

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第12期 Vol.32 No.12 **2012**

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 32 卷 第 12 期

2012 年 6 月 (半月刊)

目 次

- 河口湿地人为干扰度时空动态及景观响应——以大洋河口为例..... 孙永光,赵冬至,吴 涛,等 (3645)
- 鄱阳湖南矶湿地优势植物群落及土壤有机质和营养元素分布特征..... 张全军,于秀波,钱建鑫,等 (3656)
- 青岛市湿地生态网络评价与构建..... 傅 强,宋 军,毛 锋,等 (3670)
- 大堤型湖滨带生态系统健康状态驱动因子——以太湖为例..... 叶 春,李春华,王秋光,等 (3681)
- 绿色屋顶径流氮磷浓度分布及赋存形态..... 王书敏,何 强,张峻华,等 (3691)
- 坡度对农田土壤动物群落结构及多样性的影响..... 何先进,吴鹏飞,崔丽巍,等 (3701)
- 枣园桃蛀果蛾寄生蜂种类及其与寄主的关系..... 姚艳霞,赵文霞,常聚普,等 (3714)
- 基于逻辑斯蒂回归模型的鹭科水鸟栖息地适宜性评价..... 邹丽丽,陈晓翔,何 莹,等 (3722)
- 温度、盐度和 pH 对马氏珠母贝稚贝清滤率的联合效应 朱晓闻,王 辉,刘 进,等 (3729)
- 鸡桑药共生模式库区土壤养分变化及流失风险..... 赵丽平,杨贵明,赵同科,等 (3737)
- 黑河中游典型土地利用方式下土壤粒径分布及与有机碳的关系 张俊华,李国栋,南忠仁 (3745)
- DEM 栅格分辨率和子流域划分对杏子河流域水文模拟的影响 邱临静,郑粉莉,Yin Runsheng (3754)
- 粒度变化对城市热岛空间格局分析的影响..... 郭冠华,陈颖彪,魏建兵,等 (3764)
- 基于景观连接度的森林景观恢复研究——以巩义市为例 陈 杰,梁国付,丁圣彦 (3773)
- 城市能源利用碳足迹分析——以厦门市为例..... 林剑艺,孟凡鑫,崔胜辉,等 (3782)
- 高寒牧区村域生态足迹——以甘南州合作市为例..... 王录仓,高 静 (3795)
- 太湖湖滨带生态系统健康评价..... 李春华,叶 春,赵晓峰,等 (3806)
- 秦岭大熊猫栖息地巴山木竹生物量..... 党坤良,陈俊娴,孙飞翔,等 (3816)
- 盐胁迫对盐生植物黄花补血草种子萌发和幼苗生长的影响..... 尤 佳,王文瑞,卢 金,等 (3825)
- 海南霸王岭山地原始林与伐后林中木质藤本对支持木的选择..... 刘晋仙,陶建平,何 泽,等 (3834)
- 闽楠幼树光合特性及生物量分配对光环境的响应..... 王振兴,朱锦懋,王 健,等 (3841)
- 基于形态及分子标记的濒危植物夏蜡梅自然居群的遗传变异研究 金则新,顾婧婧,李钧敏 (3849)
- 不同径级油松径向生长对气候的响应..... 姜庆彪,赵秀海,高露双,等 (3859)
- 珍稀濒危植物长蕊木兰种群的年龄结构与空间分布..... 袁春明,孟广涛,方向京,等 (3866)
- 巨桉与 5 种木本植物幼树的耗水特性及水分利用效率的比较..... 胡红玲,张 健,万雪琴,等 (3873)
- 银木凋落叶腐解过程对小白菜生长和抗性生理的影响..... 黄激激,胡庭兴,张念念,等 (3883)
- 基于氡示踪剂和热扩散技术的栓皮栎水分运输速率与效率研究..... 孙守家,孟 平,张劲松,等 (3892)
- 石漠化干旱环境中石生藓类水分吸收特征及其结构适应性..... 张显强,曾建军,湛金吾,等 (3902)
- 含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响..... 陈 琳,谷 洁,高 华,等 (3912)
- 钝叶枥不同性别花的花部形态与传粉特征比较..... 王 茜,邓洪平,丁 博,等 (3921)
- 我国春玉米潜在种植分布区的气候适宜性..... 何奇瑾,周广胜 (3931)
- 烯效唑干拌种对小麦氮素积累和运转及籽粒蛋白质品质的影响..... 樊高琼,杨恩年,郑 亭,等 (3940)

专论与综述

- 中国产业共生发展模式的国际比较及对策 石 磊,刘果果,郭思平 (3950)

研究简报

- 吉林省镇赉县近 10 年景观格局变化 张国坤,卢京花,宋开山,等 (3958)
- 杨树人工林生态系统通量贡献区分析..... 金 莹,张志强,方显瑞,等 (3966)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 330 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-06



封面图说: 鸳鸯——在分类上属雁形目,鸭科。英文名为 Mandarin Duck(即“中国官鸭”)。鸳指雄鸟,鸯指雌鸟,故鸳鸯属合成词。常常栖息于山地河谷、溪流、湖泊、水田等处,雌雄偶居,以植物性食物为主,也食昆虫等小动物。繁殖期 4—9 月间,雌雄配对后迁至营巢区。巢往往置于树洞中,用干草和绒羽铺垫,每窝产卵 7—12 枚。江西省婺源鸳鸯湖是亚洲最大的野生鸳鸯越冬栖息地。鸳鸯是一种美丽的禽鸟,中国传统文化又赋予它很多美好的寓意,因此,在许多文学艺术作品中经常用以表达爱情。

彩图提供:陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201110141515

陈琳, 谷洁, 高华, 王小娟, 胡婷, 陈智学. 含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响. 生态学报, 2012, 32(12): 3912-3920.

Chen L, Gu J, Gao H, Wang X J, Hu T, Chen Z X. Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(12): 3912-3920.

含铜有机肥对土壤酶活性和微生物群落代谢的影响

陈 琳¹, 谷 洁^{2,3,*}, 高 华^{2,3}, 王小娟^{2,3}, 胡 婷², 陈智学¹

(1. 西北农林科技大学理学院, 杨凌 712100; 2. 西北农林科技大学资源环境学院, 杨凌 712100;

3. 陕西省循环农业工程技术研究中心, 杨凌 712100)

摘要:以猪粪和麦秆为原料, 向原料中添加不同浓度硫酸铜溶液模拟原料铜污染堆制有机肥, 通过小白菜盆栽试验施用堆制腐熟的有机肥, 研究其对土壤酶活性及群落功能多样性的影响。结果表明, 与 CK 处理 (Cu 质量分数 10.35 mg/kg) 相比, L 处理 (Cu 质量分数 300.00 mg/kg) 的脱氢酶活性下降了 64.75%, H 处理 (Cu 质量分数 900.00 mg/kg) 的脱氢酶活性下降了 90.66%。在 Biolog 生态测试板 (ECO Microplate) 温育过程中, CK 处理的 AWCD 值 (Average Well Color Development) 始终大于 L 处理和 H 处理。与 CK 处理相比, L 处理和 H 处理 96 h 的 AWCD 值分别下降了 3.55%、36.59%, CK 处理显著高于 H 处理 ($P < 0.01$)。多样性指数对含 Cu 有机肥有不同的响应, L 处理的 shannon 指数最高, H 处理的 simpson 指数最高, CK 处理的 McIntosh 指数及 McIntosh 均匀度最高。主成分分析结果表明, 对 3 个处理起分离作用的碳源主要是糖类和羧酸类。

关键词: Cu 污染; 有机肥; 脱氢酶; Biolog ECO 板

Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community

CHEN Lin¹, GU Jie^{2,3,*}, GAO Hua^{2,3}, WANG Xiaojuan^{2,3}, HU Ting², CHEN Zhixue¹

1 College of Sciences, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

2 College of Resources and Environment, Northwest Agriculture and Forestry University, Yangling 712100, China

3 Research Center of Recycle Agricultural Engineering and Technology of Shaanxi Province, Yangling 712100, China

Abstract: Composted manure has been used for centuries in Chinese agricultural production, however, only in recent year, there has been growing concerns over the problem caused by manure amendment, such as the buildup of salt in the soil and the potential introduction of hazardous trace elements into human diet. The objective of this experiment was to investigate the influence of Cu containing organic manure on soil enzyme activity and the functional diversity of microbial community. A pot experiment was conducted by incorporating same quantity of composts with a range of Cu concentrations, which were produced by composting the raw materials of swine manure and wheat straw spiked with 3 levels of Cu: 0 mg/kg (control), 300 mg/kg (low Cu, referred to L thereafter) and 900 mg/kg (high Cu: H). The resulted soils after the cabbage harvest were used to investigate the soil enzyme activities and the diversity of microbial community function (Biolog #). The results showed that, the soil dehydrogenase activity declined by 64.75% in the low Cu containing compost treated soil and 90.66% in the high Cu compost treated soil as compared to the control treatment, suggested high Cu concentration in compost inhibits the soil dehydrogenase activity. The result of Biolog test showed that the average well color development (AWCD) of the control soil was greater than that of both the L and the H treatments during the process of the Biolog-ECO incubation. Compared with control treatment, AWCD of L and H treatments at 96 h had dropped by 3.55% and 36.59%, respectively.

基金项目: 国家自然科学基金 (40871119, 41171203); 农业部 948 项目 (2010-Z20)

收稿日期: 2011-10-14; 修订日期: 2012-03-26

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: gujoyer@sina.com

AWCD of H treatment was significantly lower than that of control ($P < 0.01$). The most microorganisms in control soil had higher ability to use carbon source than those in L and H treatments. The soil microbial community diversity indices had different responses, the highest Shannon index was observed on L treatment, the highest Simpson index was on H treatment, and the highest McIntosh index and McIntosh evenness index on control treatment. The principal component analysis demonstrated that the significant difference between the three treatments mainly depend on carbohydrate and carboxylic acids dominated carbon sources. The results indicated that the Cu contained in the composted manure significantly inhibited the soil enzyme activity and microbial metabolism.

Key Words: Cu contamination; compost; dehydrogenase ; Biolog Eco plate

我国农业生产中化学肥料的过量使用导致了严重的环境问题,例如,土壤理化结构的恶化、土壤营养的失衡及水体富营养化^[1]。禽畜粪使用作有机肥在我国具有悠久的历史,在农业生产中发挥着重要的作用^[2],堆肥处理是畜禽粪便无害化和资源化的有效途径,其目的是使堆肥原料中不稳定的有机物通过高温好氧发酵而逐步降解为性质稳定、对作物无害并可改良土壤的堆肥产品^[3],有机肥不仅能够提高土壤肥力,实现养分再循环,而且对于减少化肥的使用,保护生态环境,推动农业可持续发展具有十分重要的意义。然而,有机肥的使用也产生了一系列的问题,包括有机肥中的盐分对植物的毒害作用及有机肥中存在的微量元素在植物中积累对人类带来的健康风险等^[1]。畜禽粪便中高含量的重金属可能会导致以畜禽粪便为有机肥的农田中重金属的积累。任顺荣^[4]等调查分析了天津市5个有机肥料厂以不同畜禽废弃物为原料生产的商品有机肥料中的重金属含量,结果表明,猪粪堆制的商品有机肥 Cu 含量高达 1454 mg/kg,大大超过了部分欧洲国家和加拿大、日本等国的有机堆肥重金属最大允许浓度。刘荣乐^[5]等对我国畜禽粪便中重金属的含量状况进行调查与分析,结果发现,参照德国腐熟堆肥标准(Cd、Cu、Zn 的最高限量分别为 1.5、100、400 mg/kg),所采的猪粪、鸡粪、牛粪等畜禽粪便中都有一种或多种重金属超标,猪粪的 Cu 超标最为突出,超标率为 69.0%。李书田^[6]调查结果表明,与 20 世纪 90 年代相比,Cu 和 Zn 在猪粪和鸡粪中的含量增加特别明显,最大增加幅度达到了 12 倍,其农用可能对作物和土壤造成的危害已引起学者的广泛关注。郑国砥等^[7]研究认为,堆肥可以降低猪粪中重金属的有效性,降低猪粪土地利用中的重金属风险,前人主要对重金属对堆肥过程影响及重金属在堆肥过程中的形态变化进行了研究,而对有机肥施用对土壤的影响尤其是对土壤微生物活性及群落的影响的研究较少,因此,需要进一步对有机肥施用的风险进行评估。本文通过盆栽试验,研究含有重金属 Cu 的有机肥对土壤脱氢酶活性及微生物群落结构的影响,为有机肥的合理施用提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 试验材料

试验所用有机肥是由小麦秸秆、废菌糠(栽培香菇后的废料)、农家猪粪(农民以饲草和麦麸养猪,不含饲料添加剂)堆腐而成。废菌糠有机碳含量 346.9 g/kg,全氮含量 4.6 g/kg;小麦秸秆有机碳含量 394.3 g/kg,全氮含量 5.7 g/kg;猪粪有机碳含量 409.7 g/kg,全氮含量 34.5 g/kg。

供试土壤采自陕西省杨凌示范区农田,有机质含量 2.0%,速效氮含量 21.0 mg/kg,速效磷含量 24.8 mg/kg,速效钾含量 213.1 mg/kg,土壤经风干磨碎过 1 mm 筛作盆栽试验。

供试蔬菜品种为上海青小白菜,种子购于杨凌农科大农城种业科技中心。

1.2 试验设计

据李书田等人^[6]的测定结果表明,与 20 世纪 90 年代相比,从全国范围采集的 40 个猪粪样品 Cu 平均含量从 37.6 mg/kg 增加到 488.1 mg/kg,有 42.5% 的样品 Cu 含量超过 500 mg/kg,有 10% 的样品 Cu 含量超过 1000 mg/kg, Long Cang 等^[8]对江苏省 10 个主要城市的 31 个畜禽场的饲料和畜禽粪便进行采样分析,发现猪粪中 Cu 平均含量为 399.0 mg/kg。日本肥料法还规定当产品中含 Cu 300 mg/kg 以上时,必须在包装上注

明含量,以便于选择适用的作物和土壤^[4]。我国目前还没有堆肥中重金属限量的相关标准,而欧洲很多国家则制定了堆肥中重金属的限量标准^[9],但这些标准对 Cu 的限量差别较大,参见表 1,根据我国猪粪中的 Cu 含量概况及欧洲国家的相关标准,本试验设 3 个处理,处理 I 不添加重金属 Cu (简称 CK 处理),所用原料本身所含重金属 Cu 总量为 10.35 mg/kg;处理 II 在有机肥堆腐前添加 CuSO₄ 溶液,使 Cu 在堆料(干基)中的含量为 300 mg/kg(简称 L 处理);处理 III 添加 CuSO₄ 溶液使 Cu 在堆料(干基)中的含量为 900 mg/kg(简称 H 处理),以模拟 Cu 污染猪粪堆制有机肥。

表 1 欧洲国家对堆肥中 Cu 含量的限量标准

Table 1 Limited amount of Cu in compost established by European countries

国家 Country	德国 Germany	意大利 Italy	西班牙 Spain	比利时 Belgium	奥地利 Austria	荷兰 Holland	瑞士 Switzerland
堆肥中 Cu 限量/(mg/kg) Limited amount of Cu in compost	100	300	1750	100	400	150	300

盆栽试验于 2011 年 4 月 9 日至 2011 年 5 月 29 日在陕西省西北农林科技大学资源环境学院的玻璃房内进行。试验设 3 个处理,用塑料盆每盆装土 4kg,以相当于鲜土质量 2.5% 的施用量施用有机肥 I,有机肥 II,有机肥 III,每处理 8 个重复,土壤与肥料充分混匀后装盆,平衡 3d 后,采用点播法播种,出苗后定苗 8 株,各处理日常管理一致。

1.3 取样与项目测定

小白菜收获后,每个处理随机取 3 盆,采集小白菜根际土壤样品,用于土壤全 Cu 含量、有效铜含量、土壤脱氢酶活性测定及群落分析。

1.3.1 土壤全铜及有效铜含量

土壤全铜含量采用 GB/T 17138—1997(中华人民共和国国家标准——土壤质量铜、锌的测定:火焰原子吸收分光光度法)的方法,土壤有效铜含量采用 DTPA(Diethylenetriaminepentaacetic acid)浸提法(土:DTPA = 1:2)。

1.3.2 土壤脱氢酶活性的测定

土壤脱氢酶活性测定方法参照关松荫^[10]著作中的方法,在样品中加入氢受体三苯基四唑氯化物(TTC),然后 37℃ 培养,测定脱氢酶作用下生成红色 2,3,5-三苯基甲脒(TF)的量,酶活性用 $\mu\text{gTF} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$ 表示。

1.3.3 微生物群落水平生理轮廓测定

取相当于风干土 5g 土样的鲜土置于 45ml 0.85% 氯化钠无菌溶液三角瓶中,摇床震荡 30min(200 r/min),在超净工作台上,采用 10 倍稀释法,用 0.85% 氯化钠无菌溶液将其稀释至浓度为 10^{-3} 。接种土壤微生物悬浮液于 Biolog 生态测试版(ECO MicroPlate, 美国 Matrix Technologies Corporation 生产)中,每孔 150 μL 。将接种的 ECO 板装入聚乙烯袋中置于(25 $\pm$ 1)℃ 下暗箱培养;连续培养 240 h,期间每隔 12 h 用 ELISA(Enzyme-linked Immunosorbent Assay,酶联免疫吸附测定)反应微平板阅读器在 590 nm 处读数 1 次。

1.4 数据处理

1.4.1 采用孔平均颜色变化率法(Average Well Color Development, AWCD)测定土壤微生物利用单一碳源的能力。AWCD 的计算公式为:

$$\text{AWCD} = \sum (C_i - R) / 31$$

式中, C_i 为各反应孔在 590 nm 下的光密度值; R 为 ECO 板对照孔 A1 的光密度值; $C_i - R$ 小于零的孔,计算中记为零,即: $C_i - R \geq 0$ ^[11];每种碳源反应孔的平均颜色变化率 $\text{AWCD}_i = C_i - R$,代谢指纹图谱中的 AWCD_i 值为 3 次重复平均值。

1.4.2 群落 Shannon 指数(H)^[12]

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

式中, $P_i = (C_i - R) / \sum (C_i - R)$, 表示有碳源的孔与对照孔 A1 的光密度值之差与整板总差的比值。

1.4.3 群落 simpson 指数

$$D = 1 - \sum [N_i(N_i - 1)] / [N(N - 1)]$$

式中, n_i 是第 i 孔的相对吸光值 ($C_i - R$); N 是相对吸光值总和; simpson 指数用 $1/D$ 值表示。

1.4.4 群落 McIntosh 指数

$$U = \left(\sum_{i=1}^n N_i^2 \right)^{1/2}$$

1.4.5 群落 McIntosh 均匀度

$$D = (N - U) / (N - N/\sqrt{S})$$

本实验采用 BIOLOG 微平板培养 96 h 的数据, 来进行微生物代谢多样性分析。数据采用 Excel (V2003)、SAS (V8. 1) 和 SPSS (V12. 0) 软件进行统计分析。

2 结果与分析

2.1 土壤全铜及有效铜含量

含铜有机肥施入土壤后, 经过 50d 的培养, 土壤全铜及有效铜含量如表 2 所示。由表 2 可以看出, 含铜有机肥使土壤全铜及有效铜含量均有所增加。施入含铜 900mg/kg 的有机肥使土壤全铜含量增加了 9. 00mg/kg, 如果按这种方法施用有机肥, 则连续 8—9a 后, 按照中华人民共和国土壤环境质量标准 (GB15618—1995), 土壤质量将不符合二级农田标准。

2.2 土壤脱氢酶活性

脱氢酶是一种胞内酶, 它将质子从底物转移至受体, 从而氧化有机质, 该过程是土壤微生物呼吸途径的一部分, 脱氢酶活性可以作为微生物氧化还原系统的指标, 由于脱氢酶反应需要细胞内部存在电子传递, 土壤脱氢酶一般不可能存在于微生物细胞之外。对微生物生长代谢有影响的因子都将影响脱氢酶活性, 故土壤脱氢酶活性常作为土壤微生物生物量和代谢状态敏感的综合指标之一^[13], 为与 Biolog 数据一起反映土壤微生物的代谢活性, 因而选择测定了脱氢酶。从图 1 可以看出, CK 处理的脱氢酶活性为 $(16.51 \pm 8.84) \mu\text{gTF} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, L 处理和 H 处理分别为 (5.82 ± 2.85) 、 $(1.54 \pm 0.77) \mu\text{gTF} \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{d}^{-1}$, CK 处理的脱氢酶活性比 L 处理和 H 处理分别高 64. 75%、90. 66%。CK 处理的脱氢酶活性是 H 处理的 10. 70 倍, 显著高于 H 处理, 因此含 Cu 的有机肥显著地抑制了土壤脱氢酶活性。重金属对酶活性的抑制机理可能是重金属与酶分子中的活性部位——巯基和含咪唑的配体等结合, 形成较稳定的络合物, 产生了与底物的竞争性抑制作用^[14], 或者可能由于重金属通过抑制土壤微生物的生长和繁殖, 减少体内酶的合成和分泌, 最后导致土壤酶活性下降^[15]。

2.3 ELIS A 反应颜色变化率 (AWCD)

平均颜色变化率 (AWCD) 是反映土壤微生物活性, 作为微生物整体活性的一个重要指标^[16]。

从图 1 可以看出, 3 个处理的土壤微生物群落的 AWCD 在整个培养过程中有明显差异。分析发现

表 2 土壤全铜及有效铜含量

铜含量/(mg/kg) Cu content	全铜含量/(mg/kg) Total Cu	有效铜含量/(mg/kg) Available Cu
10.35 (CK)	25.24±4.24 b	1.38±0.07 c
300.00 (L)	28.59±5.43 ab	2.09±0.04 b
900.00 (H)	34.24±1.35 a	3.92±0.11 a

同一列中不同字母表示处理间差异显著 ($P < 0.05$)

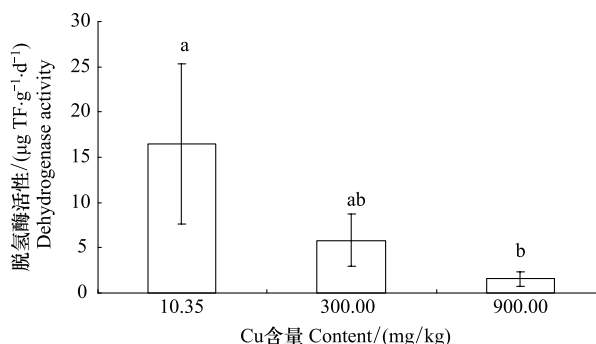


图 1 含 Cu 有机肥对土壤脱氢酶活性的影响

Fig. 1 The influence of organic fertilizer with Cu on soil dehydrogenase activities

TF 是脱氢酶的反应产物, 即 2,3,5-三苯基甲脞; 图中不同处理间字母不同代表差异性显著 ($P < 0.05$)

AWCD 在 24 h 之前很小,说明在 24 h 之内碳源基本未被利用;培养 24 h 后 AWCD 出现了明显变化,反映出此后碳源被大幅度利用,其中 CK 处理和 L 处理的 AWCD 升高较快,H 处理的 AWCD 升高较慢,而且在整个温育过程中 CK 处理的 AWCD 始终大于 L 处理,L 处理的 AWCD 始终大于 H 处理。ECO 板温育 72—96h 时,微生物对碳源的利用基本稳定,即 OD 值的变化趋于稳定^[17],因此选取 96h 的 AWCD 进行方差分析,结果表明,L 处理和 H 处理培养 96h 的 AWCD 值分别下降了 3.55%、36.59%,CK 处理显著高于 H 处理($F=9.11, P<0.01$)。

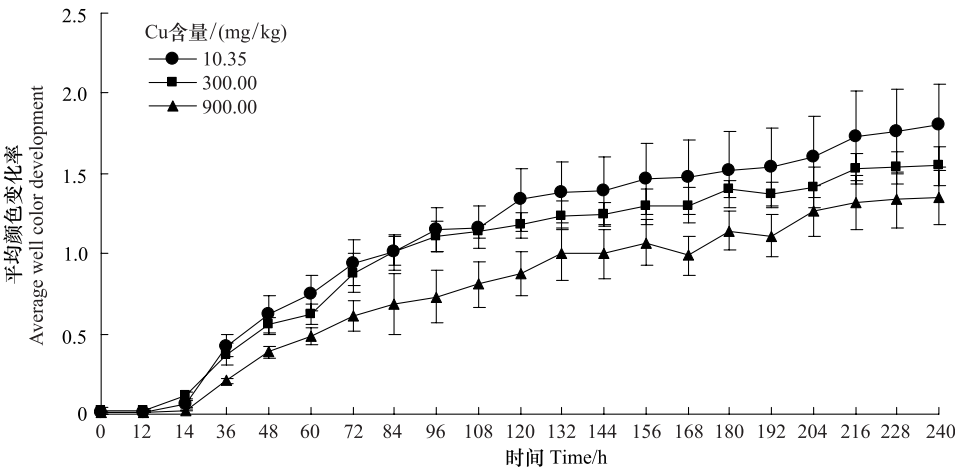


图2 不同处理 AWCD 随培养时间的变化

Fig.2 AWCD changes with incubation time in different treatments

2.4 土壤微生物群落功能多样性的分析

Magurran^[18]指出 Shannon 指数受群落物种丰富度影响较大,Simpson 指数较多反映了群落中最常见的物种。Atlas 指出 McIntosh 指数则是群落物种均一性的度量^[12]。从表 3 可以看出,含 Cu 有机肥对群落物种丰富度及最常见的物种影响较小,对群落物种均一性影响较大,CK 处理和 L 处理的 McIntosh 指数及 McIntosh 均匀度显著高于 H 处理。

表 3 土壤微生物群落功能多样性

Table 3 Diversity and evenness indices for soil microbial communities				
处理 Treatments	Shannon 指数 Shannon index	Simpson 指数 Simpson index	McIntosh 指数 McIntosh index	McIntosh 均匀度 McIntosh evenness
CK	3.11±0.12a	45.50±8.72a	7.93±0.40a	0.973±0.005a
L	3.16±0.08a	52.58±8.28a	7.52±0.48a	0.964±0.008ab
H	2.99±0.14a	73.03±24.65a	5.46±0.83b	0.955±0.011b

同一列中不同字母表示处理间差异显著($P<0.05$)

2.5 微生物生理碳代谢指纹图谱分析

微生物对微平板上不同碳源利用能力的图被定义为 BIOLOG 代谢指纹图谱。测定培养 96 h 时微生物对 31 种单一碳源的代谢能力(AWCDi 值),得到微生物群落代谢指纹图谱(图 3)。从图 3 可以看出 31 种碳源中有 16 种碳源的 AWCDi 值大小顺序表现为 CK>L>H。有 8 种碳源的 AWCDi 大小顺序表现为 L>CK>H,因此,CK 处理和 L 处理土壤微生物对 31 种碳源的利用程度远大于 H 处理。在 CK 处理代谢指纹图谱中 AWCDi ≥1.0 的碳源有 20 种(糖类 6 种,胺类 1 种,羧酸类 5 种,氨基酸类 3 种,聚合物类 3 种,其他类 2 种),占总碳源数的 64.52%,L 处理有 15 种(糖类 6 种,羧酸类 3 种,氨基酸类 3 种,聚合物类 3 种),占总碳源数的 48.39%;H 处理有 10 种(糖类 4 种,羧酸类 1 种,氨基酸类 3 种,聚合物类 2 种,胺类 1 种),占总碳源数的 32.26%,代谢指纹图谱中 AWCDi ≥2.0 的碳源 CK 处理有 5 种,分别为吐温-80、D-甘露醇、N-乙酰基-D-葡萄

胺、L-精氨酸和 L-天冬酰胺酸,其中,D-甘露醇的 AWCD_i 最大,为 2.89,L 处理有 4 种,分别为 D-纤维二糖、D-甘露醇、N-乙酰基-D-葡萄糖胺和 L-天冬酰胺酸,而 H 处理仅有一种,为 L-天冬酰胺酸。

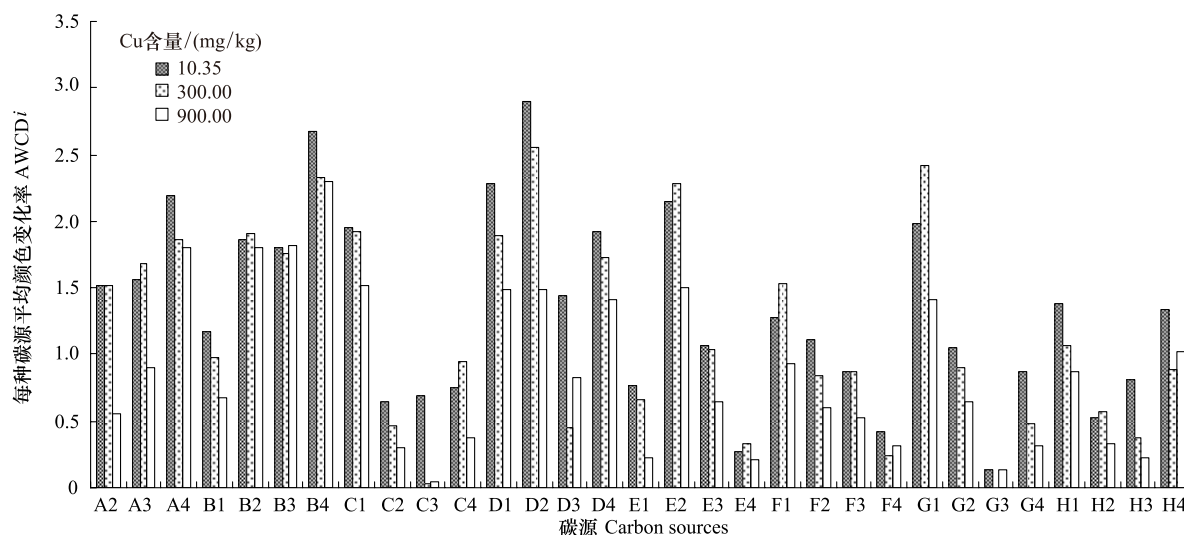


图 3 生理碳代谢指纹图谱

Fig. 3 Metabolic fingerprint of carbon level physiological profiles

2.6 微生物群落功能主成分分析

对培养 96 h 的数据进行微生物群落功能主成分分析(PCA),结果表明,4 个处理在 31 种碳源构建的主成分 2 维体系中存在明显的空间分异(图 4),31 个主成分因子中前 5 个的方差贡献率分别为 32.37%、21.53%、13.27%、11.90%、8.54%,累积方差贡献率达到 87.60%,从中提取可以聚集单一碳源变量数据变异的前 2 个主成分 PC1 和 PC2 (特征根为 10.03、6.68)来分析微生物群落功能多样性。由图 4 可见,两个处理在主成分坐标体系中分布差异十分明显,其中 PC1 将 CK 处理和 L 处理与 H 处理很好的区分开,CK 处理和 L 处理投影点分布在 PC1 的正端,H 处理分布在 PC1 的负端,方差分析表明,主成分 1 的得分系数达到显著差异($F = 7.79, P < 0.05$)。考察 PCA 的相关性矩阵,可知对 PC1 贡献大的碳源(特征向量系数 >0.5)有 16 种,其中糖类和羧酸类分别占 25%,氨基酸类占 19%,可见影响 PC1 的主要为糖类和羧酸类,其次是氨基酸类,对 PC2 贡献大的碳源有 5 种。

3 讨论与结论

前人已对有机肥及畜禽粪便中重金属含量进行了调查研究^[4-6],也有人研究了重金属对堆肥过程的影响^[19]及重金属含量和形态在堆肥过程的转变^[7],然而对于铜含量超标的猪粪经堆肥后对土壤微生物的影响的研究却鲜有报道。随着有机肥的大量使用,准确而合理的评价有机肥的使用风险是很有必要的。

土壤酶是土壤生物化学反应的催化剂,参与了土壤系统中许多重要代谢过程,如土壤环境净化等方面,可用它来检测土壤中重金属的相对污染程度。滕应等^[20]

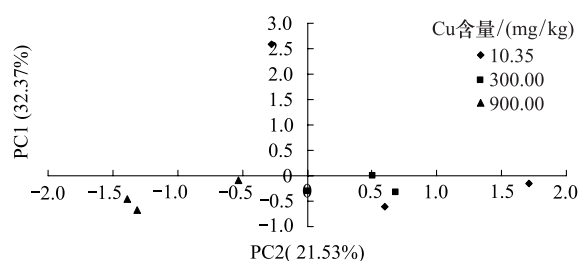


图 4 96h 主成分分析因子载荷图

Fig. 4 Loadings of principal component analysis after 96 h culturing

研究了铜尾矿污染区土壤脲酶、脱氢酶、磷酸酶等 6 种酶活性并与重金属含量之间进行相关性分析,结果表明,脱氢酶、酸性磷酸酶以及蛋白酶活性与重金属含量之间关系较为密切。张玲^[21]研究了铅锌矿区土壤脲酶、蔗糖酶、酸性磷酸酶、脱氢酶活性,结果发现脱氢酶活性的变化幅度最大,本试验的研究结果表明,含有重金属 Cu 的有机肥对土壤脱氢酶活性造成显著的抑制作用;张惠文等人^[22]向黑土中添加 300mg/kg 的铜离子,

结果表明,铜离子在处理过程中对土壤脱氢酶活性表现为强烈的抑制效应。贾彦博^[23]通过室内培养试验采用喷雾法直接向土壤中添加铜,结果表明,在 0—50 mg/kg 处理时土壤脱氢酶活性下降,铜添加水平在 100 mg/kg 时出现一次抗性峰,而本文的三个处理水平下脱氢酶活性未出现抗性峰,与他的研究结果一致。

土壤微生物是土壤生态系统中的重要组成部分,其群落的组成和活性对土壤肥力的保持具有重要意义。Biolog 方法被广泛应用于环境微生物群落比较、污染物对微生物群落影响评价以及环境修复效果评价等方面。基于 Biolog 的研究表明,不同的污染特征会导致不同的微生物群落结构和代谢活性。Bruce 等人^[24]则指出,污染物质(尤其是重金属)含量与微生物代谢活性存在负相关关系,并能降低微生物代谢多样性。本文的 Biolog 结果表明,在 Biolog-ECO 板温育过程中,AWCD 值的大小顺序一直表现为 CK>L>H,表明 CK 处理的土壤微生物整体代谢活性高于 L 处理和 H 处理;通过微生物群落代谢指纹图谱也可以看出,CK 处理的微生物对大部分碳源的利用能力均高于 L 处理和 H 处理;H 处理的 shannon 指数低于 CK 处理,表明含铜有机肥能降低微生物的代谢多样性,这与魏志强等^[26]人的研究结果一致。由于 BIOLOG 板的颜色变化可能是不同污染程度的土壤有不同的微生物群落性质引起的,也可能是由于微生物群落的大小变化引起的,因此,多样性指数对含铜有机肥有不同的响应,L 处理的 Shannon 指数最高,H 处理的 Simpson 指数最高,CK 处理的 McIntosh 指数及 McIntosh 均匀度最高。谢文军等^[25]研究了重金属 Cu²⁺、Cd²⁺及氯氰菊酯对不同施肥模式土壤微生物功能多样性的影响,结果表明,3 个多样性指数对不同施肥模式土壤的污染物响应也是不同的。主成分分析结果表明,对 3 个处理起分异作用的碳源主要是糖类和羧酸类,魏志强等人^[26]研究海河—渤海湾沿线地区沉积物中微生物群落代谢特征,结果表明重金属污染的存在抑制了微生物的代谢活性,尤其体现在对糖及其衍生物、氨基酸类和羧酸类碳源的利用上,这与本文的研究结果较为一致。由此可见,重金属 Cu 进入土壤后,使土壤微生物特征发生了一系列变化,为了适应重金属 Cu 的胁迫环境,微生物的群落结构发生了变异,且杨元根^[27]及 Eric 等人^[28]的研究结果表明,Cu 污染对土壤微生物原有群落结构的损伤是长期性的。

朱亦君等人^[29]进行了猪粪中铜对东北黑土的污染风险的评价,指出土壤 Cu 浓度接近 301.3 mg/kg 可以作为黑土蔬菜种植的参考阈值。假如每年每公顷农田施入 Cu 浓度为 800 mg/kg 的猪粪 56 t,那么土壤 Cu 浓度将增加 18mg·kg⁻¹·hm⁻²,7—15a 后土壤 Cu 浓度就可能达到此参考阈值。而本文采用腐熟的有机肥进行试验,施入含铜 900mg/kg 的有机肥使土壤全铜含量增加了 9.00mg/kg,如果按这种方法施用有机肥,则连续 8—9a 后,土壤将不符合土壤环境质量二级农田标准(GB15618—1995)。因此在农业生产中,应充分监测有机肥中各种重金属的含量,准确评估有机肥的施用风险,以指导有机肥的合理施用。

References:

- [1] Zhou D M, Hao X Z, Wang Y J, Dong Y H, Cang L. Copper and Zn uptake by radish and pakchoi as affected by application of livestock and poultry manures. *Chemosphere*, 2005, 59(2): 167-175.
- [2] Wu Q Q, Ma J W, Jiang L N, Jing Y, Qiang W, Wang J M, Yu Q G, Sun W C, Fu J R. Effect of poultry and household garbage manure on the growth of *Amaranth tricolor* L. and heavy metal accumulation in soils. *Journal of Agro-Environment Science*, 2010, 29(7): 1302-1309.
- [3] Bao Y Y, Zhou Q X, Lou Y L, Yan L, Guan L Z. Change patterns of different carbon-containing compounds in dairy manure during its aerobic composting and assessment of composting maturity. *Chinese Journal of Ecology*, 2010, 29(11): 2111-2116.
- [4] Ren S R, Shao Y C, Wang Z X. Analyze on heavy metals content of merchandise compost produced by animal wastes. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(supplement): 216-218.
- [5] Liu R L, Li S T, Wang X B, Wang M. Contents of heavy metal in commercial organic fertilizers and organic wastes. *Journal of Agro-Environment Science*, 2005, 24(2): 392-397.
- [6] Li S T, Liu R L, Shan H. Nutrient contents in main animal manures in China. *Journal of Agro-Environment Science*, 2009, 28(1): 179-184.
- [7] Zheng G D, Chen T B, Gao D, Luo W, Li Y X. Influence of high temperature aerobic composting treatment on the form of heavy metals in pig manure. *China Environmental Science*, 2005, 25(1): 6-9.
- [8] Cang L, Wang Y J, Zhou D M, Dong Y H. Heavy metals pollution in poultry and livestock feeds and manures under intensive farming in Jiangsu Province, China. *Journal of Environmental Sciences*, 2004, 16(3): 371-374.
- [9] Brinton W F. Compost Quality Standard & Guidelines. Final Report. New York State Association of Recyclers; Woods End Research Laboratory

Inc, 2000.

- [10] Guan S Y. Soil Enzymes and Its Methodology. Beijing: Agricultural Publishing House, 1986: 243-277.
- [11] Selman P C, Hart S C, Boyle S I, Stark J M. Red alder (*Alnus rubra*) alters community-level soil microbial function in conifer forests of the Pacific Northwest, USA. *Soil Biology and Biochemistry*, 2005, 37(10): 1860-1868.
- [12] Yang Y H, Yao J, Hua X M. Effect of pesticide pollution against functional microbial diversity in soil. *Journal of Microbiology*, 2000, 20(2): 23-25.
- [13] Frankenberger W T, Dick W A. Relationships between enzyme activities and microbial growth and activity indices in soil. *Soil Sciences Society of America Journal*, 1983, 47(5): 945-951.
- [14] Yang Z X, Liu S Q. Effect of compound pollution of heavy metals on soil enzymic activities. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2001, 21(1): 60-63.
- [15] Long J, Huang C Y, Teng Y, Yao H Y. Preliminary study on soil microbes and soil biochemical activities in mining wasteland. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(3): 496-503.
- [16] Xu H Q, Xiao R L, Zou D S, Song T Q, Luo W, Li S H. Effect of long-term fertilization on functional diversity of soil microbial community of the tea plantation. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(8): 3355-3361.
- [17] Li S H, Liu K X, Liao Z W. Method for simplification of characteristic carbon sources for Biolog analysis of soil microbial community and its application. *Scientia Agricultura Sinica*, 2010, 43(3): 523-528.
- [18] Magurran A E. Ecological Diversity and its Measurement. Princeton: Princeton University Press, 1988: 141-162.
- [19] Guo X L, Gu J, Gao H, Qin Q J, Zhang W J, Li H L, Chen S N, Liu J, Zhang H B, Chen L, Shao L. Effect of heavy metal Cu on microbial community metabolic profiles and hydrolytic enzyme activities in composting. *Journal of Agro-Environment Science*, 2011, 30(2): 375-382.
- [20] Teng Y, Huang C Y, Long J, Liu F. Enzyme activities in soils contaminated by abandoned copper tailings. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2003, 14(11): 1976-1980.
- [21] Zhang L, Ye Z Q, Li T Q, Yang X E. Studies on soil microbial activity in areas contaminated by tailings from Pb, Zn mine. *Journal of Soil and Water Conservation*, 2006, 20(3): 136-140.
- [22] Zhang H W, Zhang Q R, Zhou Q X, Zhang C G. Combined effects of acute toxicity of acetochlor and copper on soil microbial population and biological characteristics in maize-wheat-soybean agroecosystem. *Journal of Agro-Environment Science*, 2003, 22(2): 129-133.
- [23] Jia Y B, Rui C, Ji T W, Huang L Y, Chen J, Luo C L. Study on copper pollution index of soil microbe and enzymes. *Guangdong Trace Elements Science*, 2009, 16(3): 44-47.
- [24] Moffett B F, Nicholson F A, Uwakwe N C, Chambers B J, Harris J A, Hill T C J. Zinc contamination decreases the bacterial diversity of agricultural soil. *FEMS Microbiology Ecology*, 2003, 43(1): 13-19.
- [25] Xie W J, Zhou J M, Wang H Y. Influence of Cu^{2+} , Cd^{2+} and Cypermethrin on microbial functional diversity in different fertilization soils. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2008, 29(10): 2919-2924.
- [26] Wei Z Q, Wang H, Hu H Y, Li F S. Characteristics of microbial community metabolism in sediments of the Hai River-Bohai Bay area. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2008, 28(5): 1007-1013.
- [27] Yang Y G, Paterson E, Campbell C. Study on microbial toxicity of heavy metal copper. *Chinese Journal of Soil Science*, 2002, 33(2): 137-141.
- [28] Smit E, Leeftang P, Wernars K. Detection of shifts in microbial community structure and diversity in soil caused by copper contamination using amplified ribosomal DNA restriction analysis. *FEMS microbiology Ecology*, 1997, 23(3): 249-261.
- [29] Zhu Y J, Zheng Y M, He J Z, Li L H, Zhang L. Risk assessment of pig manure Cu-contamination of black soil in Northeast China. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(12): 2751-2756.

参考文献:

- [2] 吴清清, 马军伟, 姜丽娜, 叶静, 王强, 汪建妹, 俞巧钢, 孙万春, 符建荣. 鸡粪和垃圾有机肥对苋菜生长及土壤重金属积累的影响. *农业环境科学学报*, 2010, 29(7): 1302-1309.
- [3] 鲍艳宇, 周启星, 娄翼来, 颜丽, 关连珠. 奶牛粪好氧堆肥过程中不同含碳有机物的变化特征以及腐熟评价. *生态学杂志*, 2010, 29(11): 2111-2116.
- [4] 任顺荣, 邵玉翠, 王正祥. 利用畜禽废弃物生产的商品有机肥重金属含量分析. *农业环境科学学报*, 2005, 24(增刊): 216-218.
- [5] 刘荣乐, 李书田, 王秀斌, 王敏. 我国商品有机肥料和有机废弃物中重金属的含量状况与分析. *农业环境科学学报*, 2005, 24(2): 392-397.
- [6] 李书田, 刘荣乐, 陕红. 我国主要畜禽粪便养分含量及变化分析. *农业环境科学学报*, 2009, 28(1): 179-184.
- [7] 郑国砥, 陈同斌, 高定, 罗维, 李艳霞. 好氧高温堆肥处理对猪粪中重金属形态的影响. *中国环境科学*, 2005, 25(1): 6-9.
- [10] 关松荫. 土壤酶及其研究法. 北京: 农业出版社, 1986: 243-277.

- [12] 杨永华, 姚健, 华晓梅. 农药污染对土壤微生物群落功能多样性的影响. 微生物学杂志, 2000, 20(2): 23-25, 47-47.
- [14] 杨志新, 刘树庆. 重金属 Cd、Zn、Pb 复合污染对土壤酶活性的影响. 环境科学学报, 2001, 21(1): 60-63.
- [15] 龙健, 黄昌勇, 滕应, 姚槐应. 矿区废弃地土壤微生物及其生化活性. 生态学报, 2003, 23(3): 496-503.
- [16] 徐华勤, 肖润林, 邹冬生, 宋同清, 罗文, 李盛华. 长期施肥对茶园土壤微生物群落功能多样性的影响. 生态学报, 2007, 27(8): 3355-3361.
- [17] 李胜华, 刘可星, 廖宗文. 特征碳源简化土壤微生物 Biolog 测定的方法及应用. 中国农业科学, 2010, 43(3): 523-528.
- [19] 郭星亮, 谷洁, 高华, 秦清军, 张卫娟, 李海龙, 陈胜男, 刘江, 张洪宾, 陈琳, 邵丽. 重金属 Cu 对堆肥过程中微生物群落代谢和水解酶活性的影响. 农业环境科学学报, 2011, 30(2): 375-382.
- [20] 滕应, 黄昌勇, 龙健, 姚槐应, 刘方. 铜尾矿污染区土壤酶活性研究. 应用生态学报, 2003, 14(11): 1976-1980.
- [21] 张玲, 叶正钱, 李廷强, 杨肖娥. 铅锌矿区污染土壤微生物活性研究. 水土保持学报, 2006, 20(3): 136-140.
- [22] 张惠文, 张倩茹, 周启星, 张成刚. 乙草胺及铜离子复合施用对黑土农田生态系统土著微生物的急性毒性效应. 农业环境科学学报, 2003, 22(2): 129-133.
- [23] 贾彦博, 芮昶, 季天委, 黄凌云, 陈郊, 罗春林. 土壤铜污染的微生物及酶学指标研究. 广东微量元素科学, 2009, 16(3): 44-47.
- [25] 谢文军, 周健民, 王火焰. 重金属 Cu^{2+} 、 Cd^{2+} 及氯氰菊酯对不同施肥模式土壤微生物功能多样性的影响. 环境科学, 2008, 29(10): 2919-2924.
- [26] 魏志强, 王慧, 胡洪营, 李发生. 海河-渤海湾沿线地区沉积物中微生物群落代谢特征. 环境科学学报, 2008, 28(5): 1007-1013.
- [27] 杨元根, Paterson E, Campbell C. 重金属 Cu 的土壤微生物毒性研究. 土壤通报, 2002, 33(2): 137-141.
- [29] 朱亦君, 郑袁明, 贺纪正, 李凌浩, 张蕾. 猪粪中铜对东北黑土的污染风险评价. 应用生态学报, 2008, 19(12): 2751-2756.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 12 June, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Temporal and spatial dynamic changes and landscape pattern response of Hemeroby in Dayang estuary of Liaoning Province, China	SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, WU Tao, et al (3645)
Distribution characteristics of plant communities and soil organic matter and main nutrients in the Poyang Lake Nanji Wetland	ZHANG Qianjun, YU Xiubo, QIAN Jianxin, et al (3656)
Evaluation and construction of wetland ecological network in Qingdao City	FU Qiang, SONG Jun, MAO Feng, et al (3670)
Driving forces analysis for ecosystem health status of littoral zone with dikes: a case study of Lake Taihu	YE Chun, LI Chunhua, WANG Qiuguang, et al (3681)
The concentrations distribution and composition of nitrogen and phosphorus in stormwater runoff from green roofs	WANG Shumin, HE Qiang, ZHANG Junhua, et al (3691)
Effects of slope gradient on the community structures and diversities of soil fauna	HE Xianjin, WU Pengfei, CUI Liwei, et al (3701)
Investigation of populations of parasitic wasps parasitizing <i>Carposina sasakii</i> Matsumura (Lepidoptera: Carposinidae) in jujube orchards in China, with respect to the wasp-host relationship	YAO Yanxia, ZHAO Wenxia, CHANG Jupu, et al (3714)
Assessment of ardeidae waterfowl habitat suitability based on a binary logistic regression model	ZOU Lili, CHEN Xiaoxiang, HE Ying, et al (3722)
Combined effects of temperature, salinity and pH on the clearance rate of juveniles of <i>Pinctada martensii</i> (Dunker)	ZHU Xiaowen, WANG Hui, LIU Jin, et al (3729)
Soil nutrient dynamics and loss risks in a chicken-forage mulberry-medicinal plant intercropping system	ZHAO Liping, YANG Guiming, ZHAO Tongke, et al (3737)
Soil particle size distribution and its relationship with soil organic carbons under different land uses in the middle of Heihe river	ZHANG Junhua, LI Guodong, NAN Zhongren (3745)
Effects of DEM resolution and watershed subdivision on hydrological simulation in the Xingzihe watershed	QIU Linjing, ZHENG Fenli, YIN Runsheng (3754)
Impacts of grid sizes on urban heat island pattern analysis	GUO Guanhua, CHEN Yingbiao, WEI Jianbing, et al (3764)
Landscape connectivity analysis for the forest landscape restoration: a case study of Gongyi City	CHEN Jie, LIANG Guofu, DING Shengyan (3773)
Carbon footprint analysis on urban energy use: a case study of Xiamen, China	LIN Jianyi, MENG Fanxin, CUI Shenghui, et al (3782)
The ecological footprint of alpine pastures at the village-level: a case study of Hezuo in Gannan Autonomous Prefecture, China	WANG Lucang, GAO Jing (3795)
The ecosystem health assessment of the littoral zone of Lake Taihu	LI Chunhua, YE Chun, ZHAO Xiaofeng, et al (3806)
The biomass of <i>Bashania fargesii</i> in giant pandas habitat in Qinling Mountains	DANG Kunliang, CHEN Junxian, SUN Feixiang, et al (3816)
Effects of salinity on seed germination and seedling growth in halophyte <i>Limonium aureum</i> (L.) Hill	YOU Jia, WANG Wenrui, LU Jin, et al (3825)
Liana-host tree associations in the tropical montane primary forest and post-harvest forest of Bawangling, Hainan Island, China	LIU Jinxian, TAO Jianping, HE Zeet al (3834)
The response of photosynthetic characters and biomass allocation of <i>P. bournei</i> young trees to different light regimes	WANG Zhenxing, ZHU Jinmao, WANG Jian, et al (3841)
Genetic variation among populations of the endangered <i>Sinocalycanthus chinensis</i> based on morphological traits and ISSR profiles	JIN Zexin, GU Jingjing, LI Junmin (3849)
Growth response to climate in Chinese pine as a function of tree diameter	JIANG Qingbiao, ZHAO Xiuhai, GAO Lushuang, et al (3859)
Age structure and spatial distribution of the rare and endangered plant <i>Alcimandra cathartii</i>	YUAN Chunming, MENG Guangtao, FANG Xiangjing, et al (3866)
The water consumption and water use efficiency of the seedlings of <i>Eucalyptus grandis</i> and other five tree species in Sichuan Province	HU Hongling, ZHANG Jian, WAN Xueqin, et al (3873)
Effects of leaf litter of <i>Cinnamomum septentrionale</i> on growth and resistance physiology of <i>Brassica rapa</i> in the decomposition process of litter	HUANG Weiwei, HU Tingxing, ZHANG Niannian, et al (3883)
Water transport velocity and efficiency in <i>Quercus variabilis</i> detected with deuterium tracer and thermal dissipation technique	SUN Shoujia, MENG Ping, ZHANG Jinsong, et al (3892)
The saxicolous moss's features of absorbing water and its structural adaptability in the heterogeneous environment with rock desertification	ZHANG Xianqiang, ZENG Jianjun, CHEN Jinwu, et al (3902)
Effects of organic materials containing copper on soil enzyme activity and microbial community	CHEN Lin, GU Jie, GAO Hua, et al (3912)
Comparison of floral morphology and pollination characteristics between the sexes in <i>Eurya obtusifolia</i>	WANG Qian, DENG Hongping, DING Bo, et al (3921)
Climatic suitability of potential spring maize cultivation distribution in China	HE Qijin, ZHOU Guangsheng (3931)
Effects of uniconazole dry seed dressing on nitrogen accumulation and translocation and kernel protein quality in wheat	FAN Gaoqiong, YANG Ennian, ZHENG Ting, et al (3940)
Review and Monograph	
International comparison and policy recommendation on the development model of industrial symbiosis in China	SHI Lei, LIU Guoguo, GUO Siping (3950)
Scientific Note	
The Change of landscape pattern in Zhenlai Xian, Jilin Province in recent ten years	ZHANG Guokun, LU Jinghua, SONG Kaishan, et al (3958)
Footprint analysis of turbulent flux over a poplar plantation in Northern China	JIN Ying, ZHANG Zhiqiang, FANG Xianrui, et al (3966)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究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;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报
(SHENGTAI XUEBAO)
(半月刊 1981 年 3 月创刊)
第 32 卷 第 12 期 (2012 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 32 No. 12 (June, 2012)

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:1000717	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