

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第9期 Vol.32 No.9 **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 9 期

2012 年 5 月 (半月刊)

目 次

不同土地覆被格局情景下多种生态系统服务的响应与权衡——以雅砻江二滩水利枢纽为例	葛菁, 吴楠, 高吉喜, 等 (2629)
放牧对小嵩草甸生物量及不同植物类群生长率和补偿效应的影响	董全民, 赵新全, 马玉寿, 等 (2640)
象山港日本对虾增殖放流的效果评价	姜亚洲, 凌建忠, 林楠, 等 (2651)
城市景观破碎化格局与城市化及社会经济发展水平的关系——以北京城区为例	仇江啸, 王效科, 逯非, 等 (2659)
江河源区高寒草甸退化序列上“秃斑”连通效应的元胞自动机模拟	李学玲, 林慧龙 (2670)
铁西区城市改造过程中建筑景观的演变规律	张培峰, 胡远满, 熊在平, 等 (2681)
商洛低山丘陵区农林复合生态系统光能竞争与生产力	彭晓邦, 张硕新 (2692)
基于生物量因子的山西省森林生态系统服务功能评估	刘勇, 李晋昌, 杨永刚 (2699)
不同沙源供给条件下柽柳灌丛与沙堆形态的互馈关系——以策勒绿洲沙漠过渡带为例	杨帆, 王雪芹, 杨东亮, 等 (2707)
桂西北喀斯特区原生林与次生林凋落叶降解和养分释放	曾昭霞, 王克林, 曾馥平, 等 (2720)
江西九连山亚热带常绿阔叶林优势种空间分布格局	范娟, 赵秀海, 汪金松, 等 (2729)
秦岭山地锐齿栎次生林幼苗更新特征	康冰, 王得祥, 李刚, 等 (2738)
极端干旱环境下的胡杨木质部水力特征	木巴热克·阿尤普, 陈亚宁, 等 (2748)
红池坝草地常见物种叶片性状沿海拔梯度的响应特征	宋璐璐, 樊江文, 吴绍洪, 等 (2759)
改变 C 源输入对油松人工林土壤呼吸的影响	汪金松, 赵秀海, 张春雨, 等 (2768)
啮齿动物捕食压力下生境类型和覆盖处理对辽东栎种子命运的影响	闫兴富, 周立彪, 刘建利 (2778)
上海闵行区园林鸟类群落嵌套结构	王本耀, 王小明, 王天厚, 等 (2788)
胜利河连续系统中蜉蝣优势种的生产量动态和营养基础	邓山, 叶才伟, 王利肖, 等 (2796)
虾池清塘排出物沉积厚度对老鼠簕幼苗的影响	李婷, 叶勇 (2810)
澳大利亚亚热带不同森林土壤微生物群落对碳源的利用	鲁顺保, 郭晓敏, 芮亦超, 等 (2819)
镜泊湖岩溶台地不同植被类型土壤微生物群落特征	黄元元, 曲来叶, 曲秀春, 等 (2827)
浮床空心菜对氮循环细菌数量与分布和氮素净化效果的影响	唐莹莹, 李秀珍, 周元清, 等 (2837)
促分解菌剂对还田玉米秸秆的分解效果及土壤微生物的影响	李培培, 张冬冬, 王小娟, 等 (2847)
秸秆还田与全膜双垄集雨沟播耦合对半干旱黄土高原玉米产量和土壤有机碳库的影响	吴荣美, 王永鹏, 李凤民, 等 (2855)
赣江流域底泥中有机氯农药残留特征及空间分布	刘小真, 赵慈, 梁越, 等 (2863)
2009 年徽州稻区白背飞虱种群消长及虫源性质	刁永刚, 杨海博, 瞿钰锋, 等 (2872)
木鳖子提取物对朱砂叶螨的触杀活性	郭辉力, 师光禄, 贾良曦, 等 (2883)
冬小麦气孔臭氧通量拟合及通量产量关系的比较	佟磊, 冯宗炜, 苏德·毕力格, 等 (2890)
专论与综述	
基于全球净初级生产力的能源足迹计算方法	方恺, 董德明, 林卓, 等 (2900)
灵长类社会玩耍的行为模式、影响因素及其功能风险	王晓卫, 赵海涛, 齐晓光, 等 (2910)
问题讨论	
中国伐木制品碳储量时空差异分析	伦飞, 李文华, 王震, 等 (2918)
研究简报	
森林自然更新过程中地上氮贮量与生物量异速生长的关系	程栋梁, 钟全林, 林茂兹, 等 (2929)
连作对芝麻根际土壤微生物群落的影响	华菊玲, 刘光荣, 黄劲松 (2936)
刈割对外来入侵植物黄顶菊的生长、气体交换和荧光的影响	王楠楠, 皇甫超河, 陈冬青, 等 (2943)
不同蔬菜种植方式对土壤固碳速率的影响	刘杨, 于东升, 史学正, 等 (2953)
巢湖崩岸湖滨基质-水文-生物一体化修复 陈云峰, 张彦辉, 郑西强 (2960)	

期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 336 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 36 * 2012-05



封面图说: 在交配的雨蛙——雨蛙为两栖动物, 世界上种类达 250 种之多, 分布极广。中国的雨蛙仅有 9 种, 除西部一些省份外, 其他各省(区)均有分布。雨蛙体形较小背面皮肤光滑, 往往雄性绿色, 雌性褐色, 其指、趾末端多膨大成吸盘, 便于吸附攀爬。多生活在灌丛、芦苇、高秆作物上, 或塘边、稻田及其附近的杂草上。白天匍匐在叶片上, 黄昏或黎明频繁活动, 捕食能力极强, 主要以昆虫为食。特别是在下雨以后, 常常 1 只雨蛙先叫几声, 然后众蛙齐鸣, 声音响亮, 每年在四、五月份夜间发情交配。

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

DOI: 10.5846/stxb201103230367

刘小真,赵慈,梁越,周立峰,赵信,洪桂平. 赣江流域底泥中有机氯农药残留特征及空间分布. 生态学报, 2012, 32(9): 2863-2871.

Liu X Z, Zhao C, Liang Y, Zhou L F, Zhao X, Hong G P. Residues and spatial distribution of OCPs in the sediments of Gan River Basin. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(9): 2863-2871.

赣江流域底泥中有机氯农药残留特征及空间分布

刘小真^{1,2,*}, 赵慈^{1,2}, 梁越², 周立峰², 赵信², 洪桂平²

(1. 南昌大学 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 南昌 330029; 2. 南昌航空大学 环境与化学工程学院, 南昌 330063)

摘要:基于“临水垂直插管法”采集赣江流域 32 个采样点的底泥样品,经索氏提取方法(Soxhlet Extraction, SE)前处理及气相色谱法(GC-ECD)检测样品中有机氯农药(OCPs)含量。结合多元统计学和 ArcGIS9.3,研究了 8 种有机氯农药的残留状况及空间分布情况。结果表明,所检测 8 种 OCPs 中,除 β -HCH 有 2 个点未检出,其它 7 种 OCPs 检出率为 100%。以 DDTs 残留含量最高,DDTs 平均值为 10.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其异构体以 p,p'-DDT 为主;HCHs 的平均值为 8.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$,其异构体以 β -HCH 为主。它们除了来自环境中的早期残留外,仍然具有新的外源 HCHs 和 DDTs 的输入。不同 OCPs 在研究区分布存在很大差异,HCHs 总量分布较高的地区位于流域的中下游,DDTs 总量分布较高的地区位于流域的中上游。

关键词:赣江流域;底泥;有机氯农药;残留特征;空间分布

Residues and spatial distribution of OCPs in the sediments of Gan River Basin

LIU Xiaozhen^{1,2,*}, ZHAO Ci^{1,2}, LIANG Yu², ZHOU Lifeng², ZHAO Xin², HONG Guiping²

1 Key Laboratory of Poyang Lake Environmental and Resource Utilization, Ministry of Education, Nanchang University, Nanchang 330029, China

2 School of Environmental & Chemical Engineering, Nanchang Hangkong University, Nanchang 330063, China

Abstract: Gan River basin area accounts for half the total area of Jiangxi province. As the biggest river, Gan River is the main source of drinking water for the residents in Jiangxi Province. A mass of Organochlorine pesticides (OCPs), which are persistent, toxicity, and easy to accumulated in biological bodies, were applied in the Gan River basin in the past. These OCPs were so persistent and can stay in the environment for a long time. The OCPs have entered into Gan River, caused a serious threat to health of environment and humans. Therefore it is necessary to investigate residues of OCPs in the sediments of Gan River.

Sediment samples were collected from 32 sampling sites from Gan River Basin. The samples were pretreated by Soxhlet Extraction and determined by Gas Chromatography (GC) with electron capture detector (ECD). The spatial distribution of concentrations for 8 OCPs were analyzed based on multivariate statistics and ArcGIS 9.3. By means of ordinary Kriging interpolation, spatial distribution of OCPs residual quantity was studied.

The results indicated that detection rate was 100% in 7 OCPs except β -HCH. The concentrations of DDTs were 7.15—13.29 $\mu\text{g}/\text{kg}$, the average value of which was 10.40 $\mu\text{g}/\text{kg}$ among them presenting mainly as p,p'-DDT isomer. The concentrations of HCHs were 1.63—20.88 $\mu\text{g}/\text{kg}$ (average value, 8.24 $\mu\text{g}/\text{kg}$) presenting mainly as β -HCH isomer. Sources of HCHs and DDTs contamination were from the early stage residues in the environment, along with the recent input of HCHs and DDTs components. Based on their component residues concentrations, the sequence was p,p'-DDT > β -HCH > o,p'-DDT > γ -HCH > α -HCH > p,p'-DDD > p,p'-DDE > δ -HCH. Sources of HCHs and DDTs contamination were from the

基金项目:南昌大学鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室开发基金资助项目(Z05002);江西省科技厅资助项目(2009AE00600, 2009BNB06100)

收稿日期:2011-03-23; 修订日期:2011-10-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: l_xiaozhen2003@yahoo.com.cn

early stage residues in the environment, along with the recent input of HCHs and DDTs components. And there was a great difference in spatial distribution of OCPs residues, the HCHs distribution district of higher concentration was located in the middle and lower reaches of Gan River, however the DDTs distribution district of higher concentration was located in the upper and middle reaches of Gan River. Σ HCHs in an east-west direction was a slight U distribution, in the north and south direction from south to north in a linear increase trend, but change range was not too much. p, p' -DDE in an east-west direction & north and south direction were in a slight U distribution. o, p' -DDT in an east-west direction & north and south direction were in parabolic trend. p, p' -DDD, p, p' -DDT and Σ DDTs in the distribution of an east-west direction was degressive tendency from west to east. In the distribution of north and south direction by the north to the south was linear increase trend.

Key Words: Gan River Basin; sediments; organochlorine pesticides; residues; spatial distribution

有机氯农药(OCPs)属于难降解化学污染物,具有毒性、持久性、易于在生物体内聚集;同时具有半挥发性,能够在大气环境中长距离迁移和沉积,对环境和人体有严重危害的有机化学污染物质^[1]。由于自然环境的差异不同区域有机氯农药的残留存在着空间差异。地统计学是以区域化变量理论为基础,以半变异函数为主要工具,研究那些在空间上既有随机性又有结构性,或空间相关性和依赖性的自然现象的科学^[2]。已被广泛地应用到土壤学^[3-5]和生态学^[6-7]等领域,用地统计学方法研究有机氯农药在流域底泥中残留的空间分析在国内外鲜见报道。

赣江流域面积占江西省面积的一半,是沿江居民饮用水的主要来源。由于赣江流域周边地区曾经大量施用有机氯农药,因其难降解性导致环境中大量的残留,给沿江居民及生态环境构成了严重威胁。本研究以赣江底泥中OCPs的含量为切入点,基于GPS定位,结合ArcGIS9.3、SPSS11.5、Minitab15等软件,建立赣江流域底泥中有机氯农药含量的空间分布体系,以期对赣江流域的污染控制提供参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域概况

赣江位于长江以南,是江西省最大河流;西源章水出自广东省毗连江西南部的大庾岭,东源贡水出自江西省武夷山区的石城县的赣源崇,在赣州汇合称赣江。流经万安、泰和、吉安、吉水、峡江、新干、清江、丰城到南昌市注入鄱阳湖,后洩入长江,长758km,流域面积81600km²,占江西省总面积的51%。流域属中亚热带湿润季风气候,气候温和,雨量充足,年均降水量1400—1800mm。赣江流域60%以上为丘陵、山地,森林资源丰富,流域内耕地近118.5万hm²,主要粮食作物为水稻。

1.2 样品采集与保存

2009年10月根据赣江流域采样地实际情况以及交通的便利条件,间隔15—25km的距离,从赣江上游开始沿赣江流经的县市一路采样,途径赣州、万安、泰和、吉安、吉水、峡江、新干、樟树、丰城、南昌等地。共布采样点32个,覆盖整个赣江流域,所有采样点均进行GPS卫星定位(图1)。采用临水垂直插管法,即在枯水期河水或湖泊水面下降,在接近水面的河床或裸露的三角洲水陆相连的区域,用助推式柱状土壤采样器^[8]垂直插入底泥,在同一采样点采集河岸表层底泥柱状样品。采样原则是每个采样点再采集2—4个平行样品,每个平行样品垂直采集5—6个样品数,每个样品厚度大约5cm,共采样样品320个。采集的样品装入聚乙烯袋内并做好标签,所采样品于实验室冷冻保存。将采集的底泥样品解冻后,自然风干、除杂、研碎,过60目金属筛,放入干燥器中保存,备用。

1.3 样品前处理及分析

1.3.1 样品前处理

采用索氏提取(S Soxhlet Extraction, SE)方法对已处理好的底泥样品进行提取,用浓硫酸磺化法进行净化,用旋转蒸发器浓缩至小体积,再用氮吹浓缩装置浓缩,最后定容保存样品瓶中,供气相色谱测定。详细步骤参

于工业 HCHs, 并可能经过大气长距离运输^[17]。本研究 α -HCH/ γ -HCH 比值均小于 4, 说明赣江流域底泥中 α -HCH 大部分被降解或有新的林丹输入。

表 1 底泥中 OCPs 的描述性统计特征/($\mu\text{g}/\text{kg}$)

Table 1 Descriptive statistics of OCPs in sediments

统计量 Statistic	最小值 Minimum	最大值 Maximum	平均值 Mean	中位数 Median	标准偏差 Standard Deviation	变异系数/% CV
α -HCH	0.06	5.53	1.00	0.57	1.25	125.33
β -HCH	0.19	9.98	3.94	3.84	2.77	69.55
γ -HCH	0.54	8.00	2.74	2.32	1.85	67.36
δ -HCH	0.04	2.01	0.56	0.51	0.38	69.30
Σ HCHs	1.63	20.88	8.24	8.85	4.44	53.92
p,p'-DDE	0.27	3.32	0.75	0.53	0.56	74.64
p,p'-DDD	0.37	2.24	0.80	0.71	0.39	49.06
o,p'-DDT	1.58	4.38	3.35	3.50	0.63	18.66
p,p'-DDT	3.65	7.17	5.50	5.65	0.72	13.13
Σ DDTs	7.15	13.29	10.40	10.48	1.36	13.10

Σ HCHs 为各异构体之和; Σ DDTs 为母体 DDT 及其所有降解产物之和

DDD/DDE 和 (DDD+DDE)/DDTs 能够用来示踪 DDTs 农药的降解环境和降解程度, 并用于判定是否有新的 DDTs 农药的输入^[18]。本研究中发现赣江中下游采样点中 DDD/DDE 大部分都大于 1, 说明在赣江中下游厌氧性降解产物 DDD 占据多数, 主要发生厌氧反应降解。少数采样点发生好氧反应降解。(DDD+DDE)/DDTs<0.5, 说明赣江流域 DDTs 的含量始终维持在一个较高的水平, DDTs 类农药分解不完全, 可能仍然具有一定新的外源 DDTs 的输入, 这可能与近年来沿江农业的发展有关。

2.2 底泥中有机氯农药空间分布

2.2.1 正态分布性检验

根据所测定的底泥中有机氯农药数值, 利用 SPSS11.5 作频度分布直方图以及对原始值进行正态分布性检验。分析结果显示 OCPs 的原始数据分布中除了 β -HCH、 Σ HCHs、p,p'-DDT、 Σ DDTs 呈正态分布 ($P>0.05$) 外, 其它异构体 α -HCH、 γ -HCH、 δ -HCH、p,p'-DDD、p,p'-DDE、o,p'-DDT 呈偏态分布 ($P<0.05$), 其原因在于样品中存在少量高残留浓度样点(异常值), 这些高值点数据导致了数据总体分布向高值端偏移, 需要对数据进行变换, 使其符合正态分布。对不服从正态分布的数值利用 Minitab15 软件进行 Box-Cox 幂变换, 之后再对变换值进行正态分布检验, 对变换后的数据作频度分布直方图(图 2), 图中可以看到, 经过 Box-Cox 幂变换, 对所有异构体含量进行正态分布性检验和 Shapiro-Wilk 检验结果都符合正态分布, 有机氯农药含量频度分布直方图都趋近于理论正态分布曲线。Box-Cox 幂变换成功地使数据集服从正态分布并削弱了异常值的影响。

2.2.2 空间分布趋势分析

空间分布趋势效应一般分为零(没有趋势效应)、常量(区域化变量沿一定方向呈常量增加或减少)、一阶(区域化变量沿一定方向呈直线变化)、二阶或多阶(区域化变量沿一定方向呈多项式变化)^[19]。

图 3 是赣江流域底泥中 OCPs 的趋势分析示意图。图中 X 轴表示正东方向, Y 轴表示正北方向, Z 轴表示各采样点测定值的大小; XY 轴所在平面上的竖线表示每一各采样点的测定值和它所在的空间位置, 左右投影面上曲线表示东-西向全局性的趋势效应变化情况, 右后投影面上曲线表示南-北向全局性的趋势效应变化情况。

从图 3 中可以看出 α -HCH 和 β -HCH 趋势效应基本接近, 在东西向呈略微的 U 型, 南北方向均略呈抛物线型分布; γ -HCH 表现为由东向西和由南向北呈明显的 U 型分布; δ -HCH 在东西向呈抛物线型分布, 南北方向由北向南呈递减趋势。 Σ HCHs 在东西向呈略微的 U 型分布, 南北方向由南向北呈线性增加趋势, 但变化程度不大。 p,p'-DDE 在东西向和南北向均呈略微的 U 型分布; o,p'-DDT 在东西和南北方向上均呈抛物线型趋

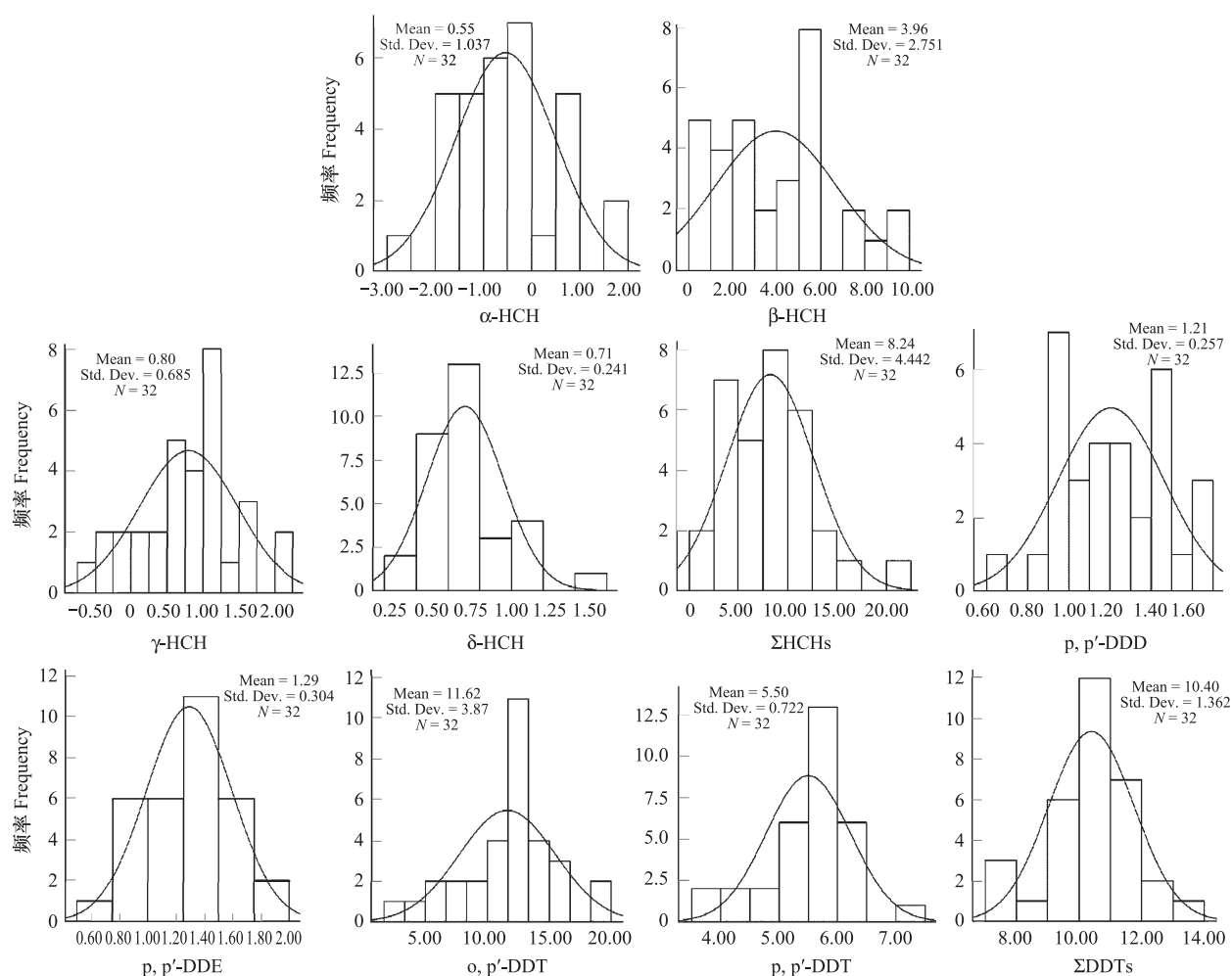


图2 经过变换后的频率分布

Fig. 2 Frequency distribution histogram after transformation

势;p,p'-DDD、p,p'-DDT、ΣDDTs 在东西方向的分布由西向东呈递减趋势;在南北方向的分布由北向南呈线性增加趋势。

2.2.3 半变异函数理论模型拟合

为了进行地统计学空间变异分析及进行 Kriging 插值,根据不同空间位置上底泥中 OCPs 残留量的分析数据,利用地统软件计算实际半方差值 $\gamma(h)$ 并考虑各向异性和趋势效应,得到研究区内 OCPs 残留含量的半方差函数模型。

利用 ArcGIS9.3 软件以半方差函数和 Kriging 插值为基本工具,可以对既具有随机性又具有结构性的各种变量在空间上的分布进行研究。土壤和底泥研究中常用的理论模型有球状模型、指数模型和高斯模型。

表 2 中长轴变程和短轴变程分别表示半方差在该轴方向上达到基台值的样本间距。各向异性比为长轴变程与短轴变程的比^[19],有空间变异结构方差的 OCPs 都有明显的各向异性。分析结果显示其中 δ-HCH 的各向异性比最大。从结构性因素的角度来看,块金值(C_0)与基台值(C_0+C)之比称为基底效应,表示样本间的变异特征,可以反映系统变量的空间相关性程度^[20]。该值越大,表示样本间的变异更多得是由随机因素引起的。若 $C_0/(C_0+C) < 25\%$,说明系统变量具有强烈的空间相关性;当 $25\% < C_0/(C_0+C) < 75\%$,说明系统变量具有中等空间相关性;当 $C_0/(C_0+C) > 75\%$,说明系统变量空间相关性很弱^[21]。表 2 显示 α-HCH、γ-HCH、δ-HCH、p,p'-DDE、p,p'-DDD 和 ΣDDTs 组分具有强烈的空间相关性,说明上述 OCPs 组分的空间异质性主要受底泥内在因子(如组成成分泥沙、粘土等性质)的影响和控制。o,p'-DDT 和 p,p'-DDT 具有中等空间相关

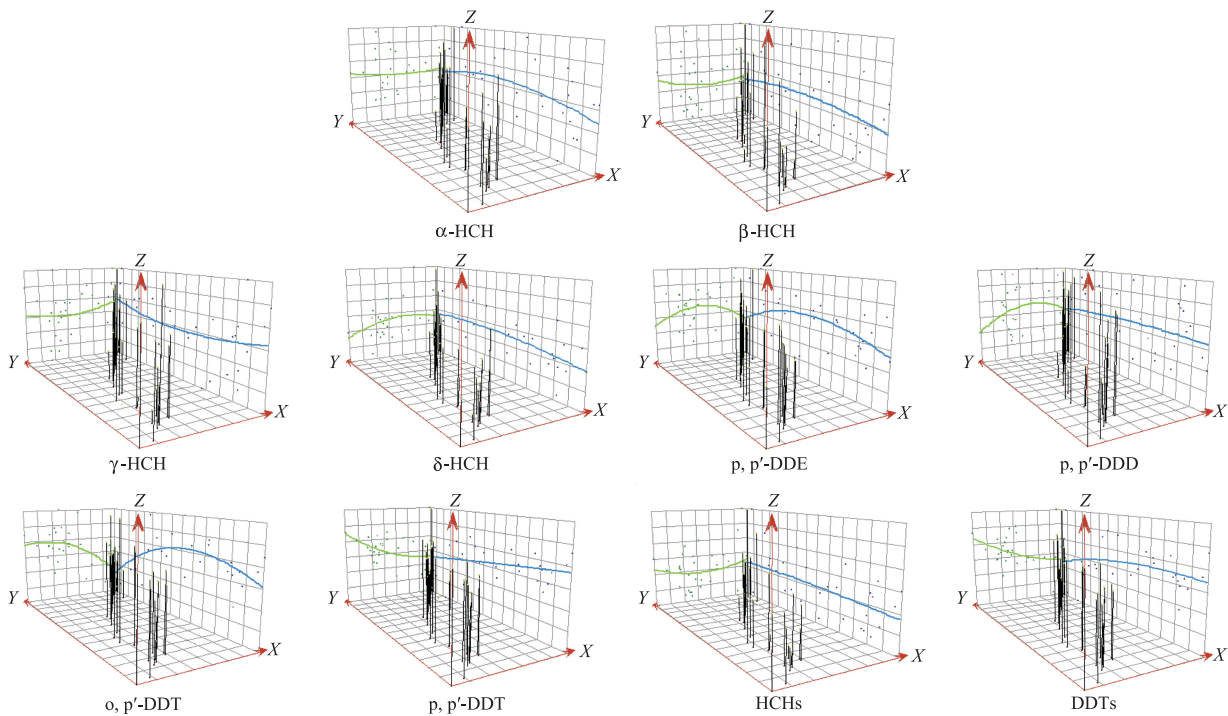


图3 底泥中 OCPs 残留量趋势分析

Fig. 3 Trend analysis of OCPs residue in sediments

X 轴表示正东方向,Y 轴表示正北方向,Z 轴表示各采样点测定值的大小

性,表明空间异质性是随机因素和空间结构共同作用的结果,即内在因子和外在因子(如耕作制度、施肥等)共同作用的结果; β -HCH 和 Σ HCHs 的空间相关性很弱。

表 2 底泥中 OCPs 半方差函数理论模型及其相关参数

Table 2 Theoretic model and parameters of semevariance of OCPs in sediments

项目 Variable	理论模型 Theoretical model	长轴变程 Major range	短轴变程 Minor range	各向异性比 Anisotropic ratio	块金值 C_0 Nugget	C Partial sill	基台值 C_0+C Sill	块金值/基台值 $C_0/(C_0+C)$
α -HCH	高斯	0.276	0.271	1.018	0.049	1.599	1.648	0.029
β -HCH	球形	3.401	0.523	6.502	7.351	0.290	7.641	0.962
γ -HCH	高斯	0.179	0.039	4.590	0.003	3.084	3.087	0.001
δ -HCH	指数	3.408	0.523	6.516	0.027	0.141	0.168	0.161
Σ HCHs	球形	3.408	1.510	2.257	16.786	4.389	21.175	0.793
p,p'-DDE	高斯	0.214	0.033	6.485	0.0002	0.273	0.2732	0.001
p,p'-DDD	高斯	0.310	0.048	6.458	0.010	0.156	0.166	0.060
o,p'-DDT	球形	3.408	1.389	2.453	0.154	0.327	0.481	0.320
p,p'-DDT	高斯	3.408	1.008	3.380	0.347	0.267	0.614	0.565
Σ DDTs	高斯	0.186	0.057	3.263	0.289	1.226	1.515	0.191

2.2.4 空间分布特征

图 4 和图 5 空间分布图显示底泥中 OCPs 含量存在很大差异。 α -HCH 含量大于 $3.19\text{ }\mu\text{g/kg}$ 的区域主要分布在赣江流域下游; β -HCH 含量较高的区域在流域下游; γ -HCH 含量较高的区域在上游和下游; δ -HCH 含量大于 $0.79\text{ }\mu\text{g/kg}$ 的区域主要分布在赣江流域中下游;p,p'-DDE 含量大于 $1.65\text{ }\mu\text{g/kg}$ 的区域分别在流域中游的部分地区和下游的部分地区;p,p'-DDD 的含量在整个流域里分布不均匀;o,p'-DDT 含量较高的区域在

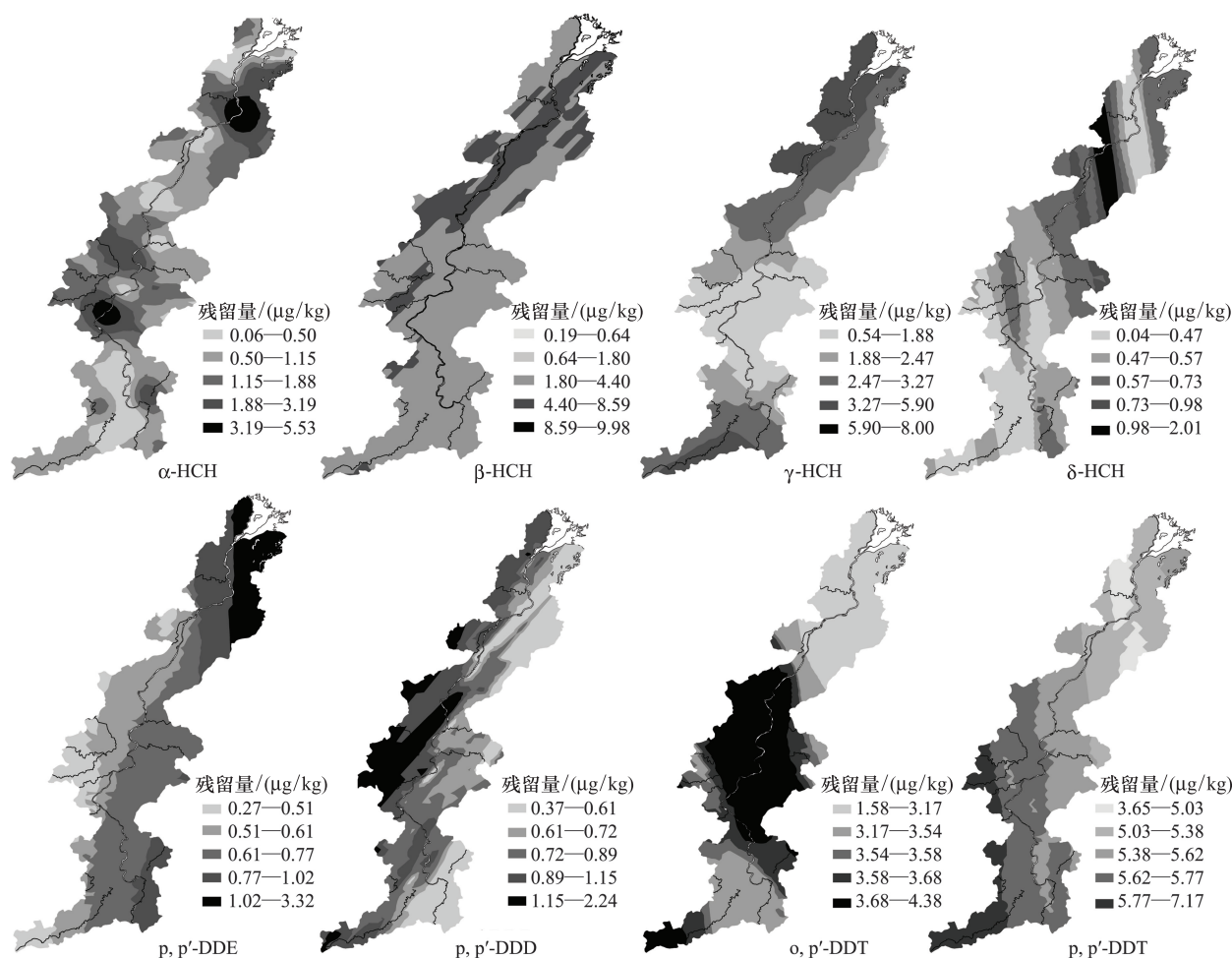


图4 赣江流域底泥中 OCPs 残留量空间分布

Fig. 4 Spatial distribution of OCPs in the sediments from Gan River

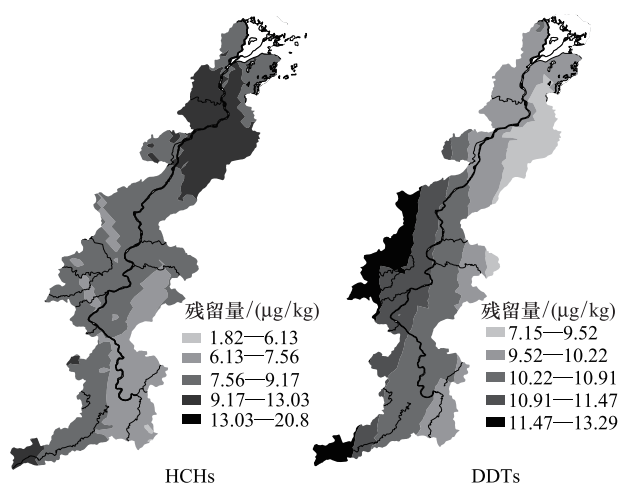
流域中游; p, p'-DDT 含量较高的区域在流域的上游。图 5 显示的是 ΣHCHs 和 ΣDDTs 总量分布图, HCHs 总量分布较高的地区位于流域的中下游, DDTs 总量分布较高的地区位于流域的中上游, 可能与当地的农作物种类差异、农药使用种类的不同, 以及自然条件, 如森林覆盖率、底泥的酸碱度以及流域水文特性等因素有关^[22]。

3 结论

(1) 赣江流域底泥所检测 8 种有机氯农药中, 除 $\beta\text{-HCH}$ 有个别点未检出, 其它 7 种有机氯农药检出率为 100%, 其中以 DDTs 含量最高。

(2) HCHs 以 $\beta\text{-HCH}$ 为主, DDTs 以 p, p'-DDT 为主, 特征分析表明, 近期仍有 HCHs、DDTs 新的外源输入。

(3) 结构分析表明, $\alpha\text{-HCH}$ 、 $\gamma\text{-HCH}$ 、 $\delta\text{-HCH}$ 、p, p'-DDE、p, p'-DDD 和 ΣDDTs 组分空间相关性很强, 空间异质性主要受底泥内在因子的影响和控制。o, p'-DDT

图5 赣江流域底泥中 ΣHCHs 和 ΣDDTs 残留量空间分布图Fig. 5 Spatial distribution of ΣHCHs and ΣDDTs in the sediments from Gan River

HCHs, DDTs 分别表示 ΣHCHs , ΣDDTs

和 p, p' -DDT 具有中等空间相关性, 空间异质性是随机因素和空间结构共同作用的结果, β -HCH 和 Σ HCHs 的空间相关性很弱。

(4) 空间分析表明, 赣江流域底泥中 HCHs 总量分布较高的地区位于流域的中下游, DDTs 总量分布较高的地区位于流域的中上游。

References:

- [1] Rippey B, Rose N, Yang H D, Harrad S, Robson M, Travers S. An assessment of toxicity in profundal lake sediment due to deposition of heavy metals and persistent organic pollutants from the atmosphere. *Environment International*, 2008, 34(3): 345-356.
- [2] Burrough P A. GIS and geostatistics: essential partners for spatial analysis. *Environmental and Ecological Statistics*, 2001, 8(4): 361-363.
- [3] Zhu Y F, Liu H, Xi Z Q, Cheng H X, Xu X B. Organochlorine pesticides (DDTs and HCHs) in soils from the outskirts of Beijing, China. *Chemosphere*, 2005, 60(6): 770-778.
- [4] Zhang S R, Huang Y F, Li B G, Gao J. The temporal and spatial variability of soil organic matter contents in the Alluvial Region of Huang-Huai-Hai Plain, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(12): 2041-2046.
- [5] Li B G, Cao J, Liu W X, Shen W R, Wang X J, Tao S. Geostatistical analysis and kriging of Hexachlorocyclohexane residues in topsoil from Tianjin, China. *Environmental Pollution*, 2006, 142(3): 567-575.
- [6] Bai H J, Yu G Y, Wang G P. Application of geo-statistics in spatial heterogeneity of soil nutrients in Westlands. *Agro-Environmental Protection*, 2001, 20(5): 311-314.
- [7] Zeng C Y, Tang D S, Tang J K. Spatial pattern analysis of forest ecosystem site index using geostatistical technology. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(13): 3465-3471.
- [8] Liu X Z, Zhou W B, Wei Q, Liu Y, Lin J, Hu L N, Jin J, Li Q Y. Bottomland sediment organic chlorine pesticide contamination in Haihui Town in Poyang Lake Area. *Journal of Environment and Health*, 2008, 25(5): 385-388.
- [9] National Environmental Protection Agency of Science, Technology. GB/T 14550-93 soil quality determination of HCH and DDT in gas chromatography. Beijing: China Standard Press, 1994.
- [10] Liu H L, Liu M, Cheng S B, Ou D N. Occurrence of organochlorine pesticides (OCPs) in suspended particle matters (SPMs) and surface sediments of the south bank of the Yangtze estuary. *China Environmental Science*, 2005, 25(5): 622-626.
- [11] Maldonado C, Bayona J M. Organochlorine compounds in the north-western Black Sea water: distribution and water column process. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2002, 54(3): 527-540.
- [12] Zhao Z H, Zhang L, Yu X, Li Z K. Distribution of organochlorine pesticide residues and potential genotoxicity in surface sediments from Lake Taihu. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(5): 579-584.
- [13] Nyangababo J T, Henry L, Omutange E. Organochlorine pesticide contamination in surface water, sediment, and air precipitation of Lake Victoria Basin, East Africa. *Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology*, 2005, 75(5): 960-967.
- [14] Shi S X, Zhou L, Shao D D, Zhang T, Li N, Di Y A, Huang Y R. Residues and risk evaluation of organochlorine pesticides in surface sediments from the lower reaches of the Yangtze River. *Research of Environmental Sciences*, 2010, 23(1): 7-13.
- [15] Hong S H, Yim U H, Sim W J, Oh J R, Lee I S. Horizontal and vertical distribution of PCBs and chlorinated pesticides in sediments from Masan Bay, Korea. *Marine Pollution Bulletin*, 2003, 46(2): 244-253.
- [16] Qiu Y W, Zhang G, Guo L L, Li X D, Li J. Study of typical organochlorine pesticides bioaccumulation and influence factors in Daya Bay. *Acta Oceanologica Sinica*, 2007, 29(2): 51-58.
- [17] Wang G, Lu Y L, Shi Y J, Lou W, Wang T Y, Sun Y M. Characterization and distribution of organochlorine pesticides in soils from Beijing Southeast Chemical Industrial Zone. *Environmental Science and Technology*, 2010, 33(9): 91-96.
- [18] Pereira W E, Hostettler F D, Rapp J B. Distributions and fate of chlorinated pesticides, biomarkers and polycyclic aromatic hydrocarbons in sediments along a contamination gradient from a point-source in San Francisco Bay, California. *Marine Environmental Research*, 1996, 41(3): 299-314.
- [19] Zhang H Y, Gao R T, Jiang S R, Huang Y F. Spatial variability of organochlorine pesticides (DDTs and HCHs) in surface soils of farmland in Beijing, China. *Scientia Agricultura Sinica*, 2006, 39(7): 1403-1410.
- [20] Ma J, Qiu X H, Zhou Y Z, Wan H F, Zhu T. Residues and spatial distributions of OCPs in soils of Zhanjiang. *Acta Geographica Sinica*, 2010,

65(1): 103-112.

[21] Webster R, Heuvelink G B M. Modeling soil variation: past, present, and future. *Geoderma*, 2001, 100(3/-4): 269-301.

[22] Yang R Q, Hu L P, Shi L Y. Gan River hydrological analysis. *Water Resources Research*, 2003, (1): 35-37.

参考文献:

[4] 张世熔, 黄元仿, 李保国, 高峻. 黄淮海冲积平原区土壤有机质时空变异特征. *生态学报*, 2002, 22(12): 2041-2046.

[6] 白军红, 余国营, 王国平. 地统计学在湿地土壤养分空间异质性研究中的应用. *农业环境保护*, 2001, 20(5): 311-314.

[7] 曾春阳, 唐代生, 唐嘉锴. 森林立地指数的地统计学空间分析. *生态学报*, 2010, 30(13): 3465-3471.

[8] 刘小真, 周文斌, 魏洽, 刘艳, 林捷, 胡利娜, 金静, 李庆义. 鄱阳湖区海会镇洲滩底泥有机氯农药污染研究. *环境与健康杂志*, 2008, 25(5): 385-388.

[9] 国家环境保护局科技标准司. GB/T 14550-93 土壤质量六六六和滴滴涕的测定气相色谱法. 北京: 中国标准出版社, 1994.

[10] 刘华林, 刘敏, 程书波, 欧冬妮. 长江口南岸水体 SPM 和表层沉积物中 OCPs 的赋存. *中国环境科学*, 2005, 25(5): 622-626.

[12] 赵中华, 张路, 于鑫, 李正魁. 太湖表层沉积物中有机氯农药残留及遗传毒性初步研究. *湖泊科学*, 2008, 20(5): 579-584.

[14] 史双昕, 周丽, 邵丁丁, 张烃, 李楠, 狄一安, 黄业茹. 长江下游表层沉积物中有机氯农药的残留状况及风险评价. *环境科学研究*, 2010, 23(1): 7-13.

[16] 丘耀文, 张干, 郭玲利, 李向东, 李军. 大亚湾海域典型有机氯农药生物累积特征及变化因素研究. *海洋学报*, 2007, 29(2): 51-58.

[19] 张红艳, 高如泰, 江树人, 黄元仿. 北京市农田土壤中有机氯农药残留的空间分析. *中国农业科学*, 2006, 39(7): 1403-1410.

[20] 马瑾, 邱兴华, 周永章, 万洪富, 朱彤. 湛江市土壤有机氯农药残留状况及空间分布特征. *地理学报*, 2010, 65(1): 103-112.

[22] 杨荣清, 胡立平, 史良云. 赣江流域水文特性分析. *水资源研究*, 2003, (1): 35-37.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 9 May, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses and weigh of multi-ecosystem services and its economic value under different land cover scenarios: a case study from Ertan water control pivot in Yalong River	GE Jing, WU Nan, GAO Jixi, et al (2629)
Influence of grazing on biomass, growth ratio and compensatory effect of different plant groups in <i>Kobresia parva</i> meadow	DONG Quanmin, ZHAO Xinquan, MA Yushou, et al (2640)
Stocking effectiveness of hatchery-released kuruma prawn <i>Penaeus japonicus</i> in the Xiangshan Bay, China	JIANG Yazhou, LING Jianzhong, LIN Nan, et al (2651)
The spatial pattern of landscape fragmentation and its relations with urbanization and socio-economic developments: a case study of Beijing	QIU Jiangxiao, WANG Xiaoke, LU Fei, et al (2659)
Cellular automata simulation of barren patch connectivity effect in degradation sequence on alpine meadow in the source region of the Yangtze and Yellow rivers, Qinghai-Tibetan Plateau, China	LI Xueling, LIN Huilong (2670)
Evolution law of architectural landscape during the urban renewal process in Tiexi District	ZHANG Peifeng, HU Yuanman, XIONG Zaiping, et al (2681)
Competition for light and crop productivity in an agro-forestry system in the Hilly Region, Shangluo, China	PENG Xiaobang, ZHANG Shuoxin (2692)
Evaluation of forest ecosystem services based on biomass in Shanxi Province	LIU Yong, LI Jinchang, YANG Yonggang (2699)
Research on the morphological interactions between <i>Tamarix ramosissima</i> thickets and Nebkhas under different sand supply conditions; a case study in Cele oasis-desert ecotone	YANG Fan, WANG Xueqin, YANG Dongliang, et al (2707)
Litter decomposition and nutrient release in typical secondary and primary forests in karst region, Northwest of Guangxi	ZENG Zhaoxia, WANG Kelin, ZENG Fuping, et al (2720)
Spatial patterns of dominant species in a subtropical evergreen broad-leaved forest in Jiulian Mountain Jiangxi Province, China	FAN Juan, ZHAO Xiuhai, WANG Jinsong, et al (2729)
Characteristics of seedlings regeneration in <i>Quercus aliena</i> var. <i>acuteserrata</i> secondary forests in Qinling Mountains	KANG Bing, WANG Dexiang, LI Gang, et al (2738)
Xylem hydraulic traits of <i>Populus euphratica</i> Oliv. in extremely drought environment	AYOUPU Mubareke, CHEN Yaning, HAO Xingming, et al (2748)
Response characteristics of leaf traits of common species along an altitudinal gradient in Hongchiba Grassland, Chongqing	SONG Lulu, FAN Jiangwen, WU Shaohong, et al (2759)
Changes of carbon input influence soil respiration in a <i>Pinus tabulaeformis</i> plantation	WANG Jinsong, ZHAO Xiuhai, ZHANG Chunyu, et al (2768)
Effects of different habitats and coverage treatments on the fates of <i>Quercus wutaishanica</i> seeds under the predation pressure of rodents	YAN Xingfu, ZHOU Libiao, LIU Jianli (2778)
Nested analysis of urban woodlot bird communities in Minhang District of Shanghai	WANG Benyao, WANG Xiaoming, WANG Tianhou, et al (2788)
Production dynamics and trophic basis of three dominant mayflies in the continuum of Shenglihe Stream in the Bahe River Basin	DENG Shan, YE Caiwei, WANG Lixiao, et al (2796)
Effects of sedimentation thickness of shrimp pond cleaning discharges on <i>Acanthus ilicifolius</i> seedlings	LI Ting, YE Yong (2810)
Utilization of carbon sources by the soil microbial communities of different forest types in subtropical Australia	LU Shunbao, GUO Xiaomin, RUI Yichao, et al (2819)
Soil microbial community characteristics under different vegetation types at the Holocene-basalt Platform, Jingpo Lake area, Northeast China	HUANG Yuanyuan, QU Laiye, QU Xiuchun, et al (2827)
Effect of <i>Ipomoea aquatica</i> Floating-bed on the quantity and distribution of nitrogen cycling bacteria and nitrogen removal	TANG Yingying, LI Xiuzhen, ZHOU Yuanqing, et al (2837)
Effects of microbial inoculants on soil microbial diversity and degrading process of corn straw returned to field	LI Peipei, ZHANG Dongdong, WANG Xiaojuan, et al (2847)

Effects of coupling film-mulched furrow-ridge cropping with maize straw soil-incorporation on maize yields and soil organic carbon pool at a semiarid loess site of China	WU Rongmei, WANG Yongpeng, LI Fengmin, et al (2855)
Residues and spatial distribution of OCPs in the sediments of Gan River Basin ...	LIU Xiaozhen, ZHAO Ci, LIANG Yu, et al (2863)
Analysis on population fluctuation and properties of the white-backed planthopper in Huizhou in 2009	 DIAO Yonggang, YANG Haibo, QU Yufeng, et al (2872)
Evaluation acaricidal activities of <i>Momordica cochinchinensis</i> extracts against <i>Tetranychus cinnabarinus</i>	 GUO Huili, SHI Guanglu, JIA Liangxi, et al (2883)
Stomatal ozone uptake modeling and comparative analysis of flux-response relationships of winter wheat	 TONG Lei, FENG Zongwei, Sudebilige, et al (2890)

Review and Monograph

Calculation method of energy ecological footprint based on global net primary productivity	 FANG Kai, DONG Deming, LIN Zhuo, et al (2900)
Behavioral patterns, influencing factors, functions and risks of social play in primates	 WANG Xiaowei, ZHAO Haitao, QI Xiaoguang, et al (2910)

Discussion

Spatio-Temporal changing analysis on carbon storage of harvested wood products in China	 LUN Fei, LI Wenhua, WANG Zhen, et al (2918)
---	---

Scientific Note

Variations in allometrical relationship between stand nitrogen storage and biomass as stand development	 CHENG Dongliang, ZHONG Quanlin, LIN Maozi, et al (2929)
Effect of continuous cropping of sesame on rhizospheric microbial communities	 HUA Juling, LIU Guangrong, HUANG Jinsong (2936)
Effects of clipping on the growth, gas exchange and chlorophyll fluorescence of invasive plant, <i>Flaveria bidentis</i>	 WANG Nannan, HUANGFU Chaohe, CHEN Dongqing, et al (2943)
Influence of vegetable cultivation methods on soil organic carbon sequestration rate	 LIU Yang, YU Dongsheng, SHI Xuezheng, et al (2953)
Integrated matrix-hydrology-biological remediation technology for bank collapse lakeside zone of Chaohu Lake	 CHEN Yunfeng, ZHANG Yanhui, ZHENG Xiqiang (2960)

《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 9 期 (2012 年 5 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 9 (May, 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:100071	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