

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第33卷 第5期 Vol.33 No.5 2013

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 (SHENTAI XUEBAO)

第33卷 第5期 2013年3月 (半月刊)

目 次

前沿理论与学科综述

- 氮沉降对森林土壤有机质和凋落物分解的影响及其微生物学机制 王晶苑, 张心昱, 温学发, 等 (1337)
工业大麻对重金属污染土壤的治理研究进展 梁淑敏, 许艳萍, 陈 裕, 等 (1347)
最佳管理措施评估方法研究进展 孟凡德, 耿润哲, 欧 洋, 等 (1357)
灌木年轮学研究进展 芦晓明, 梁尔源 (1367)

个体与基础生态

- 华北落叶松夜间树干液流特征及生长季补水格局 王艳兵, 德永军, 熊 伟, 等 (1375)
土壤干旱胁迫对沙棘叶片光合作用和抗氧化酶活性的影响 裴 斌, 张光灿, 张淑勇, 等 (1386)
湖北石首麋鹿昼间活动时间分配 杨道德, 李竹云, 李鹏飞, 等 (1397)
三种杀虫剂亚致死浓度对川硬皮肿腿蜂繁殖和搜寻行为的影响 杨 桦, 杨 伟, 杨春平, 等 (1405)

种群、群落和生态系统

- 三沙湾浮游动物生态类群演替特征 徐佳奕, 徐兆礼 (1413)
滇西北高原纳帕海湿地湖滨带优势植物生物量及其凋落物分解 郭绪虎, 肖德荣, 田 昆, 等 (1425)
安徽新安江干流滩涂湿地草本植物区系及物种多样性 杨文斌, 刘 坤, 周守标 (1433)
湿地芦苇根结合好气细菌群落时空分布及其与水质因子的关系 熊 薇, 郭逍宇, 赵 霖 (1443)
三种温带树种叶片呼吸的时间动态及其影响因子 王兆国, 王传宽 (1456)
不同土壤水分条件下杨树人工林水分利用效率对环境因子的响应 周 洁, 张志强, 孙 阁, 等 (1465)
不同生态区域沙地建群种油蒿的钙组分特征 薛苹苹, 高玉葆, 何兴东 (1475)
藏北高寒草甸植物群落对土壤线虫群落功能结构的影响 薛会英, 胡 锋, 罗大庆 (1482)
铜尾矿废弃地土壤动物多样性特征 朱永恒, 沈 非, 余 健, 等 (1495)
环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响 马 驿, 彭金菊, 王 芸, 等 (1506)
基于生态水位约束的下辽河平原地下水生态需水量估算 孙才志, 高 翳, 朱正如 (1513)

景观、区域和全球生态

- 佛山市高明区生态安全格局和建设用地扩展预案 苏泳娴, 张虹鸥, 陈修治, 等 (1524)
不同护坡草本植物的根系特征及对土壤渗透性的影响 李建兴, 何丙辉, 谌 芸 (1535)
京沪穗三地近十年夜间热力景观格局演变对比研究 孟 丹, 王明玉, 李小娟, 等 (1545)
窟野河流域河川基流量变化趋势及其驱动因素 雷泳南, 张晓萍, 张建军, 等 (1559)
模拟氮沉降条件下木荷幼苗光合特性、生物量与 C、N、P 分配格局 李明月, 王 健, 王振兴, 等 (1569)
铁炉渣施加对稻田甲烷产生、氧化与排放的影响 王维奇, 李鹏飞, 曾从盛, 等 (1578)

资源与产业生态

- 食用黑粉菌侵染对茭白植株抗氧化系统和叶绿素荧光的影响 闫 宁, 王晓清, 王志丹, 等 (1584)

- 佛手低温胁迫相关基因的差异表达 陈文荣,叶杰君,李永强,等 (1594)
美洲棘薺马对不同蔬菜寄主的偏好性 朱亮,石宝才,官亚军,等 (1607)
茉莉酸对棉花单宁含量和抗虫相关酶活性的诱导效应 杨世勇,王蒙蒙,谢建春 (1615)
造纸废水灌溉对毛白杨苗木生长及养分状况的影响 王烨,席本野,崔向东,等 (1626)
基于数据包络分析的江苏省水资源利用效率 赵晨,王远,谷学明,等 (1636)

研究简报

- 太岳山不同郁闭度油松人工林降水分配特征 周彬,韩海荣,康峰峰,等 (1645)
基于 TM 卫星影像数据的北京市植被变化及其原因分析 贾宝全 (1654)
薇甘菊萎焉病毒感染对薇甘菊光合特性和 4 种酶活性的影响 王瑞龙,潘婉文,杨娇瑜,等 (1667)
第七届现代生态学讲座、第四届国际青年生态学者论坛通知 (I)
中、美生态学会联合招聘国际期刊主编 (i)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 338 * zh * P * ¥ 90.00 * 1510 * 34 * 2013-03



封面图说:美丽的油松松枝——油松又称红皮松、短叶松。树高可达 30m,胸径达 1m。其树皮下部灰褐色,裂成不规则鳞块;针叶 2 针一束,暗绿色,较粗硬;球果卵形或卵圆形,长 4—7cm,有短柄,与枝几乎成直角。油松适应性强,根系发达,树姿雄伟,枝叶繁茂,有良好的保持水土和美化环境的功能,是中国北方广大地区最主要的造林树种之一,在华北地区无论是山区或平原到处可见,人工林很多,一般情况下在山区生长最好。在山区生长的油松,多在阴坡、半阴坡,土壤湿润和较肥沃的地方。

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/stxb201208071113

马驿,彭金菊,王芸,陈法霖,陈进军,孙永学.环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响.生态学报,2013,33(5):1506-1512.

Ma Y, Peng J J, Wang Y, Chen F L, Chen J J, Sun Y X. Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(5): 1506-1512.

环丙沙星对土壤微生物量碳和土壤微生物群落碳代谢多样性的影响

马 驿¹,彭金菊¹,王 芸²,陈法霖²,陈进军¹,孙永学^{3,*}

(1. 广东海洋大学农学院动物医学系,湛江 524088; 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;
3. 华南农业大学 广东省兽药研制与安全评价重点实验室,广州 510642)

摘要:采用氯仿熏蒸浸提法和 Biolog 法,分析环丙沙星作用下的土壤微生物量碳和微生物群落碳代谢多样性,以揭示环丙沙星在环境中残留对土壤微生物学性状的影响。结果表明,环丙沙星($w_{CIP} \geq 0.1 \mu\text{g/g}$)对土壤微生物量碳含量影响显著($P < 0.05$),土壤中环丙沙星浓度愈高,微生物量碳含量愈低,100 $\mu\text{g/g}$ 的环丙沙星处理使土壤微生物量碳含量下降 58.69%。环丙沙星对土壤微生物群落碳代谢功能影响显著,环丙沙星降低了土壤微生物对碳水化合物、羧酸、氨基酸、聚合物、酚类和胺类的碳源利用率;环丙沙星($w_{CIP} \geq 0.1 \mu\text{g/g}$)显著影响了土壤微生物群落碳源代谢强度和代谢多样性,但不同浓度的环丙沙星对土壤微生物群落碳代谢功能的影响不同,0.1、1、10 $\mu\text{g/g}$ 的环丙沙星处理对土壤微生物群落碳代谢功能的影响主要表现在处理前期(用药第 7 天、21 天),这种影响在处理后期(用药第 35 天)表现不明显,100 $\mu\text{g/g}$ 的环丙沙星在用药的前期和后期均显著影响土壤微生物群落碳代谢功能,土壤中环丙沙星积累到该浓度可能对土壤微生物群落碳代谢功能产生难以逆转的长期影响。

关键词:环丙沙星;土壤微生物群落;微生物量碳;微生物碳源利用率

Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities

MA Yi¹, PENG Jinju¹, WANG Yun², CHEN Falin², CHEN Jinjun¹, SUN Yongxue^{3,*}

1 Department of Veterinary Medicine of Agricultural College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang 524088, China

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

3 Guangdong Key Laboratory for Veterinary Pharmaceutics Development and Safety Evaluation, South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China

Abstract: To evaluate the effects of ciprofloxacin (CIP) residues on the microbiological characteristics of soil, the microbial biomass carbon (MBC) and carbon-source metabolic functions of the soil microbial communities exposed to CIP were studied by the method of chloroform fumigation extraction and Biolog technology. The results showed that the content of MBC of groups treated with CIP ($w_{CIP} \geq 0.1 \mu\text{g/g}$) were significantly distinguished from that of CK, and they were decreased with the increasing concentration of CIP in soil, the content of MBC in soil exposed to 100 $\mu\text{g/g}$ CIP decreased 58.69%. Moreover, the carbon-source metabolic functions of the soil microbial communities exposed to CIP significantly decreased, too. Under the application of CIP, the microbial utilization rate of carbon sources, including carbohydrates,

基金项目:国家自然科学基金项目(31172368);广东省自然科学基金项目(S2012010010628);广东省教育厅广东高校优秀青年创新人才培育项目(LYM09087)

收稿日期:2012-08-07; 修订日期:2012-12-24

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: sunyx@scau.edu.cn

carboxylic acids, amino acids, polymers, phenols, and amines decreased. However, the carbon-source metabolic capacity and diversity of the soil microbial communities exposed to 0.1 μg/g, 1 μg/g, 10 μg/g and 100 μg/g CIP were significantly influenced, in different patterns. I. e., the carbon-source metabolic functions of the soil microbial communities exposed to 0.1 μg/g, 1 μg/g and 10 μg/g CIP for 7 and 21-day were significantly lowered but no significant difference found after 35-day exposure to 0.1 μg/g, 1 μg/g and 10 μg/g CIP, while that exposed to 100 μg/g CIP for 7, 21, and 35-day were all significantly lowered. It was concluded that a certain accumulation of CIP in soil, for instance, 100 μg/g CIP performed irreversible and long-term effects on the metabolic functions of the soil microbial communities.

Key Words: Ciprofloxacin; soil microbial community; soil microbial biomass carbon; microbial utilization rate of carbon source

近30年来,氟喹诺酮类(fluoroquinolones, FQs)的研究进展十分迅速,临床常用的有诺氟沙星、恩诺沙星、环丙沙星(Ciprofloxacin)等10多种药物。FQs为广谱杀菌药(对细菌、支原体、衣原体等均有作用),抗菌力强,被广泛应用于人类及动物感染性疾病的治疗。因FQs体内原型排泄率大,经人畜使用者排泄物进入环境中的范围广、量大。对北京污水及地表水测定结果显示,污水中含有12种氟喹诺酮类抗生素,浓度12—1208 ng/L,地表水含7种FQs,浓度1.3—535 ng/L^[1]。FQs化学性质较稳定,导致其环境残留的抗菌生物活性时间相对较长,FQs在环境中持续地迁移扩散,对人类健康形成了不可预测的潜在风险^[2],Schwarzenbach等^[3]称FQs等新型污染物引起的微污染已成为“人类面临的重大环境问题之一”。环丙沙星对植物的影响已有报道^[4]。

土壤微生物量碳作为土壤有机质中最活跃和最易变化的组分,能在很大程度上反映土壤质量和土壤微生物数量,因而是评价土壤微生物量和活性的重要指标^[5]。土壤微生物碳源利用率和碳代谢多样性,能反映生态系统受干扰后的细微变化,是土壤生物肥力的重要指标,对土壤管理有重要的指示作用^[6]。目前,重视分子生物学方法分析微生物群落功能多样性,但分子生物学方法要求的劳动强度大、时间长、技术含量较高,难以在较短的时间内分析较多的样品,以Biolog微孔板碳源利用为基础的定量分析为描述微生物群落功能多样性提供了一种更为简单、更为快速的方法^[6-7]。土壤微生物对Biolog微平板中各类碳源的利用情况的差异反应了土壤中微生物群落代谢功能的不同,平均每孔颜色变化率(AWCD)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、微生物群落的反应速度和反应程度,已广泛应用于评价土壤微生物群落的功能多样性^[8-10]。本试验通过在土壤中添加不同浓度环丙沙星,借助氯仿熏蒸浸提法和Biolog法,分析土壤微生物量碳和微生物群落碳代谢多样性,明确土壤微生物群落碳代谢的变化方向和程度,了解环丙沙星对土壤微生物群落的影响强度,以揭示环丙沙星在环境中残留对土壤微生物学性状的影响。

1 材料与方法

1.1 土壤

培养土壤采自广东海洋大学花园苗圃10—20 cm土层的土壤,为砖红壤,土有机质28.5 g/kg,全氮1.82 g/kg,全磷1.31 g/kg,全钾23.6 g/kg,速效磷14.5 mg/kg,速效钾145 mg/kg,pH值6.75。

采集的新鲜土样过4 mm筛,用湿纱布盖于土表于室温下放置3d,待微生物活化后,按每5 kg鲜土加入50 mL不同浓度的环丙沙星溶液(环丙沙星活性成分含量≥98.5%,浙江国邦兽药有限公司),使土壤中环丙沙星活性成分含量分别为:I组(对照组)0 μg/g、II组0.01 μg/g、III组0.1 μg/g、IV组1 μg/g、V组10 μg/g、VI组100 μg/g,用去离子水调土壤湿度至40%的饱和持水量,混合均匀后倒入10 L的塑料桶中,并用湿纱布盖于土表,置于室温(20—25 ℃)下培养35d,用称重法每隔3d调节1次土壤湿度,以保持土壤湿度稳定,每个处理设3次重复。

1.2 分析项目及方法

1.2.1 土壤微生物量碳

于处理后21d采取相当于20 g烘干质量的培养土壤,用氯仿熏蒸浸提法测定土壤微生物量碳^[11]。

1.2.2 BIOLOG 分析

分别于用药后 7d、21d、35d 采集新鲜土壤 10 g, 加 90 mL 灭菌生理盐水(0.85%), 充分振荡 30 min 后, 稀释至 10⁻³ 倍, 再吸取 150 μL 接种到 Biolog EcoPlate 微平板的微池内, 置于 25 ℃下培养, 每 12 h 在 590 nm 下 BIOLOG 读数器上读数。

平均每孔颜色变化率(AWCD)计算^[12-13]:

$$AWCD = \frac{\sum (C - R)}{n}$$

式中, C 为每个有培养基微池的光密度值, R 为对照孔的光密度值, n 为培养基数据, EcoPlate 板中有 31 种不同碳源, n 值为 31。

采用曲线整合方法^[14]估计碳源代谢强度:

$$\text{梯形面积} \quad S = \sum [(v_i + v_{i-1}) / 2 \times (t_i - t_{i-1})]$$

式中, v_i 为 i 时刻的 AWCD 值。

丰富度指数为被利用的碳源的总数目, 即 31 个微池中 $C-R$ 值大于 0.25 的微池数^[15]。多样性指数用 Shannon-Wiener 指数(H')表示:

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

式中, P_i 为有培养基的微池与对照微池的光密度值差与整板总差的比值。

即

$$P_i = \frac{(C - R)}{\sum (C - R)}$$

本试验采用 Biolog 微平板培养 72h 的数据, 来比较土壤微生物群落的碳源利用及代谢功能多样性, 采用 SPSS11.5 软件进行统计分析和主成分分析。

2 结果与分析

2.1 土壤微生物量碳

用环丙沙星处理后 21d 土壤中微生物量碳含量如图 1 所示, 环丙沙星(0.1—100 μg/g)对土壤微生物量碳含量影响显著(与对照组比较, $P < 0.5$), 药物处理组土壤微生物量碳含量均低于对照组, 土壤中环丙沙星浓度愈高, 土壤微生物量碳含量愈低。100 μg/g 的环丙沙星处理使土壤微生物量碳下降 58.69%。

2.2 土壤微生物群落碳代谢多样性

AWCD 是反映土壤微生物活性, 即利用碳源的整体能力的一个重要指标^[16]。由图 2 可知, 微生物活性随培养时间的延长而提高, 不同组别土壤微生物利用单一碳源能力的大小顺序为: I 组 > II 组 > III 组 > IV 组 > V 组 > VI 组。处理后 7、21、35d, 各处理组土壤微生物的 AWCD 基本都低于对照组, 尤其是 VI 组(100 μg/g 组)降低了 56.56%—78.94%。

培养基丰富度指数反映的是微生物利用碳源的数量, 培养基 Shannon-Wiener 多样性指数表明的是土壤微生物群落利用碳源类型的多与少, 即功能多样性。土壤微生物群落代谢功能丰富度指数和多样性指数与药物浓度的变化情况(表 1)为:

第 7 天, 对照组的丰富度指数与 0.1、1、10、100 μg/g 组差异显著; 第 21 天、35 天, 100 μg/g 组的丰富度指数与对照组差异显著。

第 7 天、21 天, 对照组的多样性指数与 10、100 μg/g 组差异显著; 第 35 天, 对照组的多样性指数与其他各组之间差异不显著。

2.3 土壤微生物对碳源的利用强度

AWCD 曲线的积分面积反映了土壤微生物群落在 Biolog 微平板整个培养期内利用碳源能力的差异, 本研究采用 AWCD 曲线整合方法估计土壤微生物群落的代谢强度。环丙沙星含量不同, 土壤微生物对碳源的利

用强度不同(图3),第7天,对照组土壤微生物对碳源的利用强度最大,与用药各组均差异显著;第21天、35天,10、100 $\mu\text{g}/\text{g}$ 组土壤微生物对碳源的利用强度与对照组差异显著。

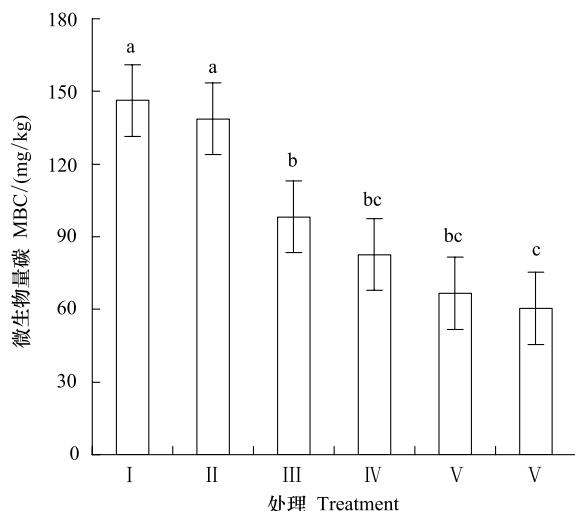


图1 处理后21d土壤微生物量碳含量

Fig.1 Contents of soil microbial biomass carbon (MBC) for each treatment after 21 days

不同处理间无相同字母者表示差异显著($P<0.05$)

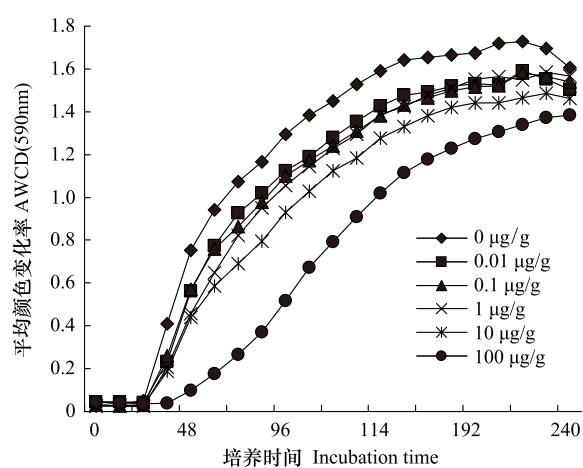


图2 处理后7d土壤平均颜色变化率

Fig.2 Average well colour development in soil from different treatments after 7 days

表1 土壤微生物利用 Biolog 微平板碳源的丰富度指数和多样性指数

Table 1 Richness indexes and diversity indexes of utilized substrates for each treatment

药物含量 Concen-tration of CIP ($\mu\text{g}/\text{g}$)	7d		21d		35d	
	丰富度指数 Richness index	多样性指数 Shannon index	丰富度指数 Richness index	多样性指数 Shannon index	丰富度指数 Richness index	多样性指数 Shannon index
0	24.33±1.53a	3.16±0.04a	21.33±1.53a	3.02±0.07a	16.67±3.06a	2.82±0.14a
0.01	22.67±1.15ab	3.07±0.03ab	22.00±2.00a	3.03±0.07a	16.33±1.15a	2.80±0.07a
0.1	22.00±1.00b	3.03±0.03ab	20.33±1.15a	2.95±0.01ab	16.67±1.15a	2.83±0.01a
1	21.33±0.58b	3.05±0.05ab	19.00±2.65a	2.94±0.05ab	16.00±1.00a	2.79±0.01a
10	18.33±0.58c	2.92±0.02b	18.00±3.46a	2.89±0.14b	15.33±1.53ab	2.75±0.07a
100	7.67±1.15d	2.51±0.20c	7.67±2.08b	2.75±0.05c	12.67±1.53b	2.81±0.03a

同列数据无相同字母者,表示差异显著($P<0.05$)

2.4 土壤微生物群落代谢功能主成分分析

31种碳源的测定结果形成了描述微生物群落代谢特征的多元向量,不易直观比较,对31种碳源进行主成分分析结果表明:土壤微生物群落的代谢多样性类型分异明显。第7天(图4),第一主成分和第二主成分得分系数的差异均达显著水平($P<0.05$),土壤中环丙沙星 $w_{\text{CIP}} \geq 0.01 \mu\text{g}/\text{g}$ 与对照组差异显著;第21天,第一主成分和第二主成分得分系数的差异均达显著水平($P<0.05$),土壤中环丙沙星 $w_{\text{CIP}} \geq 1 \mu\text{g}/\text{g}$ 与对照组差异显著;第35天,第一主成分得分系数的差异达显著水平($P<0.001$),土壤中环丙沙星 $w_{\text{CIP}} = 100 \mu\text{g}/\text{g}$ 与对照组在主成分1上差异显著。

2.5 不同处理土壤微生物对6类碳源的利用率

试验用31种碳源可分为6类,对6类碳源分别计算,其平均吸光值可直接反映土壤微生物对不同碳源的利用率。第21天,各组的土壤微生物对6类碳源的利用情况存在差异(表2)。药物处理组碳水化合物、羧酸、氨基酸、聚合物、酚类和胺类的平均吸光值均低于对照组,100 $\mu\text{g}/\text{g}$ 组土壤微生物对6类碳源的平均吸光值均与对照组差异显著。

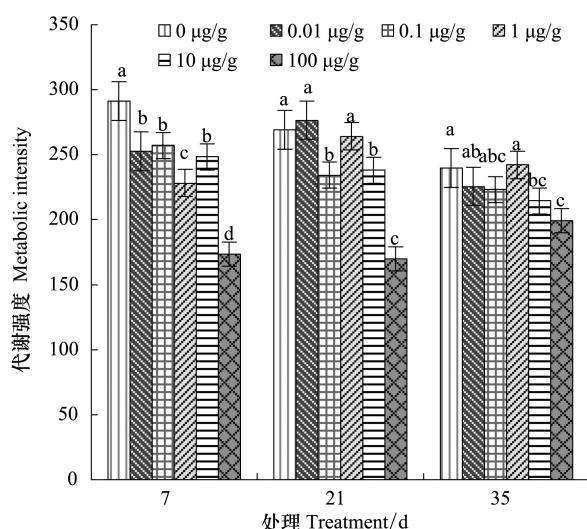


图3 不同浓度环丙沙星处理下土壤微生物群落利用碳源的强度

Fig.3 Carbon metabolic intensity of soil microbial communities for each treatment

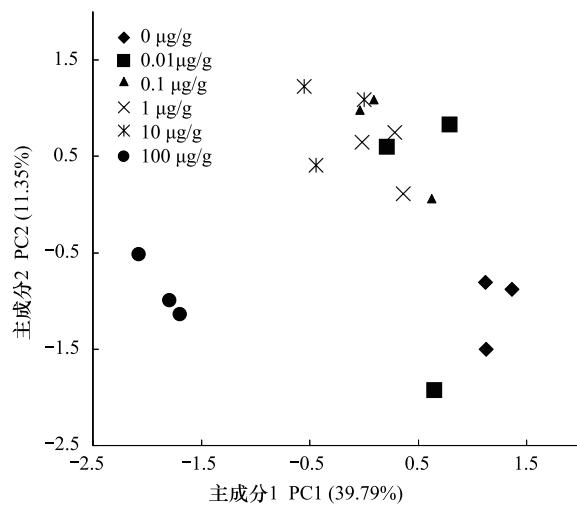


图4 处理后7d土壤微生物群落主成分分析

Fig.4 Principal components analysis on soil microbial communities from different treatments after 7 days

表2 处理后21d土壤微生物对6类碳源的平均吸光值

Table 2 Average well color development of soil microbes from six carbon sources after 21 days

药物含量 Concentration of CIP / (μg/g)	碳水化合物 Carbohydrate	羧酸 Carboxylic acid	氨基酸 Amino acid	聚合物 Polymer	酚类 Phenol	胺类 Amine
0	0.91±0.25ab	0.82±0.09a	1.07±0.17a	0.79±0.21ab	0.58±0.04c	0.66±0.09b
0.01	0.88±0.21ab	0.66±0.07a	1.02±0.14ab	1.00±0.06a	0.82±0.11a	1.07±0.48a
0.1	0.99±0.11a	0.72±0.05a	1.00±0.10ab	0.71±0.30b	0.83±0.08a	0.57±0.06b
1	0.58±0.27b	0.72±0.04a	0.83±0.12b	0.56±0.09b	0.62±0.11bc	0.59±0.10b
10	0.72±0.18ab	0.71±0.26a	0.99±0.08ab	0.52±0.06b	0.74±0.09ab	0.49±0.13b
100	0.20±0.05c	0.20±0.06b	0.15±0.06c	0.19±0.09c	0.02±0.02d	0.29±0.15b

同列数据无相同字母者, 表示差异显著($P<0.05$)

3 讨论

土壤微生物是土壤养分循环的推动力, 土壤中的一系列过程以碳、氮循环为中心, 土壤微生物量碳是评价微生物量和活性参数的重要指标, 也是评价土壤碳库平衡和土壤化学、生物化学肥力保持的重要指标。试验结果表明, 环丙沙星($w_{CIP} \geq 0.1 \mu\text{g/g}$)使土壤微生物量碳含量显著降低, 环丙沙星是通过干扰菌体DNA的复制而发挥特异性抗菌作用, 对静止期和生长期的细菌均有效, 对支原体、大肠杆菌、巴氏杆菌、丹毒丝菌、沙门氏菌、葡萄球菌、链球菌、绿脓杆菌、克雷伯氏菌、弯曲杆菌、气单胞菌属、嗜血杆菌属、弧菌属、变形杆菌、布氏杆菌等均有良好的抗菌作用, 对部分真菌和放线菌也有抑制作用。环丙沙星使土壤微生物的数量和活性大大降低, 所以土壤微生物量碳也减少。

试验结果表明, 土壤中环丙沙星浓度愈大土壤微生物利用碳源的能力愈低, 微生物群落碳代谢功能多样性也愈低。0.1、1、10 $\mu\text{g/g}$ 的环丙沙星处理对土壤微生物群落代谢功能的影响主要体现在用药第7天、21天, 100 $\mu\text{g/g}$ 的环丙沙星处理在用药7、21、35d均显著影响土壤微生物群落。实验结果与恩诺沙星对土壤微生物的碳源利用及代谢功能多样性影响的结果一致^[17], 用药3、14d, 恩诺沙星含量0.1—100 $\mu\text{g/g}$ 使土壤微生物群落代谢功能多样性显著降低($P<0.05$); 第35天, 恩诺沙星含量10—100 $\mu\text{g/g}$ 使土壤微生物群落代谢功能多样性显著降低。原因是多方面的, 首先, 土壤是一个复杂的生态体系, 任何一个生态系统的发展变化都是多因素综合作用的结果, 各种理化因子如土壤含水量、温度、pH值、有机质、无机质等均能对环丙沙星的稀

释、水解、氧化等降解作用有一定影响;其次,各种矿物质尤其是 Mg^{2+} 、 Ca^{2+} 等金属离子可与环丙沙星发生鳌合,加上土壤对药物的吸附作用不利于药物的解离,致使土壤中实际药物浓度降低^[18];另外,土壤中微生物、原虫等土壤生物种类繁多,有些微生物对环丙沙星不敏感,所以微生物也能降解土壤中的环丙沙星,从而逐渐恢复土壤微生物生态平衡。因此,低浓度药物组的土壤微生物群落碳代谢功能多样性与对照组之间的差异变得不显著。但环丙沙星化学性质稳定,在环境中降解缓慢^[19],污水处理厂污泥中环丙沙星的含量达 1.96 mg/kg,将这种污泥施入土壤 8 个月后,环丙沙星含量为 0.32 mg/kg,21 个月后含量为 0.3 mg/kg^[20],如果药物在土壤中长期残留,其对生态环境的影响不容忽视。

金彩霞^[3]等研究了环丙沙星对作物发芽的生态毒性效应,环丙沙星抑制小麦、白菜、番茄的种子发芽率、根伸长和芽伸长,本研究表明环丙沙星影响土壤微生物量碳和微生物群落碳代谢多样性。兽药进入生态环境后,不仅对陆生植物、土壤微生物造成影响,还影响土壤动物、原生生物,以及水生生物中的浮游类生物、微生物、鱼虾及水体甲壳动物等^[21-23]。为了确保生态环境安全,应加强兽药安全使用,结合兽药暴露与效应两方面进行环境风险评估尤其重要^[24]。

4 结论

环丙沙星对土壤微生物量碳和微生物群落碳代谢多样性有明显的抑制作用,且随药物浓度的增高而影响加大。本研究结果表明,环丙沙星($w_{CIP} \geq 0.1 \mu\text{g/g}$)显著降低土壤微生物量碳含量、土壤微生物对各类碳源的利用率、土壤微生物碳代谢强度和代谢多样性,其中 100 $\mu\text{g/g}$ 的环丙沙星处理影响最大,使土壤微生物量碳下降 58.69%,土壤微生物利用单一碳源能力降低 56.56%—78.94%。同时,环丙沙星对土壤微生物群落碳代谢多样性的抑制作用还表现出时间差异,0.1、1、10 $\mu\text{g/g}$ 的环丙沙星处理对土壤微生物群落碳代谢功能的影响主要表现在处理前期(用药第 7 天、21 天),这种影响在处理后期(用药第 35 天)表现不明显,100 $\mu\text{g/g}$ 的环丙沙星在用药的前期和后期均显著影响土壤微生物群落碳代谢功能。

致谢:本研究在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完成,谨致谢忱。

References:

- [1] Xiao Y, Chang H, Jia A, Hu J Y. Trace analysis of quinolone and fluoroquinolone antibiotics from wastewaters by liquid chromatography-electrospray tandem mass spectrometry. *Journal of Chromatography A*, 2008, 1214(1/2): 100-108.
- [2] Tai Y P, Mo C H, Wu X L, Li Y W, Wang J Y, Sun Q Y, Huang X P. Occurrence of quinolone antibiotics in soils from vegetable fields of Dongguan City. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2011, 31(4): 839-845.
- [3] Schwarzenbaeh R P, Gschwend P M, Imboden D M. *Environmental Organic Chemistry*. New York: John Wiley and Sons, 2003: 681-681.
- [4] Jin C X, Chen Q Y, Liu J J, Zhou Q X. The eco-toxicological effect of two common veterinary drugs on crop germ inaction. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2009, 29(3): 619-625.
- [5] Isam H, Domsch K H. Relationship between soil organic carbon and microbial biomass on chronosequencse of reclamation sites. *Microbial Ecology*, 1988, 15(2): 177-188.
- [6] Preston-Matham J, Boddy L, Randerson P F. Analysis of microbial community functional diversity using sole-carbon-source utilization profiles-a critique. *FEMS Microbiology Ecology*, 2002, 42(1): 1-14.
- [7] Zhao N, Lin W P, Cai K Z, Wang J W. Impacts of livestock waste compost on tomato bacterial wilt, soil enzyme activity and soil microbial functional diversity. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(19): 5327-5337.
- [8] Bossio D A, Scow K M. Impact of carbon and flooding on the metabolic diversity of microbial communities in soils. *Applied and Environmental Microbiology*, 1995, 61(11): 4043-4050.
- [9] Gmyston S J, Wang S Q, Campbell C D, Edwards A C, Wang S Q. Selective influence of plant species on microbial diversity in the rhizosphere. *Soil Biology and Biochemistry*, 1998, 30(3): 369-378.
- [10] Chen F L, Zheng H, Yang B S, Ouyang Z Y, Zhang K, Xiao Y, Tu N M. The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(11): 3027-3035.
- [11] Wu J S, Lin Q M, Huang Q Y, Xiao H A. *Soil Microbial Biomass Determination and Its Applications*. Beijing: Meteorological Press, 2006: 65-74.

- [12] Schutter M, Dick R. Shifts in substrate utilization potential and structure of soil microbial communities in response to carbon substrates. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(11): 1481-1491.
- [13] 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(8): 2351-2359.
- [14] Guckert J B, Carr G J, Johnson T D, Hamm B G, Davidson D H, Kumagai Y. Community analysis by biolog: curve integration for statistical analysis of activated sludge microbial habitats. *Journal of Microbiological Methods*, 1996, 27(2/3): 183-197.
- [15] Rogers B F, Tate R L III. Temporal analysis of the soil microbial community along a toposequence in Pineland soils. *Soil Biology and Biochemistry*, 2001, 33(10): 1389-1401.
- [16] Zabinski C A, Gannon J E. Effects of recreational impacts on soil microbial communities. *Environmental Management*, 1997, 21(2): 133-238.
- [17] Ma Y, Chen Z L. Effects of enrofloxacin on the functional diversity of soil microbial communities. *Asian Journal of Ecotoxicology*, 2010, 5(3): 446-452.
- [18] Johannes T. Sorption of veterinary pharmaceuticals in soils: a review. *Environmental Science and Technology*, 2001, 35(17): 3397-3406.
- [19] Li X, Chen J F, Nie X P, Lin J F, Zhou X Z. Degradation and residue of ciprofloxacin in different simulated water bodies. *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyaseni*, 2010, 49(3): 102-106.
- [20] Golet E M, Strehler A, Alder A C, Giger W. Determination of fluoroquinolone antibacterial agents in sewage sludge and sludge-treated soil using accelerated solvent extraction followed by solid-phase extraction. *Analytical Chemistry*, 2002, 74(21): 5455-5462.
- [21] Liu F, Ying G G, Tao R, Zhao J L, Yang J F, Zhao L F. Effects of six selected antibiotics on plant growth and soil microbial and enzymatic activities. *Environmental Pollution*, 2009, 157(5): 1636-1642.
- [22] Santos L H, Araújo A N, Fachini A, Pena A, Delerue-Matos C, Montenegro M C. Ecotoxicological aspects related to the presence of pharmaceuticals in the aquatic environment. *Journal of Hazardous Materials*, 2010, 175(1/3): 45-95.
- [23] Migliore L, Godeas F, Stefania P D F, Mantovi P, Barchi D, Testa C, Rubattu N, Brambilla G. Hormetic effect(s) of tetracyclines as environmental contaminant on *Zea mays*. *Environmental Pollution*, 2010, 158(1): 129-134.
- [24] Dong Y Y, Zhang Y, Cao Y, Qiao X L. Environmental risk analysis for three pharmaceuticals in the effluent from sewage treatment in Dalian economic development zone. *Journal of Wuhan University: Natural Science Edition*, 2009, 55(3): 310-314.

参考文献:

- [2] 郁义萍, 莫测辉, 吴小莲, 李彦文, 王纪阳, 苏青云, 黄献培. 东莞市蔬菜基地土壤中喹诺酮类抗生素的污染特征研究. *环境科学学报*, 2011, 31(4): 839-845.
- [4] 金彩霞, 陈秋颖, 刘军军, 周庆祥. 两种常用兽药对作物发芽的生态毒性效应. *环境科学学报*, 2009, 29(3): 619-625.
- [7] 赵娜, 林威鹏, 蔡昆争, 王建武. 家畜粪便堆肥对番茄青枯病、土壤酶活性及土壤微生物功能多样性的影响. *生态学报*, 2010, 30(19): 5327-5337.
- [10] 陈法霖, 郑华, 阳柏苏, 欧阳志云, 张凯, 肖燚, 屠乃美. 中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响. *生态学报*, 2011, 31(11): 3027-3035.
- [11] 吴金水, 林启美, 黄巧云, 肖和艾. 土壤微生物生物量测定方法及其应用. 北京: 气象出版社, 2006: 54-60.
- [17] 马驿, 陈杖榴. 恩诺沙星对土壤微生物群落代谢功能多样性的影响. *生态毒理学报*, 2010, 5(3): 446-452.
- [19] 李霞, 陈菊芳, 聂湘平, 林建锋, 周孝治. 盐酸环丙沙星在不同模拟水体中的降解与残留. *中山大学学报: 自然科学版*, 2006, 12(1): 36-43.
- [24] 董玉瑛, 张阳, 曹瑛, 乔显亮. 大连经济开发区污水处理中3种医药品的环境风险分析. *武汉大学学报: 理学版*, 2009, 55(3): 310-314.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 5 March, 2013 (Semimonthly)
CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- The effect of nitrogen deposition on forest soil organic matter and litter decomposition and the microbial mechanism WANG Jingyuan, ZHANG Xinyu, WEN Xuefa, et al (1337)
Advances and the effects of industrial hemp for the cleanup of heavy metal pollution LIANG Shumin, XU Yanping, CHEN Yu, et al (1347)
A review for evaluating the effectiveness of BMPs to mitigate non-point source pollution from agriculture MENG Fande, GENG Runzhe, OU Yang, et al (1357)
Progresses in dendrochronology of shrubs LU Xiaoming, LIANG Eryuan (1367)

Autecology & Fundamentals

- The characteristics of nocturnal sap flow and stem water recharge pattern in growing season for a *Larix principis-rupprechtii* plantation WANG Yanbing, DE Yongjun, XIONG Wei, et al (1375)
Effects of soil drought stress on photosynthetic characteristics and antioxidant enzyme activities in *Hippophae rhamnoides* Linn. seedlings PEI Bin, ZHANG Guangcan, ZHANG Shuyong, et al (1386)
Diurnal activity time budget of Père David's deer in Hubei Shishou Milu National Nature Reserve, China YANG Daode, LI Zhuyun, LI Pengfei, et al (1397)
Sublethal effects of three insecticides on the reproduction and host searching behaviors of *Sclerodermus sichuanensis* Xiao (Hymenoptera: Bethyidae) YANG Hua, YANG Wei, YANG Chunping, et al (1405)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal succession of zooplankton in Sansha Bay, Fujian XU Jiayi, XU Zhaoli (1413)
Biomass production and litter decomposition of lakeshore plants in Napahai wetland, Northwestern Yunnan Plateau, China GUO Xuhu, XIAO Derong, TIAN Kun, et al (1425)
The flora and species diversity of herbaceous seed plants in wetlands along the Xin'anjiang River from Anhui YANG Wenbin, LIU Kun, ZHOU Shoubiao (1433)
Spatial-temporal variation of root-associated aerobic bacterial communities of *phragmites australis* and the linkage of water quality factors in constructed wetland XIONG Wei, GUO Xiaoyu, ZHAO Fei (1443)
Temporal dynamics and influencing factors of leaf respiration for three temperate tree species WANG Zhaoguo, WANG Chuankuan (1456)
Environmental controls on water use efficiency of a poplar plantation under different soil water conditions ZHOU Jie, ZHANG Zhiqiang, SUN Ge, et al (1465)
An analysis of calcium components of *Artemisia ordosica* plant on sandy lands in different ecological regions XUE Pingping, GAO Yubao, HE Xingdong (1475)
Effects of alpine meadow plant communities on soil nematode functional structure in Northern Tibet, China XUE Huiying, HU Feng, LUO Daqing (1482)
Soil fauna diversity of abandoned land in a copper mine tailing area ZHU Yongheng, SHEN Fei, YU Jian, et al (1495)
Effects of ciprofloxacin on microbial biomass carbon and carbon metabolism diversity of soil microbial communities MA Yi, PENG Jinju, WANG Yun, et al (1506)
Estimation of ecological water demands based on ecological water table limitations in the lower reaches of the Liaohe River Plain, China SUN Caizhi, GAO Ying, ZHU Zhengru (1513)

Landscape, Regional and Global Ecology

- The ecological security patterns and construction land expansion simulation in Gaoming SU Yongxian, ZHANG Hong'ou, CHEN Xiuzhi, et al (1524)
Root features of typical herb plants for hillslope protection and their effects on soil infiltration LI Jianxing, HE Binghui, CHEN Yun (1535)

- The dynamic change of the thermal environment landscape patterns in Beijing, Shanghai and Guangzhou in the recent past decade ...
..... MENG Dan, WANG Mingyu, LI Xiaojuan, et al (1545)
- Change trends and driving factors of base flow in Kuye River Catchment
..... LEI Yongnan, ZHANG Xiaoping, ZHANG Jianjun, et al (1559)
- Photosynthetic characteristics, biomass allocation, C, N and P distribution of *Schima superba* seedlings in response to simulated
nitrogen deposition LI Mingyue, WANG Jian, WANG Zhenxing, et al (1569)
- Effect of iron slag adding on methane production, oxidation and emission in paddy fields
..... WANG Weiqi, LI Pengfei, ZENG Congsheng, et al (1578)
- Resource and Industrial Ecology**
- Antioxidative system and chlorophyll fluorescence of *Zizania latifolia* Turcz. plants are affected by *Ustilago esculenta* infection
..... YAN Ning, WANG Xiaoqing, WANG Zhidan, et al (1584)
- Analysis of cold-regulated gene expression of the Fingered Citron (*Citrus medica* L. var. *sarcodactylis* Swingle)
..... CHEN Wenrong, YE Jiejun, LI Yongqiang, et al (1594)
- Hosts preference of *Echinothrips americanus* Morgan for different vegetables ... ZHU Liang, SHI Baocai, GONG Yajun, et al (1607)
- Induction effects of jasmonic acid on tannin content and defense-related enzyme activities in conventional cotton plants
..... YANG Shiyong, WANG Mengmeng, XIE Jianchun (1615)
- Effects of irrigation with paper mill effluent on growth and nutrient status of *Populus tomentosa* seedlings
..... WANG Ye, XI Benye, CUI Xiangdong, et al (1626)
- Water use efficiency of Jiangsu Province based on the data envelopment analysis approach
..... ZHAO Chen, WANG Yuan, GU Xueming, et al (1636)
- Research Notes**
- Characteristics of precipitation distribution in *Pinus tabulaeformis* plantations under different canopy coverage in Taiyue Mountain
..... ZHOU Bin, HAN Hairong, KANG Fengfeng, et al (1645)
- Driving factor analysis on the vegetation changes derived from the Landsat TM images in Beijing JIA Baoqun (1654)
- Effects of *Mikania micrantha* wilt virus infection on photosynthesis and the activities of four enzymes in *Mikania micrantha* H. B. K.
..... WANG Rui long, PAN Wanwen, YANG Jiaoyu, et al (1667)

《生态学报》2013 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研工作者,探索自然奥秘,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研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,300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

(SHENTAI XUEBAO)

(半月刊 1981年3月创刊)

第33卷 第5期 (2013年3月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 5 (March, 2013)

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	京海工商广字第8013号
许 可 证	

Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn
Editor-in-chief	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