

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE

第33卷 第6期

Vol.33 No.6

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

我国湖泊富营养化效应区域差异性分析	曹金玲, 许其功, 席北斗, 李小平, 杨柳燕, 江立文, 魏自民, 吴献花 (1777)
基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价	孙然好, 陈利顶, 王伟, 王赵明 (1784)
云蒙湖流域土地利用变化对非点源氮污染负荷的影响	孟晓云, 于兴修, 泮雪芹 (1789)
深圳市沿岸表层海水中全氟化合物的残留特征及其分布规律	陈清武, 张鸿, 柴之芳, 沈金灿, 杨波 (1795)
典型电器工业区河涌沉积物中多环芳烃的分布、来源和潜在生态风险	邓代永, 邱孟德, 孙国萍, 郭俊, 张宏涛, 张琴, 许玫英 (1801)
珠江下游河段沉积物中重金属含量及污染评价	谢文平, 王少冰, 朱新平, 陈昆慈, 潘德博, 洪孝友, 尹怡 (1808)
扎龙湿地南山湖沉积岩芯重金属污染特征及来源判别	苏丹, 臧淑英, 叶华香, 孙丽, 贾晓丹, 李苗 (1816)
汕头湾沉积物磷的形态分布与季节变化特征研究	赵建刚, 乔永民 (1823)
氮磷比对东海浮游植物群落生长影响的微宇宙实验	黄伟, 朱旭宇, 曾江宁, 寿鹿, 陈全震, 江志兵 (1832)
春季福建北部海域浙闽沿岸流消亡期浮游桡足类种类组成及其分布	王彦国, 林景宏, 王春光, 林茂 (1839)
滩涂红树林种植-养殖耦合系统中多环芳烃含量水平分析	陈冠秋, 李耀初, 黄晋沐, 南燕, 林茂宏 (1846)
四溴双酚 A 在 5 种巢湖鱼类体内的组织分布与生物浓缩因子研究	杨苏文, 王圣瑞, 闫振广, 张普青 (1852)
五氯酚对稀有鮐鲫卵黄蛋白原及 p53 的诱导效应	熊力, 马永鹏, 张晓峰, 金帮明, 李伟, 苏永良, 毛思予, 刘堰 (1858)
全氟辛酸磺酸 (PFOS) 对斑马鱼卵黄蛋白原 mRNA 水平的影响	程艳, 崔媛, 党志超, 谢文平, 李海山, 殷缓缓, 陈会明 (1865)
水溶性有机物电子转移能力与荧光峰强度的关系研究	陶亚, 袁田, 周顺桂, 袁勇, 庄莉, 王辉亮 (1871)
MIEX 中试实验对二级出水中有机物去除的 3DEEM 解析	杨建, 高金华, 常江 (1878)
XDLVO 理论解析钙离子对腐殖酸反渗透膜污染的影响机制	姚淑娣, 高欣玉, 郭本华, 包南, 谢慧君, 梁爽 (1884)
栅藻 LX1 在水产养殖废水中的生长、脱氮除磷和油脂积累特性	马红芳, 李鑫, 胡洪管, 于茵, 巫寅虎 (1891)
氯化铁用于反硝化同步化学生物絮凝工艺研究	王宏杰, 董文艺, 刘莉莎, 韩贵超 (1897)
合成氨废水短程反硝化特性研究	李妍, 李泽兵, 马家轩, 王晓毅, 赵白航, 李军 (1902)
基于新型反应器的好氧颗粒污泥的稳定性控制	李志华, 杨帆, 李胜, 谢磊, 王晓昌 (1907)
采用非生长能量代谢参数表征颗粒污泥稳定性	李志华, 吴军, 李胜, 谢磊, 王晓昌 (1913)
酸-碱预处理促进剩余污泥厌氧消化的研究	袁光环, 周兴求, 伍健东 (1918)
小回流比条件下污泥浓度分区试验研究	史思, 王素兰, 李瑞, 邢传宏 (1923)
非离子表面活性剂对污泥调理脱水效果的影响	侯海攀, 濮文虹, 时亚飞, 于文华, 樊明明, 刘欢, 杨昌柱, 李野, 杨家宽 (1930)
中国空气污染指数变化特征及影响因素分析	李小飞, 张明军, 王圣杰, 赵爱芳, 马潜 (1936)
南京 3 类不同大气污染过程下气溶胶水溶性无机离子的特征研究	张秋晨, 朱彬, 苏继峰, 王红磊 (1944)
深圳市郊区大气中 PM _{2.5} 的特征分析	戴伟, 高佳琪, 曹罡, 欧阳峰 (1952)
餐饮业油烟的颗粒物分析	谭德生, 邝元成, 刘欣, 戴飞鸿 (1958)
Fe-MnO _x -CeO ₂ /ZrO ₂ 低温催化还原 NO 性能研究	刘荣, 杨志琴 (1964)
自然型氨基酸及其钾盐的 CO ₂ 吸收和再生特性	晏水平, 陈竞翱, 徐明亮, 艾平, 张衍林 (1971)
耕作方式对紫色水稻土农田生态系统 CH ₄ 和 N ₂ O 排放的影响	张军科, 江长胜, 郝庆菊, 唐其文, 程炳红, 李辉, 陈璐豪 (1979)
垄作覆膜条件下田间氨挥发及影响因素	上官宇先, 师日鹏, 李娜, 韩坤, 李会科, 王林权 (1987)
添加不同 N 源条件下典型除草剂对土壤呼吸和 N ₂ O 排放的影响	孙青, 史淳星, 石坤, 言儒斌, 蒋静艳, 吴以中 (1994)
某石墨阳极法氯碱生产场地二噁英污染特征分析	余立凤, 魏文侠, 田亚静, 吴广龙, 李培中, 赵丹 (2000)
脱硫石膏对酸化森林土壤短期修复效果的研究	罗遥, 康荣华, 余德祥, 谭炳全, 段雷 (2006)
岩溶山地土壤氧化铁形态及其与成土环境的关系	张治伟, 朱章雄, 傅瓦利, 文志林 (2013)
废弃尾矿库 15 种植物对重金属 Pb、Zn 的积累和养分吸收	施翔, 陈益泰, 王树凤, 李江川 (2021)
铬胁迫对 3 种草本植物生长及铬积累的影响	王爱云, 黄姗姗, 钟国锋, 徐刚标, 刘志祥, 申响保 (2028)
湘西花垣矿区主要植物种类及优势植物重金属蓄积特征	杨胜香, 田启建, 梁士楚, 周耀渝, 邹慧成 (2038)
增施 CO ₂ 对 C3 和 C4 植物根际氯氰菊酯残留浓度的影响	慕楠, 刁晓君, 王曙光, 王鹏腾, 李攀峰 (2046)
生物强化去除吡啶的特性及微生物种群动态变化分析	乔琳, 赵宏, 王建龙 (2052)
A/O MBR 处理生活污水效率与菌群多样性的关系	邝斌宇, 史青, Montcho Leon Monthero, 丁嫚, 温东辉 (2061)
石油污染土壤生物修复过程中氮循环功能基因的动态检测	吴彬彬, 卢滇楠, 刘铮 (2068)
武汉市儿童多途径铅暴露风险评估	郝汉舟, 陈同斌, 吴基良, 雷梅, 田辉, 祖文普, 钟学斌 (2075)
电子鼻预处理装置的开发及适用性研究	卜凡阳, 文晓刚, 万梅, 刘锐, 陈吕军, 张永明 (2083)
ToxTell 生物传感器在 Cu ²⁺ 、Cd ²⁺ 冲击活性污泥系统分析中的应用	王学江, 王鑫, 刘免, 吴真, 杨连珍, 夏四清 (2090)
环境样品免疫检测基质效应分析与控制	盛建武, 何苗, 施汉昌 (2095)
热等离子体熔融固化模拟医疗废物的研究	张璐, 严建华, 杜长明, 陆胜勇, 李晓东 (2104)
城市生活垃圾组分低温干燥特性及模型研究	吴亚娟, 刘红梅, 陆胜勇, 严建华, 李晓东 (2110)
厌氧-准好氧联合型生物反应器填埋场产气规律的研究	韩智勇, 刘丹, 李启彬 (2118)
处理垃圾渗滤液的 Fe/C 空气阴极 MFC 性能研究	唐玉兰, 彭漫, 于燕, 何亚婷, 傅金祥, 赵玉华 (2125)
基于冗余分析的典型喀斯特山区土壤-石漠化关系研究	龙健, 廖洪凯, 李娟, 陈彩云 (2131)
北京市能源消费与经济增长关系的协整检验分析	陈操操, 张妍, 刘春兰, 王海华, 李铮 (2139)
《环境科学》征稿简则 (1877)	《环境科学》征订启事 (1890)
信息 (1822, 1857, 1896, 2138)	

云蒙湖流域土地利用变化对非点源氮污染负荷的影响

孟晓云, 于兴修*, 泮雪芹

(临沂大学资源环境学院, 山东省水土保持与环境保育重点实验室, 水土保持与环境保育研究所, 临沂 276000)

摘要: 以临沂市水源地云蒙湖流域为研究区域, 利用人工模拟降雨实验, 结合输出系数模型获取流域内各土地利用类型氮素输出系数, 在 GIS 和 RS 支持下, 分析近 25 年来土地利用变化对非点源污染氮素负荷时空变化的影响。结果表明, 1986、1995 与 2010 年非点源污染氮素负荷分别为 3.77×10^3 、 4.45×10^3 、 5.5×10^3 t, 呈上升趋势; 从土地利用类型来看, 耕地非点源污染 TN 逐年增加, 其贡献率也逐年增加, 贡献率由 1986 年的 80.11%, 1995 年 82.60% 上升至 2010 年 85.59%, 林地、草地 TN 变化较小, 贡献率呈减小趋势, 居民用地 TN 增加幅度大, 但由于面积较小, 其贡献率较小; 就子流域而言, 耕地面积比例高的子流域, 氮素污染负荷增加程度较大; 流域耕地与氮素负荷呈显著正相关, 对氮产出负荷起“源”作用, 林地、草地与氮素负荷量呈负相关, 对氮产出负荷起“汇”作用。因而, 可通过调整土地利用结构以减少和控制流域氮流失对水体环境的污染。

关键词: 输出系数模型; 非点源氮污染; 土地利用变化; 地理信息系统; 云蒙湖流域

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)06-1789-06

Impact of the Land-use Change on the Non-point Source Nitrogen Load in Yunmeng Lake Watershed

MENG Xiao-yun, YU Xing-xiu, PAN Xue-qin

(Shandong Provincial Key Laboratory of Water and Soil Conservation & Environmental Protection, Institute of Water and Soil Conservation & Environmental Protection, School of Resources Environment, Linyi University, Linyi 276000, China)

Abstract: Take potable water sources in Linyi City Yunmeng Lake watershed as a case study, it obtains the nutrient export coefficient of land use by the export coefficient model and simulative rainfall experiment. On the basis of GIS and RS, it analyses the effect of the non-point source (NPS) pollution load because of the land-use change during the past 25 years. The result indicates that the TN increased from 3.77×10^3 t in 1986, to 4.45×10^3 t in 1995, to 5.5×10^3 t in 2010; As far as land-use type is concerned, the TN from farm-land increased year by year, the contribution rate is 80.11% in 1986, 82.60% in 1995 and 85.59% in 2010, the forest-land and the grass-land load have a little change, but the contribution rate decreased gradually, the residential load increased by a large margin, however, the contribution rate is very little. As for the sub-basin, the higher the proportion of the farm-land is, the more the TN load increased. There is a significant positive correlation between the farm-land and the nitrogen (TN) load, so the farm-land is the sources of the nitrogen. Conversely, there are negative correlations between the forest-land, grass-land and the TN load; therefore, the forest-land and grass-land are the sinks of the nitrogen. Therefore, it can adjust the land-use structure to reduce and control the TN loss to water environmental pollution.

Key words: export coefficient model; non-point source pollution; land-use change; GIS; Yunmeng Lake

土地利用/覆被变化对流域非点源污染的影响是导致水环境恶化的重要因素之一^[1~3], 不同土地利用方式的农田营养盐迁移特征存在显著差异, 因而, 研究土地利用方式与污染负荷之间的内在联系是国内外非点源污染研究的前沿和热点^[4, 5]. 当流域内降雨特性相似, 土壤和地形地貌空间异质性较小时, 土地利用方式是影响非点源污染的最重要因素^[6], 因而, 可以通过改变土地利用方式达到控制非点源污染的目的^[3, 7]. 定量分析不同土地利用类型面源污染特征及时空变化规律, 可为揭示水土流失及其伴随的面源污染机制提供新思路与新方法。

输出负荷是非点源污染的重要特征指标, 而模型是计算负荷的有效工具. 目前, 国内外非点源污染负荷模型主要有机制模型和经验模型. 机制模型是

引进国外的基于物理过程分布式模型进行模拟^[8], 机制模型结构复杂, 要求有详尽的资料和数据, 难以广泛应用. 经验模型主要是通过建立污染负荷与流域土地利用或径流量之间的经验关系^[9, 10], 其代表性经验模型有: 污染分割法、降雨量差值法、相关关系法、输出系数法等^[11], 其中, 输出系数模型是较早且被广泛应用于土地利用与污染负荷之间关系的主要经验模型之一. 国内外许多学者利用输出系

收稿日期: 2011-08-26; 修订日期: 2011-12-06

基金项目: 山东省科技攻关项目(2009GG10006015, 2011GGH21704); 水利部淮委科技项目(SBJ2010003); 临沂市重大科技创新项目(201011019)

作者简介: 孟晓云(1981~), 女, 讲师, 主要研究方向为 GIS 应用与非点源污染, E-mail: mexiyu.sh.dong@163.com

* 通讯联系人, E-mail: xxy2000@126.com

数模型估算了流域的总氮、总磷负荷状况^[2, 7, 12]以及 GIS 融合,构建半分布式的输出系数模型,估算流域营养盐输出负荷^[13];也有学者利用输出系数模型控制流域内营养盐的输出风险^[14].前人研究成果为进一步揭示土地利用非点源特征的时空差异奠定了基础.

输出系数模型所需参数少,操作简单,具有一定的精度,可满足大中尺度流域的非点源污染负荷研究^[15].本研究以地处沂蒙山区的云蒙湖流域为例,利用输出系数模型获取流域内各土地利用类型氮素输出系数的基础上,在 GIS 和 RS 支持下,分析近 25 年来土地利用变化对非点源污染氮素负荷时空变化的影响,以期为揭示水土流失的非点源污染机制、分类制定综合防控措施提供科学依据.

1 研究区概况

云蒙湖地处山东省中南部沂蒙山区腹地,位于东经 117°45′~118°23′,北纬 35°27′~36°20′,属淮河流域沂沭泗河水系,控制流域面积达 1 693 km²,该水库设计日供水 8.64 万 m³,是临沂市城市重要的水源地.该流域属暖温带半干旱大陆性季风气候,四季分明,年平均降水量 822.2 mm,主要集中于 6~9 月.流域地质构造复杂,地形为低山丘陵,地带性土壤为棕壤与褐土,土层瘠薄,经济基础薄弱,以农林生产为主,水土流失和水体污染未能从根本上得到控制.土地利用类型与水量/水质间存在显著相关性^[13, 16~18]已受到较多关注,然而,云蒙湖流域土地利用/覆盖变化对流域非点源污染及其水质的影响却一直没有引起人们足够的重视.

2 数据来源与处理

研究所用数据包括:1986、1995 和 2010 年 3 期 Landsat TM 影像资料,1:100 000 地形图,人地系统主题数据库提供的 1971~2000 近 30 年的 1 km² 平均降雨量栅格数据及人工降雨数据.

运用 RS 和 GIS 技术对各个时期的遥感图像进行影像预处理、辐射纠正和几何纠正、图像配准,利用计算机自动分类和目视判读相结合的方法从遥感图像中提取土地利用类型信息.根据《全国土地分类(试行)》^[19]的分类体系和云蒙湖流域土地用途、利用方式和覆盖特征等因素,结合野外踏勘调查,进行土地利用分类解译,分类包括:耕地、林地、草地、居民用地、水域(不考虑).将 1:100 000 地形图数字化,利用 Arcgis 9.0 的 3D 分析模块生成数字高程模

型(DEM),运用水文分析功能模块,结合河网、地形、土壤提取云蒙湖流域的 88 个小流域;根据流域边界提取流域内降雨量栅格数据.最后利用 Arcgis 9.0 结合土地利用图、流域分布图和输出系数模型,分析流域非点源污染特征及时空变化.

3 研究方法

3.1 径流小区设置及样品分析

模拟降雨实验于 2011 年 6~7 月进行,降雨装置采用中国科学院水土保持研究所研制的 BX-1 型野外人工模拟降雨器,在耕地、林地、草地 3 种具有良好代表性的土地利用类型上建立径流小区(表 1),且无任何施肥.云蒙湖流域气象资料显示,77~82 mm·h⁻¹为出现频率最高的降雨强度范围,因此,本实验降雨强度设置为 80 mm·h⁻¹,降雨历时设定为产流后 30 min,每种土地利用类型各做 3 次降雨实验.采集到水沙混合样后立即放入冰箱冷藏保存.总氮(TN)的测定方法:取水沙混合样 10 mL 摇匀,经碱性过硫酸钾高温(120℃)消解后用紫外分光光度法测定.各土地利用类型径流系数通过对每次降雨的径流总量和降雨量进行监测得到.氮素输出计算不包括水域.

表 1 各径流小区背景信息

Table 1 Background information of runoff catchment in different land-use

地类	平均坡度/(°)	面积/m ²	植被类型	土壤质地
耕地	5	7×21	花生	粉砂质壤土
林地	25	5×20	侧柏	砂质壤土
草地	5	2×5	灌草	粉砂质壤土

3.2 输出系数模型

大尺度流域的非点源污染负荷估算一直是非点源污染研究中的薄弱环节.20 世纪 70 年代初期,北美地区首先提出了输出系数模型,主要用来估算土地利用和湖泊富营养之间的关系^[20, 21].该方法虽不能预测单场降雨所产生的非点源污染,但其为大中型流域的长期非点源污染研究提供了一种新的途径,因而在国内外得到了广泛应用^[22].输出系数模型的一般表达如式(1):

$$L_j = \sum_{i=1}^m E_{ij} \cdot A_i + P \quad (1)$$

式中, j 为污染物类型; i 为流域中的土地利用类型,共 m 种; L_j 为污染物 j 在流域的总负荷量($\text{kg} \cdot \text{a}^{-1}$); E_{ij} 为污染物 j 在流域第 i 种土地利用类型中的输出系数 [$\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$]; A_i 为第 i 种土地

利用类型的面积(hm^2); P 为由降雨输入的营养物数量(kg), 不考虑. 其中, E_{ij} 求算如式(2):

$$E_{ij} = H \cdot V_{ij} \cdot 10^{-2} = R \cdot \theta \cdot V_{ij} \cdot 10^{-2} \quad (2)$$

式中, H 为径流深度(mm), V_{ij} 为污染物 j 在流域第 i 种土地利用类型的径流流失浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$), R 为降雨量, θ 为径流系数.

3.3 输出系数估算

根据降雨量、径流系数和测定 TN 的浓度, 结合输出系数模型式(1)和(2), 得到耕地、林地、草地的输出系数, 见表 2; 居民用地输出系数通过查阅文献 [3, 23] 获得, 取值为 $11 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$.

表 2 根据实验估算的 TN 输出系数/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$

Table 2 Export coefficient according to experiment/ $\text{kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$				
地类	耕地	林地	草地	居民用地
TN	25.95	11.5	16.56	11

径流系数与土地利用类型、化肥的施用量和土壤性质等有关. 由于短期内土壤性质变化不大, 所以不同年份同一土地利用类型下径流中的氮浓度主要取决于化肥的施用量. 因而可根据施肥量的变化对实验估算的氮输出系数进行修正, 从而求出其它年份不同土地利用类型的氮输出系数. 李怀恩等 [24] 研究表明: 地表径流引起的氮素损失约占施肥量的 15%, 草地和林地一般不施肥, 因而居民用地、林地和草地均不作修正. 根据实地调查资料和云蒙湖流域相应年份的统计年鉴, 流域内耕地施用化肥量 (折纯量) 见表 3. 经修正后 1986、1995 和 2010 年的

表 3 1986~2010 年云蒙湖流域化肥施用状况 (氮折纯量)/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$

Table 3 Chemical fertilizer application during 1986-2010/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$			
年份	1986	1995	2010
氮	20	70	150

氮素输出系数分别为 28.95、36.45、 $48.45 \text{ kg} \cdot (\text{hm}^2 \cdot \text{a})^{-1}$.

4 结果与分析

4.1 土地利用结构的变化

从总体来看, 1986、1995 和 2010 年 3 期土地利用类型主要以耕地为主 (图 1), 且呈减少趋势, 由 1986 年的 63% 减少到 2010 年的 59%; 1986~1995 年林地面积比例由 12.2% 减少到 11.4%, 后期随着退耕还林政策的实施, 林地有一定数量的增加, 2010 年为 12.9%, 主要分布于云蒙湖的西南, 在西北部也有零星分布 (图 2); 草地面积比例 1986 年为 17.3%, 1995 年为 18.1%, 2010 年为 15.3%, 总体呈下降趋势; 居民用地呈增加趋势, 1986 年占流域面积的 2.7%, 1995 年为 3.7%, 2010 年占 7.2%, 但由于居民用地面积总体较小, 因而对流域水质影响不大.

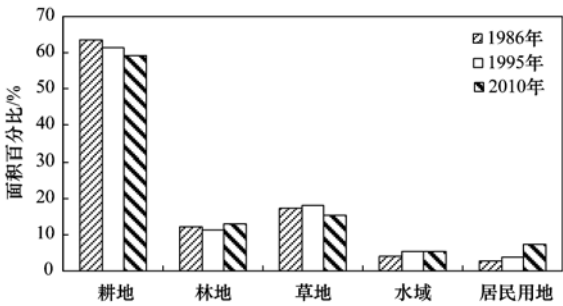


图 1 不同时期土地利用类型面积百分比
Fig. 1 Land-use area ratios in three periods

4.2 TN 空间分布分析

根据云蒙湖流域输出系数和土地利用现状图, 利用 Arcgis 9.0 可得 3 期非点源污染的空间分布状况 (图 3). 从图 3 可以看出, 3 期非点源氮污

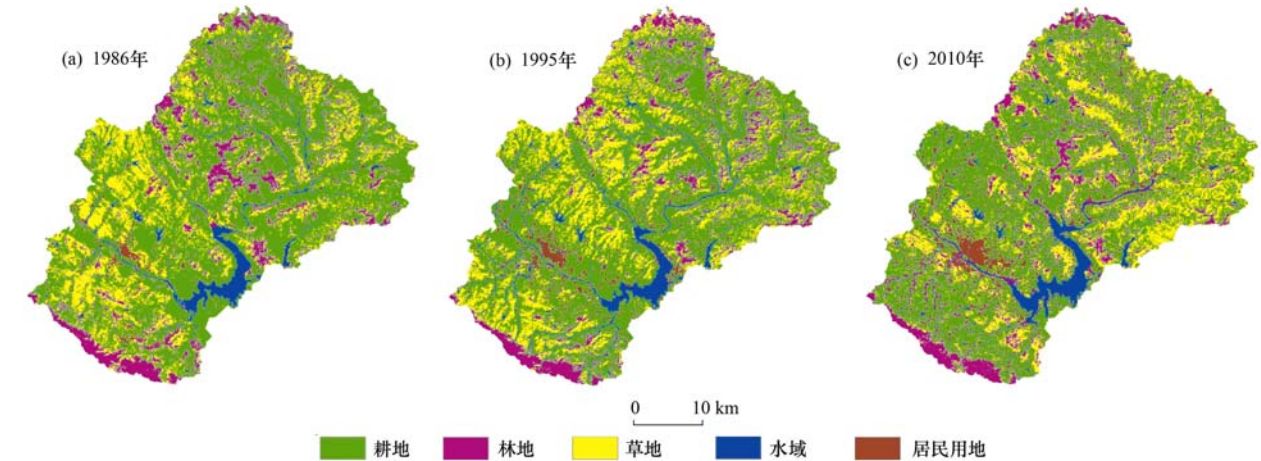


图 2 云蒙湖流域不同时期土地利用类型分布

Fig. 2 Distribution map of land-use type in three periods in Yunmeng Lake

染负荷与土地利用类型空间分布(图2)相对应,耕地分布区污染负荷较高.1986年氮污染负荷相对较低,1995年污染负荷有一定程度增加,到2010年整个流域非点源污染负荷进一步增加,且呈恶化趋势.

总体来看,云蒙湖流域的非点源氮素污染负荷

量由1986年的 3.77×10^3 t增加到1995年的 4.45×10^3 t,2010年则高达 5.5×10^3 t,总量增加近1倍.25年间,非点源氮素污染负荷呈明显增加态势,这种变化趋势与土地利用结构密切相关,耕地虽有少量减少,但随着化肥施用量的增加,流域内非点源氮素污染呈恶化趋势.

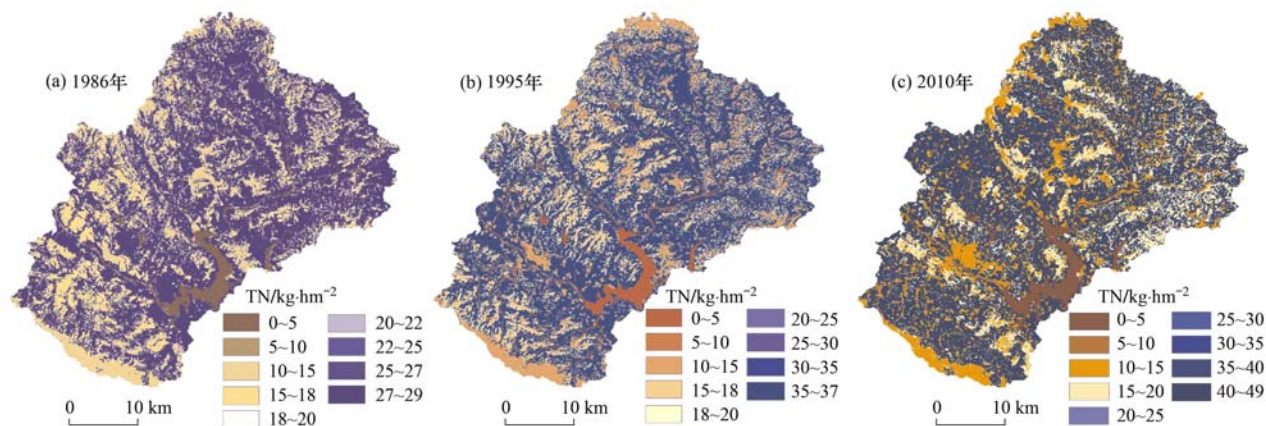


图3 云蒙湖流域非点源氮污染负荷空间分布

Fig. 3 Distribution map of the non-point source total nitrogen in three periods in Yunmeng Lake

4.3 不同土地利用类型非点源氮污染分析

由于耕地施肥量的增加,耕地的非点源氮污染负荷量由1986年的3 019 t、1995年的3 673 t增加到2010年的4 697 t,25年间,由耕地引起的非点源氮污染增加了1 678 t;居民用地的非点源氮污染增加幅度也较大,但由于居民用地面积较小,其非点源氮污染决定值较小;林地、草地面积变化较小,其非点源氮污染总量变化较小,见图4(a).

从各土地利用类型贡献率来看,耕地对TN贡献率最大,见图4(b),由1986年的80.11%,1995年82.60%上升至2010年85.59%;林地、草地对TN贡献率呈减小趋势,林地贡献率1986年为6.08%、1995年为4.83%,2010年为4.44%,草地贡献率1986年为12.50%、1995年为11.06%、2010年下降至7.58%;居民用地对TN贡献率较小.显然,耕地是影响非点源氮污染的主要原因.

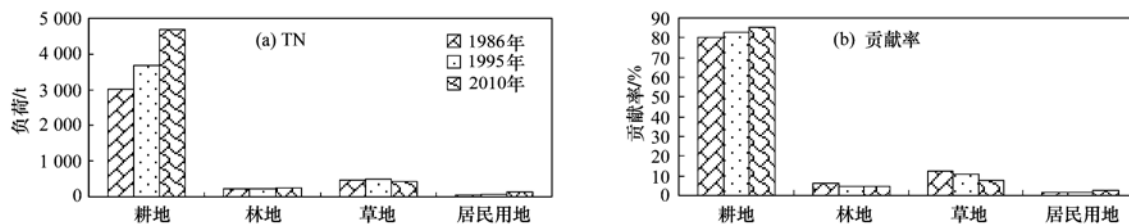


图4 各地类在不同年份TN及贡献率

Fig. 4 Total nitrogen and the contribution rate of different land-use types in three periods

4.4 各子流域非点源氮污染时空变化特征

在非点源污染分析中,负荷强度是一个重要的指标,它是指单位面积的污染负荷量^[3].利用Arcgis把非点源污染负荷分布图和子流域分布图进行叠合,可以得到88个子流域单位面积非点源氮污染负荷强度(图5).

从图5可以看出,氮污染负荷的空间分布发生了明显变化.1986年非点源氮污染负荷较大的子流域主要分布于中东部区域,到1995年污染负荷较大

的子流域向流域西部扩展,由于施肥量的增加及耕地面积变化幅度不同,流域西部污染负荷强度较流域东部污染负荷强度增加幅度大(如子流域14、16、24);到2010年各子流域氮负荷量进一步增加,氮污染负荷最大的子流域为26、35、37,其耕地面积比例分别高达82%、86%、89%.

就时间变化过程看,各子流域氮素污染负荷逐年加大(图6),但由于土地利用结构及其变化状况的差异,各子流域氮素产出负荷增加的程度不

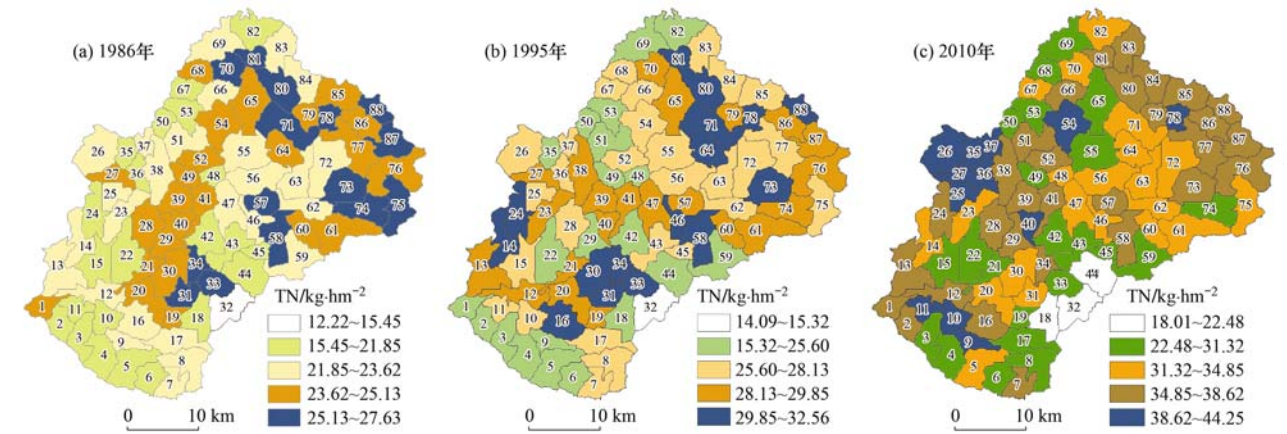


图 5 不同年份 88 个小流域污染负荷强度分布

Fig. 5 Distribution map of the TN load of 88 watersheds in three periods

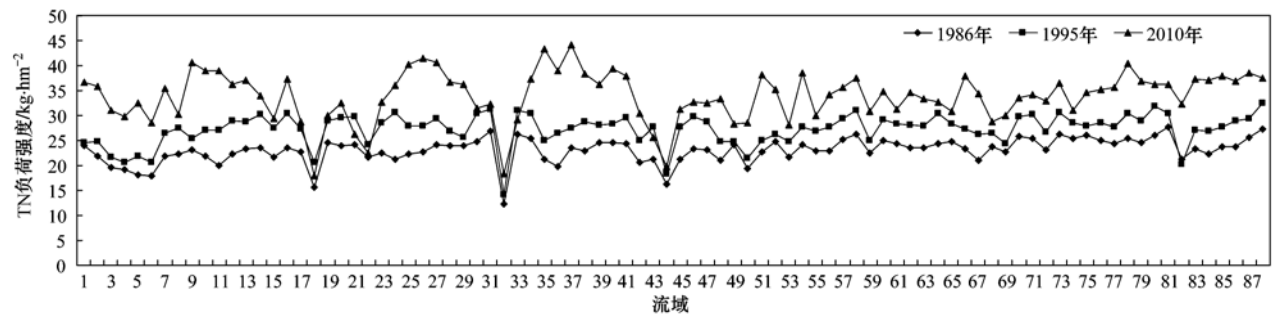


图 6 不同时期 88 个小流域非点源氮污染负荷强度对比

Fig. 6 Collation map of the TN load of 88 watersheds in three periods

同^[25]. 总体来看,耕地面积比例高的子流域,氮素产出负荷增加的程度大,如子流域 9、10、35、37、78,其耕地面积比例都在 80% 以上;子流域 18、32 和 44 变化幅度较小,主要是因为这 3 个子流域以水体为主(水体不考虑),其面积比例都在 40% 以上;由于居民用地的扩展,耕地面积减小,子流域 21、22 氮素负荷量略有减小.

各子流域土地利用结构及化肥的施用量是影响氮素产出负荷的重要因素;因而,对于氮产出负荷较高的子流域,应鼓励当地农民调整土地利用结构,以及采取退耕还林、还草等生态治理措施;同时,应指导农民根据不同的土壤理化性质科学合理施肥.

4.5 土地利用结构与产出负荷的关系

根据景观生态学“源-汇”理论,不同地类对非点源污染起到了正向推动作用即为“源”景观,相反,对非点源污染起到了负向滞缓作用即为“汇”景观^[26]. 为比较不同土地利用结构对子流域氮污染负荷的影响程度,将 1986、1995 和 2010 年 88 个小流域不同土地利用类型百分比与氮污染负荷进行 Pearson 相关分析(表 4),根据相关系数的正负将土地利用类型划分为氮素的“源”、“汇”两大类^[27].

表 4 土地利用类型与氮污染负荷的 Pearson 相关分析¹⁾

Table 4 Analysis between land-use types and nitrogen load

相关系数	N86	N95	N10
耕地	0.875 **	0.927 **	0.968 **
林地	-0.350 **	-0.416 **	-0.284 *
草地	-0.206	-0.270 *	-0.192
居民用地	0.046	0.105	0.205 *

1) * 表示在 0.05 水平(双侧)上显著相关; ** 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关

表 4 显示,1986、1995 和 2010 年氮污染负荷与耕地、居民用地呈正相关,其中与耕地呈显著相关且相关系数大,与居民用地相关性不显著;氮污染负荷与林地、草地呈负相关,与林地相关性显著,与草地相关性不显著. 因此,耕地、居民用地对氮产出负荷起“源”作用,且以耕地为主;林地、草地对氮产出负荷起“汇”作用. 化肥、农药的施用,加大了耕地中氮素流失量;生活污水、禽畜粪便是居民用地氮污染的主要原因;而林地、草地对氮滞留、吸收可降低非点源污染对受纳水体的影响^[28].

5 结论

(1) 云蒙湖流域 1986 ~ 2010 年非点源氮素污

染增加程度明显,其变化趋势与土地利用类型密切相关。耕地面积呈减小趋势,但其非点源污染 TN 和贡献率均呈增加趋势;林地、草地面积变化较小,其非点源污染 TN 总量变化不明显,但贡献率呈减小趋势;居民用地增加面积总体较小,其非点源污染 TN 总量和贡献率都较小,对流域水质影响较小。

(2)各子流域氮素污染负荷呈增加趋势,但增加的程度不同,耕地面积比例高的子流域,氮素产出负荷增加的程度大,氮污染负荷量较大的子流域由中东部地区逐渐向全流域扩展,流域西部增加幅度明显高于流域东部。

(3)近 25 年间,氮污染负荷与耕地、居民用地呈显著正相关,与林地、草地呈负相关;耕地、居民用地对氮产出负荷起“源”作用;林地、草地对氮产出负荷起“汇”作用。

(4)云蒙湖流域土地利用对流域非点源污染影响显著,今后将进一步探讨如何通过不同土地利用类型的空间组合来调控养分流失在时空尺度上的平衡,为保护临沂市水源地提供科学依据,同时为减少和控制非点源污染提供借鉴。

参考文献:

- [1] Tong S T Y, Chen W L. Modeling the relationship between land use and surface water quality [J]. Journal of Environmental Management, 2002, **66**(4): 377-393.
- [2] 李恒鹏, 刘晓玫, 黄文钰. 太湖流域浙西区不同土地类型的面源污染产出 [J]. 地理学报, 2004, **59**(3): 401-408.
- [3] 王秀娟, 刘瑞民, 何孟常. 土地利用及其变化对松辽流域非点源污染影响研究 [J]. 地理学报, 2009, **29**(4): 555-560.
- [4] 鲍全盛, 王华东. 我国水环境非点源污染研究与展望 [J]. 地理科学, 1996, **16**(1): 66-72.
- [5] Ghafouri M, Ghaderi N, Tabatabaei M, et al. Land use change and nutrients simulation for the Siah Darvishan basin of the Anzali wetland region, iran [J]. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology, 2010, **84**(2): 240-244.
- [6] 张亚丽, 李怀恩. 土地利用关系法在非点源污染负荷预测中的应用 [J]. 中国农学通报, 2009, **25**(17): 270-273.
- [7] 郎海鸥, 王文杰, 王维, 等. 基于土地利用变化的小江流域非点源污染特征 [J]. 环境科学研究, 2010, **23**(9): 1158-1166.
- [8] 张燕, 张志强, 谢宝元, 等. 饮用水源区小流域氮素污染负荷估算方法比较 [J]. 中国水土保持科学, 2009, **7**(1): 84-91.
- [9] Haith D A. Land use and water quality in New York river [J]. Journal of the Environmental Engineering Division ASCE, 1976, **102**(1): 1-15.
- [10] 马彦涛, 薛金凤, 梁涛, 等. 基于 GIS 的溶解态氮磷负荷模型研究 [J]. 环境科学, 2006, **27**(9): 1765-1769.
- [11] 蔡明, 李怀恩, 刘晓军. 非点源污染负荷估算方法研究 [J]. 人民黄河, 2007, **29**(7): 36-39.
- [12] Matikalli N M, Richards K S. Estimation of surface water quality changes in response to land use change: application of the export coefficient model using remote sensing and geographical information system [J]. Journal of Environmental Management, 1996, **48**(3): 263-282.
- [13] 李兆富, 杨桂山, 李恒鹏. 基于改进输出系数模型的流域营养盐输出估算 [J]. 环境科学, 2009, **30**(3): 668-672.
- [14] 刘瑞民, 何孟常, 王秀娟. 大辽河流域上游非点源污染输出风险分析 [J]. 环境科学, 2009, **30**(3): 663-667.
- [15] Johnes P J. Evaluation and management of the impact of land use change on the nitrogen and phosphorus load delivered to surface waters: the export coefficient modelling approach [J]. Journal of Hydrology, 1996, **183**(3-4): 323-349.
- [16] 宋述军, 周万村. 岷江流域土地利用结构对地表水水质的影响 [J]. 长江流域资源与环境, 2008, **17**(5): 712-715.
- [17] 李俊然, 陈利顶, 郭旭东, 等. 土地利用结构对非点源污染的影响 [J]. 中国环境科学, 2000, **20**(6): 506-510.
- [18] 张殿发, 王世杰, 李瑞玲. 土地利用/土地覆被变化对长江流域水环境的影响研究 [J]. 地域研究与开发, 2003, **22**(1): 69-72.
- [19] 中国国土资源部国土资发[2001]255 号. 关于印发试行《土地分类》的通知 [Z]. 2001.
- [20] Reckhow K H, Simpson J T. A procedure using modeling and error analysis for the prediction of lake phosphorus concentration from land use information [J]. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1980, **37**(9): 1439-1448.
- [21] Beaulac M N, Reckhow K H. An examination of land use-nutrient export relationships [J]. Water Resources Bulletin, 1982, **18**(6): 1013-1024.
- [22] 刘瑞民, 杨志峰, 丁晓雯, 等. 土地利用/覆盖变化对长江上游非点源污染影响研究 [J]. 环境科学, 2006, **27**(12): 2407-2414.
- [23] 刘瑞民, 沈珍瑶, 丁晓雯, 等. 应用输出系数模型估算长江上游非点源污染负荷 [J]. 农业环境科学学报, 2008, **27**(2): 677-682.
- [24] 李怀恩, 王莉, 史淑娟. 南水北调中线陕西水源区非点源总氮负荷估算 [J]. 西北大学学报(自然科学版), 2010, **40**(3): 540-544.
- [25] 于兴修. 中尺度流域土地利用/覆被变化及其水环境效应研究-以太湖上游西苕溪流域为例 [D]. 南京: 中国科学院南京地理与湖泊研究所, 2003, 99-102.
- [26] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义 [J]. 生态学报, 2006, **26**(5): 1444-1449.
- [27] 罗璇, 史志华, 尹炜, 等. 小流域土地利用结构对氮素输出的影响 [J]. 环境科学, 2010, **31**(1): 58-62.
- [28] 王夏晖, 尹澄清, 单保庆. 农业流域“汇”型景观结构对径流调控及磷污染物截留作用的研究 [J]. 环境科学学报, 2005, **25**(3): 293-299.

CONTENTS

Regional Heterogeneity of Lake Eutrophication Effects in China	CAO Jin-ling, XU Qi-gong, XI Bei-dou, <i>et al.</i> (1777)
Correlating Landscape Pattern with Total Nitrogen Concentration Using a Location-weighted Sink-source Landscape Index in the Haihe River Basin, China	SUN Ran-hao, CHEN Li-ding, WANG Wei, <i>et al.</i> (1784)
Impact of the Land-use Change on the Non-point Source Nitrogen Load in Yunneng Lake Watershed	MENG Xiao-yun, YU Xing-xiu, PAN Xue-qin (1789)
Residue Characteristics and Distributions of Perfluorinated Compounds in Surface Seawater Along Shenzhen Coastline	CHEN Qing-wu, ZHANG Hong, CHAI Zhi-fang, <i>et al.</i> (1795)
Distribution and Potential Ecological Risk of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Sediments from Typical Electronics Industrial Zone	DENG Dai-yong, QIU Meng-de, SUN Guo-ping, <i>et al.</i> (1801)
Residues and Potential Ecological Risk Assessment of Metal in Sediments from Lower Reaches and Estuary of Pearl River	XIE Wen-ping, WANG Shao-bing, ZHU Xin-ping, <i>et al.</i> (1808)
Character and Sources Identification of Heavy Metals Contamination in Sediment from the Core Sediment in Nanshan Lake, the Zhalong Wetland	SU Dan, ZANG Shu-ying, YE Hua-xiang, <i>et al.</i> (1816)
Distribution Characteristics of Phosphorus Forms in Surface Sediments of the Shantou Bay in China	ZHAO Jian-gang, QIAO Yong-min (1823)
Microcosm Experiments on the Influence of Different N/P Ratios on Phytoplankton Community Growth in the East China Sea	HUANG Wei, ZHU Xu-yu, ZENG Jiang-ning, <i>et al.</i> (1832)
Species Composition and Distribution Characteristics of Pelagic Copepods in the Northern Sea of Fujian During Withdraw of Zhe-Min Coastal Current	WANG Yan-guo, LIN Jing-hong, WANG Chun-guang, <i>et al.</i> (1839)
PAHs Concentrations in Aquatic Products and Food Safety Evaluation in the Coupled Mangrove Planting-Aquaculture Ecological System	CHEN Guan-qiu, LI Yao-chu, HUANG Jin-mu, <i>et al.</i> (1846)
Tissue Distribution and Bioconcentration Factors of Tetrabromobisphenol A in Five Fishes in Lake Chaohu	YANG Su-wen, WANG Sheng-rui, YAN Zhen-guang, <i>et al.</i> (1852)
Induction Effects of Pentachlorophenol on Vitellogenin and p53 in Chinese Rare Minnow (<i>Gobiocypris rarus</i>)	XIONG Li, MA Yong-peng, ZHANG Xiao-zheng, <i>et al.</i> (1858)
Effects of Perfluorooctane Sulfonate (PFOS) Exposure on Vitellogenin mRNA Level in Zebrafish (<i>Brachydanio rerio</i>)	CHENG Yan, CUI Yuan, DANG Zhi-chao, <i>et al.</i> (1865)
Relationship Between Electron Transfer Capacity and <i>Fluorescence Characteristics</i> of Dissolved Organic Matter	TAO Ya, YUAN Tian, ZHOU Shun-gui, <i>et al.</i> (1871)
Characterization of the Change in DOM During Municipal Secondary Effluent Treatment with Magnetic Ion Exchange Resin by 3DEEM	YANG Jian, GAO Jin-hua, CHANG Jiang (1878)
Reverse Osmosis Membrane Fouling by Humic Acid Using XDLVO Approach; Effect of Calcium Ions	YAO Shu-di, GAO Xin-yu, GUO Ben-hua, <i>et al.</i> (1884)
Growth, Removal of Nitrogen and Phosphorus, and Lipid Accumulation Property of <i>Scenedesmus</i> sp. LX1 in Aquaculture Wastewater	MA Hong-fang, LI Xin, HU Hong-ying, <i>et al.</i> (1891)
Iron Chloride for Simultaneous Denitrification and Chemical-Biological Flocculation Process	WANG Hong-jie, DONG Wen-yi, LIU Li-sha, <i>et al.</i> (1897)
Characteristic Research of Shortcut Denitrification in Synthetic Ammonia Industrial Wastewater Treatment Process	LI Yan, LI Ze-bing, MA Jia-xuan, <i>et al.</i> (1902)
Stability Control of Aerobic Granules Using an Innovative Reactor	LI Zhi-hua, YANG Fan, LI Sheng, <i>et al.</i> (1907)
Description of the Stability of Granules Using Nongrowth-related Parameters	LI Zhi-hua, WU Jun, LI Sheng, <i>et al.</i> (1913)
Enhancement of Anaerobic Digestion of Excess Sludge by Acid-Alkali Pretreatment	YUAN Guang-huan, ZHOU Xing-qiu, WU Jian-dong (1918)
Pilot Validation of Sludge Concentration Partition at Small Reflux Ratio Condition	SHI Si, WANG Su-lan, LI Rui, <i>et al.</i> (1923)
Influence of Non-ionic Surfactants on Sludge Dewaterability	HOU Hai-pan, PU Wen-hong, SHI Ya-fei, <i>et al.</i> (1930)
Variation Characteristics and Influencing Factors of Air Pollution Index in China	LI Xiao-fei, ZHANG Ming-jun, WANG Sheng-jie, <i>et al.</i> (1936)
Characteristics of Aerosol Water-Soluble Inorganic Ions in Three Types Air-Pollution Incidents of Nanjing City	ZHANG Qiu-chen, ZHU Bin, SU Ji-feng, <i>et al.</i> (1944)
Characterization of Atmospheric PM _{2.5} in the Suburb of Shenzhen	DAI Wei, GAO Jia-qi, CAO Gang, <i>et al.</i> (1952)
Analysis on Oil Fume Particles in Catering Industry Cooking Emission	TAN De-sheng, KUANG Yuan-cheng, LIU Xin, <i>et al.</i> (1958)
Low-Temperature Catalytic Reduction of NO over Fe-MnO _x -CeO ₂ /ZrO ₂ Catalyst	LIU Rong, YANG Zhi-qin (1964)
CO ₂ Absorption and Regeneration Performance of a Natural Amino Acid and Its Potassium Salt	YAN Shui-ping, CHEN Jing-ao, XU Ming-liang, <i>et al.</i> (1971)
Effects of Tillage-Cropping Systems on Methane and Nitrous Oxide Emissions from Agro-Ecosystems in a Purple Paddy Soil	ZHANG Jun-ke, JIANG Chang-sheng, HAO Qing-ju, <i>et al.</i> (1979)
Factors Influencing Ammonia Volatilization in a Winter Wheat Field with Plastic Film Mulched Ridges and Unmulched Furrows	SHANGGUAN Yu-xian, SHI Ri-peng, LI Na, <i>et al.</i> (1987)
Effects of Typical Herbicides on Soil Respiration and N ₂ O Emissions from Soil Added with Different Nitrogen Fertilizers	SUN Qing, SHI Chun-xing, SHI Kun, <i>et al.</i> (1994)
Analysis of Characteristics of Dioxin Contamination in the Chlor-alkali Site that Uses Graphite Anode for Production	YU Li-feng, WEI Wen-xia, TIAN Ya-jing, <i>et al.</i> (2000)
Effect of Flue Gas Desulfurization Gypsum Application on Remediation of Acidified Forest Soil	LUO Yao, KANG Rong-hua, YU De-xiang, <i>et al.</i> (2006)
Morphology of Soil Iron Oxides and Its Correlation with Soil-Forming Process and Forming Conditions in a Karst Mountain	ZHANG Zhi-wei, ZHU Zhang-xiong, FU Wa-li, <i>et al.</i> (2013)
Pb, Zn Accumulation and Nutrient Uptake of 15 Plant Species Grown in Abandoned Mine Tailings	SHI Xiang, CHEN Yi-tai, WANG Shu-feng, <i>et al.</i> (2021)
Effect of Cr(VI) Stress on Growth of Three Herbaceous Plants and Their Cr Uptake	WANG Ai-yun, HUANG Shan-shan, ZHONG Guo-feng, <i>et al.</i> (2028)
Bioaccumulation of Heavy Metals by the Dominant Plants Growing in Huayuan Manganese and Lead/Zinc Mineland, Xiangxi	YANG Sheng-xiang, TIAN Qi-jian, LIANG Shi-chu, <i>et al.</i> (2038)
Effect of CO ₂ Fertilization on Residual Concentration of Cypermethrin in Rhizosphere of C3 and C4 Plant	MU Nan, DIAO Xiao-jun, WANG Shu-guang, <i>et al.</i> (2046)
Bioaugmented Removal of Pyridine and the Microbial Community Dynamic Analysis	QIAO Lin, ZHAO Hong, WANG Jian-long (2052)
Relationship Between Sewage Treatment Efficiency and Bacterial Community Diversity in an A/O MBR	KUANG Bin-yu, SHI Qing, Montcho Leon Monthero, <i>et al.</i> (2061)
Dynamic Changes in Functional Genes for Nitrogen Cycle During Bioremediation of Petroleum-Contaminated Soil	WU Bin-bin, LU Dian-nan, LIU Zheng (2068)
Risk Assessment of Lead Exposure from Different Intake Pathways for Children in Wuhan City	HAO Han-zhou, CHEN Tong-bin, WU Ji-liang, <i>et al.</i> (2075)
Implementation of a Pretreatment Device for an Electronic Nose	BU Fan-yang, WEN Xiao-gang, WAN Mei, <i>et al.</i> (2083)
Copper and Cadmium Toxicities to Activated Sludge Investigated with ToxTell Biosensor	WANG Xue-jiang, WANG Xin, LIU Mian, <i>et al.</i> (2090)
Matrix Effect and Control of Immunoassay for Environmental Samples	SHENG Jian-wu, HE Miao, SHI Han-chang (2095)
Study on Vitrification of Simulated Medical Wastes by Thermal Plasma	ZHANG Lu, YAN Jian-hua, DU Chang-ming, <i>et al.</i> (2104)
Study on the Low Temperature Drying of Components of Municipal Solid Waste and Its Model Analysis	WU Ya-juan, LIU Hong-mei, LU Sheng-yong, <i>et al.</i> (2110)
Aerogenesis Evolution of the Anaerobic-semiaerobic Bioreactor Landfill	HAN Zhi-yong, LIU Dan, LI Qi-bin (2118)
Performance of Microbial Fuel Cells with Fe/C Catalyst Carbon Felt Air-Cathode for Treating Landfill Leachate	TANG Yu-lan, PENG Man, YU Yan, <i>et al.</i> (2125)
Relationships Between Soil and Rocky Desertification in Typical Karst Mountain Area Based on Redundancy Analysis	LONG Jian, LIAO Hong-kai, LI Juan, <i>et al.</i> (2131)
Energy Consumption and GDP Growth in Beijing: Cointegration and Causality Analysis	CHEN Cao-cai, ZHANG Yan, LIU Chun-lan, <i>et al.</i> (2139)

《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6月15日 33卷 第6期

ENVIRONMENTAL SCIENCE

(Monthly Started in 1976)

Vol. 33 No. 6 Jun. 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