

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第7期

Vol.33 No.7

2012

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目次

三峡库首秭归地区大气降水硫同位素组成及示踪研究	吴起鑫, 韩贵琳 (2145)
成都春季生物质燃烧和沙尘期间气溶胶散射特征及其重建	岳建华, 陶俊, 林泽健, 朱李华, 曹军骥, 罗磊 (2151)
太湖上空大气气溶胶光学厚度及其特征分析	饶加旺, 马荣华, 段洪涛, 姜广甲, 尚琳琳, 周琳 (2158)
环上海地区干霾气溶胶垂直分布的季节变化特征	徐婷婷, 秦艳, 耿福海, 陈勇航, 张华, 刘琼, 马晓骏 (2165)
南京冬季市区和郊区气溶胶中 PAHs 浓度的昼夜特征及粒径分布	张红亮, 樊曙先, 顾凯华, 朱彬, 范洋, 祖繁, 李红双, 孟庆紫, 何佳宝 (2172)
青岛大气气溶胶水溶性无机离子研究: 季节分布特征	刘臻, 祁建华, 王琳, 陈晓静, 石金辉, 高会旺 (2180)
城市污水处理厂生成的微生物气溶胶的污染特性	邱雄辉, 李彦鹏, 牛铁军, 李美玲, 马智慧, 苗莹, 王湘君 (2191)
基于 WEPS 模型的天津郊区土壤风蚀起尘及对中心城区迁移量估算	陈莉, 韩婷婷, 李涛, 姬亚芹, 白志鹏, 王斌 (2197)
浒苔绿潮与苏北近岸海域营养盐浓度的关系研究	高嵩, 石晓勇, 王婷 (2204)
福建沿海近 10 a 赤潮基本特征分析	李雪丁 (2210)
HSPF 水文水质模型应用研究综述	李兆富, 刘红玉, 李燕 (2217)
城市降雨径流模拟的参数不确定性分析	黄金良, 林杰, 杜鹏飞 (2224)
利用 CDOM 吸收系数估算太湖水体表层 DOC 浓度	姜广甲, 马荣华, 段洪涛 (2235)
嘉善地区水环境敏感点水质影响权重分析及风险等级判定	谢蓉蓉, 逢勇, 张倩, 陈可, 孙明园 (2244)
重庆市盘溪河水质不同季节日变化规律及水质评价	张千千, 王效科, 郝丽岭, 逯非, 欧阳志云, 侯培强, 张烨 (2251)
南京市湿地水质对城市化影响强度的响应研究	郝敬锋, 刘红玉, 胡和兵, 安静, 张小红 (2259)
宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究	邱小琮, 赵红雪, 孙晓雪 (2265)
影响太子河流域鱼类空间分布的不同尺度环境因子分析	丁森, 张远, 渠晓东, 孔维静, 刘思思, 孟伟 (2272)
大型底栖动物生物评价指数比较与应用	耿世伟, 渠晓东, 张远, 林坤德 (2281)
青藏高原纳木错流域水体总汞的时空分布特征	王康, 康世昌, 郭军明, 张强弓, 黄杰, 郑伟 (2288)
青藏高原纳木错湖水主要化学离子的时空变化特征	郭军明, 康世昌, 张强弓, 黄杰, 王康 (2295)
用物理-生态集成技术局部控制富营养化	李秋华, 夏品华, 吴红, 林陶, 张友春, 李存雄, 陈丽丽, 杨帆 (2303)
太湖氮素出入湖通量与自净能力研究	陈小锋, 揣小明, 曾巾, 刘涛, 杨柳燕 (2309)
富营养湖泊沉积物中磷组分对硫酸盐的响应	袁探, 华玉妹, 朱端卫, 赵建伟, 蔡建波 (2315)
巢湖表层沉积物磷的空间分布差异性研究	温胜芳, 单保庆, 张洪 (2322)
南京地区典型有机污染物长距离输送潜力研究	方利江, 吴有方, 丁中原, 马子龙, 柳敏, 高宏 (2330)
东海内陆架沉积物中黑碳分布及其与持久性有机污染物的相关性研究	林田, 方引, 陈颖军, 胡利民, 郭志刚, 张干 (2335)
嘉陵江重庆段表层水体多环芳烃的污染特征	蔡文良, 罗固源, 许晓毅, 杜炯 (2341)
电子废物拆解区河流沉积物中多氯联苯的污染水平、分布及来源	王学彤, 李元成, 缪绎, 张媛, 孙阳昭, 吴明红, 盛国英, 傅家谟 (2347)
基于梯形模糊数的沉积物重金属污染风险评价模型与实例研究	李飞, 黄瑾辉, 曾光明, 唐晓娇, 白兵, 蔡青, 祝慧娜, 梁婕 (2352)
渤海湾海岸带开发对近岸沉积物重金属的影响	秦延文, 郑丙辉, 李小宝, 张雷, 时瑶, 曹伟 (2359)
崇明东滩表层沉积物重金属空间分布特征及其污染评价	李雅娟, 杨世伦, 侯立军, 周菊珍, 刘英文 (2368)
白洋淀底泥重金属形态及竖向分布	李必才, 何连生, 杨敏, 孟睿, 袁冬海, 席北斗, 舒俭民 (2376)
西南涌酸挥发硫化物浓度水平及影响因素研究	刘晓冰, 温琰茂, 利锋, 吴昌华, 段志鹏 (2384)
氨氮在饮用水生物滤池内的去除机制	刘冰, 范辉, 余国忠, 于鑫, 赵承美, 李清飞, 张舒婷, 魏博 (2394)
Cu(II) 印迹壳聚糖交联膜的表征及其吸附热力学特性	张玉红, 张爱丽, 周集体, 孙筱雨 (2403)
声电氧化处理扑热息痛的研究	戴启洲, 马文姣, 沈宏, 陈浚, 陈建孟 (2410)
粉煤灰吸附-Fenton 及热再生处理亚甲基蓝废水的特性研究	白玉洁, 张爱丽, 周集体 (2419)
利用双室微生物燃料电池处理模拟废水的产电特性研究	张永娟, 李永峰, 刘春研, 王艺璇, 李龙, 王籽人, 董义兴 (2427)
Zn/Cr 型阴离子黏土的制备、表征及其对活性艳橙 X-GN 的去除性能研究	王小蓉, 吴平霄 (2432)
核电站低放射性废水在封闭水体中的输移规律研究	武国正, 徐宗学 (2438)
A + OSA 污泥减量工艺碳元素平衡与减量机制研究	翟小敏, 高旭, 张曼曼, 贾丽, 郭劲松 (2444)
系列混合碳源在 EBPR 系统颗粒化进程中的影响研究	蒋涛, 孙培德, 徐少娟 (2451)
氧化还原介体催化强化 <i>Paracoccus versutus</i> 菌株 GW1 反硝化特性研究	李海波, 廉静, 郭延凯, 赵丽君, 杜海峰, 杨景亮, 郭建博 (2458)
1 株转座子插入突变菌株 TB34 的筛选及产氢分析	刘洪艳, 王广策, 侍浏洋, 朱大玲 (2464)
蜜环菌漆酶对氯酚类污染物催化降解条件优化	秦仁炳, 朱显峰, 吴珂, 张晶晶, 赵海康 (2470)
双季稻田 CH ₄ 和 N ₂ O 排放特征及品种筛选研究	傅志强, 朱华武, 陈灿, 黄瑛 (2475)
闽江河口短叶茳芒湿地 CH ₄ 和 N ₂ O 排放对氮输入的短期响应	牟晓杰, 刘兴土, 仝川, 孙志高 (2482)
青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征	彭景涛, 李国胜, 傅瓦利, 易湘生, 蓝家程, 袁波 (2490)
不同降雨条件下侵蚀泥沙黏粒含量的变化规律	吴凤至, 史志华, 方怒放, 岳本江 (2497)
土壤性质对单一及复合污染下外源镉稳定化过程的影响	吴曼, 徐明岗, 张文菊, 武海雯 (2503)
多氯联苯污染农田土壤的原位生态调控修复效应	潘澄, 滕应, 骆永明, 涂晨, 李秀芬, 马婷婷, 张满云, 李振高, 宋静 (2510)
不同作物根系多环芳烃吸收特征差异的比较研究	梁宵, 占新华, 周立祥 (2516)
废气和废渣协同作用脱钠反应特性及机制研究	伊元荣, 韩敏芳 (2522)
中国第三产业能源碳排放影响要素指数分解及实证分析	卢愿清, 史军 (2528)
《环境科学》征稿简则 (2431) 《环境科学》征订启事 (2532) 信息 (2157, 2271, 2367, 2418)	

青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征

彭景涛¹, 李国胜^{2*}, 傅瓦利¹, 易湘生², 蓝家程¹, 袁波¹

(1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

摘要: 在第二次土壤普查和 2009、2010 年实地采样的基础上, 运用地统计学和 GIS 技术研究了青海三江源地区 1980~2010 年退化草地 0~10 cm、10~30 cm、30~50 cm 全氮的时空分异特征。结果表明, 进行特异值处理后, 两期的土壤全氮的均值都表现出从表层到底层下降的趋势。从同一土层对比来看, 2010 年的土壤全氮的含量平均值及变异系数比 1980 年低。经对数转换后两期数据符合正态分布, 经过半方差函数模型的拟合得出, 两期同一层次上的块金效应 2010 年都比 1980 年小, 表示三江源地区各分层上全氮的空间分布的自相关性在加强, 结构性因素对土壤全氮的空间分布起着越来越重要的作用。普通克里格插值结果表明, 30 年来三江源地区土壤全氮的含量变化存在地区差异, 南部、中部、东部以递减为主, 西部的部分地区以增加为主。

关键词: 土壤全氮; 草地退化; 地统计; 克里格插值; 时空分异

中图分类号: X144 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)07-2490-07

Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province

PENG Jing-tao¹, LI Guo-sheng², FU Wa-li¹, YI Xiang-sheng², LAN Jia-cheng¹, YUANG Bo¹

(1. School of Geographical Science, Southwest University, Chongqing 400715, China; 2. Institute of Geographic Science and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

Abstract: Based on the data of the second soil survey and field sampling in 2009 and 2010, temporal-spatial variations of total nitrogen (TN) in the degraded grassland 0-10 cm, 10-20 cm and 30-50 cm beneath the surface soil at the Three-River Headwaters region in Qinghai Province for a 30-year period (1980-2010) were evaluated using geostatistics and geographic information system (GIS). After exclusion of the outliers, the results showed a downward trend from the surface to the bottom in the mean TN values measured in the samples collected during the two periods. For the same soil layers, the average TN contents and the coefficient of variation in 1980 were higher than those in 2010. The TN contents of the two periods showed a log-normal distribution. Semivariograms analysis of the experiments indicated that the nugget effect in the same soil layer was lower in 2010 than in 1980; suggesting that the spatial distribution autocorrelation of TN in the Three-River Headwaters region in Qinghai Province was strengthened and structural factors played a more and more important role on the spatial distribution of TN. The results of ordinary kriging showed that there were regional differences in variations of the total nitrogen content. There were significant decreases in the southern, central and eastern regions, while the increase mainly occurred in the western areas.

Key words: total soil nitrogen; grassland degradation; geostatistics; ordinary kriging; temporal and spatial-variability

草地生态系统是三江源地区的主体生态系统, 对区域生态系统服务功能的保持具有决定性作用, 而目前三江源地区草地生态系统最主要生态环境问题是草地退化^[1]。退化草地土壤中的养分元素都有不同程度的流失^[2], 研究草地退化以后土壤养分元素的差异对于源区生态恢复科学决策和国家的生态安全具有重大意义。土壤中的氮素不仅是植物生长所需的主要的营养元素, 还是引发江河湖泊发生富营养化的诱因之一。它在三江源地区的生态系统中起着重要的作用, 其含量多少及变化直接影响着三江源地区的生态系统的生产力和承载能力。

利用地统计学与 GIS 结合是研究土壤理化性状时空分布与机制最为有效的方法之一。将地统计学引入到土壤理化性状的空间变异的研究中最早始于

20 世纪 70 年代^[3]。到 20 世纪 80 年代土壤空间变异性研究已成为土壤学领域研究的重要内容之一, 对土壤空间变异的描述由定性开始转向了定量研究。20 世纪 90 年代随着地统计学在土壤学领域的应用以及 GIS 的发展, 地统计学与 GIS 的紧密结合成为揭示土壤肥力时空变异本质和机制的重要方法和手段, 如土壤 pH、有机质、全氮、全磷、速效磷、速效钾等相关参数的研究等^[4]。从目前的研究尺度上来看, 农田^[5]、区域^[6]、流域^[7]尺度上都有学者利用地统计学和 GIS 技术展开土壤理化性状的空间分异

收稿日期: 2011-09-23; 修订日期: 2011-11-22

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAC61B01)

作者简介: 彭景涛(1980~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为土地利用与土壤环境, E-mail: pjtxndx@163.com

* 通讯联系人, E-mail: ligs@igsnrr.ac.cn

的研究. 青海三江源地区自然条件严酷, 生态系统群落结构简单, 系统内物质、能量流动缓慢, 抗干扰和自我恢复能力低下, 是全球生态环境最为敏感和脆弱的地区之一^[8], 因此在三江源地区开展土壤养分元素的时空分异研究十分必要. 目前三江源地区关于退化草地土壤养分元素的变化研究中可分为中小尺度和大尺度两种. 中小尺度的研究多用定位观测研究法^[9~11]和空间代替时间法^[12~16], 但是永久固定样地的长期定位观测获取时间序列数据的方法在实践上存在很大的困难. 空间替代时间法也存在区域的限制, 另外土壤的异质性也会影响退化草地土壤养分变化的分析结果. 在大尺度的研究中, 最常用的方法主要是根据土壤类型进行采样分析后, 按照土壤类型进行统计分级^[17], 认为不同区域同一土壤类型土壤的理化性状是一致的, 对其进行空间赋值, 得到不同土壤理化性状的空间分布图, 再以土地利用类型与土壤类型的叠加图斑作为基本评价单元, 每一种土壤类型所赋的值作为该类型土壤养分的均值. 这样就不可避免地缩小了图斑内的变异, 增大了图斑之间的变异. 基于在三江源地区利用地统计学和 GIS 技术开展大尺度下退化土壤养分元素时空变异的报道则相对较少, 本研究试图从这个角度分析青海三江源地区退化草地土壤全氮的时空分异特征及规律, 以期对退化草地的生态恢复以及生态补偿机制研究和科学决策提供理论依据和参考.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

青海三江源地区位于青藏高原的东北部 (31°39'~36°16'N, 89°24'~102°23'E), 地处青藏高原腹地、青海省南部, 行政区域涉及玉树、果洛、海南、黄南四个藏族自治州的 16 个县和格尔木市的唐古拉乡, 面积 35.65 万 km² (图 1). 三江源区系黄河、长江和澜沧江的发源地, 素有“中华水塔”之称. 三江源区气候属于青藏高原气候系统, 为典型的高原大陆性气候. 源区年平均气温为 -5.6~3.8℃, 年平均降水量 262.2~772.8mm, 年蒸发量在 730~1700 mm 之间, 年日照时数 2300~2900 h, 年辐射量 5500~6800 MJ·m⁻², 沙暴日数一般 19 d 左右^[18]. 三江源地区是青藏高原的腹地和主体, 以山地地貌为主, 山脉绵延、地势高耸、地形复杂, 海拔介于 3450~6621 m 之间. 受高寒条件影响, 土壤基质形成原始, 大多厚度薄、质地粗、肥力低、易受蚀, 尚处于年轻发育阶段. 由于三江源热量和水分由东

南向西北递减, 植被的水平带谱和垂直带谱均十分明显, 植被空间分布呈明显的高原地带性. 高山草甸和高寒草原是三江源地区主要植被类型和天然草场, 高山草甸植被以小蒿草 (*Small polum herba*)、藏蒿草 (*Tibetan polum Grass*)、矮蒿草 (*Denique polum Grass*)、异叶针茅 (*Stipa heterophylla*) 等种群为优势; 高寒草原以青藏苔草 (*Tibet-Carex Qinghai*) 和紫花针茅 (*Purple stipa*) 为主^[19].



图 1 三江源研究区地理位置示意

Fig. 1 Geographic location of the Three-River Headwaters region in Qinghai Province

1.2 地统计学方法

基于区域化变量理论为基础的地统计学研究方法在研究空间分布上既有随机性又有结构性的自然现象中已有广泛应用. 在区域化变量满足二阶平衡和本征假设的前提下, 半方差函数可以用式 (1) 表示:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{i=1}^{N(h)} [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \quad (1)$$

式中, $\gamma(h)$ 是样本距为 h 的半方差; h 为一定的间隔距离, 称为步长, $N(h)$ 是间距为 h 的样本对的总个数; $Z(x_i)$ 和 $Z(x_i + h)$ 分别是区域化变量 $Z(x)$ 在空间位置 x_i 和 $x_i + h$ 的实测值. 半方差值会随着距离的增加而增加, 这是因为距离相近的样品点性质较为相似. 当观测点间距大于最大相关距离时, 该值趋于稳定.

1.3 克里格插值

克里格插值 (Kriging) 又称空间局部插值法, 是以变异函数理论和结构分析为基础, 在有限区域内对区域化变量进行无偏最优估计的一种方法, 是地统计学的主要内容之一. 克里格插值是通过已知样本点赋权重来求得未知样点的值, 是一种局部估计的加权平均, 可表示为:

$$Z(x_0) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (2)$$

式中, $Z(x_0)$ 为未知样点的值, $Z(x_i)$ 为未知样点周围的已知样本点的值, λ_i 为第 i 个已知样本点对未

知样点的权重, n 为已知样本点的个数^[20]. 克里格方法的适用范围为区域化变量存在空间相关性, 即如果变异函数和结构分析的结果表明区域化变量存在空间相关性, 则可以利用克里格方法进行内插或外推.

1.4 资料来源与数据处理

1.4.1 资料来源

本研究所需的 20 世纪 80 年代的数据主要是全国第二次土壤普查的数据, 主要的资料有中国土种志第 5 卷、青海土壤、青海土种志、三江源地区各县的农牧业区划和土壤普查报告等, 共收集到 403 个土壤剖面发生层的数据(图 2). 由于第二次土壤普查土壤剖面资料没有具体的经纬度位置, 因此, 搜集了 80 年代青海三江源地区详细的行政区划资料、乡级行政区划图、地形图、交通图、青海地名录等资料,

根据上述资料和剖面位置描述进行空间定位, 进而得到所有剖面位置的经纬度坐标.

另外在 2009 年 8 月和 2010 年 9 月对青海三江源地区进行野外考察和土壤样品采样, 2 次考察最终完成 100 个样点的采样, 其中 2009 年有 44 个样点, 2010 年共 56 个样点的采样. 对所有样点采用挖土壤剖面的方法按间隔 10 cm 分层取土样直至剖面母质层, 每一层取 100 ~ 500 g 土壤样品, 共采集 479 个土样, 土样装入散装袋, 同时用 GPS 记录样点的经纬度. 将采回的土样, 拣去肉眼可见的植物根系等有机残体. 室内风干后全部过 20 目筛, 然后用四分法取部分土样进一步磨细全部过 60 目筛. 土壤全氮的测定采用 CNS 元素分析仪(仪器法), 在中国科学院地理科学与资源研究所生态系统网络观测与模拟国家重点实验室理化分析中心完成.

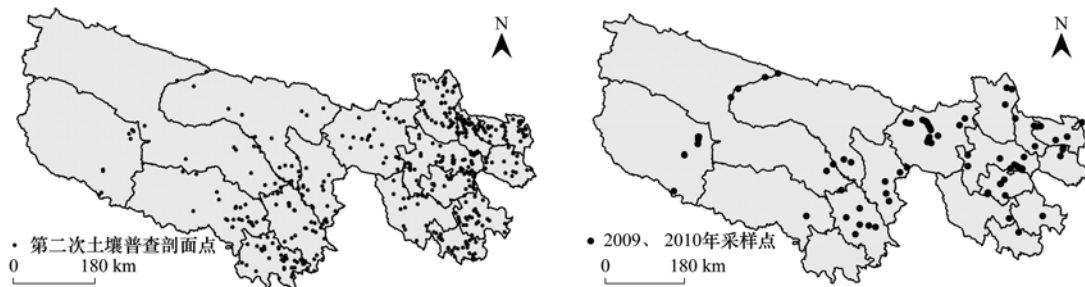


图 2 青海三江源地区 1980 年、2010 年土壤样点分布示意

Fig. 2 Locations of the soil sampling sites at the Three-River Headwaters region in Qinghai Province in 1980 and 2010

1.4.2 数据处理

土壤中全氮的含量有着明显的垂直分布规律, 随着土层的加深, 全氮的含量下降. 有研究表明全氮和有机质在剖面中有较好的相关性, 土壤下层的全氮含量低并且在不同退化阶段变化不大^[21~23]. 基于此, 本研究对两期土壤剖面数据作归一化处理为三层: 0 ~ 10 cm、10 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm.

三江源地区第二次土壤普查的剖面数据时间界定统一为 1980 年, 由于第二次土壤普查土壤剖面的层次都是按照土壤发生层次进行划分, 剖面划分的层次数目和每层的深度都不相同, 因此需要进行归一化处理(图 3), 将剖面数据分配到指定的深度上去^[24].

对原有的土壤剖面层次的土壤全氮含量按照深度进行加权处理:

$$C_{d'-d} = \sum C_i \times \frac{H_i}{d' - d} \quad (3)$$

式中, C_i 为剖面第 i 层土壤全氮含量, H_i 为 i 层在 $d' \sim d$ 范围内的深度. 这样就可以将不同厚度土层的

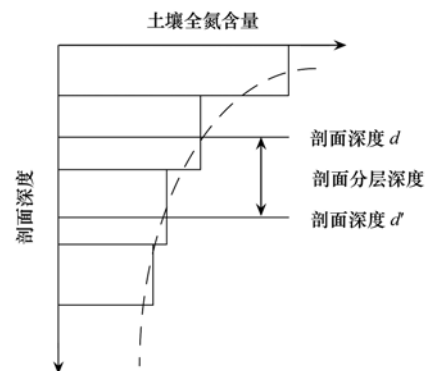


图 3 土壤剖面全氮分布及数据归一化处理示意

Fig. 3 Sketch map of total nitrogen distribution by data standardization

全氮数据都归一化为 0 ~ 10 cm、10 ~ 30 cm、30 ~ 50 cm 深度上去. 在 2009 年 8 月和 2010 年 9 月对青海三江源地区进行野外采样分析数据的时间界定统一为 2010 年, 数据的处理方法同第二次土壤普查的方法相同. 为了减少特异值对方差函数和插值精度的影响, 对特异值进行处理, 用域法识别特异值,

样品的均值 m 加上三倍的均方差 δ , 用正常值的最大值识别特异值^[25].

数据的统计分析在 SPSS 16.0 中进行, 地统计分析用 GS+9.0 软件拟合变异函数、建立拟合模型, 插值、叠加和估值在 Arcgis 9.3 中进行.

2 结果与分析

2.1 描述性统计分析

地统计学进行分析的前提是数据符合正态分布, 数据的正态分布与否也直接影响到插值结果的精度. 应用偏度、峰度联合检验法^[26] 检测数据的正态分布: 当偏度系数接近于 0, 峰度系数接近于 3 时, 数据越符合正态分布. 计算结果表明: 两期不同土层的土壤全氮数据部分不符合正态分布, 经对数转换后, 符合正态分布.

在进行异常值的处理后, 全氮的描述性统计结果见表 1, 从中可以得出: 两期土壤全氮的均值

在 3 个分层上都表现出从表层到底层下降的趋势. 1980 年 0 ~ 10 cm 土壤全氮含量的均值为 0.54%; 10 ~ 30 cm 全氮含量的均值为 0.41%, 比 0 ~ 10 cm 层全氮含量减少了 0.13%; 30 ~ 50 cm 全氮的含量的均值为 0.30%, 比 10 ~ 30 cm 层全氮含量减少了 0.11%. 2010 年 0 ~ 10 土壤全氮的含量的均值为 0.24%; 10 ~ 30 cm 全氮含量的均值为 0.16%, 比 0 ~ 10 cm 层全氮含量减少了 0.08%; 30 ~ 50 cm 全氮的含量的均值为 0.09%, 比 10 ~ 30 cm 层全氮含量减少了 0.07%. 从同一土层上来看, 2010 年土壤全氮的含量均比 1980 年低, 其中 0 ~ 10 cm 的降幅为 0.30%, 10 ~ 30 cm 的降幅为 0.25%, 30 ~ 50 cm 的降幅为 0.21%. 两期数据同一分层中全氮的含量均出现下降趋势, 其中 0 ~ 10 cm 的降幅最大, 30 ~ 50 cm 的降幅最小. 从最大值上看, 2010 年土壤全氮的含量比 1980 年土壤全氮含量同一层上的值都低.

表 1 三江源土壤全氮描述性统计结果

Table 1 Descriptive statistical results of the total nitrogen content in the Three-River Headwaters region in Qinghai Province

年份	数据处理	分层 /cm	均值 /%	最大值 /%	最小值 /%	标准差	变异系数 /%	偏度	峰度	分布类型 ¹⁾
2010	原始数据	0 ~ 10	0.24	0.44	0.02	0.12	50.49	0.04	1.74	ND
1980	原始数据	0 ~ 10	0.54	3.08	0.02	0.51	95.31	2.97	14.50	NN
1980	对数转换	0 ~ 10	-0.97	1.12	-4.20	0.88	-90.14	-0.43	3.58	ND
2010	原始数据	10 ~ 30	0.16	0.30	0.04	0.08	47.55	0.30	1.98	ND
1980	原始数据	10 ~ 30	0.41	2.86	0.02	0.45	109.24	3.46	17.89	NN
1980	对数转换	10 ~ 30	-1.27	1.05	-4.05	0.87	-68.31	-0.03	3.27	ND
2010	原始数据	30 ~ 50	0.09	0.23	0.03	0.05	56.92	1.01	3.07	NN
2010	对数转换	30 ~ 50	-2.50	-1.45	-3.67	0.55	-21.94	0.15	2.29	ND
1980	原始数据	30 ~ 50	0.30	2.29	0.003	0.38	124.06	3.32	15.87	NN
1980	对数转换	30 ~ 50	-1.67	0.83	-5.81	0.98	-58.46	-0.13	4.08	ND

1) NN 表示非正态分布 (non-normal distribution); ND 表示正态分布 (normal distribution)

根据变异系数 (C_v) 的大小可粗略估计变量的变异程度: 弱变异性, $C_v < 10\%$; 中等变异性, $C_v 10\% \sim 100\%$; 强变异性, $C_v > 100\%$ ^[25]. 由表 1 可知, 同层土壤进行对比, 2010 年土壤全氮含量的变异系数均比 1980 年小, 这说明各样点之间全氮含量的差异性变小, 这可能与近些年来三江源保护措施的加强, 影响草地退化的各种因子的减弱有关.

2.2 土壤全氮地统计分析

常用的半方差理论模型有线性、球状、指数、高斯这 4 种^[20]. 变异函数最优理论模型的选择用决定系数 (R^2) 来决定, 并综合考虑残差 (RSS) 和块金值. 根据 R^2 最大, RSS 最小的原则拟合了最优的理论模型, 并得到相应的参数. 本研究的半方差拟合假

设不存在各向异性, 只进行各向同性情况下模型的拟合. 在对数据进行对数转换后, 符合正态分布的前提下, 对其进行拟合, 得到两期土壤全氮的半方差函数理论模型和相应参数. 1980 年各层全氮含量指数模型拟合的最好; 2010 年全氮含量 0 ~ 10 cm 高斯模型拟合得最好, 10 ~ 30 cm 和 30 ~ 50 cm 球状模型拟合得最好.

土壤属性的空间分异性是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果. 结构性因素如气候、母质、地形、土壤类型等内在因子, 而随机性因素如施肥、耕作措施、种植制度等各种外在因子 (人类活动). 结构性因素使得土壤养分的空间相关性加强, 随机性因素使得土壤养的空间相关性趋向均一化^[20]. 块金值 (C_0) 通常表示由实验误差和小于实验取样尺

度引起的变异,较大的块金方差值表明较小尺度上的某种过程不容忽视.块金值(C_0)与基台值($C_0 + C$)之比称为块金效应,表示空间变异性程度,该比值越高,说明由随机部分引起的空间变异性程度较大,相反则由结构性因素引起的空间变异性程度较大.如果该比值接近1,则说明该变量在整个尺度上具有恒定的变异. $C_0/(C_0 + C)$ 可以反映空间的相关性程度,当 $C_0/(C_0 + C) < 25\%$,变量具有强烈的空间自相关性;当 $25\% < C_0/(C_0 + C) < 75\%$,变量具有中等的空间自相关性;当 $C_0/(C_0 + C) > 75\%$ 时,变量空间相关性很弱,不适合采用空间插值的方法进行空间预测.从表2可以看出,1980年3个土层的块金效应比较接近,在25%~75%之间,具有中等程度的空间自相关性,说明三江源地区退化草地土壤全氮的空间分异性是由结构性因素和随机性因素共同作用的结果.2010年0~10 cm土壤全氮的 $C_0/(C_0 + C) < 25\%$,此层的全氮具有强烈的空间自相关性,说明这种空间分异主要是由气候、母质、地形、土壤类型等结构性因素引起的;10~30 cm和30~50 cm的值在25%~75%之间,具有中等程度的空间自相关性,说明这种空间分异性是由结构性因素和随机性因素共同引起的.两期数据同一土层的 $C_0/(C_0 + C)$ 对比分析发现2010年的块金效应都

比1980年小,尤其在表层0~10 cm表现的更明显, $C_0/(C_0 + C)$ 变化最大,变幅为25.84%,表示人类活动对全氮的空间分布的干预在降低,全氮的空间分布的自相关性在加强.这说明近30年来随着三江源地区人类活动的干预的减少,环境保护的加强,全氮的空间分布特征越来越受到如气候、母质、地形、土壤类型等结构性因素的影响和控制.变程是最大相关距离,在这个最大相关距离内,则说明观测值之间存在一定的空间自相关性,反之则不存在.从变程上看,1980年土壤全氮的三分层的变程,由285 km逐渐减小到132 km,说明全氮的空间相关距离从上层到下层逐渐减小;2010年土壤全氮的3个分层的变程由222 km增加到389 km,说明全氮的空间相关距离从上层到下层在逐渐增大.对比两期数据的同一层次的变程可以看出0~10 cm全氮含量的变程在变小,10~30 cm和30~50 cm全氮含量的变程在变大.这说明30年来表层全氮含量分布的均一性减弱,在小范围内的变异加强,整体分布趋向复杂.底层全氮含量的均一性增强,在小范围内的变异减弱,整体分布趋向简单.这可能是由于三江源地区草地生态系统由于自然或人为原因发生不同程度退化以后,对于0~10 cm全氮含量影响最显著,而对于10~30 cm和30~50 cm全氮含量的影响较小所致.

表2 三江源地区土壤全氮的半方差模型参数

Table 2 Semivariogram parameters of the total nitrogen content in the Three-River Headwaters region in Qinghai Province									
年份	层数/%	理论模型	块金值	偏基台值	基台值	块金效应/%	变程/km	决定系数(R^2)	残差(RSS)
1980	0~10	Exponential	0.412 0	0.413 0	0.825 0	49.94	285	0.425	0.109
2010	0~10	Gaussian	0.005 4	0.016 9	0.022 2	24.10	222	0.732	1.47E-04
1980	10~30	Exponential	0.398 0	0.399 0	0.797 0	49.94	228	0.411	0.0865
2010	10~30	Spherical	0.002 4	0.004 6	0.007 0	34.48	241	0.430	3.01E-05
1980	30~50	Exponential	0.502 0	0.503 0	1.005 0	49.95	132	0.289	0.166
2010	30~50	Spherical	0.001 8	0.001 8	0.003 6	49.86	389	0.602	2.30E-06

2.3 30年来全氮的变化分析

利用Gs+软件拟合得来的模型和参数,在Arcgis 9.3中的地统计分析模块(Geostatistical Wizard)进行普通克里格插值.插值结果生成1.5 km×1.5 km的栅格图,得到158 508个有效网格值.通过对栅格图的叠加计算,可以得到30年来全氮含量的空间差值分布图.

从全氮含量的变化程度上看,0~10 cm全氮含量的变化主要集中在-0.4%~-0.2%之间,占三江源面积的30.66%;10~30 cm、30~50 cm全氮含量的变化主要集中在-0.2%~-0%之间,分别占三江源面积的36.50%、65.04%.

通过表3和图4可以得出:三江源地区3个分

层上的全氮含量大部地区都呈下降趋势.全氮含量减少的地区主要集中在三江源的南部、中部和东部地区.0~10 cm全氮含量下降的面积占三江源总面积的70.84%,下降幅度最大的地区主要分布在囊谦的西部、玛多的中部、玉树和治多及杂多的交界处;10~30 cm下降的面积占三江源总面积的76.81%,下降幅度最大的地区主要分布在囊谦的西部、玛多的中部、玉树和治多及杂多的交界处、达日和班玛的交界处、久治的南部;30~50 cm全氮含量减少的面积是最多的,占三江源总面积的92.35%,下降幅度最大的地区主要分布在达日与班玛的交界处.全氮含量增加的地区主要分布在三江源的西部.0~10 cm全氮含量增加的面积是最多,占三江源总

表 3 30 年来青海三江源地区土壤全氮的空间变化统计

Table 3 Statistics on the spatial distribution of total nitrogen contents in the Three-River Headwaters region in Qinghai Province		分级						增加	减少
分层/cm	项目	-0.6% 以下	-0.6% ~ -0.4%	-0.4% ~ -0.2%	-0.2% ~0%	0% ~0.2%	0.2% 以上		
0 ~ 10	面积/km ²	14 910.75	51 777	109 350	76 605.75	102 906	1 093.5	103 999.5	252 643.5
0 ~ 10	百分比/%	4.18	14.52	30.66	21.48	28.85	0.31	29.16	70.84
10 ~ 30	面积/km ²	0	23 395.5	120 368.25	130 162.5	82 716.75	0	82 716.75	273 926.3
10 ~ 30	百分比/%	0.00	6.56	33.75	36.50	23.19	0.00	23.19	76.81
30 ~ 50	面积/km ²	0	3 150	94 239	231 970.5	27 283.5	0	27 283.5	329 359.5
30 ~ 50	百分比/%	0.00	0.88	26.42	65.04	7.65	0.00	7.65	92.35

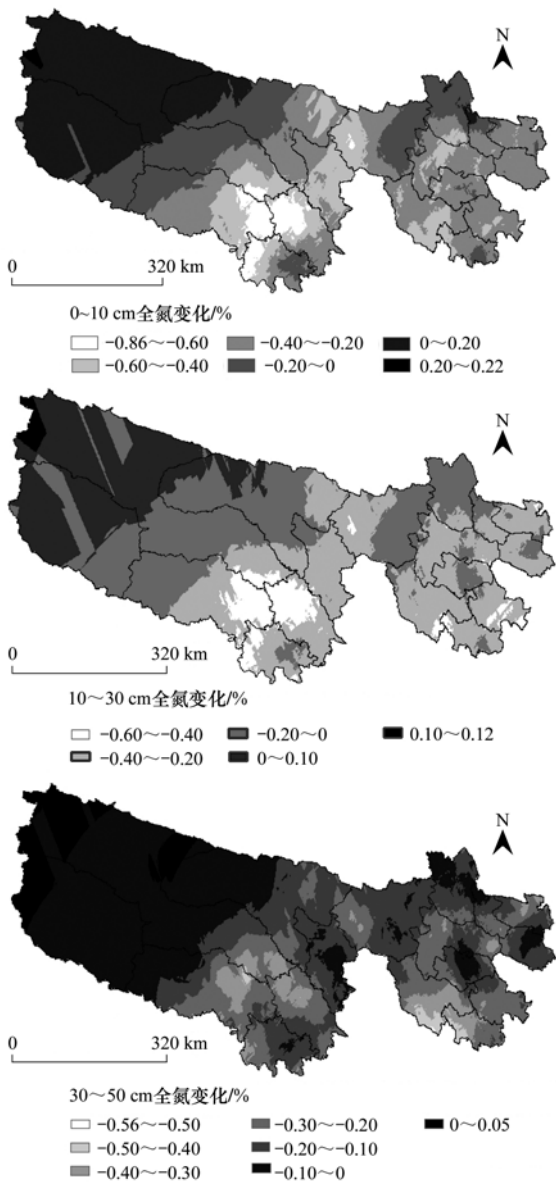


图 4 30 年来青海三江源地区土壤全氮的含量变化分布

Fig. 4 Variations of total nitrogen contents in the Three-River Headwaters region in Qinghai Province during the last 30 years

面积的 29.16%；其次是 10 ~ 30 cm，占三江源面积的 23.19%；最后是 30 ~ 50 cm，占全区总面积的 7.65%。

3 讨论

三江源地区生态系统类型以草地生态系统为主，面积占了源区总面积的 65.37%。从整体看，三江源区各类生态系统都表现出不同程度的退化趋势。20 世纪 70 年代中后期以来三江源地区生态系统类型的转变主要发生在草地和水体与湿地生态系统上，草地生态系统的变化主要发生在中部和东部地区，水体与湿地生态系统的变化主要发生在广大西部和北部地区，其中以草地生态系统的退化最显著^[8]。通过图 4 可以看出整体上三江地区土壤全氮的含量呈递减趋势，南部、中部和东部递减的最为明显，全氮含量增加的地区主要分布在三江源的西部的部分地区。

刘纪远等^[1]利用 20 世纪 70 年代中后期、90 年代初期和 2004 年三期卫星遥感影像资料得出：从 20 世纪 70 年代中后期至 2004 年，三江源地区草地退化过程一直在持续，退化过程的规律在不同区域和地带有明显不同的表现，即从东南向西北的水平地带上草地生态系统存不同的退化过程规律。本研究从土壤养分元素的角度发现，30 年来土壤全氮含量表现出从东南向西北的变化规律，南部、中部和东部地区以减少为主，西部地区增加为主。由于气候变化和其它人类活动导致草地退化以后，一方面通过植物残体补充到土壤中的养分元素减少，另一方面土壤失去植被保护而直接遭受风力、雨雪以及其它的外力作用的侵蚀，加速了养分元素的流失。王一博等^[27]的研究表明：退化高寒草原总有机质的流失率为 53%。邵新庆等^[23]在对典型草原自然演替过程中理化性状的研究表明：0 ~ 20 cm 土壤层全氮和土壤有机质的含量存在显著相关，相关系数达到 0.990。草地退化是土壤有机质和全氮含量的降低的主要原因之一，全氮含量的变化在一定程度上可以作为草地退化的一种指标^[28]。由表 3 可以得出全氮含量的变化幅度大多都处在较低幅度的变化，整体上三江源地区不存在大幅度的土

壤全氮含量的下降。

在三江源的南部、中部和东部的一些地区,局部环境和人类活动(特别是超载过牧)的影响对土壤全氮的影响很大。在人类活动的干扰和自然因素的综合作用下,草地发生退化,生产能力下降,植被覆盖度降低,土层裸露,土壤层遭受风力和水力的侵蚀,再加这些地区的水分条件比西部地区较好,导致土壤中的氮元素的流失比较严重,土壤全氮的含量低于其它地区。

4 结 论

(1)两期全氮含量的均值在3个分层上都表现出从表层到底层下降。从同一层次上看出,2010年全氮的含量均比1980年低;从最大值上来看,同一层次上2010年全氮的含量比1980年全氮含量的值都低;从同一层次上分析得出2010年的土壤全氮的变异系数均比1980年小。

(2)1980年的三层的块金效应比较接近,具有中等的空间自相关性。2010年全氮0~10 cm的具有强烈的空间自相关性;10~30 cm和30~50 cm的值具有中等程度的空间自相关性。两期数据的同一层次的 $C_0/C_0 + C$ 对比分析发现2010年的块金效应都比1980年要小,表示有机质的空间分布的自相关性加强,气候、母质、地形、土壤类型等结构性因素在土壤全氮空间分布中的作用加大。两期数据的同一层次0~10 cm的全氮含量的变程在变小,10~30 cm和30~50 cm全氮含量的变程在变大,说明表层全氮含量的分布比底层复杂。

(3)30年来三江源地区全氮的含量的变化地区差异性明显。南部、中部、东部递减的最为明显;全氮含量增加的区域主要分布在三江源西部的部分地区。从整体上来说30年来三江源大部分地区全氮含量都出现了不同程度的下降,但是不存在大面积的严重下降。造成30年来全氮含量变化地区差异的主要原因是不同地区草地退化的程度存在差异。

参考文献:

- [1] 刘纪远,徐新良,邵全琴.近30年来青海三江源地区草地退化的时空特征[J].地理学报,2008,63(4):364-376.
- [2] 苏永中,赵哈林,文海燕.退化沙质草地开垦和封育对土壤理化性状的影响[J].水土保持学报,2002,16(4):5-8.
- [3] Campbell J B. Spatial variation of sand content and PH within single contiguous delineations of two soil mapping units[J]. Soil Science Society of America Journal, 1978, 42(3): 460-464.
- [4] 蒋勇军,章程,袁道先.岩溶区土壤肥力的时空变异及影响因素——以云南小江流域为例[J].生态学报,2008,28(5):2288-2298.
- [5] 刘文杰,苏永中,杨荣,等.黑河中游绿洲农田土壤速效养分
- 的时空变化特征[J].干旱区资源与环境,2010,24(11):129-134.
- [6] 肖鹏飞,张世熔,黄丽琴,等.成都平原区土壤速效磷时空变化特征[J].水土保持学报,2005,19(4):89-92.
- [7] 王军,傅伯杰,邱扬,等.黄土丘陵小流域土壤水分的时空变异特征——半变异函数[J].地理学报,2000,55(4):429-437.
- [8] 徐新良,刘纪远,邵全琴,等.30年来青海三江源生态系统格局和空间结构动态变化[J].地理研究,2008,27(4):829-836.
- [9] 李博.中国北方草地退化及其防治对策[J].中国农业科学,1997,30(6):1-9.
- [10] 陈佐忠,汪诗平.中国典型草原生态系统[M].北京:科学出版社,2000.
- [11] 刘钟龄,王炜,郝敦元,等.内蒙古草原退化与恢复演替机理的探讨[J].干旱区资源与环境,2002,16(1):84-91.
- [12] 王长庭,龙瑞军,王启兰,等.三江源区高寒草甸不同退化演替阶段土壤有机碳和微生物量碳的变化[J].应用与环境生物学报,2008,14(2):225-230.
- [13] 李裕元,邵明安,上官周平,等.黄土高原北部紫花苜蓿草地退化过程与植被演替研究[J].草业学报,2006,15(2):85-92.
- [14] 林丽,龙瑞军,赵成章,等.阿尔泰狗娃花型退化草地植物功能群特征初探[J].草业科学,2009,26(6):35-40.
- [15] 邵新庆,王堃,王赞文,等.典型草原自然恢复演替过程中植物群落动态变化[J].生态学报,2008,28(2):855-861.
- [16] 李海英,彭红春,王启基.高寒矮嵩草草甸不同退化演替阶段植物群落地上生物量分析[J].草业学报,2004,13(5):26-32.
- [17] 邵景安,邵全琴,刘纪远.三江源地区各类生态系统土壤的性状及其形成能力[J].地理研究,2009,28(3):614-623.
- [18] 王启基,来德珍,景增春,等.三江源区资源与生态环境现状及可持续发展[J].兰州大学学报(自然科学版),2005,41(4):50-55.
- [19] 青海三江源生态监测组.三江源生态系统本底综合评估报告[R].2007.
- [20] 王政权.地统计学及在生态学中的应用[M].北京:科学出版社,1999.
- [21] 李以康,韩发,冉飞,等.三江源区高寒草甸退化对土壤养分和土壤酶活性影响的研究[J].中国草地学报,2008,30(4):51-57.
- [22] 高旭升,田种存,郝学宁,等.三江源区高寒草原草地不同退化程度土壤养分变化[J].青海大学学报(自然科学版),2006,24(5):37-40.
- [23] 邵新庆,石永红,韩建国,等.典型草原自然演替过程中土壤理化性质动态变化[J].草地学报,2008,16(6):566-571.
- [24] 徐艳,张凤荣,段增强,等.区域土壤有机碳密度及碳储量计算方法探讨[J].土壤通报,2005,36(6):836-839.
- [25] 王绍强,朱松丽,周成虎.中国土壤土层厚度的空间变异性特征[J].地理研究,2001,20(2):161-169.
- [26] 陈彦.绿洲农田土壤养分时空变异及精确分区管理研究[D].新疆:石河子大学,2008.
- [27] 王一博,王根绪,张春敏,等.高寒植被生态系统变化对土壤物理化学性状的影响[J].冰川冻土,2007,29(6):921-926.
- [28] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局.中华人民共和国国家标准:天然草地退化、沙化、盐渍化的分级指标[M].北京:中国标准出版社,2004.

CONTENTS

Isotopic Composition and Isotope Tracing of Sulfur in Atmospheric Precipitation at the Head Area of the Three Gorges Reservoir, China	WU Qi-xin, HAN Gui-lin (2145)
Characterization and Reconstruction of Aerosol Light Scattering Coefficient at Chengdu During Biomass Burning and Dust Storm Period in Spring	YUE Jian-hua, TAO Jun, LIN Ze-jian, <i>et al.</i> (2151)
Aerosol Optical Thickness of the Atmospheric Aerosol over Taihu Lake and Its Features; Results of In-site Measurements	RAO Jia-wang, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao, <i>et al.</i> (2158)
Seasonal Variations in the Vertical Distribution of Aerosols During Dry Haze Periods in Regions Around Shanghai	XU Ting-ting, QING Yan, GENG Fu-hai, <i>et al.</i> (2165)
Size Distributions and Diurnal Variations in the Concentrations of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Winter in Urban and Suburban Nanjing, China	ZHANG Hong-liang, FAN Shu-xian, GU Kai-hua, <i>et al.</i> (2172)
Seasonal Distribution of Water-Soluble Inorganic Ions in the Atmospheric Aerosol in Qingdao	LIU Zhen, QI Jian-hua, WANG Lin, <i>et al.</i> (2180)
Pollution Characteristics of Microbial Aerosols Generated from a Municipal Sewage Treatment Plant	QIU Xiong-hui, LI Yan-peng, NIU Tie-jun, <i>et al.</i> (2191)
Estimation of the Effect Derived from Wind Erosion of Soil and Dust Emission in Tianjin Suburbs on the Central District Based on WEPS Model	CHEN Li, HAN Ting-ting, LI Tao, <i>et al.</i> (2197)
Variation of Nutrient Concentrations at the Inshore Coastal Area of Northern Jiangsu Province and the Occurrence of Green Tide Caused by <i>Enteromorpha prolifera</i>	GAO Song, SHI Xiao-yong, WANG Ting (2204)
Analysis on Characteristics of Red Tide in Fujian Coastal Waters During the Last 10 Years	LI Xue-ding (2210)
Review on HSPF Model for Simulation of Hydrology and Water Quality Processes	LI Zhao-fu, LIU Hong-yu, LI Yan (2217)
Parameter Uncertainty Analysis for Urban Rainfall Runoff Modelling	HUANG Jin-liang, LIN Jie, DU Peng-fei (2224)
Estimation of DOC Concentrations Using CDOM Absorption Coefficients; A Case Study in Taihu Lake	JIANG Guang-jia, MA Rong-hua, DUAN Hong-tao (2235)
Weight Parameters of Water Quality Impact and Risk Grade Determination of Water Environmental Sensitive Spots in Jiahsan	XIE Rong-rong, PANG Yong, ZHANG Qian, <i>et al.</i> (2244)
Diurnal Variation and Evaluation of Water Quality in Different Seasons of Panxi River in Chongqing	ZHANG Qian-qian, WANG Xiao-ke, HAO Li-ling, <i>et al.</i> (2251)
Responses of Wetland Water Quality to Influence the Strengthness of Urbanization in Nanjing, China	HAO Jing-feng, LIU Hong-yu, HU He-bing, <i>et al.</i> (2259)
Studies on Relationship of Phytoplankton and Water Environmental Factors in Shahu Lake	QIU Xiao-cong, ZHAO Hong-xue, SUN Xiao-xue (2265)
Influence on the Spatial Distribution of Fish in Taizi River Basin by Environmental Factors at Multiple Scales	DING Sen, ZHANG Yuan, QU Xiao-Dong, <i>et al.</i> (2272)
Comparison and Application of Biological Indices of Macroinvertebrates in River Health Assessment	GENG Shi-wei, QU Xiao-dong, ZHANG Yuan, <i>et al.</i> (2281)
Spatial and Temporal Distribution of Total Mercury (T-Hg) in Different Water Bodies of Nam Co, Tibetan Plateau	WANG Kang, KANG Shi-chang, GUO Jun-ming, <i>et al.</i> (2288)
Temporal and Spatial Variations of Major Ions in Nam Co Lake Water, Tibetan Plateau	GUO Jun-ming, KANG Shi-chang, ZHANG Qiang-gong, <i>et al.</i> (2295)
Eutrophication Control in Local Area by Physic-ecological Engineering	LI Qiu-hua, XIA Pin-hua, WU Hong, <i>et al.</i> (2303)
Nitrogenous Fluxes and Its Self-Purification Capacity in Lake Taihu	CHEN Xiao-feng, CHUAI Xiao-ming, ZENG Jin, <i>et al.</i> (2309)
Response of Phosphorus Components in Sediments from Eutrophic Lake to External Sulfate	YUAN Tan, HUA Yu-mei, ZHU Duan-wei, <i>et al.</i> (2315)
Spatial Distribution Character of Phosphorus Fractions in Surface Sediment from Chaohu Lake	WEN Sheng-fang, SHAN Bao-qing, ZHANG Hong (2322)
Long-range Transport Potential of Typical Organic Pollutants in Nanjing	FANG Li-jiang, WU You-fang, DING Zhong-yuan, <i>et al.</i> (2330)
Distribution of Black Carbon in the Surface Sediments of the East China Sea and Their Correlations with Persistent Organic Pollutants	LIN Tian, FANG Yin, CHEN Ying-jun, <i>et al.</i> (2335)
Contamination Characteristics of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs) in Surface Water from Jialing River in Chongqing	CAI Wen-liang, LUO Gu-yuan, XU Xiao-yi, <i>et al.</i> (2341)
Levels, Distribution and Possible Sources of Polychlorinated Biphenyls in River Sediments from an Electronic Waste Recycling Area	WANG Xue-tong, LI Yuan-cheng, MIAO Yi, <i>et al.</i> (2347)
Assessment Model for Heavy Metal Pollution in Sediment Based on Trapezoidal Fuzzy Numbers and Case Study	LI Fei, HUANG Jin-hui, ZENG Guang-ming, <i>et al.</i> (2352)
Impact of Coastal Exploitation on the Heavy Metal Contents in the Sediment of Bohai Bay	QIN Yan-wen, ZHENG Bing-hui, LI Xiao-bao, <i>et al.</i> (2359)
Spatial Distribution and Contamination Evaluation of Heavy Metals in the Intertidal Surface Sediments of Eastern Chongming	LI Ya-juan, YANG Shi-lun, HOU Li-jun, <i>et al.</i> (2368)
Speciation and Vertical Distribution of Heavy Metals in Sediments of Baiyangdian Lake	LI Bi-cai, HE Lian-sheng, YANG Min, <i>et al.</i> (2376)
AVS Concentrations in Xinan Creek and the Influencing Factors	LIU Xiao-bing, WEN Yan-mao, LI Feng, <i>et al.</i> (2384)
Mechanism of NH_4^+ -N Removal in Drinking Water Biofilter	LIU Bing, FAN Hui, YU Guo-zhong, <i>et al.</i> (2394)
Characterization and Thermodynamic Properties of Cu(II) Imprinted Chitosan Crosslinked Membrane	ZHANG Yu-hong, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti, <i>et al.</i> (2403)
Studies on the Degradation of Paracetamol in Sono-electrochemical Oxidation	DAI Qi-zhou, MA Wen-jiao, SHEN Hong, <i>et al.</i> (2410)
Study on Treatment of Methylene Blue Wastewater by Fly Ash Adsorption-Fenton and Thermal Regeneration	BAI Yu-jie, ZHANG Ai-li, ZHOU Ji-ti (2419)
Electricity Generation Performance of Two-Chamber Microbial Full Cell in the Treatment of Simulated Wastewater	ZHANG Yong-juan, LI Yong-feng, LIU Chun-yan, <i>et al.</i> (2427)
Preparation and Characterization of Zn/Cr-LDHs and Their Removal Performances of Reactive Brilliant Orange X-GN	WANG Xiao-rong, WU Ping-xiao (2432)
Transport Processes of Low-level Radioactive Liquid Effluent of Nuclear Power Station in Closed Water Body	WU Guo-zheng, XU Zong-xue (2438)
Analysis of Carbon Balance and Study on Mechanism in Anoxic-Oxic-Settling-Anaerobic Sludge Reduction Process	ZHAI Xiao-min, GAO Xu, ZHANG Man-man, <i>et al.</i> (2444)
Effect of Mixed Carbon Sources in the Granulation Process of EBPR System	JIANG Tao, SUN Pei-de, XU Shao-juan (2451)
Biocatalyst of Redox Mediators on the Denitrification by <i>Paracoccus versutus</i> Strain GW1	LI Hai-bo, LIAN Jing, GUO Yan-kai, <i>et al.</i> (2458)
Isolation of a High Hydrogen-producing Mutant TB34 Generated by Transposon Insertion and Analysis of Hydrogen Production	LIU Hong-yan, WANG Guang-ce, SHI Liu-yang, <i>et al.</i> (2464)
Condition Optimization for Degradation of Chlorophenols Using Laccase from <i>Amillariella mellea</i>	QIN Ren-bing, ZHU Xian-feng, WU Ke, <i>et al.</i> (2470)
Characterization of CH_4 , N_2O Emission and Selection of Rice Cultivars in Double Cropping Rice Fields	FU Zhi-qiang, ZHU Hua-wu, CHEN Can, <i>et al.</i> (2475)
Short-term Effects of Exogenous Nitrogen on CH_4 and N_2O Effluxes from <i>Cyperus malaccensis</i> Marsh in the Min River Estuary	MOU Xiao-jie, LIU Xing-tu, TONG Chuan, <i>et al.</i> (2482)
Temporal-spatial Variations of Total Nitrogen in the Degraded Grassland of Three-River Headwaters Region in Qinghai Province	PENG Jing-tao, LI Guo-sheng, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2490)
Temporal Variations of Clay Content in Eroded Sediment Under Different Rainfall Condition	WU Feng-zhi, SHI Zhi-hua, FANG Nu-fang, <i>et al.</i> (2497)
Effects of Soil Properties on the Stabilization Process of Cadmium in Cd Alone and Cd-Pb Contaminated Soils	WU Man, XU Ming-gang, ZHANG Wen-ju, <i>et al.</i> (2503)
<i>In-situ</i> Remediation of Polychlorinated Biphenyls Polluted Soil by Ecological Controlling Measures; A Field Trial	PAN Cheng, TENG Ying, LUO Yong-ming, <i>et al.</i> (2510)
Characterization Comparison of Polycyclic Aromatic Hydrocarbon Uptake by Roots of Different Crops	LIANG Xiao, ZHAN Xin-hua, ZHOU Li-xiang (2516)
Characteristics and Mechanism of Sodium Removal by the Synergistic Action of Flue Gas and Waste Solid	YI Yuan-rong, HAN Min-fang (2522)
Decomposition Model of Energy-Related Carbon Emissions in Tertiary Industry for China	LU Yuan-qing, SHI Jun (2528)

《环境科学》第6届编辑委员会

主 编: 欧阳自远

副主编: 赵景柱 郝吉明 田 刚

编 委: (按姓氏笔画排序)

万国江 王华聪 王凯军 王绪绪 田 刚 田 静 史培军
朱永官 刘志培 汤鸿霄 陈吉宁 孟 伟 周宗灿 林金明
欧阳自远 赵景柱 姜 林 郝郑平 郝吉明 聂永丰 黄 霞
黄 耀 鲍 强 潘 纲 潘 涛 魏复盛

环 境 科 学

(HUANJING KEXUE)

(月刊 1976年8月创刊)

2012年7月15日 33卷 第7期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 7 Jul. 15, 2012

主 管	中国科学院	Superintended	by	Chinese Academy of Sciences
主 办	中国科学院生态环境研究中心	Sponsored	by	Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences
协 办	(以参加先后为序) 北京市环境保护科学研究院 清华大学环境学院	Co-Sponsored	by	Beijing Municipal Research Institute of Environmental Protection School of Environment, Tsinghua University
主 编	欧阳自远	Editor-in -Chief		OUYANG Zi-yuan
编 辑	《环境科学》编辑委员会 北京市2871信箱(海淀区双清路 18号, 邮政编码:100085) 电话:010-62941102, 010-62849343 传真:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn	Edited	by	The Editorial Board of Environmental Science (HUANJING KEXUE) P. O. Box 2871, Beijing 100085, China Tel:010-62941102, 010-62849343; Fax:010-62849343 E-mail: hjkx@ rcees. ac. cn http://www. hjkx. ac. cn
出 版	科 学 出 版 社 北京东黄城根北街16号 邮政编码:100717	Published	by	Science Press 16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷 装 订	北京北林印刷厂	Printed	by	Beijing Bei Lin Printing House
发 行	科 学 出 版 社 电话:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com	Distributed	by	Science Press Tel:010-64017032 E-mail: journal@ mail. sciencep. com
订 购 处	全国各地邮电局	Domestic		All Local Post Offices in China
国外总发行	中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)	Foreign		China International Book Trading Corporation (Guoji Shudian), P. O. Box 399, Beijing 100044, China

中国标准刊号: ISSN 0250-3301
CN 11-1895/X

国内邮发代号: 2-821

国内定价: 70.00元

国外发行代号: M 205

国内外公开发行人