

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

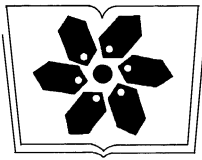
Acta Ecologica Sinica



第33卷 第15期 Vol.33 No.15 **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

(SHENGTAI XUEBAO)

第 33 卷 第 15 期 2013 年 8 月 (半月刊)

目次

前沿理论与学科综述

- 红树林生态系统遥感监测研究进展..... 孙永光,赵冬至,郭文永,等 (4523)
- 基于能值分析方法的城市代谢过程研究——理论与方法 刘耕源,杨志峰,陈 彬 (4539)
- 关于生态文明建设与评价的理论思考 赵景柱 (4552)

个体与基础生态

- 长江口及邻近海域秋冬季小型底栖动物类群组成与分布..... 于婷婷,徐奎栋 (4556)
- 灌河口邻近海域春季浮游植物的生态分布及其营养盐限制..... 方 涛,贺心然,冯志华,等 (4567)
- 春季海南岛近岸海域尿素与浮游生物的脲酶活性..... 黄凯旋,张云,欧林坚,等 (4575)
- 模拟酸雨对蒙古栎幼苗生长和根系伤流量的影响..... 梁晓琴,刘 建,丁文娟,等 (4583)
- 有机酸类化感物质对甜瓜的化感效应..... 张志忠,孙志浩,陈文辉,等 (4591)
- 稻田土壤氧化态有机碳组分变化及其与甲烷排放的关联性..... 吴家梅,纪雄辉,霍莲杰,等 (4599)
- 双氰胺单次配施和连续配施的土壤氮素形态和蔬菜硝酸盐累积变化..... 王煌平,张 青,翁伯琦,等 (4608)
- 不同类型土壤中分枝杆菌噬菌体分离率的比较..... 徐凤宇,苏胜兵,马红霞,等 (4616)
- 模拟酸雨对小麦产量及籽粒蛋白质和淀粉含量及组分的影响 卞雅姣,黄 洁,孙其松,等 (4623)
- 麻花秦艽种子休眠机理及其破除方法 李兵兵,魏小红,徐 严 (4631)
- 4 种金色叶树木对 SO_2 胁迫的生理响应 种培芳,苏世平 (4639)
- 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响..... 熊佰炼,张进忠,代 娟,等 (4649)

种群、群落和生态系统

- 群落水平食物网能流季节演替特征..... 徐 军,周 琼,温周瑞,等 (4658)
- 千岛湖岛屿社鼠的种群数量动态特征..... 张 旭,鲍毅新,刘 军,等 (4665)
- 黄土丘陵沟壑区不同植被区土壤生态化学计量特征..... 朱秋莲,邢肖毅,张 宏,等 (4674)
- 青藏高原高寒草甸退化与人工恢复过程中植物群落的繁殖适应对策..... 李媛媛,董世魁,朱 磊,等 (4683)
- 杉木人工林土壤质量演变过程中土壤微生物群落结构变化..... 刘 丽,徐明恺,汪思龙,等 (4692)
- 不同玉米品种(系)对玉米蚜生长发育和种群增长的影响 赵 曼,郭线茹,李为争,等 (4707)
- 伏牛山自然保护区森林冠层结构对林下植被特征的影响..... 卢训令,丁圣彦,游 莉,等 (4715)
- 内蒙古武川县农田退耕还草对粪金龟子群落的影响 刘 伟,门丽娜,刘新民 (4724)
- 铜和营养缺失对海州香薷两个种群生长、耐性及矿质营养吸收的差异影响 柯文山,陈世俭,熊治廷,等 (4737)
- 新疆喀纳斯国家自然保护区植被叶面积指数观测与遥感估算..... 咎 梅,李登秋,居为民,等 (4744)

景观、区域和全球生态

基于 LUCC 的生态系统服务空间化研究——以张掖市甘州区为例 梁友嘉,徐中民,钟方雷,等 (4758)

人工管理和自然驱动下盐城海滨湿地互花米草沼泽演变及空间差异 张华兵,刘红玉,侯明行 (4767)

基于 PCA 的滇西北高原纳帕海湿地退化过程分析及其评价 尚 文,杨永兴,韩大勇 (4776)

基于遥感和地理信息系统的图们江地区生态安全评价..... 南 颖,吉 喆,冯恒栋,等 (4790)

呼中林区森林景观的历史变域模拟及评价..... 吴志丰,李月辉,布仁仓,等 (4799)

降水时间对内蒙古温带草原地上净初级生产力的影响..... 郭 群,胡中民,李轩然,等 (4808)

研究简报

我国中东部不同气候带成熟林凋落物生产和分解及其与环境因子的关系.....

..... 王健健,王永吉,来利明,等 (4818)

期刊基本参数:CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 304 * zh * P * ¥90.00 * 1510 * 32 * 2013-08



封面图说:石质山区的退耕还林——桂西北地区是我国喀斯特集中分布的地区之一,这里的石漠化不仅造成土地退化、土壤资源逐步消失、干旱缺水和土地生产力下降,而且还导致生态系统退化和植被消亡。桂西北严重的地质生态环境问题,威胁着当地居民的基本生存,严重制约了当地社会经济的发展。增加植被覆盖是防治石漠化的重要举措。随着国家退耕还林、生态移民等治理措施的实施,区域植被碳密度显著增加,生态环境有所好转。图为喀斯特地区农民见缝插针用来耕种的鸡窝地(指小、碎、分散的土地),已经退耕还林了。

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/stxb201205080673

熊佰炼, 张进忠, 代娟, 邢 贻, 徐卫红. 硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响. 生态学报, 2013, 33(15): 4649-4657.

Xiong B L, Zhang J Z, Dai J, Xing Z, Xu W H. Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(15): 4649-4657.

硫丹及其主要代谢产物对紫色土中酶活性的影响

熊佰炼¹, 张进忠^{1,2,*}, 代 娟¹, 邢 贻¹, 徐卫红¹

(1. 西南大学资源环境学院, 三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715;

2. 重庆市农业资源与环境重点实验室, 重庆 400716)

摘要: 采用室内避光培养, 研究了硫丹及其主要代谢产物(硫丹硫酸盐和硫丹二醇)在紫色土中的质量浓度变化及其对土壤酶活性的影响。结果表明, α -、 β -硫丹在紫色土中的消解过程符合一级反应动力学方程, 半衰期分别为 32—99 d 和 69—116 d。代谢产物硫丹硫酸盐浓度在前 20 d 增加较快, 30 d 后基本趋于稳定; 硫丹二醇浓度先增加后减小, 15 d 时达到最大。5 mg/kg 的硫丹处理 5 d 时对脲酶和硝酸还原酶活性起激活作用, 随着培养时间的增加, 硫丹处理对脲酶活性从无显著影响逐渐转向抑制, 第 60 天时抑制作用达到最大; 高浓度处理(100 mg/kg)强烈抑制脲酶活性, 最大降幅达到 94.5%。硫丹处理(除 5 mg/kg 外)对硝酸还原酶活性起抑制作用, 浓度越大, 抑制作用越强, 最大降幅达到 89.9%。5 mg/kg 的处理抑制多酚氧化酶活性, 10—20 mg/kg 的处理 30 d 后由激活逐渐转向抑制; 100 mg/kg 的处理起激活作用, 第 15 天时酶活性达到最大, 随后持续下降, 第 60 天时恢复到对照水平。偏相关分析表明, 脲酶、硝酸还原酶活性与硫丹硫酸盐浓度呈显著负相关, 硫丹硫酸盐抑制这两种酶的活性; 多酚氧化酶活性与 α -、 β -硫丹、硫丹硫酸盐和硫丹二醇浓度的偏相关性不显著。

关键词: 硫丹; 硫丹硫酸盐; 硫丹二醇; 紫色土; 土壤酶活性

Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil

XIONG Bailian¹, ZHANG Jinzhong^{1,2,*}, DAI Juan¹, XING Ze¹, XU Weihong¹

1 College of Resources and Environment, Southwest University, Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Chongqing 400715, China

2 Chongqing Key Laboratory of Agricultural Resources and Environment, Chongqing 400716, China

Abstract: Purple soil samples were treated with technical grade endosulfan at 5 concentration levels (0, 5, 10, 20 and 100 mg/kg), and incubated in glass flask in dark environment for 60 d so as to study the effect of endosulfan and its main metabolites on soil enzyme activities, such as urease, nitrate reductase and polyphenol oxidase. Meanwhile, the mass concentrations of α -、 β -endosulfan, endosulfan sulfate and endosulfan diol in the soil were determined. The results showed that both of the degradation processes of α - and β -endosulfan accorded with the first-order reaction kinetic equation, and the half-times were obtained as 32—99d and 69—116 d, respectively. The half-time increased with the amount of endosulfan spiked in the soil. The concentration of endosulfan sulfate increased continuously in the first 20 d, and kept basically stable after incubation for 30 d. While the concentration of endosulfan diol first increased and reached maximum at the 15th day, and then decreased gradually. Compared with CK (without endosulfan), urease activity in the soil spiked with 5 mg/kg of endosulfan at the 5th day increased 20.0%. Besides this, urease activity in the soil spiked with 5—20 mg/kg of endosulfan gradually turned from no significant change to inhibition with time, and the inhibition reached maximum at the 60th day.

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项经费项目(200903056); 国家高技术研究发展计划项目(2012AA101405); 现代农业产业技术体系建设专项(NYCYTX-35-GW16)

收稿日期: 2012-05-08; 修订日期: 2013-03-15

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jzhzhang@swu.edu.cn

Urease activity was significantly inhibited and the highest decrease percent reached 94.5% at the 5th day in the soil spiked with 100 mg/kg of endosulfan. Pearson correlation analysis indicated that there was significantly negative correlation between urease activity and the concentration of α -, β -endosulfan, endosulfan sulfate, and endosulfan diol, while that was negatively related to the concentration of endosulfan sulfate at the confidence level of 0.05 based on partial correlation analysis. The partial correlation between urease activity and the concentration of α -, β -endosulfan, and endosulfan diol was not significant. It revealed that endosulfan sulfate was an inhibitor to urease. Nitrate reductase activity in the soil spiked with 5 mg/kg of endosulfan increased significantly at the 5th day, and was inhibited with the increases of endosulfan concentration and incubated time, and the highest decrease percent in the soil spiked with 100 mg/kg of endosulfan reached 89.9% at the 60th day. Pearson correlation analysis indicated that there was significantly negative correlation between nitrate reductase activity and the concentration of α -, β -endosulfan, endosulfan sulfate, and endosulfan diol at the confidence level of 0.01, while that was negatively related to the concentration of endosulfan sulfate at the confidence level of 0.01 based on partial correlation analysis. The partial correlation between nitrate reductase activity and the concentration of α -, β -endosulfan, and endosulfan diol was not significant. It revealed that endosulfan sulfate was an inhibitor to nitrate reductase. Polyphenol oxidase activity in the soil spiked with endosulfan changed greatly with time. In general, polyphenol oxidase activity in the soil spiked with 5 mg/kg of endosulfan was inhibited, and that spiked with 10 mg/kg of endosulfan was similar to that of CK, whereas that was significantly lower than that of CK at the 60th day. Compared with CK, polyphenol oxidase activity in the soil spiked with 20 mg/kg of endosulfan had no significant change at the 5th and 30th day, and significantly increased at the 10th and 15th day, and then reached maximum at the 20th day, which was significantly lower at the 60th day, and that in the soil spiked with 100 mg/kg of endosulfan was much higher before the 60th day, and the increase percent reached maximum (139.9%) at the 15th day, and then decreased continuously, finally reached CK level at the 60th day. Pearson correlation analysis indicated that there was significantly positive correlation between polyphenol oxidase activity and the concentration of α -, β -endosulfan, endosulfan sulfate, and endosulfan diol at the confidence level of 0.01, while the partial correlation between polyphenol oxidase activity and their concentration was not significant. These results indicated that the concentrations of α -, β -endosulfan, endosulfan sulfate, and endosulfan diol have little effect on polyphenol oxidase when they exist alone in the soil.

Key Words: endosulfan; endosulfan sulfate; endosulfan diol; purple soil; soil enzyme activity

硫丹(endosulfan)是一种广泛使用的有机氯农药,2011 年被列入持久性有机污染物(POPs)控制清单^[1]。我国从 1994 年开始生产和使用硫丹,多年的施用使得我国大部分地区土壤中都有不同程度的硫丹残留和积累^[2-3]。土壤酶是土壤生化反应的重要催化剂,对土壤物质代谢和养分转化都有显著影响^[4-5]。土壤酶对环境变化非常敏感,可以作为预警土壤环境质量变化和外源性化学污染物的生物指标^[6-7]。硫丹在土壤中的残留势必影响土壤酶活性,相关研究主要涉及的土壤酶有脱氢酶、荧光素二乙酸酯水解酶、酸性磷酸酶、碱性磷酸酶、固氮酶、芳基硫酸酯酶和 β -D-葡萄糖苷酶等^[8-9]。但是,关于硫丹及其主要代谢产物(硫丹硫酸盐和硫丹二醇)对土壤脲酶、硝酸还原酶和多酚氧化酶活性的影响尚不清楚,且未见报道。

土壤脲酶催化尿素水解成 CO₂ 和 NH₃,常作为土壤响应环境干扰的重要指标^[10-12]。硝酸还原酶催化硝态氮还原为亚硝态氮,是反硝化过程中的一种重要酶,参与土壤氮素循环^[13-14]。土壤多酚氧化酶将木质素分解产生的酚类物质氧化为醌类物质,随后形成腐殖质等有机物,其活性高低与土壤有机质的形成和腐殖化程度密切相关^[15-16]。紫色土是长江上游最常见的土壤类型,分布区地形多为丘陵、低山,土壤有机质含量普遍不高,水土流失较为严重^[17],该地区在防治农作物虫害时大量施用硫丹^[2],使得土壤中硫丹残留较为严重^[3]。为此,本研究采用室内避光培养实验,模拟研究硫丹及其主要代谢产物(硫丹硫酸盐和硫丹二醇)对紫色土中上述 3 种酶活性的影响,为探讨硫丹对土壤环境质量的影响和评估农药施用的生态风险提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 供试土壤

供试紫色土采自西南大学实验农场 0—20 cm 土层,该农场无使用硫丹类农药的历史,且未检出硫丹及其代谢产物。采集的土壤样品经自然风干、研磨、分别过 1 mm 和 0.25 mm 筛后备用,其基本理化性质见表 1。

表 1 供试土壤的基本理化性质(0—20 cm 土层)

Table 1 Basic physicochemical property of the tested soil (0—20 cm depth)

pH	有机质	阳离子交换量	全氮	全磷	土壤机械组成 Soil mechanical composition/%		
	Organic matter /(g/kg)	CEC /(cmol/kg)	Total nitrogen /(g/kg)	Total phosphorous /(g/kg)	砂粒 Sand grain	粉粒 Particle	黏粒 Clay fraction
6.23	23.51	28.02	0.65	0.38	42	50	8

1.2 主要试剂和材料

α -硫丹(98%)、 β -硫丹(98.7%)标准品购自美国 Sigma 公司;硫丹硫酸盐(98.5%)、硫丹二醇(99.4%)标准品购自德国 Dr. Ehrenstorfer 公司;

硫丹原药购自河南春光农化有限公司,纯度为 96%,经测定 α 、 β -硫丹的质量比为 62.66:37.34;

乙腈、甲醇均为色谱纯(美国 Thermo Fisher 公司);其余试剂均为分析纯;

Florisil 固相萃取小柱(美国 Welch 公司):500 mg/6 mL,用前经正己烷活化。

1.3 实验步骤和方法

1.3.1 土壤培养与酶活性测定

向过 0.25 mm 筛的土壤中加入溶于石油醚的硫丹原药,充分搅拌混匀,待石油醚完全挥发后,得到质量浓度为 1.00 g/kg 的硫丹污染母土。在过 1 mm 筛的土壤中加入适量的污染母土,多级稀释混匀,使土壤中原药浓度分别为 0、5、10、20 和 100 mg/kg,得到 CK、T₁—T₄ 共 5 种处理。称取制得的土样 300 g,调节含水量至田间最大持水量的 60%,装入广口瓶中,盖上棉塞,在(25 ± 1)℃ 的生化培养箱中避光培养,每个处理做 3 次重复。培养过程中用高温灭菌去离子水补水,维持土样含水量的恒定。第 5、10、15、20、30 和 60 天时采集土样,立即测定土壤酶活性。脲酶、硝酸还原酶和多酚氧化酶的活性分别用尿素残留法、邻苯三酚比色法和酚二磺酸比色法测定^[18],设置无土壤的底物和无底物的土壤为对照。上述方法测定脲酶、硝酸还原酶和多酚氧化酶活性的相对标准偏差(RSD)分别为 5.1%、4.2% 和 4.4% ($n = 5$)。

1.3.2 土壤中硫丹及其代谢产物的提取与净化

土壤中硫丹及其代谢产物的提取在马辉等^[19]和 Kumar 等^[20]方法的基础上加以改进。在培养 0、5、10、15、20、30 和 60 d 时称取相当于 20 g 干土的培养土样,加入 50 mL 丙酮,超声提取 30 min,Whatman 42 号定性滤纸过滤,用少量丙酮多次洗涤滤渣,全部滤液转移至分液漏斗中,加入 10% 的 NaCl 溶液 100 mL,分别用 50、50 和 30 mL 石油醚振荡提取 3 次,每次振摇 5 min 以上,静置分层,弃去下层丙酮水互溶相。提取液经无水 Na₂SO₄ 柱脱水后转移至旋蒸瓶,40℃ 水浴减压浓缩至近干,加入 2 mL 石油醚,旋涡振荡溶解。将 2 mL 浓缩液转移至预先活化的 Florisil 固相萃取小柱,用 10 mL 甲苯/正己烷(65:35)淋洗,收集流出液,氮气吹干,准确加入 2 mL 乙腈,涡旋振荡溶解,供高效液相色谱(HPLC)分析。

1.3.3 硫丹及其代谢产物的测定与质量控制

采用 HPLC (Shimadzu Sil-20A) 分离、SPD-20A 检测器测定硫丹及其代谢产物的含量。色谱柱: Diamonsil™(钻石二代)C₁₈ 液相色谱柱(4.5 μm, 250 mm × 4.6 mm);流动相:乙腈:水(70:30 体积分数),等度洗脱,流速为 1.0 mL/min;进样体积 20 μL;检测波长 214 nm^[21];外标法定量。 α 、 β -硫丹、硫丹硫酸盐和硫丹二醇的检测限均为 0.1 mg/L,4 种化合物在 6 个加标水平获得的平均回收率分别为 96.67%、95.17%、95.33% 和 97.50%,相对标准偏差(RSD)分别为 6.91%、6.03%、6.81% 和 7.24%。

1.4 数据处理

采用 SPSS 16.0 对实验数据进行拟合、Pearson 相关分析和偏相关分析, Origin 8.5 软件绘图。

2 结果与分析

2.1 硫丹在紫色土中的降解过程

α 、 β -硫丹、硫丹硫酸盐和硫丹二醇浓度随时间的变化过程如图 1 所示。从图 1 可以看出, 土壤中 α 、 β -硫丹的浓度均随培养时间的增加而逐渐减少; 前 20 d 硫丹硫酸盐浓度增加较快, 30 d 后基本趋于稳定; 硫丹二醇浓度呈现先增加后减小的趋势, 在 15 d 时达到最大。

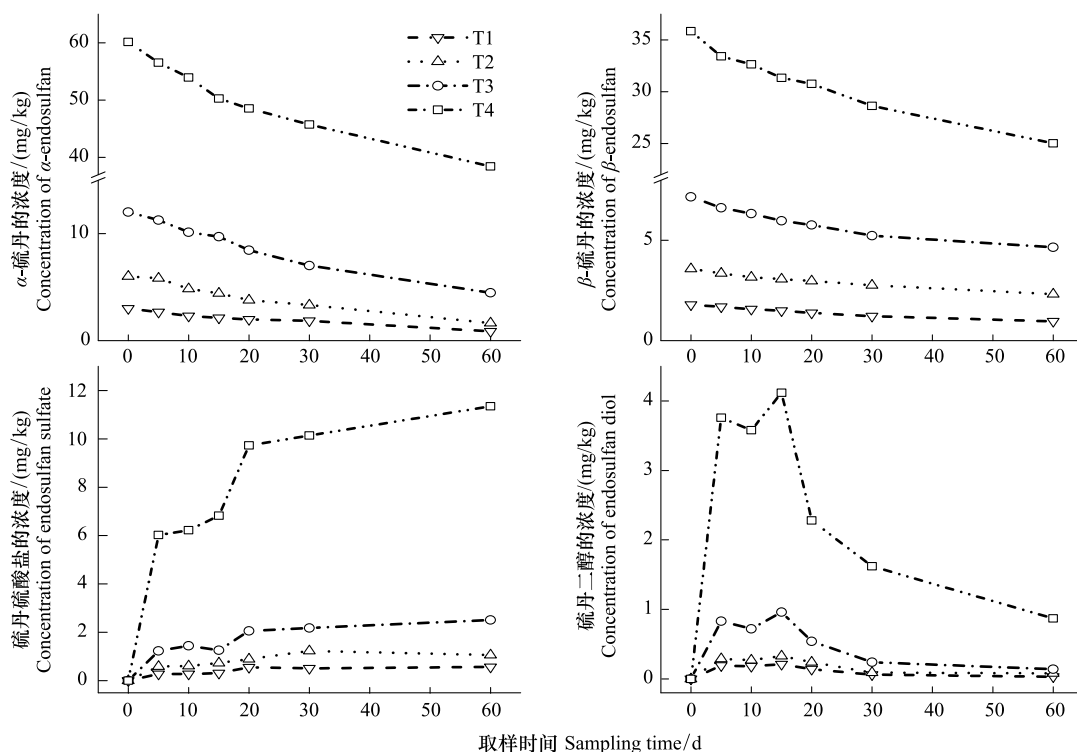


图 1 土壤中硫丹及其代谢产物浓度随时间的变化

Fig. 1 Variations of the concentrations of endosulfan and its metabolites in soil with time

采用一级反应动力学模型拟合土壤中硫丹随培养时间的降解过程, 获得如表 2 所示的结果。一级降解反应动力学方程为:

$$C_t = C_0 e^{-kt} \quad (1)$$

土壤中硫丹的半衰期为:

$$t_{1/2} = \ln 2 / k \quad (2)$$

式中, t 为降解反应时间(d); C_0 和 C_t 分别为土壤中硫丹的初始浓度和 t 时刻的浓度(mg/kg); k 为反应速率常数(d^{-1})。

从表 2 可以看出, 可用一级反应动力学模型描述 α 、 β -硫丹在紫色土中的降解过程, 获得的决定系数在 0.935—0.995 之间。硫丹初始浓度对降解反应速率常数有一定影响, T_1 — T_3 处理时 α -硫丹的降解速率常数相差不大, T_4 处理的速率常数明显变小; T_2 — T_4 处理的 β -硫丹降解速率常数十分接近, 明显小于 T_1 处理的 0.01/d。获得 α 、 β -硫丹的半衰期分别为 32—99 d 和 69—116 d, 高浓度的硫丹在紫色土中降解更慢。

2.2 硫丹处理对土壤酶活性的影响

硫丹处理对土壤酶活性的影响如图 2—图 4 所示。从图 2 可知, CK 处理时脲酶活性为 0.13—0.14 $mg \cdot g^{-1} \cdot 24 h^{-1}$; 添加硫丹的初始浓度越大, 脲酶活性越低。第 5 天时, T_1 处理对脲酶起激活作用, 较 CK 增加

20.0% ($n = 3, P < 0.05$), T_2 处理对脲酶也表现出激活作用,但与 CK 差异不显著;除此之外,硫丹处理对脲酶不再表现出激活作用。第 5—20 天时 T_1 — T_3 处理脲酶活性随时间发生波动,且大部分与 CK 差异不显著,仅 T_3 处理在第 10 天时较 CK 下降 16.2% ($n = 3, P < 0.05$);第 20—60 天时 T_1 — T_3 处理脲酶活性随时间持续下降,第 60 天时受到明显抑制,较 CK 分别下降 19.2%、34.8% 和 46.9% ($n = 3, P < 0.01$)。 T_4 处理对脲酶活性有强烈的抑制作用,第 5、10、15、20、30 和 60 天时分别下降 94.5%、85.0%、68.8%、90.1%、56.7% 和 71.9% ($n = 3, P < 0.01$)。

表 2 土壤中 α 、 β -硫丹降解的动力学方程($n=7$)

Table 2 Dynamic equations of endosulfan degradation in soil

硫丹 Endosulfan	处理 Treatment	动力学方程 Dynamical equation	速率常数 Rate constant/ d^{-1}	决定系数 Determination coefficient	半衰期 Half-time/d
α -硫丹	T_1	$C_1 = 2.965\exp(-0.02t)$	0.020	0.976	35
	T_2	$C_1 = 6.149\exp(-0.022t)$	0.022	0.993	32
	T_3	$C_1 = 12.062\exp(-0.017t)$	0.017	0.995	41
	T_4	$C_1 = 57.850\exp(-0.007t)$	0.007	0.966	99
β -硫丹	T_1	$C_1 = 1.747\exp(-0.01t)$	0.010	0.983	69
	T_2	$C_1 = 3.453\exp(-0.007t)$	0.007	0.978	99
	T_3	$C_1 = 6.803\exp(-0.007t)$	0.007	0.935	99
	T_4	$C_1 = 34.660\exp(-0.006t)$	0.006	0.974	116

从图 3 可知,CK 处理时硝酸还原酶活性为 0.950—1.161 $mg \cdot g^{-1} \cdot 24 h^{-1}$ 。 T_1 处理,第 5 天对硝酸还原酶起激活作用,较 CK 增加 12.3% ($n = 3, P < 0.05$);第 20 和 60 天,酶活性与 CK 差异不显著。除此之外,硫丹处理对硝酸还原酶活性表现出明显的抑制作用,抑制作用随添加硫丹初始浓度的增加而逐渐增强。 T_1 — T_3 处理酶活性变化的趋势基本相同,说明这 3 个处理对硝酸还原酶活性的作用机理可能相同; T_4 处理第 5、10、15、20、30 和 60 天时酶活性较 CK 分别下降 54.8%、70.1%、72.8%、84.3%、88.8% 和 89.9% ($n = 3, P < 0.01$),表明高浓度硫丹对酶活性的作用方式可能发生了变化。

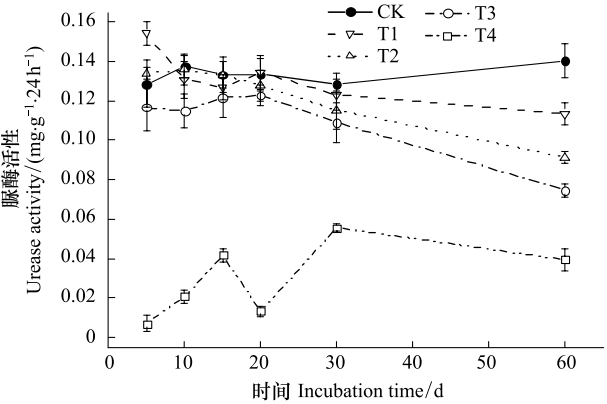


图 2 硫丹对土壤脲酶活性的影响
Fig. 2 Effect of endosulfan on urease activity in soil
图中数据为 $\bar{x} \pm s$

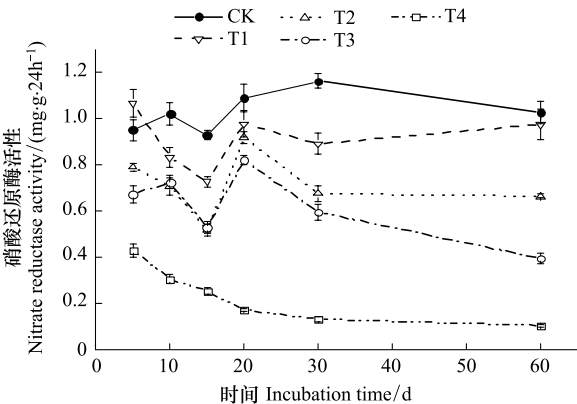


图 3 硫丹对土壤硝酸还原酶活性的影响
Fig. 3 Effect of endosulfan on nitrate reductase activity in soil

从图 4 可知,CK 处理时多酚氧化酶活性为 0.57—0.72 $mg \cdot g^{-1} \cdot 2 h^{-1}$,除 T_4 处理的酶活性峰值出现在第 15 天, T_1 — T_3 处理均出现在第 20 天。 T_1 处理对多酚氧化酶表现出一定的抑制作用,第 10、15、30 和 60 天时酶活性较 CK 分别下降 12.6%、12.3%、25.3% 和 22.7% ($n = 3, P < 0.05$),但第 5 和 20 天时对酶活性影响不显著。 T_2 处理对多酚氧化酶活性的影响不大,仅第 60 天时表现出较强的抑制作用,酶活性较 CK 下降 14.

2% ($n = 3, P < 0.01$)。T₃ 处理对多酚氧化酶活性的影响随时间变化较大,表现为“无显著影响(第 5 天)—激活(第 10、15、20 天)—无显著影响(第 30 天)—抑制(第 60 天)”的变化趋势。第 5、10、15、20 和 30 天,T₄ 处理对多酚氧化酶起激活作用,酶活性较 CK 分别增加 92.6%、93.6%、139.9%、83.8% 和 31.3% ($n = 3, P < 0.01$);第 60 天,多酚氧化酶活性恢复到 CK 水平。总体来说,随着添加硫丹初始浓度的增大,多酚氧化酶活性呈“抑制(T₁ 处理)—无影响(T₂ 处理)—激活(T₃ 和 T₄ 处理)”的变化趋势。

2.3 硫丹残留与土壤酶活性的关系

硫丹在土壤中以多种途径转化,硫丹硫酸盐和硫丹二醇是其主要代谢产物。将酶活性与硫丹及其主要代谢产物浓度进行 Pearson 相关分析和偏相关分析,结果见表 3。

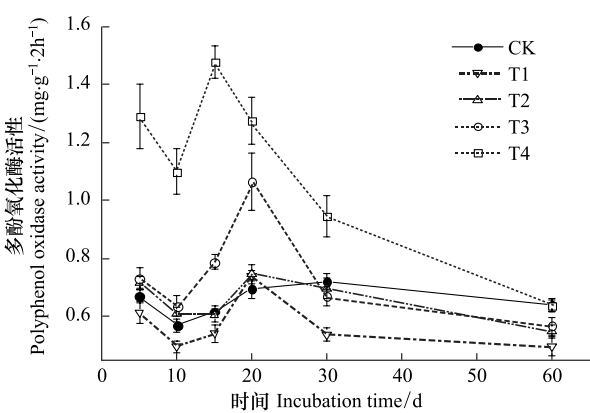


图 4 硫丹对土壤多酚氧化酶活性的影响

Fig 4 Effect of endosulfan on polyphenol oxidase activity in soil

表 3 土壤酶活性与硫丹及其代谢产物浓度的相关关系

化合物 Compound	脲酶 Urease		硝酸还原酶 Nitrate reductase		多酚氧化酶 Polyphenol oxidase	
	Pearson 相关系数	偏相关系数	Pearson 相关系数	偏相关系数	Pearson 相关系数	偏相关系数
	Pearson correlation coefficient	Partial correlation coefficient	Pearson correlation coefficient	Partial correlation coefficient	Pearson correlation coefficient	Partial correlation coefficient
α-硫丹	-0.587 **	0.098	-0.683 **	0.206	0.823 **	0.034
β-硫丹	-0.661 **	-0.290	-0.743 **	-0.170	0.813 **	0.022
硫丹硫酸盐	-0.795 **	-0.522 *	-0.876 **	-0.691 **	0.628 **	0.109
硫丹二醇	-0.475 *	0.260	-0.639 **	-0.177	0.842 **	0.363

* * 显著性水平 0.01; * 显著性水平 0.05

从 Pearson 相关系数来看,土壤脲酶和硝酸还原酶活性与 α-、β-硫丹、硫丹硫酸盐和硫丹二醇浓度均呈显著负相关,多酚氧化酶活性与其呈显著正相关。可见,土壤中这 4 种化合物对脲酶和硝酸还原酶活性均起抑制作用,对多酚氧化酶活性起激活作用。但是,当多个影响因素同时存在时,Pearson 相关分析不能真实反映变量间的相关关系。因此,在考察土壤酶活性与硫丹或其代谢产物浓度的相关关系时,需要控制其它变量的影响,进行偏相关分析。

从表 3 的偏相关分析结果可以看出,脲酶活性与 α-、β-硫丹和硫丹二醇浓度间的偏相关系数均未达到显著水平,表明这 3 种化合物单独作用时对脲酶活性的影响均不大;脲酶活性与硫丹硫酸盐浓度间的偏相关系数为-0.522,呈显著负相关,对脲酶活性起抑制作用。硝酸还原酶活性与 α-、β-硫丹和硫丹二醇浓度的偏相关性不显著,表明这 3 种化合物单独作用时对其活性的影响较弱;硝酸还原酶活性与硫丹硫酸盐间的偏相关系数为-0.691,呈显著负相关,对硝酸还原酶活性起抑制作用。多酚氧化酶活性与 α-、β-硫丹、硫丹硫酸盐和硫丹二醇浓度间的偏相关系数均未达到显著水平,表明这 4 种化合物单独作用时对多酚氧化酶活性的直接影响较小。

3 讨论

在农业土壤环境中,农药的迁移转化主要有挥发、淋溶、水解、光解、微生物降解和生物吸收等途径,其中许多过程不受农药初始浓度的影响,符合一级反应动力学特征,半衰期通常是一个常数^[22]。但本研究中 α-、β-硫丹的半衰期分别为 32—99 d 和 69—116 d,随硫丹初始浓度不同而发生改变。Awasthi 等^[23]的研究也表明,硫丹在土壤中的降解速率会随其初始浓度的增加而减慢。其原因可能是在室内培养条件下,土壤微生物和酶活性是影响硫丹降解的主要因素。硫丹具有生物毒性,高浓度硫丹处理对微生物和酶活性的毒害作用更

大,抑制了微生物和酶对硫丹的降解。

脲酶活性与 α - β -硫丹和硫丹硫酸盐浓度间的 Pearson 相关系数(-0.587、-0.661 和-0.795)大于偏相关系数(0.098、-0.290 和-0.522),表明这 3 种化合物同时存在时对脲酶活性的影响比其单独存在时强。Soto 等^[24]和 Wan 等^[25]的研究表明, α - β -硫丹和硫丹硫酸盐对陆生和水生生物、人体的联合毒性高于单一化合物,表现出毒性的协同作用。由此看来, α - β -硫丹和硫丹硫酸盐共存时对脲酶活性的抑制作用高于单一化合物,使得硫丹处理能显著降低土壤脲酶的活性。但是,图 2 中 T_1 处理 5 d 时脲酶活性高于 CK,表现出激活作用,与相关分析获得的结论不符。这可能是因为土壤中存在两种形式的脲酶^[26]:一是吸附在土壤有机质和土壤矿物中的胞外脲酶;二是以游离态存在于微生物细胞中的胞内脲酶。有机氯农药对微生物具有毒性,可破坏甚至杀死土壤微生物细胞,使部分胞内脲酶释放出来,增大脲酶的浓度,进而增强土壤中脲酶的活性^[27]。 T_1 处理 5 d 时,硫丹及其代谢产物可能破坏微生物细胞,释放出的胞内脲酶增加了土壤中的酶浓度,导致脲酶活性比 CK 大。随着培养时间的增加,不适应硫丹胁迫的微生物细胞被全部破坏,适应硫丹胁迫的微生物不再释放胞内脲酶,硫丹处理对脲酶活性不再表现出激活作用。 T_2 、 T_3 和 T_4 处理 5 d 时脲酶活性未表现激活作用,可能与硫丹的浓度较高有关。Nasreen 等^[28]的研究表明,硫丹施用量为 1.0—7.5 kg/hm²(约为 10—75 mg/kg^[29])时对黑粘土(Black clay soil)中脲酶起激活作用,本研究却发现 10—100 mg/kg 硫丹处理可抑制紫色土中脲酶活性;当硫丹浓度增大到 10.0 kg/hm²(约为 100 mg/kg^[29])时,对脲酶活性的影响由激活转向抑制^[28],与本研究 100 mg/kg 硫丹抑制紫色土中脲酶活性的结果一致。Sannino 等^[30]发现,在同一种农药(草甘膦或百草枯)的作用下,不同类型土壤中脲酶活性出现被抑制和激活的两种截然不同结果。由此看来,硫丹对土壤脲酶活性的影响可能与土壤类型有关。

硝酸还原酶活性与 β -硫丹、硫丹硫酸盐和硫丹二醇浓度间的 Pearson 相关系数(-0.743、-0.876 和 -0.639)大于偏相关系数(-0.170、-0.691 和-0.177),表明这 3 种化合物同时存在时对硝酸还原酶活性的抑制作用强于单一化合物,对酶活性的影响类似于毒物之间的协同作用。图 3 中 T_1 处理 5 d 时硝酸还原酶活性高于 CK,其原因还有待进一步研究。硫丹影响土壤酶活性可长达数月,作用结果表现为持续抑制、持续激活、激活与抑制作用随时间变化等 3 种形式^[8-9, 31-32]。Kalyani 等^[9]发现,硫丹在 98 d 内可持续抑制土壤固氮菌产生的固氮酶。Buff 等^[33]认为,硫丹可以吸附于固氮菌细胞膜,并进入细胞内部与胞内蛋白质结合,对固氮菌产生毒害作用,抑制固氮酶活性。图 2 和图 3 中 60 d 内土壤脲酶和硝酸还原酶活性受到持续抑制,偏相关分析表明起抑制作用的主要是残留期比母体化合物更长的硫丹硫酸盐,这两种酶活性的抑制作用机理是否类似于硫丹持续抑制固氮酶活性,还需要进一步研究。

Pearson 相关分析表明,多酚氧化酶活性与 α - β -硫丹、硫丹硫酸盐和硫丹二醇浓度间均呈显著正相关,而偏相关分析显示多酚氧化酶活性与它们均无显著相关性,说明这 4 种化合物单独存在时对多酚氧化酶活性影响较小,对酶活性的影响可能是它们共同作用的结果。图 4 中 T_2 — T_4 处理,硫丹含量越高,多酚氧化酶的活性越强,其中 T_3 和 T_4 处理分别在培养 5—20 d 和 30 d 时显著激活多酚氧化酶活性。Gianfreda 等^[34]和周礼恺^[4]报道,含苯环的化合物能诱导和激活土壤中多酚氧化酶的活性,并促进该类化合物的氧化分解。Chen 等^[35]进一步证实,在一定条件下,土壤中多环化合物的浓度越大,多酚氧化酶的活性越强。李钠等^[36]研究表明,含杂环的尼古丁和烟焦油能诱导胞内多酚氧化酶向胞外迁移,增加该酶的活性。硫丹的分子结构中含有两个五元碳环、一个六元碳环、一个七元杂环,这可能是 T_3 和 T_4 处理在培养初期可显著激活多酚氧化酶活性的原因之一。Defo 等^[8]的研究显示,硫丹可为某些微生物的生长提供碳源,增加了土壤中酶的活性,使得硫丹处理初期多酚氧化酶被激活。图 4 中 T_2 — T_4 处理对多酚氧化酶活性最终都起抑制作用,可能与硫丹的高毒代谢产物硫丹硫酸盐的积累有关,除第 5 天和 20 天外, T_1 处理显著抑制多酚氧化酶活性的原因还有待进一步研究。

References:

- [1] Yang J, Zhang W J. Current situation of production, use and management of endosulfan. Pesticide Science and Administration, 2011, 32(10): 6-

- 9.
- [2] Jia H L, Li Y F, Wang D G, Cai D J, Yang M, Ma J M, Hu J X. Endosulfan in China 1-gridded usage inventories. *Environmental Science and Pollution Research*, 2009, 16(3): 295-301.
- [3] Jia H L, Sun Y Q, Li Y F, Tian C G, Wang D G, Yang M, Ding Y S, Ma J M. Endosulfan in China 2-emissions and residues. *Environmental Science and Pollution Research*, 2009, 16(3): 302-311.
- [4] Zhou L K. *Soil Enzymology*. Beijing: Science Press, 1987: 116-222.
- [5] He W X, Yao M J, Sun L N, Sun T H. Effects of furadan on soil enzyme activity. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2007, 18(8): 1921-1924.
- [6] Zhang Y L, Chen L J, Zhang L L. Enzymological indicators of soil quality. *Chinese Journal of Soil Science*, 2005, 36(4): 598-604.
- [7] Fan K, Wang K Y, Wang D, Xia X M, Liu Z L, Wang H Y. Effects of 1, 3-dichloropropene on soil microbial population and enzyme activities. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(2): 695-701.
- [8] Defo M A, Njine T, Nola M, Beboua F S. Microcosm study of the long term effect of endosulfan on enzyme and microbial activities on two agricultural soils of Yaounde-Cameroon. *African Journal of Agricultural Research*, 2011, 6(9): 2039-2050.
- [9] Kalyani S S, Sharma J, Dureja P, Singh S, Lata. Influence of endosulfan on microbial biomass and soil enzymatic activities of a tropical alfisol. *Bulletin of Environment Contamination and Toxicology*, 2010, 84(3): 351-356.
- [10] Tejada M, Gonzalez J L, Hernandez M T, Garcia C. Application of different organic amendments in a gasoline contaminated soil: Effect on soil microbial properties. *Bioresource Technology*, 2008, 99(8): 2872-2880.
- [11] Shen G Q, Lu Y T, Zhou Q X, Hong J B. Interaction of polycyclic aromatic hydrocarbons and heavy metals on soil enzyme. *Chemosphere*, 2005, 61(8): 1175-1182.
- [12] Hinojosa M B, Carreira J A, Rodriguez-maroto J M, Garcia-Ruiz R. Effects of pyrite sludge pollution on soil enzyme activities: Ecological dose-response model. *Science of the Total Environment*, 2008, 396(2/3): 89-99.
- [13] Zhang Z D, Zhao L P. The significance of soil enzyme in studying soil fertility management. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(2): 362-368.
- [14] Chen L J, Wu Z J, Jiang Y, Zhou L K. Response of N transformation related soil enzyme activities to inhibitor applications. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2002, 13(9): 1099-1103.
- [15] Hao J C, Wu Y Y, Lian B, Wu C D. Properties of polyphenoloxidase in soil and its significance. *Chinese Journal of Soil Science*, 2006, 37(3): 470-474.
- [16] Yue Z H, Wang B W, Wang H F, Yan X F. Polyphenol oxidase activity and its relationship to the soil main fertilizer factor in west Songnen alkali grassland. *Acta Pratacul Turae Sinica*, 2009, 18(4): 251-255.
- [17] He Y R. *Purple Soil in China (Volume 2)*. Beijing: Science Press, 2003: 13-31.
- [18] Pi G J, Tang S Y. *Principle and Application of Agricultural Environmental Monitoring*. Chengdu: Chengdu University of Science and Technology Press, 1998: 148-154.
- [19] Ma H, Zhang D H, Li X X, Zhang S J, Chen Y D. Study on a residues dynamics of endosulfan in cotton and soil. *Journal of Shihezi University: Natural Science Edition*, 2008, 26(5): 579-582.
- [20] Kumar P, Singh S P, Madhukar D, Kotresh A M. Determination of endosulfan residues in buffalo meat using high performance liquid chromatography. *Buffalo Bulletin*, 2009, 28(4): 188-197.
- [21] Siddique T, Zahir A Z, Frankenberger W T. Reversed-phase liquid chromatographic method for analysis of endosulfan and its major metabolites. *Journal of Liquid Chromatography & Related Technologies*, 2003, 26(7): 1069-1082.
- [22] Hamaker J W. Mathematical Prediction of Cumulative Levels of Pesticides in Soil. In Rosen A A and Kraybill H F (eds.), *Organic Pesticides in the Environment*. Washington D C: American Chemical Society, 1966, 60(10): 122-131.
- [23] Awasthi N, Ahuja R, Kumar A. Factors influencing the degradation of soil-applied endosulfan isomers. *Soil Biology and Biochemistry*, 2000, 32(11/12): 1697-1705.
- [24] Soto A M, Chung K L, Sonnenschein C. The pesticides endosulfan, toxaphene, and dieldrin have estrogenic effects on human estrogen-sensitive cells. *Environmental Health Perspectives*, 1994, 102(4): 380-383.
- [25] Wan M T, Kuo J N, Buday C, Schroeder G, Aggelen G V, Pasternak J. Toxicity of α - and β -endosulfan and their formulated and degradation products to *Daphnia magna*, *Hyalella azteca*, *Oncorhynchus mykiss*, *Oncorhynchus kisutch*, and biological implications in streams. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 2005, 24(5): 1146-1154.
- [26] Pettit N M, Smith A R J, Freedman R B, Burns R G. Soil urease: activity, stability and kinetic properties. *Soil Biology and Biochemistry*, 1976, 8(6): 479-484.

- [27] Wang C Y, He W X, Liu H L, Lai H X, Deng X C. Effect of monochlorobenzene on soil urease activity characteristics. Journal of Northwest Sci-Tech University of Agriculture and Forestry: Natural Science Edition, 2009, 37(7): 171-175.
- [28] Nasreen C, Mohiddin G J, Srinivasulu M, Padmini R A, Ramanamma P, Rangaswamy V. Interaction effects of insecticides on enzyme activities in black clay soil from groundnut (*Arachis hypogaea* L.) fields. Environmental Research, Engineering and Management, 2012, 60(2): 21-28.
- [29] Nasreen C, Mohiddin G J, Srinivasulu M, Padmini R A, Ramanamma P, Rangaswamy V. Responses of soil enzymes to insecticides in groundnut (*Arachis hypogaea* L.) cultivated black soil. World Journal of Agricultural Sciences, 2012, 8(2): 163-168.
- [30] Sannino F, Gianfreda L. Pesticide influence on soil enzymatic activities. Chemosphere, 2001, 45(4/5): 417-425.
- [31] Giri P K, Saha M, Halder M P, Mukherjee D. Effect of pesticides on microbial transformation of sulphur in soil. Journal of Soil Science and Environmental Management, 2011, 2(4): 97-102.
- [32] Kumar S. Effect of endosulfan and chlorpyrifos on protease activity in the cultivated soil. International Journal of Advanced Engineering Technology, 2011, 2(3): 188-192.
- [33] Buff K, Mano D M S, Langenbach T. Effect of endosulfan on *Azospirillum lipoferum* growth, morphology, nitrogenase activity, and protein binding. Applied and Environmental Microbiology, 1992, 58(9): 3173-3176.
- [34] Gianfreda L, Rao M A, Piotrowska A, Palumbo G, Colombo C. Soil enzyme activities as affected by anthropogenic alterations: intensive agricultural practices and organic pollution. Science of the Total Environment, 2005, 341(1/3): 265-279.
- [35] Chen Y, Wang C X, Wang Z J, Huang S B. Assessment of the contamination and genotoxicity of soil irrigated with wastewater. Plant and Soil, 2004, 261(1/2): 189-196.
- [36] Li N, Zhang J, Min H, Shao A P, Zhou H J. Variation of polyphenoloxidase in phenanthrene-degrading and other aromatic compounds-degrading bacteria. Agriculture and Life Sciences, 2006, 32(5): 495-499.

参考文献:

- [1] 杨峻, 张文君. 硫丹的生产使用现状及管理动态. 农药科学与管理, 2011, 32(10): 6-9.
- [4] 周礼恺. 土壤酶学. 北京: 科学出版社, 1987: 116-222.
- [5] 和文祥, 姚敏杰, 孙丽娜, 孙铁珩. 呋喃丹对土壤酶活性的影响. 应用生态学报, 2007, 18(8): 1921-1924.
- [6] 张玉兰, 陈利军, 张丽莉. 土壤质量的酶学指标研究. 土壤通报, 2005, 36(4): 598-604.
- [7] 范昆, 王开运, 王东, 夏晓明, 刘振龙, 王红艳. 1, 3-二氯丙烯药剂对土壤微生物数量和酶活性的影响. 生态学报, 2008, 28(2): 695-701.
- [13] 张志丹, 赵兰坡. 土壤酶在土壤有机培肥研究中的意义. 土壤通报, 2006, 37(2): 362-368.
- [14] 陈利军, 武志杰, 姜勇, 周礼恺. 与氮转化有关的土壤酶活性对抑制剂施用的响应. 应用生态学报, 2002, 13(9): 1099-1103.
- [15] 郝建朝, 吴沿友, 连宾, 吴春笃. 土壤多酚氧化酶性质研究及意义. 土壤通报, 2006, 37(3): 470-474.
- [16] 岳中辉, 王博文, 王洪峰, 阎秀峰. 松嫩平原西部盐碱草地土壤多酚氧化酶活性及其与主要肥力因子的关系. 草业学报, 2009, 18(4): 251-255.
- [17] 何毓蓉. 中国紫色土(下篇). 北京: 科学出版社, 2003: 13-31.
- [18] 皮广洁, 唐书源. 农业环境监测原理与应用. 成都: 成都科技大学出版社, 1998: 148-154.
- [19] 马辉, 张东海, 李小侠, 张少军, 陈勇达. 硫丹在棉花及土壤中的残留动态研究. 石河子大学学报: 自然科学版, 2008, 26(5): 579-582.
- [27] 王聪颖, 和文祥, 刘海轮, 来航线, 邓小成. 一氯苯对土壤脲酶活性特征的影响. 西北农林科技大学学报: 自然科学版, 2009, 37(7): 171-175.
- [36] 李钠, 章骥, 闵航, 邵爱萍, 周红军. 菲和其他芳香族化合物降解菌多酚氧化酶的变化研究. 浙江大学学报: 农业与生命科学版, 2006, 32(5): 495-499.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 33, No. 15 Aug. ,2013(Semimonthly)

CONTENTS

Frontiers and Comprehensive Review

- A review on the application of remote sensing in mangrove ecosystem monitoring SUN Yongguang, ZHAO Dongzhi, GUO Wenyong, et al (4523)
- Urban metabolism process based on emergy synthesis: Theory and method LIU Gengyuan, YANG Zhifeng, CHEN Bin (4539)
- Theoretical considerations on ecological civilization development and assessment ZHAO Jingzhu (4552)

Autecology & Fundamentals

- Assemblage composition and distribution of meiobenthos in the Yangtze Estuary and its adjacent waters in autumn-winter season Yu Tingting, XU Kuidong (4556)
- Ecological distribution and nutrient limitation of phytoplankton in adjacent sea of Guanhe Estuary in spring FANG Tao, HE Xinran, FENG Zhihua, et al (4567)
- The distribution of urea concentrations and urease activities in the coastal waters of Hainan Island during the spring HUANG Kaixuan, ZHANG Yun, OU Linjian, et al (4575)
- Effects of simulated acid rain on growth and bleeding sap amount of root in *Quercus mongolica* LIANG Xiaoqin, LIU Jian, DING Wenjuan, et al (4583)
- Allelopathic effects of organic acid allelochemicals on melon ZHANG Zhizhong, SUN Zhihao, CHEN Wenhui, et al (4591)
- Fraction changes of oxidation organic carbon in paddy soil and its correlation with CH₄ emission fluxes WU Jiamei, JI Xionghui, HUO Lianjie, et al (4599)
- Changes of soil nitrogen types and nitrate accumulation in vegetables with single or multiple application of dicyandiamide WANG Huangping, ZHANG Qing, WENG Boqi, et al (4608)
- Comparison of isolation rate of mycobacteriophage in the different type soils XU Fengyu, SU Shengbing, MA Hongxia, et al (4616)
- Effects of different acidity acid rain on yield, protein and starch content and components in two wheat cultivars BIAN Yajiao, HUANG Jie, SUN Qisong, et al (4623)
- The causes of *Gentiana straminea* Maxim. seeds dormancy and the methods for its breaking LI Bingbing, WEI Xiaohong, XU Yan (4631)
- Physiological responses of four golden-leaf trees to SO₂ stress CHONG Peifang, SU Shiping (4639)
- Influence of endosulfan and its metabolites on enzyme activities in purple soil XIONG Bailian, ZHANG Jinzhong, DAI Juan, et al (4649)

Population, Community and Ecosystem

- Seasonal dynamics of food web energy pathways at the community-level XU Jun, ZHOU Qiong, WEN Zhourui, et al (4658)
- Population dynamics of *Niviventer confucianus* in Thousand Island Lake ZHANG Xu, BAO Yixin, LIU Jun, et al (4665)
- Soil ecological stoichiometry under different vegetation area on loess hilly-gully region ZHU Qiulian, XING Xiaoyi, ZHANG Hong, et al (4674)
- Adaptation strategies of reproduction of plant community in response to grassland degradation and artificial restoration LI Yuanyuan, DONG Shikui, ZHU Lei, et al (4683)
- Effect of different *Cunninghamia lanceolata* plantation soil qualities on soil microbial community structure LIU Li, XU Mingkai, WANG Silong, et al (4692)
- Effects of different maize hybrids (inbreds) on the growth, development and population dynamics of *Rhopalosiphum maidis* Fitch ZHAO Man, GUO Xianru, LI Weizheng, et al (4707)
- Effects of forest canopy structure on understory vegetation characteristics of Funiu Mountain Nature Reserve LU Xunling, DING Shengyan, YOU Li, et al (4715)

- Influence of restoring cropland to grassland on dung beetle assemblages in Wuchuan County, Inner Mongolia, China LIU Wei, MEN Lina, LIU Xinmin (4724)
- Cu and nutrient deficiency on different effects of growth, tolerance and mineral elements accumulation between two *Elsholtzia haichouensis* populations KE Wenshan, CHEN Shijian, XIONG Zhiting, et al (4737)
- Measurement and retrieval of leaf area index using remote sensing data in Kanas National Nature Reserve, Xinjiang ZAN Mei, LI Dengqiu, JU Weimin, et al (4744)
- Landscape, Regional and Global Ecology**
- An spatial ecosystem services approach based on LUCC: a case study of Ganzhou district of Zhangye City LIANG Youjia, XU Zhongmin, ZHONG Fanglei, et al (4758)
- Spatiotemporal characteristics of *Spartina alterniflora* marsh change in the coastal wetlands of Yancheng caused by natural processes and human activities ZHANG Huabing, LIU Hongyu, Hou Minghang (4767)
- Process analysis and evaluation of wetlands degradation based on PCA in the lakeside of Napahai, Northwest Yunnan Plateau SHANG Wen, YANG Yongxing, HAN Dayong (4776)
- On eco-security evaluation in the Tumen River region based on RS&GIS NAN Ying, JI Zhe, FENG Hengdong, et al (4790)
- Evaluation and simulation of historical range of variability of forest landscape pattern in Huzhong area WU Zhifeng, LI Yuehui, BU Rencang, et al (4799)
- Effects of precipitation timing on aboveground net primary productivity in inner mongolia temperate steppe GUO Qun, HU Zhongmin, LI Xuanran, et al (4808)
- Research Notes**
- Litter production and decomposition of different forest ecosystems and their relations to environmental factors in different climatic zones of mid and eastern China WANG Jianjian, WANG Yongji, LAI Liming, et al (4818)

《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工作者,探索生态学奥秘,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

本期责任副主编 赵景柱

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 33 卷 第 15 期 (2013 年 8 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 33 No. 15 (August, 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	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	王如松	Editor-in-chief	WANG Rusong
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: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@csppg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@csppg.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 90.00 元