

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

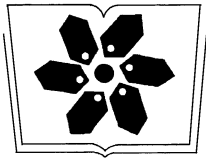
(Shengtai Xuebao)

第 31 卷 第 3 期
Vol.31 No.3
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 3 期 2011 年 2 月 (半月刊)

目 次

景观生态学原理在城市土地利用分类中的应用	李伟峰, 欧阳志云, 肖 焱 (593)
中国特有濒危植物夏蜡梅的交配系统	赵宏波, 周莉花, 郝日明, 等 (602)
昆仑山北坡不同海拔塔里木沙拐枣的光合生理生态特性	朱军涛, 李向义, 张希明, 等 (611)
天山云杉天然林不同林层的空间格局和空间关联性	李明辉, 何风华, 潘存德 (620)
大气 CO ₂ 浓度升高对 B 型烟粉虱大小、酶活及其寄主的选择性影响	王学霞, 王国红, 戈 峰 (629)
桃小食心虫越冬幼虫过冷却能力及体内生化物质动态	王 鹏, 凌 飞, 于 毅, 等 (638)
象山港不同养殖类型海域大型底栖动物群落比较研究	廖一波, 寿 鹿, 曾江宁, 等 (646)
北部湾宝刀鱼的摄食生态	颜云榕, 杨厚超, 卢伙胜, 等 (654)
黄河三角洲自然保护区东方白鹤的巢址利用	段玉宝, 田秀华, 朱书玉, 等 (666)
贺兰山野化牦牛冬春季食性	姚志诚, 刘振生, 王兆铨, 等 (673)
杉木生长及土壤特性对土壤呼吸速率的影响	王 丹, 王 兵, 戴 伟, 等 (680)
中国干旱半干旱区潜在植被演替	李 飞, 赵 军, 赵传燕, 等 (689)
夜间增温和施肥对川西亚高山针叶林两种树苗根际效应的影响	卫云燕, 尹华军, 刘 庆, 等 (698)
洱海流域 44 种湿地植物的氮磷含量特征	鲁 静, 周虹霞, 田广宇, 等 (709)
杠柳幼苗对不同强度干旱胁迫的生长与生理响应	安玉艳, 梁宗锁, 郝文芳 (716)
柠条细根的空间分布特征及其季节动态	史建伟, 王孟本, 陈建文, 等 (726)
NaCl 和 Na ₂ SO ₄ 胁迫下两种刺槐叶肉细胞叶绿体超微结构	孟凡娟, 庞洪影, 王建中, 等 (734)
设施番茄果实生长与环境因子的关系	程智慧, 陈学进, 赖琳玲, 等 (742)
嫁接茄子根系分泌物变化及其对黄萎菌的影响	周宝利, 刘 娜, 叶雪凌, 等 (749)
华北地区冬小麦干旱风险区划	吴东丽, 王春乙, 薛红喜, 等 (760)
干旱胁迫条件下冷型小麦灌浆结实期的农田热量平衡	严菊芳, 张嵩午, 刘党校 (770)
秸秆不同还田量对宁南旱区土壤水分、玉米生长及光合特性的影响	高 飞, 贾志宽, 路文涛, 等 (777)
盐胁迫下不同基因型冬小麦渗透及离子的毒害效应	徐 猛, 马巧荣, 张继涛, 等 (784)
阿魏酸、对羟基苯甲酸及其混合液对土壤氮及相关微生物的影响	母 容, 潘开文, 王进闯, 等 (793)
岷江上游油松与云杉人工林土壤微生物生物量及其影响因素	江元明, 庞学勇, 包维楷 (801)
荒漠沙蒿根围 AM 真菌和 DSE 的空间分布	贺学礼, 王银银, 赵丽莉, 等 (812)
百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响	邵元元, 王志英, 邹 莉, 等 (819)
居住区植物绿量与其气温调控效应的关系	李英汉, 王俊坚, 李贵才, 等 (830)
近 33 年白洋淀景观动态变化	庄长伟, 欧阳志云, 徐卫华, 等 (839)
舟山群岛旅游交通生态足迹评估	肖建红, 于庆东, 刘 康, 等 (849)
¹⁵ N 交叉标记有机与无机肥料氮的转化与残留	彭佩钦, 仇少君, 侯红波, 等 (858)
沉积物老化过程中 DOC 含量变化对菲吸附-解吸的影响	焦立新, 孟 伟, 郑丙辉, 等 (866)
湖南石门、冷水江、浏阳 3 个矿区的苳麻重金属含量及累积特征	余 玮, 揭雨成, 邢虎成, 等 (874)
问题讨论	
近 55a 来河西走廊荒漠绿洲区季节变化特征及其对胡杨年生长期的影响	刘普幸, 张克新 (882)
利用 HYSPLIT 模型分析麦蚜远距离迁飞前向轨迹	郁振兴, 武予清, 蒋月丽, 等 (889)

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 302 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2011-02

百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响

邵元元, 王志英*, 邹莉, 吴韶平

(东北林业大学林学院, 哈尔滨 150040)

摘要: 利用稀释平板法和 Biolog-Eco 检测技术, 分析了喷施百菌清对落叶松人工防护林土壤微生物群落的影响。结果表明, 土壤微生物中细菌数量占据绝对优势, 其数量直接影响落叶松人工防护林土壤微生物总量的变化趋势。总体上, 百菌清对细菌的数量具有抑制作用。喷洒后 0d, 仅抑制表层与上层(0—10cm)土壤细菌的增殖; 喷洒后 2 个月, 对表层与上层土壤细菌的抑制作用减弱, 而喷洒后 4 个月时, 其抑制作用最强。喷洒后 0d 与 2 个月时, 百菌清对表层与上层土壤真菌数量的增殖均具有促进作用。喷洒后 2 个月、4 个月时均对下层土壤放线菌数量具有抑制作用。将土壤 3 大类群微生物数量、土壤理化指标及群落多样性指数进行相关分析表明, 土壤中有效磷和速效钾与放线菌数量、水解氮与细菌数量存在显著正相关性, 而与群落多样性无显著相关性。喷洒百菌清 2 个月后, 对表层土壤微生物群落碳源利用率的影响不显著, 而对上层(0—10cm)土壤微生物存在显著影响, 下层(10—20cm)土壤微生物群落的碳源利用率在百菌清喷洒 2 个月与 4 个月后具有显著差异; 而不同土层微生物群落对碳源利用率的差异不显著。微生物群落利用 31 种碳源的主成分分析表明, 喷洒百菌清后, 微生物群落利用单一碳源的能力显著提高, 且喷洒 2 个月后微生物群落对某些碳源如肝糖与 2-羟基苯甲酸等的利用率明显增加。方差分析表明, 喷洒百菌清后, 不同作用时间及不同处理, 不同土层间土壤微生物对碳源的利用率具有显著差异。喷洒百菌清前(5 月)土壤微生物对多聚物与氨基酸、碳水类、芳香类及胺类的利用率差异较大($P < 0.05$), 且对多聚物的利用率最高; 处理组的表层土壤微生物对碳源的利用率高于其它处理组; 而喷洒 2 个月后, 对胺类、芳香类的利用率与其它 4 类碳源具有显著差异。

关键词: 百菌清; 土壤微生物群落; Biolog-Eco 检测法; 主成分分析

Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of *Larix* artificial shelter-forest

SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying*, ZOU Li, WU Shaoping

College of Forestry, Northeast Forestry University, Harbin 150040, China

Abstract: Chlorothalonil is considered to be a non-selective fungicide and used commonly to control a broad spectrum of plant diseases. Hence, it is important to study its impact on ecological safety. In this study, the recommended dosage of chlorothalonil was sprayed on the soil of larch artificial shelter-forest to evaluate the impact of the fungicide on soil microbial communities. At the same time, analysis of correlations between soil diversity and properties showed that it can provide basic data of the influence to soil microbial community and thus, provide basic foundations of scientific usage and crisis management for the pesticide. Using dilution-plate method, data of culturable microbial populations, soil properties and microbial functional diversity indexes were collected before spraying fungicide, 0 MAT, 2 MAT, 4 MAT and 12 MAT respectively. The results showed that bacterium was the dominant species among soil microbes whose number directly affected the dynamics of total soil microbial amount of larch artificial shelter-forest. As a whole, chlorothalonil had inhibitory effect on the proliferation of the soil bacteria. The inhibition occurred mainly in both the surface and the upper-layer (0—10cm) soils on 0 day after spraying. Moreover, the inhibitory effect on the bacteria in surface soil was significantly different from that in upper soil two months after spraying and the difference reached the climax four months later. At the time of both 0 MAT and 2 MAT, chlorothalonil facilitated the proliferation of the fungi in both the surface and

基金项目: 国家重点基础研究发展计划资助(2009CB125906)

收稿日期: 2010-06-11; 修订日期: 2010-09-23

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zyw0451@sohu.com

the upper-layer (0—10cm) soils. Nevertheless, it showed little influence on the under layer soil fungi populations. Although the actinomycetes amount in both the surface and upper layer(0—10cm) soils were decreased as a result of the application of chlorothalonil, the inhibition was weaker than those on bacterial populations. Correlation analysis between three main groups of microbial populations, soil properties and diversity indices showed that the contents of both the effective phosphorus and available potassium in the soil were significantly positively correlated to the numbers of soil actinomycetes. The bacterium count was correlated positively to the content of soil hydrolysable nitrogen as well, whereas not to the soil microbial community diversity. Biolog-Eco Plate detecting showed that, 2 MAT, chlorothalonil had no significant effect on the carbon conversion ratio of the surface soil microbes while significant to that of the upper-layer microbes. And there was significant difference on the carbon conversion ratios of the under-layer microbes between two experiments tested on two months and four months after spraying respectively. Nevertheless, there was no significant difference between different soil layers. Principal component analysis of 31 carbon sources showed that the ability of single carbon conversion ratio of soil microbial community strikingly improved after chlorothalonil spraying. Furthermore, two months after spraying, the conversion ratios of certain carbon, e. g. Glycogen and 2-Hydroxy Benzoic Acid, were strengthened significantly. Analysis of variance proceeded to find that there existed distinguished differences between different action times, different treatments and different soil layers for the ability of single carbon conversion ratio of soil microbial community. There were significant differences among the utilization of Amino acids, Carbohydrates, Polymers, Phenolic and Amines ($P < 0.05$) before spraying, in addition to this, Polymers had a highest availability. The ability of single carbon conversion ratio of surface soil microbial community was higher than other layers whereas the utilization two months after applying chlorothalonil was significantly different between Phenolic, Amines and the other four single carbon sources.

Key Words: chlorothalonil; soil microbial community; Biolog-Eco detecting method; principal component analysis

土壤微生物是土壤生态系统中的重要组成部分,其群落的组成或活性对土壤肥力的保持具有重要意义^[1],而且土壤微生物的特性可以敏感地指示气候和土壤环境条件的变化,反映土壤质量和土壤健康状况,将其用以评价农药等土壤污染物的生态毒性和生态安全性是当前研究的热点问题^[2-4]。农药的广泛使用导致环境的污染,影响微生物的数量、多样性及其在土壤中的生物活性。土壤微生物多样性的变化可以反映土壤生态机制和土壤胁迫对微生物群落的影响^[5]。

传统的微生物研究方法主要基于可培养的微生物,但大约 80%—99% 的微生物未能得到培养或不可培养^[6],导致传统分析方法不能反映所有微生物的真实变化。土壤微生物群落功能多样性是土壤微生物群落状态与功能的指标,反映土壤中微生物的生态特征,为评价微生物多样性提供了一个可行、生态相关的测量方法^[7]。以碳源利用为基础的 Biolog 检测方法能够简单、快捷地反映微生物群落水平的生理代谢轮廓 (CLPP),目前已被广泛应用于揭示土壤微生物的功能多样性,尤其是对不同生态环境所引起的土壤微生物群落变化的研究和评价^[8-11]。

化学农药作为土壤主要的污染源之一,对土壤微生物的数量、多样性及其活性具有重要的影响,是土壤生态安全性评价的重要指标之一^[12-14]。以往有关农药对土壤微生物群落的影响均采用实验室模拟法^[14-17],未真实反映出环境胁迫下农药对土壤微生物的影响,而相关研究也主要集中在农业领域^[14-15, 18],有关森林尤其是人工防护林方面的研究甚少。本研究采用林间常规喷雾法喷施百菌清,利用传统的稀释平板计数法和 Biolog-Eco 微平板检测技术,综合评价百菌清对人工落叶松防护林土壤微生物群落结构及功能多样性的影响,探索土壤理化性质与微生物多样性的相关性,为分析化学农药对落叶松防护林土壤微生物的影响提供基础数据,也为农药的科学使用和风险管理提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究地区概况

样地位于阿城市大岭乡林场,地处 $45^{\circ}12'—45^{\circ}31'N$, $126^{\circ}42'—127^{\circ}07'E$, 土壤为黑钙土,年平均气温 $4.6^{\circ}C$,年平均降水量约 139.7mm,日照时数 658h,年平均相对湿度为 62.5%。样地为人工落叶松 (*Larix sp.*) 纯林,林内植被稀少。表 1 为样地土壤的理化性质。

表 1 样地土壤理化性质

Table 1 Physical and chemical characteristic of the soil samples

样地 Sampling plot	pH	水解性氮/(mg/kg) Hydrolyzable nutrient	有效磷/(mg/kg) Effective phosphorus	速效钾/($\mu g/g$) Available potassium
样方 Plot I	6.30	86.34	31.54	69.24
样方 Plot II	6.42	79.26	8.59	78.40

表中,样地 I 为对照组,样地 II 为处理组,表中数据为 2009 年 4 个月测定值的平均值

1.2 样地设置及取样

在落叶松防护林内选取两块 $20m \times 20m$ 样地,样地 I 为没有喷施百菌清的空白对照(CK);样地 II 于 2009 年 6 月末常量喷施 75% 百菌清可湿性粉剂(利民化工有限公司生产),喷洒剂量为 $0.15g/m^2$ 。分别于 2009 年 5 月、6 月(喷洒后 0d)、8 月(喷洒后 2 个月)和 10 月(喷洒后 4 个月)下旬采集样地土样。采用“五点法”分别取表层(除去枯枝落叶层)、上层(0—10)cm、下层(10—20)cm 土样 500g 左右装入无菌封口塑料袋。将土样分成两份,一份放入 $4^{\circ}C$ 保存,用于可培养微生物的分离、计数及 Biolog Eco 微平板测定;另一份过筛风干测定土壤理化性质。

1.3 测定方法

1.3.1 微生物的分离与计数

土壤微生物的分离和计数采用稀释涂抹平板计数法^[19]。其中细菌采用牛肉膏蛋白胨琼脂(BPA)培养基, $37^{\circ}C$ 培养 3 d 后挑菌;真菌采用马铃薯葡萄糖琼脂(PDA)培养基(加入 $30mg \cdot L^{-1}$ 链霉素抑制细菌生长), $25^{\circ}C$ 培养 3 d 后挑菌;放线菌采用高氏 1 号琼脂(GA)培养基(加入 $50\mu g/mL$ $K_2Cr_2O_7$ 抑制杂菌), $29^{\circ}C$ 培养 10 d 后挑菌。每个土样(微生物类群)选取 3 个浓度梯度,每个浓度梯度 3 次重复,取其平均数进行计算作为该土样的微生物数量。

1.3.2 微生物群落多样性测定

Biolog-Eco 微孔板上有 96 个孔,3 份重复,每份重复有 32 孔(包括 1 个对照组孔和 31 个单一碳源孔),除对照组孔仅有水和指示剂以外,其余 31 孔均装有单一碳源和四唑氮蓝染料。在微生物利用单一碳源的代谢过程中产生氧化还原反应,使四唑氮蓝染料变成紫色,根据每孔颜色变化程度检测微生物的代谢能力。每个混合土样称取相当于 10g 烘干质量的新鲜土,加入含 90mL 0.85% NaCl 无菌溶液的三角瓶中,封口后在摇床上震荡($200 r/min$) 30 min,按 10 倍稀释法用 0.85% NaCl 无菌溶液将其稀释至原来的 1/1000,稀释液经离心去除残留的土壤后,上清液用于接种。接种悬浮液于 Biolog-Eco 微孔板中,每孔 $150\mu L$,置于 $25^{\circ}C$ 暗箱培养;连续培养 168 h,期间每 24h 用 ELISA 反应微平板读数器在 590 nm 处读取吸光值^[20]。

1.3.3 土壤理化性质测定

采用碱解扩散法测定水解氮,钼锑钨比色法测定有效磷,火焰光度计法测定速效钾,酸度计法测定 pH^[21]。

1.4 数据处理

1.4.1 土壤微生物群落 Biolog Eco 微平板板孔平均颜色变化率

土壤微生物群落 Biolog Eco 微平板在温育过程中的平均每孔颜色变化率(average well color development, AWCD)计算方法:

$$AWCD = \sum (C - R) / 31$$

式中, C 为各反应孔的吸光值, R 为对照孔的吸光值。

1.4.2 多样性指数分析

采用 Biolog Eco 微平板培养 120h ($AWCD$ 值处于“拐点”处的温育时间) 的数据进行统计分析, 采用 Shannon-Weiner 多样性指数 (Diversity) H 和丰富度 (Richness) 指数 S 以及均匀度 (Evenness) 指数 E 来表征土壤微生物群落多样性 (群落代谢功能多样性) [22-23]。

Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H = -\sum P_i \ln P_i$$

式中, $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$, 表示反应孔与对照孔光密度值之差和整块板总差的比值。

丰富度指被微生物群落利用的基质的数量。微孔的光密度值 ≥ 0.2 , 则认为是阳性值, 并计入微生物群落的丰富度 S (即此类微孔的总和)。

均匀度指数:

$$E = H / \ln S$$

利用 SPSS16.0 对 120h 的 $AWCD$ 值进行主成分分析; 对土壤微生物数量与群落代谢功能多样性及土壤理化性质进行相关分析。

2 结果与分析

2.1 可培养微生物及数量随时间的变化规律

土栖细菌、真菌、放线菌菌落数量及总菌落数量随时间的变化如表 2 所示, 对照组和百菌清处理组中细菌菌落数量均占据绝对优势, 总菌落数量变化趋势与细菌一致, 而不同土层的细菌、真菌、放线菌菌落数量季节变化差异较大。

表 2 土壤微生物种类、数量及其季节变化

Table 2 The changes of soil kinds, quantities and seasonal variation

处理 Treatment	菌落数 number of microbes (cfu/g DM)	喷洒前(5月) May	喷洒后 0d(6月) June	喷洒后 2个月(8月) August	喷洒后 4个月(10月) October
CK(表层)	B / $\times 10^8$	4.23	47.33	12.67	1.35
	F / $\times 10^4$	2.60	5.83	7.00	19.67
	A / $\times 10^4$	158.33	100.67	31.67	29.17
	TN / $\times 10^8$	4.25	47.34	12.67	1.35
CK(0—10cm)	B / $\times 10^8$	3.12	50.50	1.33	8.15
	F / $\times 10^4$	7.50	5.50	2.33	3.67
	A / $\times 10^4$	42.83	10.25	19.33	23.67
	TN / $\times 10^8$	3.13	50.50	1.33	8.15
CK(10—20cm)	B / $\times 10^8$	46.60	45.67	1.17	7.50
	F / $\times 10^4$	416.67	5.33	31.67	7.00
	A / $\times 10^4$	43.50	9.67	15.00	10.17
	TN / $\times 10^8$	46.65	45.67	1.17	7.50
表层 Surface	B / $\times 10^8$	71.17	117.33	6.73	3.70
	F / $\times 10^4$	3.17	72.50	43.33	10.17
	A / $\times 10^4$	79.00	14.83	31.67	30.33
	TN / $\times 10^8$	71.17	117.34	6.74	3.70
0—10cm	B / $\times 10^8$	124.83	8.42	3.53	9.82
	F / $\times 10^4$	1.33	4.17	3.33	2.83
	A / $\times 10^4$	60.00	161.67	15.17	8.33
	TN / $\times 10^8$	124.84	8.43	3.54	9.82
10—20cm	B / $\times 10^8$	116.17	123.83	7.33	4.53
	F / $\times 10^4$	60.00	0.70	3.67	3.00
	A / $\times 10^4$	26.17	7.00	14.50	13.33
	TN / $\times 10^8$	116.18	123.83	7.34	4.53

F 代表真菌 Fungi, B 代表细菌 Bacteria, A 代表放线菌 Actinomycetes, TN 为总菌数 Total number

对照组和百菌清处理组表层细菌数量随时间的变化均表现为先增后减的趋势。与喷洒前(5月)相比,喷洒后0d、2个月、4个月时,细菌增减幅度分别为1018.91%、65%、199.53%、-90.54%、-68.09%、-94.80%;对照组和百菌清处理组上层土壤细菌数量随时间变化存在差异,喷洒后0d、2个月、4个月时相比喷洒前(5月)的增减幅度分别为1518.59%、-93.25%、-57.37%、-97.17%、161.22%、-92.13%;与喷洒前(5月)相比,喷洒后0d、2个月、4个月时,下层土壤细菌数量大多呈减少趋势,其变化量分别为-2.00%、6.59%、-97.49%、-93.69%、-83.91%、-96.10%。从上述结果可以看出,百菌清处理组较对照组的细菌数量随喷洒时间的变化呈减少趋势,说明百菌清对细菌的增殖具有抑制作用。

对照组和百菌清处理组的真菌菌落数在不同土层间、不同时间的变化表现为:喷洒后0d、2个月、4个月时,表层真菌菌落数分别为喷洒前(5月)的124.23%、2187.07%、169.23%、1266.88%、656.54%、220.82%;喷洒后0d、2个月、4个月时,上层土壤真菌菌落数分别为喷洒前(5月)的-26.67%、213.53%、-68.93%、150.38%、-51.07%、112.78%;喷洒后0d、2个月、4个月时,下层真菌菌落数分别为喷洒前(5月)的-98.72%、-98.83%、-92.40%、-93.88%、-98.32%、-95.00%。

对照组和百菌清处理组在不同土层中的放线菌菌落数均呈现季节性减少的趋势。喷洒后0d、2个月、4个月时,表层土壤放线菌菌落数较喷洒前(5月)的增减幅度为-36.42%、-81.23%、-80.00%、-59.91%、-81.58%、-61.61%;喷洒后0d、2个月、4个月时,上层土壤放线菌菌落数较喷洒前(5月)的变化量为-76.07%、169.45%、-54.87%、-74.72%、-44.73%、-86.12%;喷洒后0d、2个月、4个月时,下层土壤放线菌菌落数较喷洒前(5月)的增减幅度为-77.77%、-73.25%、-65.52%、-44.59%、-76.62%、-49.06%。以上数据表明百菌清对放线菌的增殖具有抑制作用,但较细菌的抑制作用弱。

2.2 微生物群落多样性与土壤理化性质的相关性

在森林生态系统中,土壤微生物的分布、群落组成、种群演替及其功能一方面受到生物和非生物因子的影响,另一方面也反映了与树木生长、土壤肥力、物质循环和能量转化的相关性^[24]。有效磷、速效钾、水解氮和pH是土壤理化性质的重要指标,分析土壤微生物群落多样性指数及种群数量与土壤理化性质的相关性(表3),表明有效磷和速效钾与放线菌菌落数呈显著的相关性,与群落多样性无显著相关性。尽管有效磷和速效钾能促进放线菌的生长,但由于放线菌在微生物群落中所占比重较小,对多样性指数影响不大;水解氮与细菌

表3 土壤微生物与理化性质、多样性指数的相关性

Table 3 Correlation analysis of soil microbial numbers, nutrient indexes and diversity indexes

项目 Item	细菌 Bacteria	真菌 Fungi	放线菌 Actinomycetes	Shannon-Wiener 多样性指数 Diversity index	均匀度指数 Evenness	丰富度指数 Richness	有效磷 Effective phosphorus	速效钾 Available potassium	水解氮 Hydrolyzable nitrogen	pH
细菌 bacteria	1.000									
真菌 Fungi	0.481	1.000								
放线菌 Actinomycetes	0.006	0.387	1.000							
多样性指数 Diversity index	-0.508	-0.652 *	-0.409	1.000						
均匀度指数 Evenness	-0.449	-0.489	-0.283	0.947 **	1.000					
丰富度指数 Richness	-0.145	-0.694 *	-0.252	0.564	0.422	1.000				
有效磷 Effective phosphorus	-0.369	0.215	0.691 *	0.085	0.179	-0.095	1.000			
速效钾 Available potassium	-0.061	-0.115	0.635 *	0.153	0.242	0.48	0.584 *	1.000		
水解氮 Available nitrogen	0.730 **	0.565	0.472	-0.747 **	-0.583 *	-0.358	-0.098	0.214	1.000	
pH	-0.485	-0.464	0.132	0.436	0.455	0.434	0.208	0.554	-0.255	1.000

** 表示在0.01水平相关性显著,*表示在0.05水平相关性显著

菌落数呈极显著正相关,与群落多样性指数和均匀度指数呈显著负相关,说明水解氮能够促进细菌的生长繁殖,形成以细菌为绝对优势的微生物群落,从而降低了微生物的多样性和均匀度;样地土壤的 pH 在 5.5—7.07 之间(平均值 6.28),差异并不显著,与微生物菌落数和多样性指数的相关性相对较弱,影响程度也较小。以往研究亦表明,微生物数量以及微生物多样性与土壤理化性质之间存在一定的相关性^[25-27]。

2.3 土壤微生物群落对碳源的利用率

Biolog 微平板板孔平均颜色变化率(average well color development, AWCD)表征微生物群落对碳源的利用率,是土壤微生物群落利用单一碳源能力的一个重要指标,反映了土壤微生物活性、微生物群落生理功能多样性^[18,28]。对照组和处理组在不同土层微生物群落 AWCD 随培养时间的变化如图 1 所示,对照(ck)表层土壤 AWCD 随季节变化规律为 0d > 喷洒前 > 2 个月 > 4 个月,上层为 0d > 4 个月 > 2 个月 > 喷洒前,下层为 2 个月 > 4 个月 > 喷洒前 > 0d;百菌清处理组与对照组表层的土壤的 AWCD 季节变化规律一致,上层与下层变化趋势均表现为 4 个月 > 喷洒前 > 0d > 2 个月,表明杀菌剂百菌清对表层土壤 AWCD 季节变化的影响并不显著,而对上层土壤微生物的影响显著,下层土壤 2 个月时与 4 个月时的 AWCD 具有显著差异。

如图 2 所示为喷洒 2 个月时不同土层 AWCD 的变化情况。对照(CK)的表层、上层、下层土壤 AWCD 变化呈现为表层 > 上层 > 下层,百菌清处理组变化为表层 > 下层 > 上层,表明百菌清对不同土层的 AWCD 的影响并不显著。

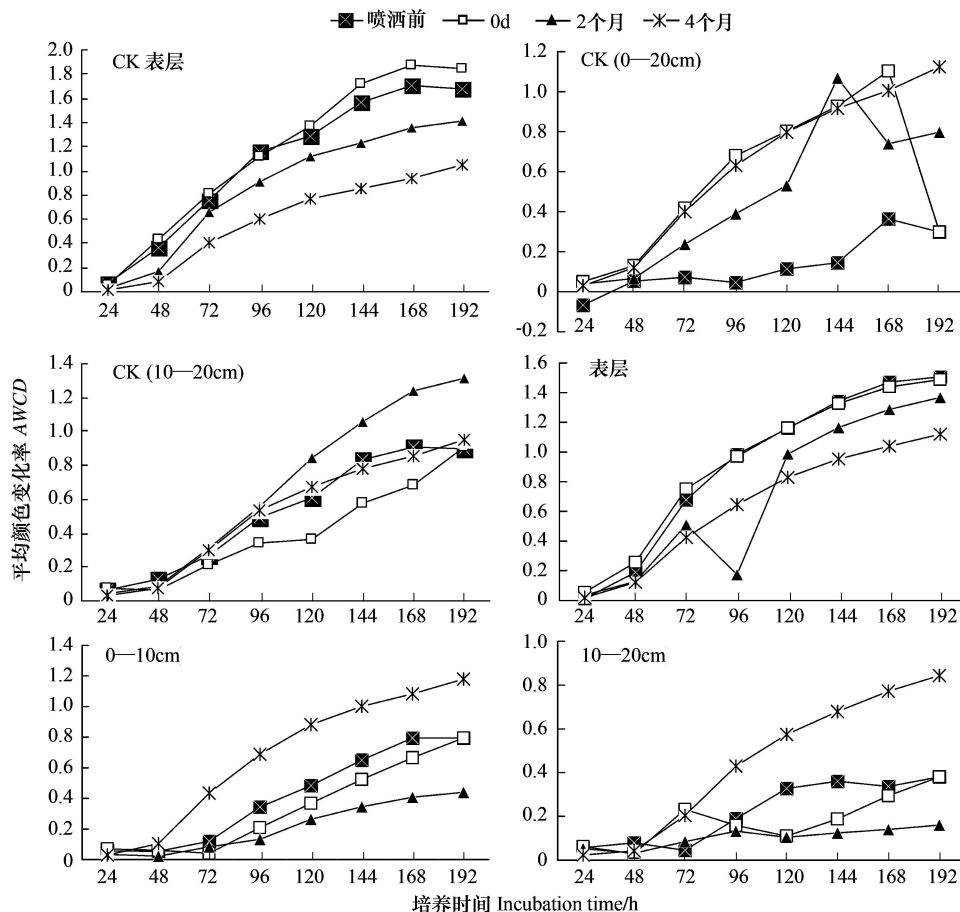


图 1 两组处理不同土层微生物群落 AWCD 随培养时间的变化

Fig. 1 Changes of soil AWCD at different depth for two treatments with culture times

2.4 主成分分析

将百菌清喷洒前(5月)与喷洒2个月(8月)时,不同土层的土样利用 Biolog 读数仪读取的土壤微生物群

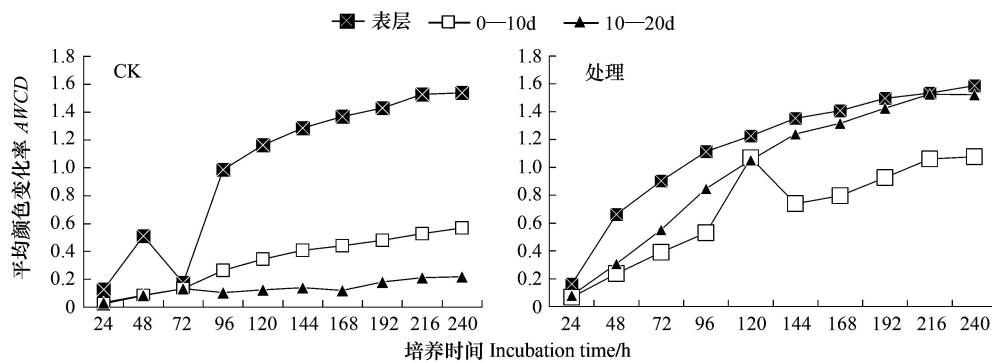


图2 不同土层微生物群落的 AWCD 随培养时间的变化

Fig. 2 Seasonal changes of AWCD of soil microbial community in different depth

落的光密度值进行主成分分析。喷洒前共提取出 2 个主成分,分别反映土壤微生物代谢 31 种碳源变异的 86% 和 11.4%,其中大部分碳源的荷载相近,仅有 2-羟基苯甲酸、肝糖和 D-苹果酸 3 种碳源与其它碳源荷载差异较大,说明土壤微生物群落利用 31 种碳源的能力无显著差异。喷洒后 2 个月时提取了 4 个主成分,分别反映了土壤微生物代谢 31 种碳源变异的 63.4%、22.3%、9.2% 和 5.0%。

表 4 为喷洒前(5 月)与喷洒后 2 个月时,土壤微生物群落代谢 31 种碳源主成分分析 PC1 载荷因子及平均光密度值。百菌清处理前 PC1 中载荷绝对值大于 0.8 的碳源有 28 种,其中碳水化合物类 10 种、氨基酸类 6 种、羧酸类 6 种、芳香类与多聚物类均 2 种;处理 2 个月后 PC1 中载荷绝对值大于 0.8 的碳源有 15 种,其中碳水化合物 6 种、氨基酸类 5 种、羧酸类与多聚物类均 2 种。从平均光密度值来看,喷洒前(5 月)总体低于喷洒后 2 个月时;PC1 中的某些碳源载荷因子间也存在较大差异,如肝糖与 2-羟基苯甲酸均在喷施百菌清后荷载增大,表明百菌清喷施后显著提高了微生物群落利用单一碳源的整体能力。

表 4 百菌清处理前后土壤微生物代谢 31 种碳源的主成分分析与平均光密度值

Table 4 Loading factors of PC1 indicating utilization of 31 substrates and the average optical density of soil microbial after fungicide effected for two months

碳源 Carbon source		5 月平均 光密度值 Average optical density in May	5 月 PC1 PC1 in May	8 月平均 光密度值 Average optical density in August	8 月 PC1 PC1 in October
碳水类 Carbohydrates	D-甘露醇 D-Mannitol	0.540	0.988	1.520	0.986
	1-磷酸葡萄糖 Glucose-1-Phosphate	0.360	0.99	1.014	0.985
	N-乙酰-D 葡萄糖氨 N-Acetyl-D-Glucosamine	0.574	0.964	1.321	0.951
	D-纤维二糖 D-Cellobiose	0.465	0.982	0.987	0.938
	α -D-乳糖 α -D-Lactose	0.360	0.987	1.249	0.923
	D-半乳糖酸 γ -内酯 D-GalactonicAcid γ -Lactone	0.268	0.928	1.023	0.911
	D,L- α -磷酸甘油 D,L- α -GlycerolPhosphate	0.145	0.863	0.753	0.773
	i-赤藓糖醇 i-Erythritol	0.306	0.986	0.656	0.667
	β -甲基-D-葡萄糖苷 β -Methyl-D-Glucoside	0.334	0.987	1.023	0.623
	D-木糖/戊醛糖 D-Xylose	0.200	0.968	0.685	0.462
氨基酸 Amino acids	L-天门冬酰胺 L-Asparagine	0.764	0.982	1.520	0.987
	L-苏氨酸 L-Threonine	0.318	0.986	0.560	0.938
	L-精氨酸 L-Arginine	0.442	0.973	1.549	0.928
	L-丝氨酸 L-Serine	0.658	0.996	1.667	0.921
	甘氨酸-L-谷氨酸 Glycyl-L-GlutamicAcid	0.305	0.984	0.818	0.828
	L-苯丙氨酸 L-Phenylalanine	0.313	0.993	0.713	0.769

续表

碳源 Carbon source		5 月平均 光密度值 Average optical density in May	5 月 PC1 PC1 in May	8 月平均 光密度值 Average optical density in August	8 月 PC1 PC1 in October
羧酸 Carboxylic acids	D-半乳糖醛酸 D-Galacturonic acid	0.554	0.991	1.519	0.965
	D-葡萄糖胺酸 D-Glucosaminic acid	0.475	0.946	1.258	0.927
	丙酮酸甲酯 Pyruvic Acid Methyl ester	0.328	0.961	0.979	-0.741
	衣康酸 Itaconic acid	0.443	0.997	1.054	0.592
	α -丁酮酸 α -Ketobutyric acid	0.207	0.985	0.302	0.486
	γ -羟丁酸 γ -Hydroxybutyric acid	0.217	0.962	0.496	0.561
	D-苹果酸 D-Malic acid	0.170	0.52	0.534	0.147
胺类 Amines	腐胺 Putrescine	0.190	0.948	0.635	0.718
	苯乙胺 Phenylethyl-amine	0.219	0.982	0.324	0.564
多聚物 Polymers	吐温 40 Tween 40	0.459	0.945	1.229	0.979
	肝糖 Glycogen	0.185	-0.105	0.141	0.868
	吐温 80 Tween 80	0.429	0.915	0.794	0.787
	α -环式糊精 Glycogen	0.323	0.983	0.439	0.596
芳香类 Phenolic	4-羟基苯甲酸 4-Hydroxy benzoic acid	0.322	0.99	0.834	0.792
	2-羟基苯甲酸 8-Hydroxy benzoic acid	0.147	0.006	0.526	0.585

表 5 百菌清在不同作用时间及不同处理时土壤微生物利用碳源比较

Table 5 Comparison of carbon utilization of different action time and different treatments

作用时间 Action time	碳源 Carbon source	均值 Average	处理 Treatment	均值 Average
喷洒前 (5 月) May	多聚物 Polymers	0.259a	表层	0.293a
	羧酸 Carboxylic acids	0.227 ab	CK-上层	0.214ab
	氨基酸 Amino acids	0.198 ab	CK-表层	0.200b
	碳水类 Carbohydrates	0.184 ab	CK-下层	0.168b
	芳香类 Phenolic	0.152b	下层	0.145b
	胺类 Amines	0.145b	上层	0.145b
喷洒后 0d (6 月) June	氨基酸 Amino acids	1.304a	CK-表层	1.551a
	碳水类 Carbohydrates	1.136ab	表层	1.288ab
	羧酸 Carboxylic acids	1.136ab	CK-上层	1.078b
	多聚物 Polymers	0.993ab	CK-下层	0.862bc
	芳香类 Phenolic	0.849bc	上层	0.710cd
	胺类 Amines	0.621c	下层	0.550d
喷洒后 2 个月 (8 月) August	氨基酸 Amino acids	1.086a	CK-表层	1.271a
	碳水类 Carbohydrates	0.989a	表层	0.992a
	羧酸 Carboxylic acids	0.868ab	CK-上层	0.955a
	多聚物 Polymers	0.774ab	CK-下层	0.939a
	芳香类 Phenolic	0.574bc	上层	0.379b
	胺类 Amines	0.394c	下层	0.149b
喷洒后 4 个月 (10 月) October	氨基酸 Amino acids	1.087a	上层	0.917a
	碳水类 Carbohydrates	0.985ab	CK-上层	0.879ab
	聚物 Polymers	0.910ab	表层	0.861ab
	羧酸 Carboxylic acids	0.878b	CK-表层	0.827ab
	胺类 Amines	0.583c	CK-下层	0.785bc
	芳香类 Phenolic	0.511c	下层	0.685c

同一字母表示差异不显著,不同字母表示差异显著 ($P < 0.05$)

分析百菌清在不同作用时间及不同处理时土壤微生物的碳源利用率结果表明(表5),喷洒百菌清前(5月)土壤微生物对多聚物与氨基酸、碳水类、芳香类、胺类的利用率差异较大($P < 0.05$),且对多聚物的利用率最高;处理组的表层土壤微生物对碳源的利用率高于其它处理组;而喷洒2个月后,对胺类、芳香类的利用率与其它4类碳源具有显著差异;喷洒0d时,土壤微生物对氨基酸的利用率最高,胺类最低;喷洒0d与2个月后,空白对照(ck)表层土壤微生物对碳源的利用率均为最高,且对氨基酸的利用率明显高于其它类碳源;而作用4个月后,处理1的上层(0—10cm)土壤微生物对碳源的利用率最高。

3 讨论

(1)百菌清是一种非内吸广谱、保护性杀菌剂,不具备内吸传导功能,其作用机制是与细胞中的三磷酸甘油醛脱氢酶发生作用,并与该酶半胱氨酸的蛋白质相结合,从而影响酶活,破坏细胞的新陈代谢而使微生物失去生命力。本研究结果表明,喷施百菌清后对细菌数量具有明显的抑制作用,对放线菌具有弱抑制作用,其结果与冯波等^[29]关于百菌清对土壤微生物数量影响的研究结果基本一致,也符合百菌清的杀菌机制。

(2)落叶松林土壤微生物多样性与土壤理化性质相关分析表明,有效磷和速效钾与放线菌菌落数呈显著的相关性,与群落多样性无显著相关性。水解氮与细菌菌落数呈极显著正相关,与群落多样性指数和均匀度指数呈显著负相关,说明水解氮能够促进细菌的生长繁殖。这与林超峰^[30]的研究结果不同,因为所研究土壤质地不同,导致土壤养分指标与微生物数量多样性的相关性具有差异。

(3)在主成分分析中,百菌清喷洒前(5月)共提取出2个主成分,喷洒2个月时(8月)提取出4个主成分,但本文只对第一个主成分PC1进行了分析。尽管PC1分析会浪费碳源利用的部分数据,但PC1分析已经反映了微生物碳源的代谢变化信息。分析结果表明,百菌清处理前后对土壤微生物的碳源利用能力存在显著差异,且氨基酸类和碳水化合物类是土壤微生物主要利用的碳源(表4),但百菌清处理前土壤微生物所利用的氨基酸和碳水化合物的平均荷载均高于百菌清处理后。因此,证明百菌清对某些单一碳源代谢具有明显的抑制作用,其结果与百菌清对三大类群微生物数量和群落多样性指数的响应一致。百菌清作用0d与2个月时(8月),空白对照(ck)的表层土壤微生物对碳源的利用率最高,这与同时期表层土壤微生物的数量最多相吻合。

(4)在计算土壤微生物多样性指数时,本研究利用的是培养120h时的光密度值,不同研究人员在不同的研究报道中所采用的时间和方法并不统一,如侯晓杰等采用48h的值进行比较^[31],张逸飞等采用72h^[32],Grove等采用19h^[33]。本研究中,土壤微生物在120h处于对数期,之后生长减缓步入稳定期,即处于“拐点处”,采用120h的光密度值进行分析更真实地反映了实际情况。

(5)本研究参考了大量林木病害防治的相关资料,确定以实际生产防治中常用剂量($0.15\text{g}/\text{m}^2$)处理土壤,将百菌清置于自然环境条件影响之下,研究其对防护林土壤微生物群落多样性的影响,其结果比实验室模拟方法更具准确性和实际参考价值。对于不同浓度的百菌清对土壤微生物的影响,浓度与微生物数量、活性和其功能多样性的关系有待进一步研究。另外,仅采用传统的微生物培养法和Biolog-Eco微平板技术,分析了百菌清对土壤微生物群落结构的影响,农药对土壤微生物群落结构影响的机理也有待于采用分子生态学技术进行深入研究。

References:

- [1] Robert M, Chenu C. Interaction between soil minerals and microorganisms // Stotzky G, Bollag J M, eds. Soil Biochemistry. Vol. 7. New York: Marcel Dekker Inc, 1992: 307-379.
- [2] Wang J L, Liu J Z, Chen Z L, Kuang Y B. Effects of enrofloxacin residues on the functions of soil microbes. Acta Ecologica Sinica, 2005, 25(2): 279-282.
- [3] Wang J, Zhang C B. Soil-microbial properties in the re-vegetation process of the barren land contaminated with heavy metals. Acta Ecologica Sinica, 2009, 29(3): 1636-1646.
- [4] Lupwayi N Z, Hanson K G, Harker K N, Clayton G W, Blackshaw R E, Donovan J T, Johnson E N, Gan Y, Irvine R B, Monreal M A. Soil microbial

- biomass, functional diversity and enzyme activity in glyphosate-resistant wheat-canola rotations under low-disturbance direct seeding and conventional tillage. *Soil Biology -chemistry*, 2007, 39: 1418-1427.
- [5] Jing Z Z, Lei J Q, Xu X W, Li S Y, Zhao S F. Microbial diversities of shelter forest soils in the extreme arid area. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29 (8): 4548-4559.
- [6] Ohkuma M, Noda S, Horikoshi K, Kudo T. Phylogeny of symbiotic methanogens in the gut of the termite *Reticulitermes speratus*. *FEMS Microbiology Letters*, 1995, 134 (1): 45-50.
- [7] Zak J C, Willig M R, Moorhead D L. Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 1994, 26: 1101-1108.
- [8] Garland J L. Analysis and interpretation of community-level physiological profiles in microbial ecology. *Microbiology Ecology*, 1997, 24: 289-300.
- [9] Garland J L, Mills A L. Classification and characterization of heterotrophic microbial communities on the basis of patterns of community-level sole carbon-source utilization. *Applied and Environmental Microbiology*, 1991, 57: 2351-2359.
- [10] Xiang Y Q, Gao C M, Pang G H, Hao Y J, Fang H, Chu X Q, Yu Y L. Effects of regenerating forest over on soil microbial communities: A case study in hilly red soil region, Southern China. *Forest Ecology and Management*, 2005, 217 (2/3): 244-254.
- [11] Zheng H, Ouyang Z Y, Fang Z G, Zhao T Q. Application of biollog to study on soil microbial community functional diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 41 (3): 456-461.
- [12] Hu J, Dai X Z, Li S P. Effects of atrazine and its degrader *Exiguobacterium* sp. BTAH1 on soil microbial community. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16 (8): 1518-1522.
- [13] Zhang Y, Zhang H W, Su Z C, Zhang C G. Effects of long-term heavy metals stress on farm land soil microbial population, biomass and activity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (7): 1491-1497.
- [14] Hao Y J, Xiang Y Q, Fang H, Chu X Q, Yu Y L. Degradation of chlorothalonil in soil and its effect on soil microbial diversity. *Journal of Agro-Environment Science*, 2007, 26 (5): 1672-1676.
- [15] Xiang Y Q. Residue Dynamics of Carbendazim in Semen Coicis and Soils and its effect on soil microorganisms. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [16] Shan M. The Influence of Chlorpyrifos, Chlorothalonil and Butachlor to Soil microbial and enzymes. Zhejiang University, 2006.
- [17] Ratcliff A W, Busse M D, Shestak C J. Changes in microbial community structure following herbicide (glyphosate) additions to forest soils. *Applied Soil Ecology*, 2006, 34: 114-124.
- [18] Chen X Q, Yin H W. Review of microbial diversity analysis methods. *Shanghai Environmental Science*, 2003, 22 (3): 213-217.
- [19] China Academy of Nanjing Institute of Soil Microbial Room. *Soil Microbiology Research*. Beijing: Science Press, 1985: 40-47.
- [20] Du X G, Tang M, Chen H, Zhang H H, Zhang Y A. Mycorrhizae and diversity of microbial community in rhizosphere soils of robinia pseudoacacia at different ages on the loess plateau. *Scientia Silvae Sinicae*, 2008, 44 (4): 78-82.
- [21] Chen L X. *Soil Experiment Practice Tutorial*. Harbin: Northeast Forestry University Press, 2005: 22-23.
- [22] Zak J C, Willig M R, Moorhead D L, Wildman H G. Functional diversity of microbial communities: a quantitative approach. *Soil Biology and Biochemistry*, 1994, 26: 1101-1108.
- [23] Li Z P, Wu X C, Chen B Y. Changes in transformation of soil organic C and functional diversity of soil microbial community under different land uses. *Agricultural Sciences in China*, 2007, 6 (10): 1235-1245.
- [24] Hernandez T, Garcia C, Reinhardt I. Short-term effect of wildfire on the chemical, biochemical and microbiological properties of Mediterranean pine forest soils. *Biology and Fertility of Soils*, 1997, 25: 109-116.
- [25] Rao A V, Venkates arlu B. Microbial ecology of the soil of Indian desert. *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 1983, 10 (4): 361-370.
- [26] Venkates W B, Rao A V. Distribution of microorganism in stabilized and unstabilized sand dunes of the Indian Desert. *Journal of Arid Environments*, 1981, 4: 203-207.
- [27] Ding H, Hu H B, Wang R C. The relationships between soil enzyme activity and soil physical-chemical properties or microbial biomass in semi-arid area. *Journal of Nanjing Forestry University*, 2007, 31 (2): 13-18.
- [28] Zabinski C A, Gannon J E. Effects of recreational impacts on soil microbial communities. *Environmental Management*, 1997, 21 (2): 233-238.
- [29] Feng B, Shan M, Fang H. Effects of chlorothalonil on soil microbial populations and enzyme activities. *Journal of Agro-Environment Science*, 2006, 25 (3): 674-677.
- [30] Lin C F, Chen Z Q, Xue Q H, Lai H X, Chen L S, Zhang D S. Nutrient contents and microbial populations of aeolian sandy soil in Sanjiangyuan region of Qinghai Province. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18 (1): 101-106.
- [31] Hou X J, Wang J K, Li S P. Effects of different fertilization and plastic-mulching on functional diversity of soil microbial community. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27 (2): 655-661.

- [32] Zhang Y F, Zhong W H, Li Z P, Cai Z C. Effects of long-term different fertilization on soil enzyme activity and microbial community functional diversity in paddy soil derived from quaternary red clay. *Journal of Ecology and Rural, Environment*, 2006, 22 (4): 39-44.
- [33] Grove J A, Kautola H, Javadpour S, Young M M, Anderson W A. Assessment of changes in the microorganism community in a biofilter. *Biochemical Engineering Journal*, 2004, 18: 111-114.

参考文献:

- [2] 王加龙, 刘坚真, 陈杖榴, 邝永彬. 恩诺沙星残留对土壤微生物功能的影响. *生态学报*, 2005, 25(2): 279-282.
- [3] 王江, 张崇邦. 重金属污染土壤植被恢复过程中的土壤微生物特征. *生态学报*, 2009, 29(3): 1636-1646.
- [5] 靳正忠, 雷加强, 徐新文, 李生字, 赵思峰. 极端干旱区防护林地土壤微生物多样性. *生态学报*, 2009, 29(8): 4548-4559.
- [10] 向月琴, 高春明, 庞国辉, 郝乙杰, 方华, 楚小强, 虞云龙. 土壤中多菌灵的降解动态及其对土壤微生物群落多样性的影响. *土壤学报*, 2008, 45(4): 699-704.
- [11] 郑华, 欧阳志云, 方治国, 赵同谦. BIOLOG 在土壤微生物群落功能多样性研究中的应用. *土壤学报*, 2004, 41(3): 456-461.
- [12] 胡江, 代先祝, 李顺鹏. 阿特拉津及其降解菌的使用对土壤微生物群落的影响. *应用生态学报*, 2005, 16(8): 1518-1522.
- [13] 张彦, 张惠文, 苏振成, 张成刚. 长期重金属胁迫对农田土壤微生物生物量、活性和种群的影响. *应用生态学报*, 2007, 18(7): 1491-1497.
- [14] 郝乙杰, 向月琴, 方华, 楚小强, 虞云龙. 百菌清在土壤中的降解及对土壤微生物多样性的影响. *农业环境科学学报*, 2007, 26(5): 1672-1676.
- [15] 向月琴. 多菌灵在薏苡仁和土壤中的残留动态及其对土壤微生物的影响. 杭州: 浙江大学, 2007.
- [16] 单敏. 毒死蜱、百菌清、丁草胺对土壤微生物和土壤酶的影响. 杭州: 浙江大学, 2006.
- [18] 陈晓倩, 殷浩文. 微生物群落多样性分析方法的进展. *上海环境科学*, 2003, 22(3): 213-217.
- [19] 中国科学院南京土壤微生物研究所. 土壤微生物研究法, 北京: 科学出版社, 1985: 40-47.
- [20] 杜小刚, 唐明, 陈辉, 张海涵, 张永安. 黄土高原不同树龄刺槐丛枝菌根与根际微生物的群落多样性. *林业科学*, 2008, 44(4): 78-82.
- [21] 陈立新. 土壤学实验教程. 哈尔滨: 东北林业大学出版社, 2005: 22-23.
- [27] 丁 蕊, 胡海波, 王人潮. 半干旱区土壤酶活性与其理化性质及微生物的关系. *南京林业大学学报*, 2007, 31(2): 13-18.
- [29] 冯波, 单敏, 方华. 毒死蜱对土壤微生物和土壤酶活的影响. *农业环境科学学报*. 2006, 25(3): 674-677.
- [30] 林超峰, 陈占全, 薛泉宏, 来航线, 陈来生, 张登山. 青海三江源地区风沙土养分及微生物区系. *应用生态学报*, 2007, 18(1): 101-106.
- [31] 侯晓杰, 汪景宽, 李世朋. 不同施肥处理与地膜覆盖对土壤微生物群落功能多样性的影响. *生态学报*, 2007, 27(2): 655-661.
- [32] 张逸飞, 钟文辉, 李忠佩, 等. 长期不同施肥处理对红壤水稻土酶活性及微生物群落功能多样性的影响. *生态与农村环境学报*, 2006, 22(4): 39-44.

CONTENTS

Applying landscape ecological concepts in urban land use classification	LI Weifeng, OUYANG Zhiyun, XIAO Yi (593)
Mating system of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> (Cheng et S. Y. Chang) Cheng et S. Y. Chang, an endangered, indigenous species in China	ZHAO Hongbo, ZHOU Lihua, HAO Riming, et al (602)
Photosynthetically and ecophysiological characteristics of <i>Calligonum roborowasikii</i> in different altitudes on the northern slope of Kunlun Mountain	ZHU Juntao, LI Xiangyi, ZHANG Ximing, et al (611)
Spatial distribution pattern of different strata and spatial associations of different strata in the Schrenk Spruce Forest, northwest China	LI Minghui, HE Fenghua, PAN Cunde (620)
Effect of elevated CO ₂ on the body size, enzyme activity and host selection behavior of <i>Bemisia tabaci</i> biotype B	WANG Xuexia, WANG Guohong, GE Feng (629)
The dynamics of super-cooling ability and biochemical substances in the overwintering <i>Carposina niponensis</i> Walsingham (Lepidoptera: Carposinidae) larvae	WANG Peng, LING Fei, YU Yi, et al (638)
A comparative study of macrobenthic community under different mariculture types in Xiangshan Bay, China	LIAO Yibo, SHOU Lu, ZENG Jiangning, et al (646)
Feeding ecology of dorab wolf-herring, <i>Chirocentrus dorab</i> from the Beibu Gulf	YAN Yunrong, YANG Houchao, LU Huosheng, et al (654)
Make use of nest-site of oriental white stork in the Yellow River Estuary Nature Reserve	DUAN Yubao, TIAN Xiuhua, ZHU Shuyu, et al (666)
Winter and spring diet composition of feral yak in Helan Mountains, China	YAO Zhicheng, LIU Zhensheng, WANG Zhaoding, et al (673)
Effects of tree growth and soil properties on soil respiration rate in Chinese fir plantations	WANG Dan, WANG Bing, DAI Wei, et al (680)
Succession of potential vegetation in arid and semi-arid area of China	LI Fei, ZHAO Jun, ZHAO Chuanyan, ZHANG Xiaoqiang (689)
Responses on rhizosphere effect of two subalpine coniferous species to night-time warming and nitrogen fertilization in western Sichuan, China	WEI Yunyan, YIN HuaJun, LIU Qing, et al (698)
Nitrogen and phosphorus contents in 44 wetland species from the Lake Erhai Basin	LU Jing, ZHOU Hongxia, TIAN Guangyu, et al (709)
Growth and physiological responses of the <i>Periploca sepium</i> Bunge seedlings to drought stress	AN Yuyan, LIANG Zongsuo, HAO Wenfang (716)
The spatial distribution and seasonal dynamics of fine roots in a mature <i>Caragana korshinskii</i> plantation	SHI Jianwei, WANG Mengben, CHEN Jianwen, et al (726)
The ultrastructure of chloroplast in mesophyll cell on two robinias under NaCl and Na ₂ SO ₄ stress	MENG Fanjuan, PANG Hongying, WANG Jianzhong, et al (734)
Relationship between tomato fruit growth and environmental factors under protected facility cultivation	CHENG Zhihui, CHEN Xuejin, LAI Linling, et al (742)
Effect of grafting eggplant on root exudates and disease resistance under <i>Verticillium dahliae</i> stress	ZHOU Baoli, LIU Na, YE Xueling, et al (749)
The drought risk zoning of winter wheat in North China	WU Dongli, WANG Chunyi, XUE Hongxi, et al (760)
Heat balance of cold type wheat field at grain-filling stage under drought stress condition	YAN Jufang, ZHANG Songwu, LIU Dangxiao (770)
Effects of different straw returning treatments on soil water, maize growth and photosynthetic characteristics in the semi-arid area of Southern Ningxia	GAO Fei, JIA Zhikuan, LU Wentao, et al (777)
Osmotic and ionic stress effects of high NaCl concentration on seedlings of four wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.) genotypes	XU Meng, MA Qiaorong, ZHANG Jitao, et al (784)
Effects of ferulic acid, p-hydroxybenzoic acid and their mixture on mineral nitrogen and relative microbial function groups in forest soils	MU Rong, PAN Kaiwen, WANG Jinchuang, et al (793)
Soil microbial biomass and the influencing factors under <i>Pinus tabulaeformis</i> and <i>Picea asperata</i> plantations in the upper Min-jiang River	JIANG Yuanming, PANG Xueyong, BAO Weikai (801)
Spatial distribution of arbuscular mycorrhizal fungi and dark septate endophytes in the rhizosphere of <i>Artemisia sphaerocephala</i> from Inner Mongolia desert	HE Xueli, WANG Yinyin, ZHAO Lili, et al (812)
Effect of chlorothalonil on soil microbial communities of <i>Larix</i> artificial shelter-forest	SHAO Yuanyuan, WANG Zhiying, ZOU Li, et al (819)
Research of the vegetation's cooling effect in city's residential quarter	LI Yinghan, WANG Junjian, LI Guicai, et al (830)
Landscape dynamics of Baiyangdian Lake from 1974 to 2007	ZHUANG Changwei, OUYANG Zhiyun, XU Weihua, et al (839)
Evaluation of tourism transport ecological footprint in Zhoushan islands	XIAO Jianhong, YU Qingdong, LIU Kang, et al (849)
Nitrogen transformation and its residue in pot experiments amended with organic and inorganic ¹⁵ N cross labeled fertilizers	PENG Peiqin, QIU Shaojun, HOU Hongbo, et al (858)
Effects of dissolve organic carbon (DOC) contents on sorption and desorption of phenanthrene on sediments during ageing	JIAO Lixin, MENG Wei, ZHENG Binghui, et al (866)
Heavy metal concentrations and bioaccumulation of ramie (<i>Boehmeria nivea</i>) growing on 3 mining areas in Shimen, Lengshuijiang and Liuyang of Hunan Province	SHE Wei, JIE Yucheng, XING Hucheng, et al (874)
Discussion	
Climate characteristic of seasonal variation and its influence on annual growth period of <i>populus euphratica</i> Oliv in Hexi Corridor in recent 55 years	LIU Puxing, ZHANG Kexin (882)
Forward trajectory analysis of wheat aphids during long-distance migration using HYSPLIT model	YU Zhenxing, WU Yuqing, JIANG Yueli, et al (889)

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 3 期 (2011 年 2 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 3 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		

