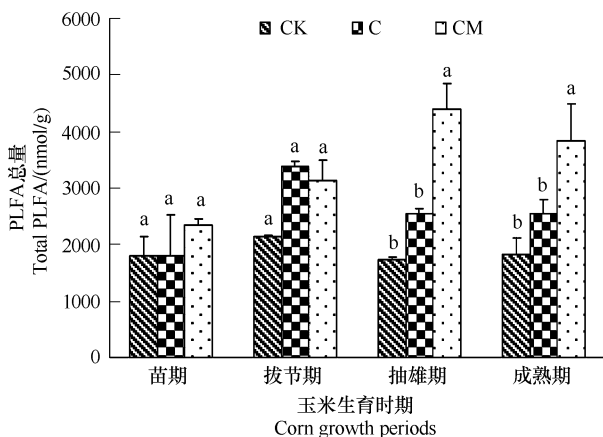


图 1 玉米生育期不同施肥处理对土壤 PLFA 总量的影响

Fig. 1 Effect of different fertilizations on total PLFA in corn growth periods

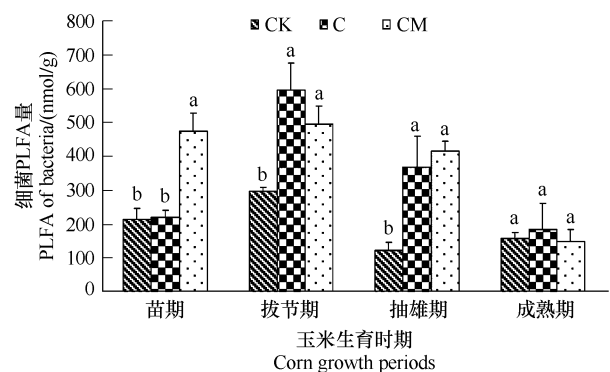


图 2 玉米生育期不同施肥处理对土壤细菌 PLFA 量的影响

Fig. 2 Effect of different fertilizations on PLFA of bacteria in corn growth periods

对不同施肥处理下的复垦土壤在玉米苗期、拔节期、抽雄期和成熟期的真菌 PLFA 量进行方差分析得到图 3,从图中可知:在苗期,单施化肥处理比对照处理的真菌 PLFA 量增加了 23.4%,与对照处理差异不显著,而化肥+有机肥处理比对照处理的真菌 PLFA 量增加了和 126%,差异显著于单施化肥和对照处理,这是因为施入了有机肥促进了真菌的生长;到了拔节期,单施化肥处理和化肥+有机肥处理分别比对照处理的真菌

PLFA 量增加了 82.4% 和 89.5%, 都差异显著于对照, 单施化肥处理下的土壤真菌 PLFA 量较苗期而言有大幅增加, 说明玉米在拔节期需肥量增多, 土壤中根系的生物量也增多, 带动了土壤中真菌的生长; 抽雄期, 单施化肥处理与化肥 + 有机肥处理下的土壤真菌 PLFA 量较对照处理分别增加了 760.5% 和 889.9%, 各处理间差异显著; 但是对照处理的土壤真菌 PLFA 量较拔节期相比明显下降, 这是因为玉米在抽雄期的需肥量较大, 而对照处理不能为玉米的生长提供充足的养分, 导致了玉米的生长受阻, 造成土壤中微生物的营养物质短缺, 所以土壤中真菌 PLFA 量就会下降; 到了成熟期, 各处理间的差异不显著, 单施化肥处理和化肥 + 有机肥处理较对照处理的土壤真菌 PLFA 量分别增加了 114.5% 和 101.5%, 但是相对与苗期、拔节期和成熟期相比, 各处理间的土壤真菌 PLFA 量都有了明显的下降, 这与 Innes^[28] 的研究结果一致, 但与 Bardgett^[29] 的研究有出入, 这可能是因为 6 月份开始一直没有降雨, 玉米的生长受阻, 致使玉米根系生物量锐减, 供给真菌生长的物质减少, 影响到了真菌的微生物总量。由此得出, 施肥处理能不同程度的提高土壤真菌的生物量, 而且化肥 + 有机肥处理的作用比较明显, 这与有机肥能够提供丰富的微生物的营养需要有关, 与于树^[21] 的研究一致。

真菌/细菌的比例可反映真菌和细菌相对含量的变化范围和两个种群的相对丰富程度。本文对不同施肥措施下的复垦土壤在玉米不同生育时期的真菌与细菌的比例进行了方差分析得出图 4, 由图 4 可见: 苗期时的对照处理的土壤真菌/细菌比值最高, 而在其他 3 个时期都是化肥 + 有机肥处理的土壤真菌/细菌比值最高。

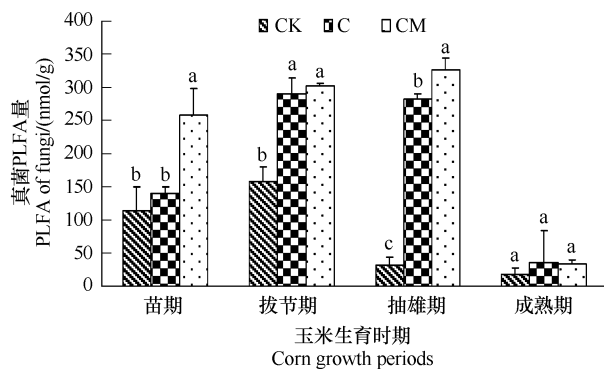


图3 玉米生育期不同施肥处理对土壤真菌 PLFA 量的影响

Fig. 3 Effect of different fertilizations on PLFA of fungi in corn growth periods

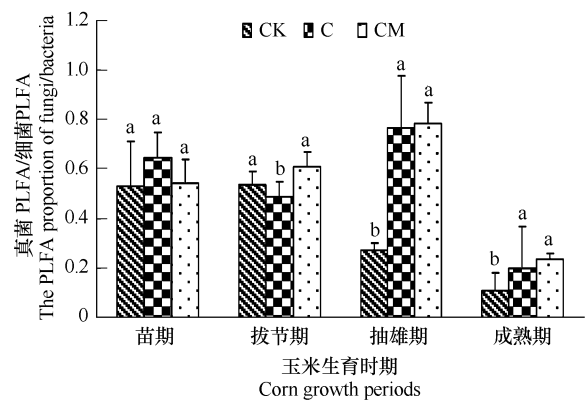


图4 玉米生育期不同施肥处理对土壤 PLFA 真菌/细菌的影响

Fig. 4 Effect of different fertilization treatments on the PLFA proportion of fungi/bacteria in corn growth periods

在苗期, 对照处理下的真菌/细菌比例最高, 丰富度高于化肥和化肥 + 有机肥处理, 但各处理间差异不显著, 说明玉米苗期需肥少, 根系生物量较少, 对土壤微生物的影响不大; 拔节期, 化肥 + 有机肥处理下的土壤真菌/细菌比值增高, 真菌丰富度增加; 抽雄期与成熟期, 单施化肥处理和化肥 + 有机肥处理下的土壤真菌/细菌比例差异显著于对照处理, 因为这一段时期玉米生长需要大量营养, 单施化肥处理和有机肥 + 化肥处理可以满足玉米生长的需要, 同时玉米生长为土壤中的细菌和真菌提供大量的营养物质, 所以土壤真菌与细菌比值就会有所提高, 这与 Bardgett^[29] 的研究一致。同时, 虽然单施化肥和化肥 + 有机肥处理下的土壤真菌/细菌比值在抽雄期和成熟期大于对照处理, 但这两个处理之间差异不显著, 因为这一时间遭遇特大旱一直没有降雨, 玉米生长停止, 根系生物量减少, 与细菌相比, 对真菌数量积累的影响较大, 导致土壤真菌的丰富度降低。

2.2 不同施肥处理对塌陷复垦土壤的微生物群落结构的影响

对不同施肥处理的塌陷复垦土壤磷脂脂肪酸进行主成分分析(图 5), 第一主成分(PC1)对 PLFA 数据变异的贡献率为 74.8%, 以化肥 + 有机肥处理最突出(变量系数 = 0.882), 第二主成分(PC2)对总 PLFA 数据的变异贡献率为 13.9%, 对照处理对第二主成分的贡献最大, 变量系数为 0.480。根据主成分分析原理, 当累积

方差贡献率大于 80% 时,即可用于反映系统的变异信息,可见,用第一、第二主成分两个因素即可代表系统内的变异状况。主成分二把不同的施肥处理区分开来,化肥处理和化肥 + 有机肥处理出现在图的右下方,与主成分一表现了高度的正相关,与主成分二呈现了负相关,而对照处理出现在图的左上角,与主成分二之间呈正相关。

通过每种脂肪酸在主成分上的因子载荷分析结果表明(图 6),绝大多数不饱和脂肪酸如 C18:2 ω 6t、C20:2、C18:3 ω 6、18:1 ω 9t、18:3 ω 3、C20:3 ω 6、C20:4 ω 6 等都集中在载荷图的右侧;大多数直链脂肪酸如 C13:0、C14:0、C15:0、C16:0、C17:0 等都集中在载荷图的左侧,结合图 5 和图 6 进一步分析可知,结构较复杂的不饱和脂肪酸在化肥 + 有机肥处理的土壤中含丰富,且代表真菌的 18:1 ω 9t、C18:2 ω 6t、18:3 ω 3、C18:3 ω 6 都分布在化肥 + 有机肥处理附近,由此可知施用化肥 + 有机肥对土壤微生物真菌群落结构的影响比较明显,可以增加微生物群落的多样性,与单施化肥和对照处理相比产生了优势种群。

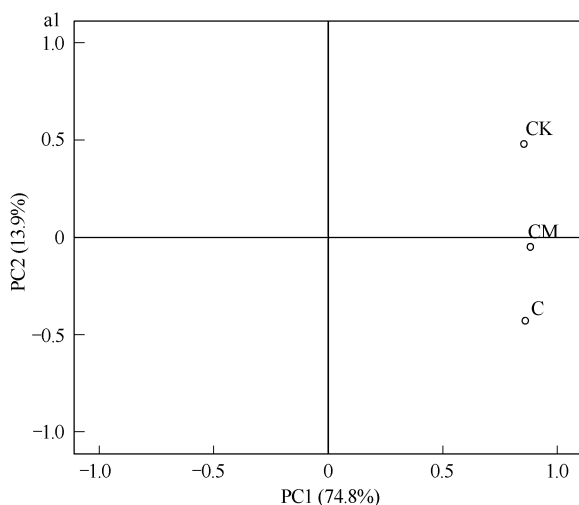


图 5 不同施肥处理下塌陷复垦土壤微生物群落 PLFA 的主成分分析

Fig. 5 Principle components analysis of PLFA profiles from reclaimed soil microbial communities under different fertilization treatments

a1: PC1 $\times$ PC2

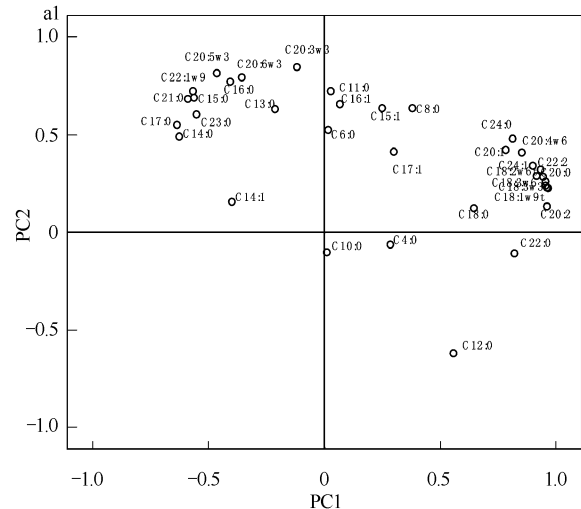


图 6 不同施肥处理下塌陷复垦土壤微生物群落 PLFA 载荷因子贡献图

Fig. 6 Factor loading graph of PLFA contributing to reclaimed soil microbial communities under different fertilization treatments

a1: PC1 $\times$ PC2

2.3 土壤 PLFA 总量与土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的相关性分析

PLFA 总量与土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾的相关系数分别为 0.76^{**}, 0.85^{**}, 0.67^{*}, 0.67^{*} ($n=12$, * 表示 $P<0.05$, ** 表示 $P<0.01$), 可以看出, 土壤微生物磷脂脂肪酸总量与土壤有机质和碱解氮之间呈现极显著正相关, 与土壤速效磷和速效钾之间呈现显著相关。说明土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾是微生物生长和活性的主要能源和营养因子^[21], 特别是土壤有机质和碱解氮与土壤微生物之间的关系十分密切。

3 结论

(1) 化肥处理和化肥 + 有机肥处理在玉米苗期、拔节期、抽雄期和成熟期都能增加土壤微生物的 PLFA 总量、细菌 PLFA 量和真菌 PLFA 量, 其中化肥 + 有机肥处理下的土壤微生物 PLFA 总量、细菌 PLFA 量和真菌 PLFA 量在玉米苗期、拔节期和抽雄期都差异显著于对照处理, 说明化肥 + 有机肥的肥效最好。但是由于玉米生长后期干旱, 玉米生长受阻, 同时肥料也不能很好的发挥肥效, 致使土壤中微生物的营养物质缺乏, 生物量减少, 所以在成熟期土壤中的细菌 PLFA 量和真菌 PLFA 量明显下降。

(2) 对土壤磷脂脂肪酸进行主成分分析可知, 化肥 + 有机肥处理下的土壤微生物群落结构变化比较大,

对主成分一的贡献率比较高,肥效比较明显,其次是单施化肥处理;在化肥+有机肥处理当中,含有较多的代表真菌的不饱和脂肪酸,这些脂肪酸在化肥+有机肥处理当中含量较高,能够将化肥+有机肥处理与单施化肥和对照处理区分开来,所以化肥+有机肥处理对土壤中微生物的真菌结构影响较大,对土壤的微生物群落多样性的影响较大。

表 1 不同施肥处理下复垦土壤的有机质、碱解氮、速效磷和速效钾含量

Table 1 The amounts of organic matter, alkali-hydrolyzable-N, available P and available K of reclaimed soil in different treatments

生育期 Growth period	施肥处理 Treatment	有机质/(g/kg) Organic matter	碱解氮/(mg/kg) Alkali-hydrolyzable-N	速磷/(mg/kg) Available P	速钾/(mg/kg) Available K
苗期 (06-02)	CK	10.91 ± 2.50a	25.77 ± 2.51a	6.26 ± 0.72a	136.02 ± 9.83a
	C	11.80 ± 3.01a	28.22 ± 3.30a	8.12 ± 2.47a	137.33 ± 4.91a
Seedling	CM	13.02 ± 2.54a	28.47 ± 5.33a	12.05 ± 2.99a	140.98 ± 4.72a
拔节期 (07-15)	CK	10.99 ± 2.70a	26.48 ± 4.63b	6.92 ± 0.80b	130.42 ± 23.77a
	C	14.88 ± 2.52a	35.77 ± 3.54a	13.52 ± 1.43a	143.76 ± 9.65a
Jointing	CM	13.67 ± 2.06a	34.91 ± 1.30ab	13.27 ± 2.62a	149.12 ± 23.49a
抽雄期 (08-20)	CK	11.14 ± 2.72a	28.09 ± 1.49b	7.01 ± 2.07a	136.69 ± 2.76a
	C	13.18 ± 2.68a	34.76 ± 1.51a	15.31 ± 4.04a	146.75 ± 10.13a
Heading	CM	14.49 ± 1.62a	37.08 ± 1.69a	13.33 ± 4.86a	141.22 ± 21.18a
成熟期 (10-10)	CK	11.80 ± 1.43a	29.74 ± 1.67b	7.39 ± 2.77a	133.27 ± 10.57a
	C	15.60 ± 5.34a	35.86 ± 1.87a	13.93 ± 2.51a	142.60 ± 12.89a
Maturing	CM	14.38 ± 2.99a	37.41 ± 3.38a	11.35 ± 2.41a	152.27 ± 5.52a

(3)土壤微生物磷脂脂肪酸总量与土壤有机质、碱解氮、速效磷和速效钾之间都呈现了显著的相关性,相关系数分别为 0.76,0.85,0.67 和 0.67。

References:

- [1] Wang Y X, Cheng G, Li L. Land destruction by coal mining in Shanxi and its prevention and control measure. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(5): 377-379.
- [2] Liu F, Lu L. Progress in the study of ecological restoration of coal mining subsidence areas. Journal of Natural Resources, 2009, 24(4): 613-620.
- [3] Li X J, Hu Z Q, Li J, Zhang W W. Research progress of reclaimed soil quality in mining subsidence area. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2007, 23(6): 617-622.
- [4] Zhao G X, Wang K H, Shi Y X. Investigation in reclamation mode and synthetical development technology of subsidence lands in coal mines. China Land Science, 2000, 4(5): 42-44.
- [5] Hu Z Q, Wei Z Y, Qin P. Concept of and methods for soil reconstruction in mined land reclamation. Soils, 2005, 37(1): 8-12.
- [6] Hu Z Q, Wei Z Y, Qin P. Contamination character analysis of filling reclaimed soil with fly ash in subsided land. China Environmental Science, 2004;24(3): 311-315.
- [7] Jiao X Y, Wang L G, Lu C D. Effects of Two Reclamation Methodologies of coal mining subsidence on soil physical and chemical properties. Journal of Soil and Water Conservation, 2009, 23(4): 123-124.
- [8] Zhang N M, Wu X Q, Gu X B, Zhang X Y. Variability in Fertility of Reclaimed Soil in Colliery Regions. Chinese Journal of Soil Science, 2003, 34(1): 58-60.
- [9] Hong J P, Xie Y H, Kong L J. Soil bacteria and their biochemical characteristics on reclamation of coal mines. Acta Ecologica Sinica, 2000, 20(4): 669-672.
- [10] Fang H, Wang C H, Xin X Y, Zhang H M, Liu Q B. Relation between reclaimed soil microbes and soil features in Antaibao Opencast. Journal of Safety and Environment, 2007, 7(6): 74-76.
- [11] Teng Y, Huang C Y, Luo Y M, Long J, Yao H Y. Microbial activities and functional diversity of community in soils polluted with PB-ZN-AG mine tailings. Acta Pedologica Sinica, 2004, 41(1): 114-119.
- [12] Bi Y L, Wu F Y, Wu Y K. Application of arbuscular mycorrhizas in ecological restoration of areas affected by coal mining in China. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(8): 2068-2073.
- [13] Wu Y P, Xu J M, Wang H Z. Application of Sherlock MIS in identification of soil bacteria. Acta Pedologica Sinica, 2006, 43(4): 642-647.
- [14] Zelles L, Bai Q Y. Fractionation of fatty acids derived from soil lipids by solid phase extraction and their quantitative analysis by GC-MS. Soil Biol. Biochem, 1993, 25: 495-507.

- [15] Guckert J B, Hood M A, White D C. Phospholipidester-linked fatty acid profile changes during nutrient deprivation of *Vibrio cholerae*: increase in trans/cis ratio and proportions of cyclopropyl fatty acids. *Appl. Environ. Microbiol.*, 1986, 52: 794-801.
- [16] Bai Z, Zhang X D, He H B, Yan Y, Hou S M, Chen Y, Xie H T. Effects of long-term nitrogen fertilizer application on NLFA and PLFA in mollisol farmland. *Acta Pedologica Sinica*, 2007, 44(4): 709-716.
- [17] Yao H Y, He Z L, Huang C Y. Effect of land use history on microbial diversity in red soils. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2003, 17(6): 51-54.
- [18] 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.
- [19] Cai Y F, Liao Z W, Zhang J E. Effect of ecological organic fertilizer on tomato bacterial wilt and soil microbial diversities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(3): 349-353.
- [20] 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 interleaving zone of north China. *Acta Pedologica Sinica*, 2008, 45(2): 321-327.
- [21] 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): 4222-4227.
- [22] Yan H, Zhong W H, Li Z P, Cai Z C. Effects of long-term fertilization on phospholipid fatty acids and enzyme activities in paddy red soil. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 71-75.
- [23] Bai Z, Zhang M, Song D Y, Zhang X D. Effect of different fertilization on microbial community in an arable mollisol. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(7): 3244-3253.
- [24] Bligh E Q, Dyer W J. A rapid method of total lipid extraction and purification. *Canadian Journal of Biochemistry and Physiology*, 1959, 37: 911-917.
- [25] Böhme L, Langer U, Böhme F. Microbial biomass, enzyme activities and microbial community structure in two European long-term field experiments. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 2005, 109: 141-152.
- [26] Peacock A D, Mullen M D, Ringelberg D B. Soil microbial community responses to dairy manure or ammonium nitrate applications. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33: 1011-1019.
- [27] Lovell R D, Jarvis S C, Bardgett R D. Soil microbial biomass and activity in long-term grassland: effects of management changes. *Soil Biology & Biochemistry*, 1995, 27: 969-975.
- [28] Innes L, Hobbs P J, Bardgett R D. The impacts of individual plant species on rhizosphere microbial communities in soils of different fertility. *Biology and Fertility of Soils*, 2004, 40: 7-13.
- [29] Bardgett R D, Lovell R D, Hobbs P J. Seasonal changes in soil microbial communities along a fertility gradient of temperate grasslands. *Soil Biology and Biochemistry*, 1999, 31: 1021-1030.

参考文献:

- [1] 王曰鑫,程刚,栗丽. 山西采煤产生的土地破坏及防治对策. *水土保持研究*, 2007, 14(5): 377-379.
- [2] 刘飞,陆林. 采煤塌陷区的生态恢复研究进展. *自然资源学报*, 2009, 24(4): 613-620.
- [3] 李新举,胡振琪,李晶,张雯雯. 采煤塌陷地复垦土壤质量研究进展. *农业工程学报*, 2007, 23(6): 617-622.
- [4] 赵庚星,王可涵,史衍玺. 煤矿塌陷地复垦模式及综合开发技术研究. *中国土地科学*, 2000, 4(5): 42-44.
- [5] 胡振琪,魏忠义,秦萍. 矿山复垦土壤重构的概念与方法. *土壤*, 2005, 37(1): 8-12.
- [6] 胡振琪,魏忠义,秦萍. 塌陷地粉煤灰充填复垦土壤的污染性分析. *中国环境科学*, 2004, 24(3): 311-315.
- [7] 焦晓燕,王立革,卢朝东. 采煤塌陷地复垦方式对土壤理化特性影响研究. *水土保持学报*, 2009, 23(4): 123-124.
- [8] 张乃明,武雪萍,谷晓滨,张学涌. 矿区复垦土壤养分变化趋势研究. *土壤通报*, 2003, 34(1): 58-60.
- [9] 洪坚平,谢英荷,孔令节. 煤矸石复垦区土壤微生物区系及其特性的研究. *生态学报*, 2000, 20(4): 669-672.
- [10] 方辉,王翠红,辛晓云,张洪满,刘其彬. 平朔安太堡矿区复垦地土壤微生物与土壤性质关系的研究. *安全与环境学报*, 2007, 7(6): 74-76.
- [11] 滕应,黄昌勇,骆永明,龙健,姚槐应. 铅锌银尾矿区土壤微生物活性及其群落功能多样性研究. *土壤学报*, 2004, 41(1): 114-119.
- [12] 毕银丽,吴福勇,武玉坤. 丛枝菌根在煤矿区生态重建中的应用. *生态学报*, 2005, 25(8): 2068-2073.
- [13] 吴愉萍,徐建明,汪海珍. Sherlock MIS 系统应用于土壤细菌鉴定的研究. *土壤学报*, 2006, 43(4): 642-647.
- [16] 白震,张旭东,何红波,闫颖,侯松媚,陈盈,解宏图. 长期氮肥施用对农田黑土 NLFA 与 PLFA 特性的影响. *土壤学报*, 2007, 44(4): 709-716.
- [17] 姚槐应,何振立,黄昌勇. 不同土地利用方式对红壤微生物多样性的影响. *水土保持学报*, 2003, 17(6): 51-54.
- [18] 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.
- [19] 蔡燕飞,廖宗文,章家恩. 生态有机肥对番茄青枯病及土壤微生物多样性的影响. *应用生态学报*, 2003, 14(3): 349-353.
- [20] 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.
- [21] 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): 4222-4227.
- [22] 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.
- [23] 白震,张明,宋斗妍,张旭东. 不同施肥对农田黑土微生物群落的影响. *生态学报*, 2008, 28(7): 3244-3253.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2009 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	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 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 30 卷 第 22 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 22 2010

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