

环境科学

(HUANJING KEXUE)

ENVIRONMENTAL SCIENCE



第38卷 第4期

Vol.38 No.4

2017

中国科学院生态环境研究中心 主办
科学出版社 出版



目 次

- 西宁近郊大气氮干湿沉降研究 许稳, 金鑫, 罗少辉, 冯兆忠, 张霖, 潘月鹏, 刘学军(1279)
兰州春夏季 PM_{10} 碳组分昼夜变化特征与来源分析 马丽, 余晔, 王博, 赵素平, 李刚(1289)
海南三亚大气颗粒物中水溶性无机离子浓度及其粒径分布特征 王璐, 刘子锐, 温天雪, 苗红妍, 王跃思(1298)
2015年北京城区大气 $PM_{2.5}$ 中 NH_4^+ 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 及前体气体的污染特征 丁萌萌, 周健楠, 刘保献, 王焱, 张博韬, 石爱军, 杨懂艳, 常森(1307)
北京市某垃圾焚烧厂周边大气二噁英污染特征及暴露风险 齐丽, 任玥, 刘爱民, 黄业茹, 赵震, 王江, 李泓(1317)
北京和保定地区大气细颗粒物中可培养细菌的种群特征 胡亚东, 马安周, 吕鹏翼, 张扬, 庄国强(1327)
基于实时交通数据的南京市主次干道机动车排放特征分析 李笑语, 吴琳, 邹超, 张意, 毛洪钧, 荆博宇(1340)
过渡金属掺杂对镧锡烧绿石催化碳烟燃烧性能的影响 李曦峰, 孙宇琦, 王仲鹏, 牟宗刚, 崔兆杰(1348)
南水北调中线北京段水质状况分析 徐华山, 赵磊, 孙昊苏, 任玉芬, 丁涛, 常帅, 王海东, 李森, 果钊(1357)
三峡前置库汉丰湖试运行年水文水质变化特征 杨兵, 何丙辉, 王德宝(1366)
基于偏最小二乘模型的河流水质对土地利用的响应 李琳琳, 张依章, 唐常源, 郑磊, 孟伟, 卢少勇, 敦宇(1376)
抚仙湖夏季热分层时期水温及水质分布特征 王琳杰, 余辉, 牛勇, 牛远, 张有林, 刘倩, 吉正元(1384)
千岛湖溶解氧与浮游植物垂向分层特征及其影响因素 俞焰, 刘德富, 杨正健, 张佳磊, 徐雅倩, 刘晋高, 严广寒(1393)
高通量测序技术研究辽河真核浮游藻类的群落结构特征 王靖淇, 王书平, 张远, 林佳宁, 高欣, 缣小苗, 赵茜(1403)
三门湾近海有机污染对浮游细菌群落的影响 戴文芳, 郭永豪, 郁维娜, 熊金波(1414)
沉积物-水界面氮的源解析和硝化反硝化 金赞芳, 龚嘉临, 施伊丽, 金漫彤, 李非里(1423)
广州南沙红树林湿地水体和沉积物中有机氯农药的残留特征 丁洋, 黄焕芳, 李绘, 罗杰, 郑煌, 孙焰, 杨丹, 张原, 祁士华(1431)
太湖西岸河网沉积物中重金属污染特征及风险评价 边博, 周燕, 张琴(1442)
锁磷剂对杭州西湖底泥磷释放的控制效果 朱广伟, 李静, 朱梦圆, 龚志军, 许海, 杨桂军, 张运林, 秦伯强(1451)
超滤处理东江水不可逆膜污染物的识别和活性炭对其吸附去除 杨海燕, 王灿, 鄢忠森, 李冬平, 赵焱, 瞿芳术, 梁恒, 徐叶琴, 李圭白(1460)
UV/SPS 降解水中三氯生的效能及动力学 李青松, 李学艳, 姚宁波, 骆靖宇, 李国新, 陈国元, 高乃云(1467)
真空紫外-亚硫酸盐法降解 PFOS 影响因素 韩慧丽, 王宏杰, 董文艺(1477)
 $g\text{-C}_3\text{N}_4$ 协同光催化还原 Cr(VI) 及氧化磺基水杨酸 李莉莉, 陈翠柏, 兰华春, 刘菲, 安晓强(1483)
锆改性硅藻土吸附水中磷的研究 范艺, 王哲, 赵连勤, 吴德意(1490)
3种常规消毒方法对磺胺类抗性基因削减效果的比较 郑吉, 周振超, 陈芳, 陈涛, 魏媛媛, 韩胡, 陈红(1497)
典型生活污水处理工艺对雌激素效应的去除 张秋亚, 马晓妍, 王晓昌, 游猛(1506)
SRT 对酵母-SBR 处理油脂废水稳定性的影响 吕文洲, 张树林, 乔宇祥, 刘英(1513)
分散染料 neocron black(NB) 的生物降解特性 杨波, 丁凤友, 徐辉, 李方, 田晴, 马春燕(1520)
多聚磷酸盐激酶基因在污水生物除磷中的功能 南亚萍, 周国标, 袁林江(1529)
生物膜短程硝化系统的恢复及其转化为 CANON 工艺的过程 付昆明, 周厚田, 苏雪莹, 王会芳(1536)
厌氧氨氧化反应器脱氮性能及细菌群落多样性分析 曹雁, 王桐屿, 秦玉洁, 韩彬, 任君怡(1544)
内环境调节层对厌氧生物反应器填埋场中氮转化的影响 何正坤, 宋博宇, 朱南文, 董军(1551)
矿化垃圾中 Fe(Ⅲ) 还原耦合 CH_4 厌氧去除特性 王立立, 何婷, 龙焰, 刘常宝(1558)
应用铅锶同位素示踪研究泉州某林地垂直剖面土壤中重金属污染及来源解析 孙境蔚, 于瑞莲, 胡恭任, 苏光明, 王晓明(1566)
畜禽粪便有机肥中重金属在土壤剖面中积累迁移特征及生物有效性差异 何梦媛, 董同喜, 茹淑华, 苏德纯(1576)
山东省农田土壤多环芳烃的污染特征及源解析 葛蔚, 程琪琪, 柴超, 曾路生, 吴娟, 陈清华, 朱祥伟, 马东(1587)
江汉平原典型土壤环境中有机磷农药的分布特征及影响因素 王建伟, 张彩香, 潘真真, 廖小平, 刘媛, 吕幽, 汤蜜(1597)
基于生物有效性的农田土壤磷素组分特征及其影响因素分析 蔡观, 胡亚军, 王婷婷, 袁红朝, 王久荣, 李巧云, 葛体达, 吴金水(1606)
秸秆还田对外源氮在土壤中转化及其微生物响应的影响 陈珊, 丁咸庆, 祝贞科, 王娟, 彭佩钦, 葛体达, 吴金水(1613)
生物炭输入对城郊农业区农田地表反照率及土壤呼吸的影响 张阳阳, 胡学玉, 邹娟, 张迪, 陈威, 王向前, 陈窈君, 刘扬(1622)
淹水稻土消耗 N_2O 能力及机制 王玲, 邢肖毅, 秦红灵, 刘毅, 魏文学(1633)
不同污水处理工艺非二氧化碳温室气体的释放 李惠娟, 彭党聪, 刘文博, 姚倩, 卓杨(1640)
施用不同污泥堆肥品对土壤温室气体排放的影响 杨雨洽, 易建婷, 张成, 陈宏, 木志坚(1647)
不同镉水平下纳米沸石对土壤 pH、CEC 及 Cd 形态的影响 迟荪琳, 徐卫红, 熊仕娟, 王卫中, 秦余丽, 赵婉伊, 张春来, 李彦华, 李桃, 张进忠, 熊治庭, 王正银, 谢德体(1654)
不同作物对外源硒动态吸收、转运的差异及其机制 彭琴, 李哲, 梁东丽, 王梦柯, 郭璐(1667)
褪黑素对水稻幼芽镍胁迫的缓解作用 刘仕翔, 黄益宗, 罗泽娇, 黄永春, 蒋航(1675)
不同形态磺胺类药物在根-土界面的空间分布及毒性评价 金彩霞, 司晓薇, 王万峰, 王春峰, 王子英, 张琴文, 王婉(1683)
三峡库区消落带沉积物对鱼体富集汞的影响 孙松, 李楚娴, 张成, 王永敏, 王定勇(1689)
重庆市居民头发重金属富集特征及相关性分析 何明婧, 李琦, 王登祥, 赵佳渊, 杨婷(1697)
16S rRNA高通量测序研究集雨窖水中微生物群落结构及多样性 杨浩, 张国珍, 杨晓妮, 武福平, 赵炜, 张洪伟, 张翔(1704)
石墨烯掺杂聚苯胺阳极提高微生物燃料电池性能 黄力华, 李秀芬, 任月萍, 王新华(1717)
美国污染场地清理的风险评估简介及政策制定 容跃(1726)
《环境科学》征稿简则(1505) 《环境科学》征订启事(1682) 信息(1339, 1459, 1612)

基于偏最小二乘模型的河流水质对土地利用的响应

李琳琳^{1,2*}, 张依章^{2*}, 唐常源³, 郑磊^{1,2}, 孟伟², 卢少勇², 敦宇^{4*}

(1. 北京师范大学水科学研究院, 北京 100875; 2. 中国环境科学研究院环境基准与风险评估国家重点实验室, 北京 100012; 3. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 4. 中国地质科学院水文地质环境地质研究所, 石家庄 050061)

摘要: 流域土地利用类型变化是影响河流水质的重要因素之一。为探究子流域尺度土地利用与河流水质之间的相互关系, 本文基于太子河流域遥感影像和水质数据, 采用偏最小二乘模型(partial least squares, PLS), 分析不同土地利用类型对流域水质的影响程度。选取7个不同子流域土地利用类型面积百分比作为自变量X, 总氮(TN)、硝酸根离子(NO_3^-)、氯离子(Cl^-)与硫酸根离子(SO_4^{2-})这4个水质参数浓度值作为因变量Y, 构建了土地利用类型与河流水质数据的偏最小二乘模型, 并使用其余子流域数据对构建的模型进行验证。结果表明, 太子河流域不同子流域土地利用类型与河流水质指标TN与 NO_3^- 之间线性关系显著, 决定系数 $R^2 > 0.62$ 。其中, 耕地面积变化对水体中TN浓度变化影响明显, 居民及工矿建设用地面积变化则对水体中 NO_3^- 浓度变化影响强烈。但对于 Cl^- 和 SO_4^{2-} 来说, 土地利用类型对其浓度大小有一定影响, 但并不是最主要的影响因素。虽然太子河流域未利用地面积百分比极小(<1.13%), 但是未利用地面积变化对水质参数有较显著影响(影响系数>0.24)。

关键词: 水质; 土地利用; 偏最小二乘模型; 太子河流域; 硝酸盐

中图分类号: X52 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2017)04-1376-08 DOI: 10.13227/j.hjkx.201605109

Modeling of Water Quality Response to Land-use Patterns in Taizi River Basin Based on Partial Least Squares

LI Lin-lin^{1,2}, ZHANG Yi-zhang^{2*}, TANG Chang-yuan³, ZHENG Lei^{1,2}, MENG Wei², LU Shao-yong², DUN Yu^{4*}

(1. College of Water Sciences, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. State Key Laboratory of Environmental Criteria and Risk Assessment, Chinese Research Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012, China; 3. College of Environmental Sciences and Engineering, Sun Yat-sen University, Guangzhou 510275, China; 4. Institute of Hydrogeology and Environmental Geology, Chinese Academy of Geological Science, Shijiazhuang 050061, China)

Abstract: Land use change in river basin is one of the most significant factors that influence river water quality. Based on remote sensing images and river water quality data of Taizi River Basin, partial least squares (PLS) model was applied to explore the relationship between water quality and land use patterns at sub-watershed scale. In this study, PLS model was established by using the percentage of area of land use patterns from seven different sub-watersheds as the variables and the concentrations of four water quality parameters as the observations. The established model was further tested with the data from other sub-watersheds in Taizi River Basin. The results indicated that total nitrogen (TN) and nitrate (NO_3^-) were significantly associated with land use types in Taizi River Basin with determination coefficient (R^2) greater than 0.62. As for chloride (Cl^-) and sulfate (SO_4^{2-}), measured values and fitted values had a relatively low fitting precision ($R^2 < 0.5$), which meant land use pattern was not the main factor affecting the concentrations of Cl^- and SO_4^{2-} in river water. Meanwhile, river water quality had a strong correlation with the percentage of area of unused land at the sub-basin scale (influence coefficient >0.24), although unused land area in the Taizi river basin was small.

Key words: water quality; land use patterns; partial least squares model; Taizi River Basin; nitrate

河流水质变化受多种因素影响, 其中土地利用变化通过改变土壤、地形与径流等水文循环过程及生态系统特征, 成为影响河流水质的重要非点源因素^[1]。河流生态系统受多种因素影响, 河流水质是多因素累积效应的结果。不管是从流域尺度、子流域尺度, 还是河岸带尺度, 土地利用类型变化对河流水质都有十分重要的影响^[2~5]。

近年来, 国内外学者从不同尺度(流域、子流

域、河岸带), 采用不同方法对土地利用与水质关系进行了大量研究, 发现人类活动引起的土地利用变化是目前影响河流水质的十分重要的非点源因

收稿日期: 2016-05-17; 修订日期: 2016-11-03

基金项目: 国家自然科学基金项目(41671033)

作者简介: 李琳琳(1990~), 女, 博士研究生, 主要研究方向为流域水生态过程, E-mail: stulilinlin@163.com

* 通信作者, E-mail: zhangyz@caes.org.cn; dunyu2014@163.com

素^[6,7],并定性分析了影响河流水质的主要土地利用类型^[8,9],确定对水质影响明显的尺度与边界^[5,10].随着数学统计方法的引进,聚类分析、因子分析和主成分多元线性回归分析等多元统计方法^[12,13],被应用于评价土地利用与流域水质的相关性,但是这些统计方法只能定性判断污染严重区的土地利用类型^[12],而不能定量分析土地利用类型变化对水质的影响程度.建立土地利用变化的水质响应模型,研究土地利用与水质变化的耦合机制,预测不同土地利用情景下水质的变化趋势^[14],成为当前研究新焦点.偏最小二乘(partial least squares,PLS)模型,兼具主成分分析和线性回归分析作用,同时又可以排除因自变量之间互相关联导致的自变量对因变量的独立影响解释不清的问题^[15,16],是分析变量之间相互关系的重要工具.因此,本研究在定性探究流域土地利用类型对水质影响的基础上,采用偏最小二乘法(PLS)定量分析土地利用类型变化对河

流水化学参数的影响程度.

利用高分辨率遥感影像数据和偏最小二乘模型探究太子河流域土地利用类型与河流水质的相关关系,定量分析土地利用类型变化对河流水环境质量变化的影响,揭示不同土地利用类型对河流污染的影响程度,有利于采取针对性的污染治理措施改善水质状况,以期为合理规划区域土地、改善河流水环境质量提供重要的理论依据.

1 研究区概况

太子河流域位于辽宁省境内,是大辽河的一条重要支流,地理位置为 $122^{\circ}57' \sim 124^{\circ}55'E, 40^{\circ}28' \sim 41^{\circ}38'N$.发源于抚顺新宾县红石砬子,向西流经新宾县、本溪县、本溪市、辽阳县、辽阳市、海城市等重要工业城市,是我国重要的工农业基地.太子河流域地势东高西低,东部高海拔区多为山地,西部为辽河平原的一部分,主要是地势较低的平原与河谷(图1).

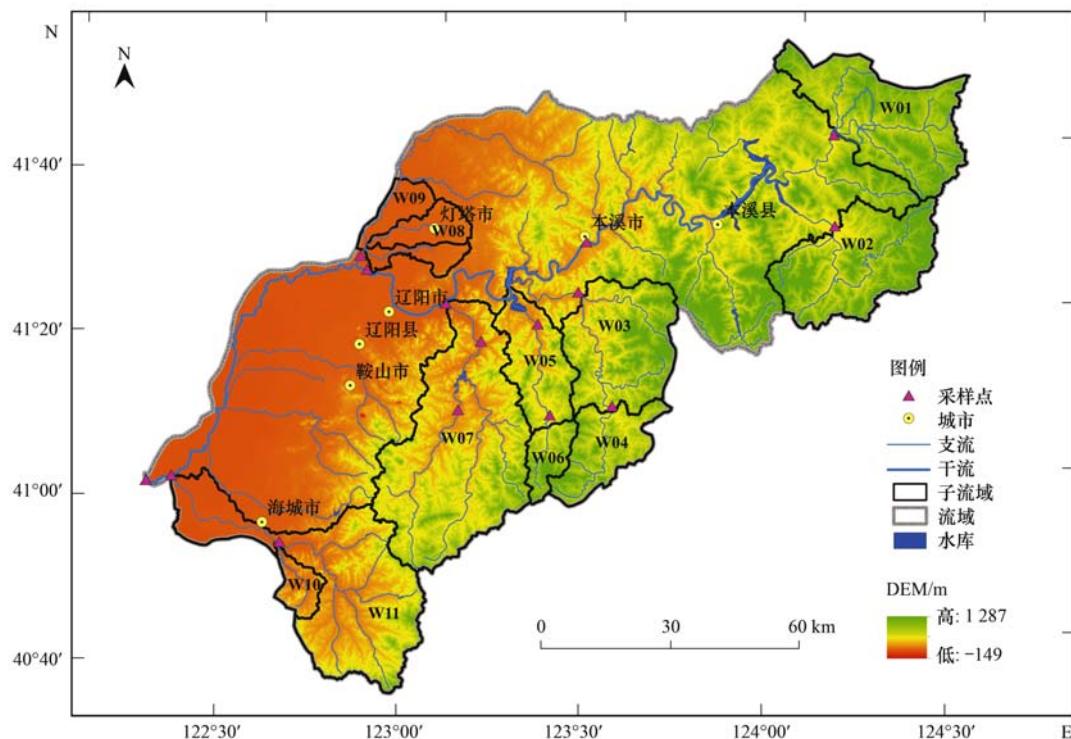


Fig. 1 Distribution of water sampling sites and sub-basin in Taizi River Basin

1.1 土地利用特征

利用数字高程(DEM)图像,借助GIS软件,将太子河流域划分子流域,并选择采样点上游11个子流域作为研究单元(图2).依据土地利用分类系统规范,结合太子河流域的土地利用现状,将太子河流域土地利用类型划分为未利用地、林地、草地、居民及工矿建设、耕地和水域这6类;其中未利用地

主要指裸地、基岩裸露区以及工业、生活垃圾堆放区,居民及工矿建设用地指的是居民住宅区、商业区及工矿和建筑物用地,耕地则主要包括水田和旱地,水域包括滩地沼泽、湖库坑塘、河渠等.

整体看来,太子河流域的土地利用类型以林地为主,其次为耕地.但11个子流域(从上游到下游依次记为W01~W11,其中W01、W02位于上游地

区、W03~W08位于中游地区、W09~W11位于下游地区)土地利用类型结构差异性显著(图2),下游土地利用类型丰富度高于上游。W01~W04子流域中林地面积均大于79%,子流域W07~W11,耕地、居民及工矿建设用地面积呈明显增大趋势。其中,W10耕地面积占整个子流域面积20%以上,居民及工矿建设用地大于10%;而W11耕地面积大于14%,居民及工矿建设用地面积大于24%,林地面积由上游子流域W01~W04的80%降到60%以下。

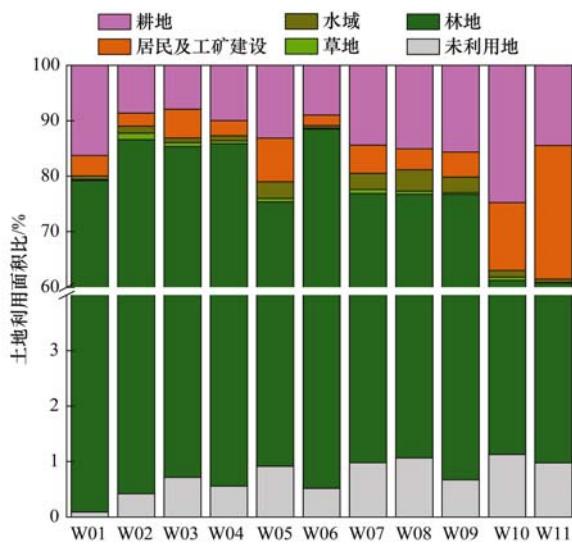


图2 太子河11个子流域土地利用面积

Fig. 2 Land use types area in 11 different sub-basins in Taizi River Basin

1.2 流域水质特征

为分析土地利用与流域水质的关系,在各个重

要支流以及支流汇水口处设置了采样点(图1),分析子流域的土地利用情况对河流水质的影响。太子河11个子流域中水化学参数氯离子(Cl^-)、亚硝酸根离子(NO_2^-)、硝酸根离子(NO_3^-)、总氮(TN)、铵根离子(NH_4^+)和硫酸根离子(SO_4^{2-})浓度从上游至下游整体上呈现上升趋势,但是在部分子流域出现突变点(图3)。 Cl^- 在子流域W09浓度最高, NO_2^- 在子流域W10浓度最高, NO_3^- 在子流域W07和W11浓度明显高于周围其他子流域,TN在子流域W10处浓度最高, NH_4^+ 在中游子流域W05、W07和下游子流域W09浓度都较高, SO_4^{2-} 则是在子流域W09处浓度最高。

2 材料与方法

2.1 水质化学与土地利用数据

水质基本参数,包括温度(T)、电导率(EC)、溶解氧(DO)、氧化还原电位(Eh)以及总溶解固体(TDS)等,采用便携式水质分析仪(YSI-85)现场测定。其他水化学指标,如 NO_2^- 、 NO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 等,在实验室通过离子色谱(ICS-3000,Dionex,美国;阴阳离子平衡误差在 $\pm 5\%$ 之内)测得。

土地利用数据为2009年9月法国SPOT5卫星的遥感影像解译数据,空间分辨率为30 m。

2.2 偏最小二乘方法模型^[16]

偏最小二乘法是一种多因变量对多自变量的回归建模方法,它可以实现多种数据分析方法的综合应用。

对于给定的 n 个测量点 (x_i, y_i) , $i = (1, 2, \dots,$

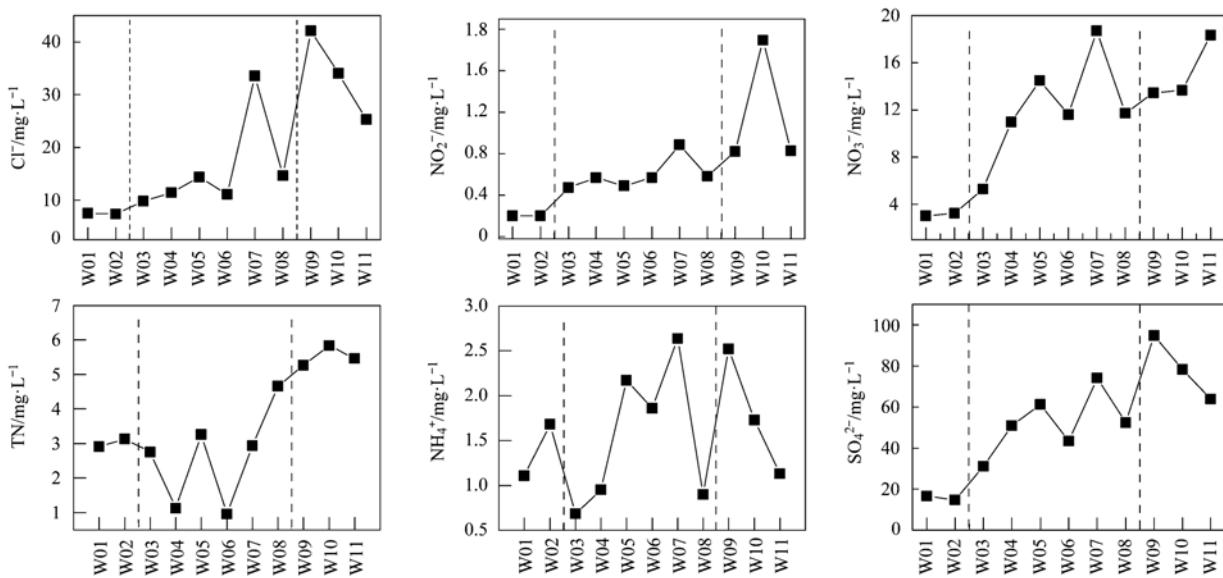


图3 太子河流域水质指标空间变化

Fig. 3 Spatial variation of water quality indicators in Taizi River Basin

n), 寻找一条最佳的拟合直线, 使其尽可能通过或靠近这些点。直线方程可表示为:

$$y_i = ax_i + b \quad (i = 1, 2, \dots, n)$$

式中, (x_i, y_i) 为测点坐标, a 为直线的斜率, b 为 y 轴的截距, a 、 b 为待估参数, a_0 、 b_0 为它们的近似值。令:

$$a = a_0 + \delta a$$

$$b = b_0 + \delta b$$

以 y 作为因变量, 以 x 为自变量, 误差方程为:

$$v_{y_i} = [x_i \quad 1] \begin{bmatrix} \delta a \\ \delta b \end{bmatrix} + (a_0 x_i + b_0 - y_i)$$

误差方程矩阵表达式 $A\delta X = l + V$, 其中:

$$A = \begin{bmatrix} x_1 & 1 \\ x_2 & 1 \\ \vdots & \vdots \\ x_n & 1 \end{bmatrix}, \quad l = \begin{bmatrix} a_0 x_1 + b_0 - y_1 \\ a_0 x_2 + b_0 - y_2 \\ \vdots \\ a_0 x_n + b_0 - y_n \end{bmatrix},$$

$$V = \begin{bmatrix} v_{y_1} \\ v_{y_2} \\ \vdots \\ v_{y_n} \end{bmatrix}, \quad \delta X = \begin{bmatrix} \delta a \\ \delta b \end{bmatrix}$$

按最小二乘准则:

$$V^T V = \min, \text{ 即:}$$

$$\sum_{i=1}^n \|ax_i - b - y_i\|^2 = \min$$

其最小二乘解为 $\hat{\delta}X = (A^T A)^{-1} A^T l$, 因变量残差 $V = A\hat{\delta}X - l$, 单位权重误差:

$$\hat{\sigma}_0 = \sqrt{\frac{V^T V}{m-2}}$$

3 结果与讨论

3.1 水质参数与土地利用之间的相关性

将土地利用类型作为环境因子变量, 借助直接梯度模型分析土地利用类型对河流水化学参数的影响。分析环境变量与水化学指数的梯度模型包括典型对应模型(CCA)和冗余分析模型(RDA)^[17]。其中, CCA 为单峰模型, RDA 为线性模型。为确定土地利用类型与水化学参数两两之间是线性关系还是非线性关系, 先进行降趋势对应分析(DCA), 若 4 个轴中梯度最大值小于 3 则选择线性模型 RDA; 若大于 4, 则选择单峰模型; 如果介于两者之间, 两种模型均适用^[17]。本次数据进行 DCA 分析后, 发现其梯度最大值远小于 3, 土地利用类型与水化学参数之间呈线性关系, 因此选择线性模型 RDA 进行相关

分析(图 4)。对于线性模型 RDA 的排序图, 数据箭头之间的夹角越小, 在某一个方向上的投影向量长度越大, 则相关性越高; 箭头同向, 表示数据之间为正相关, 反向则为负相关。

整体看来, 影响各个子流域水质的土地利用类型差异显著(图 4)。上游 W01、W02 子流域水质主要受草地影响; 中游 W03、W04、W06 子流域主要受林地影响, 中游 W05、W07、W08 和下游 W11 子流域主要受未利用地影响; 下游 W09 和 W10 子流域主要受耕地、居民及工矿建设用地影响, 其中子流域 W09 受居民及工矿建设用地影响明显, 子流域 W10 水质受耕地影响显著。

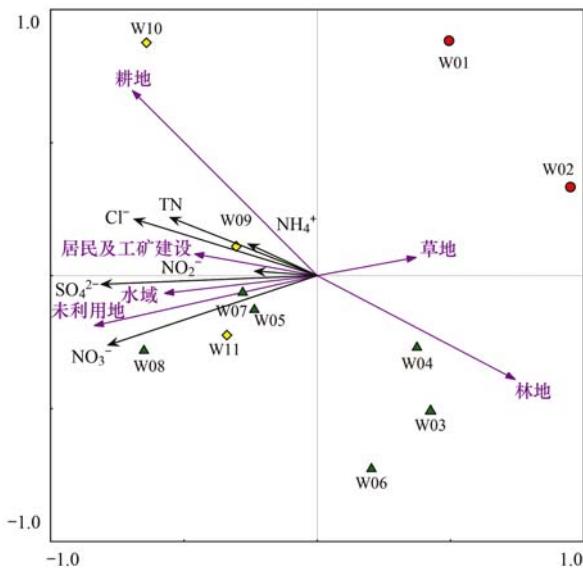


图 4 土地利用类型与水质参数的 RDA 排序

Fig. 4 RDA sequence diagram of land use type and water quality parameters

TN、Cl⁻、SO₄²⁻ 和 NO₃⁻ 等水化学参数受土地利用类型影响明显(图 4)。TN 与 NH₄⁺ 主要受耕地和林地影响, 其中与耕地表现出正相关关系与林地表现出明显负相关关系(箭头方向相反, 且夹角接近 180°), TN 在两种土地利用类型箭头上的投影长度较 NH₄⁺ 大得多, 因此 TN 受耕地与林地影响更大。Cl⁻ 主要受居民及工矿建设用地影响, 且表现为正相关的方向(夹角度数 < 90°)。NO₃⁻、SO₄²⁻ 与水域之间的夹角非常小且同向, 在未利用地上的投影长度更大, 因此, 主要受水域和未利用地的影响。NO₃⁻ 与未利用地之间夹角较小、投影长度较大, 因此 NO₃⁻ 与未利用地表现出明显的正相关关系。林地和草地与水化学参数之间的箭头夹角全部大于 90°, 因此林地、草地对水化学参数产生负相关影响, 即林地与草地面积越大, 相关水化学参数浓度越

低,水质越好.

3.2 水质参数与土地利用响应模型

3.2.1 典型相关分析

为探究土地利用类型变化对河流水质的影响,将6种土地利用类型所占的面积百分数作为自变量 X ,水化学参数作为因变量 Y ,采用典型相关分析探究两组变量之间是否存在相关关系. 分别提取自变量 X 和因变量 Y 的成分,自变量的成分用 t_i 表示,因变量的成分用 u_i 表示,由于 $Q_1^2(\text{cum})=0.64, Q_2^2(\text{cum})<0$,因此只提取一个主成分 t_1 和 u_1 ,以样本点绘制 t_1-u_1 平面图(图5),并添加趋势线, $y=x-7.04 \times 10^{-8}$, $R^2=0.67$. 表示变量之间存在一定相关关系,可以利用偏最小二乘法建模^[16].

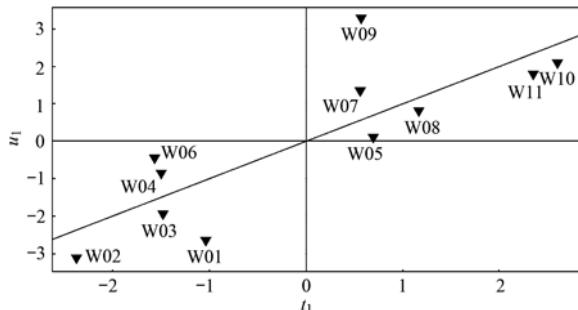


图5 相关性 t_1/u_1 平面

Fig. 5 Correlation diagram between dependent variables principle component and independent variables principle component

3.2.2 模型建立

通过反复尝试,为确保自变量 X 对因变量 Y 具有解释意义,选择 $Q^2(\text{cum})=0.64 (>0.50)$ 的W01、W02、W03、W04、W05、W06和W07等7个子流域数据, Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和TN等水质参数,采用偏最小二乘回归方法建立模型,分析流域水质参数与土地利用类型之间的关系,其表达式如下:

$$c(\alpha) = A_i + \sum_{i=1}^n (P_i \times \beta_i)$$

式中, c 为水质参数的浓度($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); α 为水质参数,本研究中主要为 Cl^- 、 NO_3^- 、 SO_4^{2-} 和TN; A_i 为第*i*种土地利用类型对水质参数的影响常数项; P_i 为第*i*种土地利用类型面积比(%); β_i 为第*i*种土地利用类型对水质参数的影响系数. 不同土地利用类型对水化学参数的影响系数如表1所示.

结合表1数据可知,未利用地、林地、居民及工矿建设用地和耕地是对水化学参数影响较大的土地利用类型(影响系数, $|\beta_i| > 0.21$),其中未利用地、居民与工矿建设用地和耕地等土地利用类型与水质参数成正相关关系,即面积所占百分比越大,水质参

表1 土地利用类型面积对水化学参数的影响系数

Table 1 Influence coefficient of Land use type area on hydrochemical parameters

类型	TN	SO_4^{2-}	NO_3^-	Cl^-
常数	2.10	1.38	1.98	1.05
未利用地	0.24	0.26	0.24	0.27
林地	-0.25	-0.28	-0.26	-0.28
草地	-0.13	-0.14	-0.13	-0.14
居民及工矿建设	0.21	0.23	0.21	0.24
耕地	0.22	0.20	0.23	0.21
水域	0.05	0.06	0.05	0.06

数浓度越大,水质就会越差. 未利用地多指未开发的裸地、部分工业生活废物堆放区,在降雨条件下,未利用地极易形成地表径流,将雨水淋溶作用下溶解的污染物带入河水中,因此未利用地对河流中4种水质参数浓度变化都具有较大影响,影响系数值均大于0.24. 居民及工矿建设用地,主要是指居民住宅区、商业区及工矿和建筑物用地. 太子河流域沿线的本溪、辽阳以及鞍山市,是辽宁省重要的工业基地,集中了大量的造纸、有色金属采矿、化学原料及化学制品工厂. 居民区、商业区与工业区生活污水、工业废水排放与固体垃圾溶滤作用是导致 Cl^- 、 NO_3^- 升高的主要原因;而采矿区采矿过程中破坏地层完整性,增大径流过程中的溶滤作用,可能是导致水体中 SO_4^{2-} 浓度变化的主要原因,因此居民及工矿建设用地这一土地利用类型对水质参数影响系数均大于0.21. 耕地对河流与水质变化影响也相对较大,尤其对河水中氮污染的贡献较大,影响系数大于0.22. 林地与水化学参数呈负相关关系,即林地面积越大,水化学离子浓度越小. 林地对地表径流的截留,对污染物的降解去除作用,是流域水质变好的重要原因. 因此,为了改善太子河流域水质条件,可在采矿区以及工业区附近增加绿化带面积,在未利用的裸地上适当种植一些有利于水质改善的林草地.

土地利用类型对水质影响大小,可通过土地利用类型对水质影响的VIP(variable importance in the projection)值表示(图6). VIP值的大小,可以确定在具有多重共线性的不同自变量中,哪些是对因变量最具有解释意义的自变量. VIP>1,表示自变量对因变量具有显著解释意义;0.80<VIP<1,表示自变量对因变量具有中等程度的解释意义;VIP<0.80,则表示自变量对因变量不具备明显解释意义^[15]. VIP值排序图显示,作为自变量的6种土地利用类型,对水质的综合影响大小顺序为:林地>未

利用地>居民及工矿建设用地>耕地>草地>水域,其中林地、未利用地、居民及工矿建设用地的VIP值均大于1,对流域水环境质量变化起到重要作用;而草地与水域这两种土地利用类型对水质影响的VIP值小于0.80,因此草地与水域对水质影响不显著。

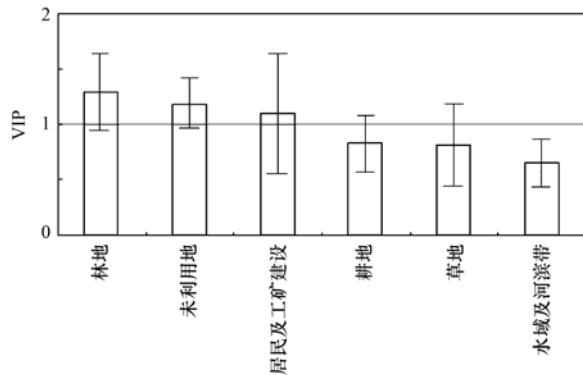


图6 太子河流域影响水质的土地利用类型排序

Fig. 6 Sorting figure of the influence of land use on water quality in Taizi River Basin

3.2.3 模型预测分析

利用PLS模型求得另外4个子流域W08、W09、W10和W11水化学参数 NO_3^- 、 Cl^- 、 SO_4^{2-} 和TN的浓度预测值,并与实测值进行曲线拟合(图7)。

水化参数TN和 NO_3^- 利用最小二乘法模型求得的预测值与实测值的拟合度较好[$R^2 > 0.62$,图7

(a)和7(b)],绝大多数点位都在 $y=x$ 曲线附近均匀分布^[16],也就是说土地利用类型变化对水体中TN和 NO_3^- 浓度变化影响较大。图7(a)显示,子流域W10和W11中TN浓度比子流域W08和W09高,结合图3可知,W10和W11两个子流域的耕地、居民及工矿建设用地面积所占百分比较大,两种土地利用类型面积百分比之和在35%以上,因此TN浓度大小受耕地和居民工矿建设用地影响强烈;而对比W10和W11两个子流域发现,子流域W10耕地面积百分比要比子流域W11中的更大,而TN在子流域W10中浓度也相对更高,因此,耕地对流域水体中TN影响更大。图7(b)显示,子流域W11中 NO_3^- 浓度最高,对比其他3个子流域可知,子流域W11耕地、居民及工矿建设用地和未利用地面积百分比之和是4个子流域中最大的,表1显示,未利用地、居民及工矿建设用地和耕地都对 NO_3^- 浓度变化有较大影响(影响系数>0.21),由于4个子流域中未利用地面积百分比都低于1.13%,因此不是未利用地影响造成此结果;而耕地面积百分比在4个流域中为14%~25%,且最大值出现在子流域W10,因此也不是耕地面积变化造成 NO_3^- 浓度变化;但是居民及工矿建设用地面积百分比在4个子流域差别显著,最大值就在子流域W11且其值为24%远大于其他几个子流域,因此居民及工矿建设用地对流域水体中 NO_3^- 浓度变化起重要影响作用。

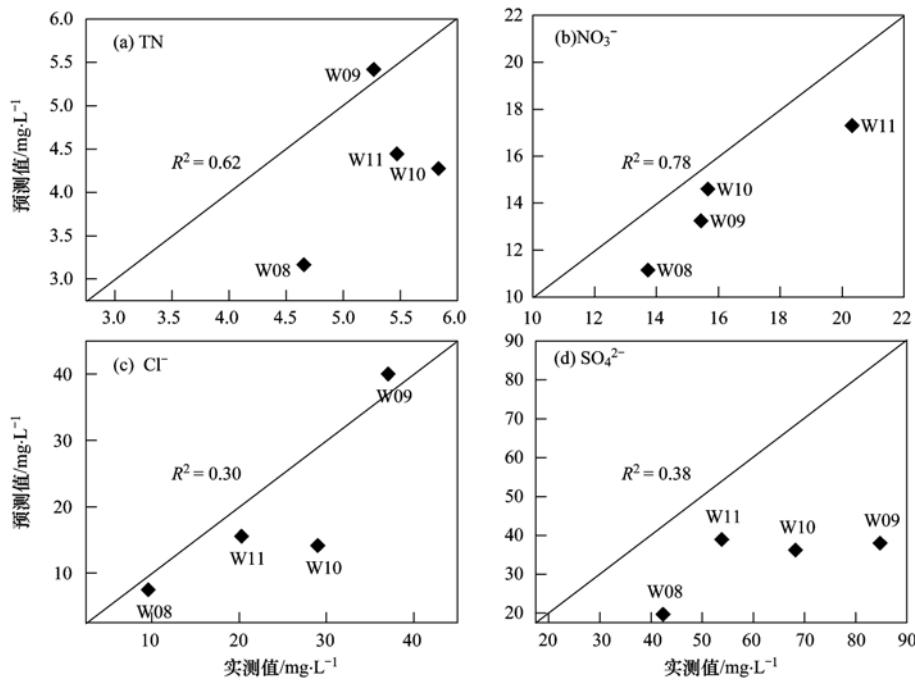


图7 水化学参数预测值与实测值拟合

Fig. 7 Fitting curves of predicted and measured hydrochemical parameters

水化参数 Cl^- 和 SO_4^{2-} 预测值与实测值的拟合度并不是很好 [$R^2 < 0.40$, 图 7(c) 和 7(d)], 也就是说土地利用类型对 Cl^- 、 SO_4^{2-} 浓度变化有影响, 但并不是最重要的影响因素。通常 SO_4^{2-} 来源主要是化学风化侵蚀, 土壤硫酸盐溶解等。 Cl^- 的物理化学性质稳定, 在迁移过程中极少参与化学反应, 因此 Cl^- 来源主要是生活与工业排放。

4 结论

(1) 在子流域尺度上, 太子河流域土地利用类型对河流水质的影响大小顺序为: 林地 > 未利用地 > 居民及工矿建设用地 > 耕地 > 草地 > 水域。林地、未利用地、居民及工矿建设用地对河流水质影响显著 ($VIP > 1$), 耕地与草地对水质影响较为显著 ($0.80 < VIP < 1$)。

(2) 选取 7 个不同子流域的土地利用数据作为自变量, 4 个水化学数据作为因变量, 构建了土地利用类型和河流水质的偏最小二乘模型, 并使用其余子流域数据对构建的模型进行验证。结果表明, 土地利用类型对河流地表水中 TN 、 NO_3^- 浓度变化有重要影响, 其中耕地面积变化对水体中 TN 浓度变化影响明显, 居民及工矿建设用地面积变化则对水体中 NO_3^- 浓度变化影响强烈。但是对于 Cl^- 、 SO_4^{2-} 来说, 土地利用类型对其浓度大小有一定影响, 但并不是最主要的影响因素。

参考文献:

- [1] 李艳利, 徐宗学, 李艳粉. 浑太河流域多尺度土地利用/景观格局与水质响应关系初步分析 [J]. 地球与环境, 2012, 40(4): 573-583.
Li Y L, Xu Z X, Li Y F. A Preliminary study on the relationship between multi-scale land use & landscape and river water quality response in the Huntai Watershed [J]. Earth and Environment, 2012, 40(4): 573-583.
- [2] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, et al. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics [J]. Landscape and Urban Planning, 2009, 92(2): 80-89.
- [3] 胡建, 刘茂松, 周文, 等. 太湖流域水质状况与土地利用格局的相关性 [J]. 生态学杂志, 2011, 30(6): 1190-1197.
Hu J, Liu M S, Zhou W, et al. Correlations between water quality and land use pattern in Taihu Lake basin [J]. Chinese Journal of Ecology, 2011, 30(6): 1190-1197.
- [4] Nash M S, Heggen D T, Ebert D, et al. Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 156(1-4): 343-360.
- [5] 黄金良, 李青生, 洪华生, 等. 九龙江流域土地利用/景观格局 - 水质的初步关联分析 [J]. 环境科学, 2011, 32(1): 64-71.
Huang J L, Li Q S, Hong H S, et al. Preliminary study on linking land use & landscape pattern and water quality in the Jiulong River watershed [J]. Environmental Science, 2011, 32(1): 64-72.
- [6] 张晓东, 颜耀文, 史建尧, 等. 石羊河流域土地利用与景观格局变化 [J]. 兰州大学学报(自然科学版), 2008, 44(5): 19-25.
Zhang X D, Xie Y W, Shi J Y, et al. Change analysis of land use and landscape patterns in Shiyang River basin [J]. Journal of Lanzhou University (Natural Sciences), 2008, 44(5): 19-25.
- [7] 张殷俊, 陈爽, 彭立华. 平原河网地区水质与土地利用格局关系——以江苏吴江为例 [J]. 资源科学, 2009, 31(12): 2150-2156.
Zhang Y J, Chen S, Peng L H. Relationships between land use pattern and surface water quality in the plain river network area: a case study of Wujiang in Jiangsu Province [J]. Resources Science, 2009, 31(12): 2150-2156.
- [8] 谢国清, 鲁韦坤, 杨树平, 等. 阳宗海、松华坝和云龙水库流域土地利用与水质变化 [J]. 水资源保护, 2007, 23(5): 15-17, 20.
Xie G Q, Lu W K, Yang S P, et al. Land use and water quality changes in Yangzonghai Lake, Songhuaba Reservoir and Yunlong Reservoir basins [J]. Water Resources Protection, 2007, 23(5): 15-17, 20.
- [9] 张敏, 刘庆生, 刘高焕. 长兴县北部地区的土地利用与水质响应研究 [J]. 安徽农业科学, 2010, 38(26): 14603-14607.
Zhang M, Liu Q S, Liu G H. Land use and water quality response in the northern region of Changxing County [J]. Journal of Anhui Agricultural Sciences, 2010, 38(26): 14603-14607.
- [10] 于磊, 赵彦伟, 汪思慧, 等. 不同时空尺度下流域景观格局与水质的相关性研究——以嫩江右岸典型子流域为例 [J]. 水土保持通报, 2011, 31(5): 254-258.
Yu L, Zhao Y W, Wang S H, et al. Correlation between landscape pattern and river water quality at various temporal and spatial scales-a case study of typical sub-watersheds of Nenjiang River Right Bank [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2011, 31(5): 254-258.
- [11] Tsuzuki Y. Relationships between pollutant discharge and water quality in the rivers from "better" to "worse" water quality [J]. Ecological Indicators, 2015, 52: 256-269.
- [12] 卜红梅, 刘文治, 张全发. 多元统计方法在金水河水质时空变化分析中的应用 [J]. 资源科学, 2009, 31(3): 429-434.
Bu H M, Liu W Z, Zhang Q F. Application of multiple statistical analysis to spatial-temporal variations of water quality of the Jinshui River [J]. Resources Science, 2009, 31(3): 429-434.
- [13] 赵鹏, 夏北成, 秦建桥, 等. 流域景观格局与河流水质的多变量相关分析 [J]. 生态学报, 2012, 32(8): 2331-2341.
Zhao P, Xia B C, Qin J Q, et al. Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality [J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2331-2341.
- [14] 于术桐, 黄贤金, 程绪水, 等. 流域土地利用变化的水质响应研究进展 [J]. 中国人口·资源与环境, 2011, 21(S): 422-426.
Yu S T, Huang X J, Cheng X S, et al. Advancement in research of water quality in response to land-use change in a Basin [J]. China Population, Resources and Environment, 2011, 21(S): 422-426.

- [15] 侯美亭, 胡伟, 乔海龙, 等. 偏最小二乘(PLS)回归方法在中国东部植被变化归因研究中的应用[J]. 自然资源学报, 2015, **30**(3): 409-422.
Hou M T, Hu W, Qiao H L, et al. Application of Partial Least Squares (PLS) regression method in attribution of vegetation change in eastern China [J]. Journal of Natural Resources, 2015, **30**(3): 409-422.
- [16] 王惠文. 偏最小二乘回归方法及其应用[M]. 北京: 国防工业出版社, 1999.
- [17] 赖江山. 生态学多元数据排序分析软件 Canoco 5 介绍[J]. 生物多样性, 2013, **21**(6): 765-768.
Lai J S. Canoco 5: a new version of an ecological multivariate data ordination program [J]. Biodiversity Science, 2013, **21**(6): 765-768.
- [18] 任艳芹, 陈开宁. 巢湖沉水植物现状(2010年)及其与环境因子的关系[J]. 湖泊科学, 2011, **23**(3): 409-416.
Ren Y Q, Chen K N. Status of submerged macrophytes and its relationship with environmental factors in Lake Chaohu, 2010 [J]. Journal of Lake Sciences, 2011, **23**(3): 409-416.
- [19] Woli K P, Nagumo T, Kuramochi K, et al. Evaluating river water quality through land use analysis and N budget approaches in livestock farming areas[J]. Science of the Total Environment, 2004, **329**(1-3): 61-74.
- [20] 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.
- [21] Bu H M, Meng W, Zhang Y, et al. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China [J]. Ecological Indicators, 2014, **41**: 187-197.
- [22] Zhang X H. A study on the water environmental quality assessment of Fenjiang river in Yaan city of Sichuan province in China[J]. IERI Procedia, 2014, **9**: 102-109.
- [23] Yan B, Fang N F, Zhang P C, et al. Impacts of land use change on watershed streamflow and sediment yield: an assessment using hydrologic modelling and partial least squares regression [J]. Journal of Hydrology, 2013, **484**: 26-37.
- [24] 杨莎莎, 汤萃文, 刘丽娟, 等. 流域尺度上河流水质与土地利用的关系[J]. 应用生态学报, 2013, **24**(7): 1953-1961.
Yang S S, Tang C W, Liu L J, et al. Relationships between river water quality and land use type at watershed scale [J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2013, **24**(7): 1953-1961.
- [25] Shi Z H, Ai L, Li X, et al. Partial least-squares regression for linking land-cover patterns to soil erosion and sediment yield in watersheds[J]. Journal of Hydrology, 2013, **498**: 165-176.
[26] 于松延, 徐宗学, 武玮, 等. 北洛河流域水质空间异质性及其对土地利用结构的响应[J]. 环境科学学报, 2014, **34**(5): 1309-1315.
Yu S Y, Xu Z X, Wu W, et al. Spatial variation of water quality and its response to landuse in the Beiluo River Basin [J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 2014, **34**(5): 1309-1315.
- [27] 伍恒赟, 张启明, 齐述华, 等. 土地利用景观格局对信江水质的影响[J]. 中国环境监测, 2014, **30**(3): 166-172.
Wu H Y, Zhang Q M, Qi S H, et al. Study on the influence of land use and landscape pattern on water quality in Xin River Watershed [J]. Environmental Monitoring in China, 2014, **30**(3): 166-172.
- [28] Chang F J, Tsai Y H, Chen P A, et al. Modeling water quality in an urban river using hydrological factors-Data driven approaches[J]. Journal of Environmental Management, 2015, **151**: 87-96.
- [29] Connolly N M, Pearson R G, Loong D, et al. Water quality variation along streams with similar agricultural development but contrasting riparian vegetation [J]. Agriculture, Ecosystems & Environment, 2015, **213**: 11-20.
- [30] Park Y S, Kwon Y S, Hwang S J, et al. Characterizing effects of landscape and morphometric factors on water quality of reservoirs using a self-organizing map [J]. Environmental Modelling & Software, 2014, **55**: 214-221.
- [31] Veldkamp A, Verburg P H. Modelling land use change and environmental impact [J]. Journal of Environmental Management, 2004, **72**(1-2): 1-3.
- [32] 於梦秋, 蔡颖, 刘华, 等. 太湖流域入湖河流土地利用类型对水质的影响——以乌溪港, 武进港为例[J]. 农业环境科学学报, 2014, **33**(5): 1024-1032.
Yu M Q, Cai Y, Liu H, et al. Impact of land use on water quality along inflow rivers in Taihu Basin [J]. Journal of Agro-Environment Science, 2014, **33**(5): 1024-1032.
- [33] 曹芳芳, 李雪, 王东, 等. 新安江流域土地利用结构对水质的影响[J]. 环境科学, 2013, **34**(7): 2582-2587.
Cao F F, Li X, Wang D, et al. Effects of land use structure on water quality in Xin'anjiang River [J]. Environmental Science, 2013, **34**(7): 2582-2587.
- [34] 王鹏, 齐述华, 陈波. 赣江流域土地利用方式对河流水质的影响[J]. 生态学报, 2015, **35**(13): 4326-4337.
Wang P, Qi S H, Chen B. Influence of land use on river water quality in the Ganjiang basin [J]. Acta Ecologica Sinica, 2015, **35**(13): 4326-4337.

CONTENTS

Dry and Bulk Nitrogen Deposition in Suburbs of Xining City	XU Wen, JIN Xin, LUO Shao-hui, et al. (1279)
Day-Night Variation and Source Apportionment of Carbonaceous Aerosols in PM ₁₀ During Spring and Summer of Lanzhou	MA Li, YU Ye, WANG Bo, et al. (1289)
Characteristics of the Size Distribution of Water Soluble Inorganic Ions in Sanya, Hainan	WANG Lu, LIU Zi-rui, WEN Tian-xue, et al. (1298)
Pollution Characteristics of NH ₄ ⁺ , NO ₃ ⁻ , SO ₄ ²⁻ in PM _{2.5} and Their Precursor Gases During 2015 in an Urban Area of Beijing	DING Meng-meng, ZHOU Jian-nan, LIU Bao-xian, et al. (1307)
Pollution Characteristics of PCDD/Fs in Ambient Air and Exposure Risk Assessment Around a Municipal Solid Waste Incinerator in Beijing	QI Li, REN Yue, LIU Ai-min, et al. (1317)
Community Characteristics of Cultivable Bacteria in Fine Particles(PM _{2.5}) of Beijing and Baoding	HU Ya-dong, MA An-zhou, LÜ Peng-yi, et al. (1327)
Emission Characteristics of Vehicle Exhaust in Artery and Collector Roads in Nanjing Based on Real-time Traffic Data	LI Xiao-yu, WU Lin, ZOU Chao, et al. (1340)
Catalytic Combustion of Soot Particulates over Rare Earth Pyrochlore Oxides Doped with Transition Metals	LI Xi-feng, SUN Yu-qi, WANG Zhong-peng, et al. (1348)
Water Quality Analysis of Beijing Segment of South-to-North Water Diversion Middle Route Project	XU Hua-shan, ZHAO Lei, SUN Hao-su, et al. (1357)
Hanfeng Pre-reservoir Commissioning Time Variation Feature of the Hydrology and Water Quality in Three Gorges Reservoir	YANG Bing, HE Bing-hui, WANG De-bao (1366)
Modeling of Water Quality Response to Land-use Patterns in Taizi River Basin Based on Partial Least Squares	LI Lin-lin, ZHANG Yi-zhang, TANG Chang-yuan, et al. (1376)
Distribution Characteristics of Water Temperature and Water Quality of Fuxian Lake During Thermal Stratification Period in Summer	WANG Lin-jie, YU Hui, NIU Yong, et al. (1384)
Vertical Stratification Characteristics of Dissolved Oxygen and Phytoplankton in Thousand-Island Lake and Their Influencing Factors	YU Yan, LIU De-fu, YANG Zheng-jian, et al. (1393)
Community Structure Characteristics of Eukaryotic Planktonic Algae in Liaohe River Through High-throughput Sequencing	WANG Jing-qi, WANG Shu-ping, ZHANG Yuan, et al. (1403)
Effects of Coastal Organic Pollution on Bacterioplankton Community in Sanmen Bay	DAI Wen-fang, GUO Yong-hao, YU Wei-na, et al. (1414)
Nitrate Source Identification and Nitrification-denitrification at the Sediment-water Interface	JIN Zan-fang, GONG Jia-lin, SHI Yi-li, et al. (1423)
Residues of Organochlorine Pesticides (OCPs) in Water and Sediments from Nansha Mangrove Wetland	DING Yang, HUANG Huan-fang, LI Hui, et al. (1431)
Pollution Characteristics and Risk Assessment of Heavy Metals from River Network Sediment in Western Area of Taihu Lake	BIAN Bo, ZHOU Yan, ZHANG Qin (1442)
Efficacy of Phoslock® on the Reduction of Sediment Phosphorus Release in West Lake, Hangzhou, China	ZHU Guang-wei, LI Jing, ZHU Meng-yuan, et al. (1451)
Identification and PAC Adsorption of Foulants Responsible for Irreversible Fouling During Ultrafiltration of Dongjiang River Water	YANG Hai-yan, WANG Can, YAN Zhong-sen, et al. (1460)
Efficiency and Kinetics of Triclosan Degradation in Aqueous Solution by UV/Sodium Persulfate	LI Qing-song, LI Xue-yan, YAO Ning-bo, et al. (1467)
Influencing Factors on the Degradation of PFOS Through VUV-SO ₃ ²⁻	HAN Hui-li, WANG Hong-jie, DONG Wen-yi (1477)
Simultaneous Photocatalytic Reduction of Cr (VI) and Oxidation of SSA by Carbon Nitride	LI Li-li, CHEN Cui-bai, LAN Hua-chun, et al. (1483)
Modification of Diatomite by Zirconium and Its Performance in Phosphate Removal from Water	FAN Yi, WANG Zhe, ZHAO Lian-qin, et al. (1490)
Reducing Effect of Three Disinfection Technologies for Sulfonamides Resistance Genes	ZHENG Ji, ZHOU Zhen-chao, CHEN Fang, et al. (1497)
Removal of Estrogenic Effect by Typical Domestic Wastewater Treatment Processes	ZHANG Qiu-ya, MA Xiao-yan, WANG Xiao-chang, et al. (1506)
Effect of SRT on Stability of Yeast-SBR in Treating Oil-containing Wastewater	LÜ Wen-zhou, ZHANG Shu-lin, QIAO Yu-xiang, et al. (1513)
Degradation of the Disperse Dye Neocron Black(NB) by Biological Treatment	YANG Bo, DING Feng-you, XU Hui, et al. (1520)
Function of Polyphosphate Kinase Gene in Biological Phosphate Removal During the Wastewater Treatment Process	NAN Ya-ping, ZHOU Guo-biao, YUAN Lin-jiang (1529)
Short-cut Nitrification Recovery and Its Transformation into CANON Process in a Biofilm Reactor	FU Kun-ming, ZHOU Hou-tian, SU Xue-ying, et al. (1536)
Nitrogen Removal Characteristics and Diversity of Microbial Community in ANAMMOX Reactor	CAO Yan, WANG Tong-yu, QIN Yu-jie, et al. (1544)
Effect of Environment Adjustment Layers on Nitrogen Transformation in Anaerobic Bioreactor Landfills	HE Zheng-kun, SONG Bo-yu, ZHU Nan-wen, et al. (1551)
Characteristics of Anaerobic Methane Removal Coupled to Fe(III) Reduction in Aged Refuse	WANG Li-li, HE Ting, LONG Yan, et al. (1558)
Assessment of Heavy Metal Pollution and Tracing Sources by Pb & Sr Isotope in the Soil Profile of Woodland in Quanzhou	SUN Jing-wei, YU Rui-lian, HU Gong-ren, et al. (1566)
Accumulation and Migration Characteristics in Soil Profiles and Bioavailability of Heavy Metals from Livestock Manure	HE Meng-yuan, DONG Tong-xi, RU Shu-hua, et al. (1576)
Pollution Characteristics and Source Analysis of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in Agricultural Soils from Shandong	GE Wei, CHENG Qi-qi, CHAI Chao, et al. (1587)
Distribution Characteristics and Influencing Factors of Organophosphorus Pesticides in Typical Soil Environment of Jianghan Plain	WANG Jian-wei, ZHANG Cai-xiang, PAN Zhen-zhen, et al. (1597)
Characteristics and Influencing Factors of Biologically-based Phosphorus Fractions in the Farmland Soil	CAI Guan, HU Ya-jun, WANG Ting-ting, et al. (1606)
Effect of Straw Application on the Dynamics of Exogenous Nitrogen and Microbial Activity in Paddy Soil	CHEN Shan, DING Xian-qing, ZHU Zhen-ke, et al. (1613)
Effects of Biochar on Surface Albedo and Soil Respiration in Suburban Agricultural Soil	ZHANG Yang-yang, HU Xue-yu, ZOU Juan, et al. (1622)
N ₂ O Consumption Ability of Submerged Paddy Soil and the Regulatory Mechanism	WANG Ling, XING Xiao-yi, QIN Hong-ling, et al. (1633)
Non-CO ₂ Greenhouse Gas Release from Different Biological Wastewater Treatment Processes	LI Hui-juan, PENG Dang-cong, LIU Wen-bo, et al. (1640)
Effect of Application of Sewage Sludge Composts on Greenhouse Gas Emissions in Soil	YANG Yu-han, YI Jian-ting, ZHANG Cheng, et al. (1647)
Effect of Nano Zeolites on pH, CEC in Soil and Cd Fractions in Plant and Soil at Different Cadmium Levels	CHI Sun-lin, XU Wei-hong, XIONG Shi-juan, et al. (1654)
Dynamic Differences of Uptake and Translocation of Exogenous Selenium by Different Crops and Its Mechanism	PENG Qin, LI Zhe, LIANG Dong-li, et al. (1667)
Alleviation Effects of Exogenous Melatonin on Ni Toxicity in Rice Seedlings	LIU Shi-xiang, HUANG Yi-zong, LUO Ze-jiao, et al. (1675)
Forms Distribution and Ecotoxicity of Three Forms of Sulfonamides in Root-Soil Interface of Maize	JIN Cai-xia, SI Xiao-wei, WANG Wan-feng, et al. (1683)
Effect of Sediments on Bioaccumulation of Mercury in Fish Body in the Water-Level-Fluctuating Zone of the Three Gorges Reservoir Area	SUN Song, LI Chu-xian, ZHANG Cheng, et al. (1689)
Bioaccumulation and Correlation of Heavy Metals in Human Hairs From Urban and Rural Areas of Chongqing	HE Ming-jing, LI Qi, WANG Deng-xiang, et al. (1697)
Microbial Community Structure and Diversity in Cellar Water by 16S rRNA High-throughput Sequencing	YANG Hao, ZHANG Guo-zhen, YANG Xiao-ni, et al. (1704)
Performance Improvement of Microbial Fuel Cell with Polyaniline Doped Graphene Anode	HUANG Li-hua, LI Xu-fen, REN Yue-ping, et al. (1717)
Brief Introduction of Pollution Sites Remediation and Risk Assessment and Its Policy Making in United States	RONG Yue (1726)