

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

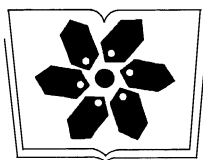
Acta Ecologica Sinica



第32卷 第8期 Vol.32 No.8 **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 8 期

2012 年 4 月 (半月刊)

目 次

东北地区 5 种阔叶树苗木对火烧的生理响应	王 荣, 胡海清	(2303)
梭梭木虱发生规律及其影响因子	李粉莲, 吴雪海, 王佩玲, 等	(2311)
基于遥感降尺度估算中国森林生物量的空间分布	刘双娜, 周 涛, 舒 阳, 等	(2320)
流域景观格局与河流水质的多变量相关分析	赵 鹏, 夏北成, 秦建桥, 等	(2331)
内蒙古达赉湖地区赤狐生境选择及生境景观特征分析	张洪海, 李成涛, 窦华山, 等	(2342)
雅鲁藏布江流域底栖动物多样性及生态评价	徐梦珍, 王兆印, 潘保柱, 等	(2351)
用组合模型综合比较的方法分析气候变化对朱鹮潜在生境的影响	翟天庆, 李欣海	(2361)
2010 年牧区 2 代草地螟成虫迁飞的虫源分析	张 丽, 张云慧, 曾 娟, 等	(2371)
基于细胞色素 b 基因的中国岩羊不同地理种群遗传差异分析	李楠楠, 刘振生, 王正寰, 等	(2381)
喀斯特峰丛洼地不同退耕还林还草模式的土壤微生物特性	鹿士杨, 彭晚霞, 宋同清, 等	(2390)
永定河沿河沙地杨树人工林生态系统呼吸特征	方显瑞, 张志强, 查同刚, 等	(2400)
基于湿地植物光谱的水体总氮估测	刘 克, 赵文吉, 郭逍宇, 等	(2410)
背瘤丽蚌 F 型线粒体基因组全序列分析	陈 玲, 汪桂玲, 李家乐	(2420)
流域“源-汇”景观格局变化及其对磷污染负荷的影响——以天津于桥水库流域为例	李崇巍, 胡 婕, 王 飒, 等	(2430)
线虫群落对抚顺煤矸石山周边土壤可溶性盐污染的响应	张伟东, 吕 莹, 肖 莹, 等	(2439)
地上竞争对林下红松生物量分配的影响	汪金松, 范秀华, 范 娟, 等	(2447)
湿地松和马尾松人工林土壤甲烷代谢微生物群落的结构特征	王 芸, 郑 华, 陈法霖, 等	(2458)
马尾松和杉木树干韧皮部水溶性糖 $\delta^{13}\text{C}$ 值对气象因子的响应	卢钰茜, 王振兴, 郑怀舟, 等	(2466)
沙坡头人工植被演替过程的土壤呼吸特征	高艳红, 刘立超, 贾荣亮, 等	(2474)
豫西刺槐能源林的热值动态	谭晓红, 刘诗琦, 马履一, 等	(2483)
铁皮石斛种子的室内共生萌发	吴慧凤, 宋希强, 刘红霞	(2491)
红光与远红光比值对温室切花菊形态指标、叶面积及干物质分配的影响	杨再强, 张继波, 李永秀, 等	(2498)
扑草净对远志幼苗根系活力及氧化胁迫的影响	温银元, 郭平毅, 尹美强, 等	(2506)
地表臭氧浓度增加和 UV-B 辐射增强及其复合处理对大豆光合特性的影响	郑有飞, 徐卫民, 吴荣军, 等	(2515)
AMF 对喀斯特土壤枯落物分解和对宿主植物的养分传递	何跃军, 钟章成, 董 鸣	(2525)
传统豆酱发酵过程中细菌多样性动态	葛菁萍, 柴洋洋, 陈 丽, 等	(2532)
定位施肥对紫色菜园土磷素状况的影响	孙倩倩, 王正银, 赵 欢, 等	(2539)
基于生态需水保障的农业生态补偿标准	庞爱萍, 孙 涛	(2550)
保障粮食安全造成的生态价值损失评估模型及应用	芦蔚叶, 姜志德, 张应龙, 等	(2561)
专论与综述		
疏浚泥用于滨海湿地生态工程现状及在我国应用潜力	黄华梅, 高 杨, 王银霞, 等	(2571)
问题讨论		
厌氧氨氧化菌群体感应系统研究	丁 爽, 郑 平, 张 萌, 等	(2581)
基于形态结构特征的洞庭湖湖泊健康评价	帅 红, 李景保, 夏北成, 等	(2588)
研究简报		
黄土高原不同树种枯落叶混合分解效应	刘增文, 杜良贞, 张晓曦, 等	(2596)
不同经营类型毛竹林土壤活性有机碳的差异	马少杰, 李正才, 王 斌, 等	(2603)
干旱对辣椒光合作用及相关生理特性的影响	欧立军, 陈 波, 邹学校	(2612)
硅和干旱胁迫对水稻叶片光合特性和矿质养分吸收的影响	陈 伟, 蔡昆争, 陈基宁	(2620)



封面图说: 红树林粗大的气生根——红树林是热带、亚热带海湾及河口泥滩上特有的常绿灌木或乔木群落。由于海水环境条件特殊,红树林植物具有一系列特殊的生态和生理特征。其中之一就是气根,红树从根部长出许多指状的气生根露出海滩地面,以便在退潮时甚至潮水淹没时用以通气,故称呼吸根。在中国,红树林主要分布在海南、广西、广东和福建省沿海,它一般分布于高潮线与低潮线之间的潮间带,往往潮差越大,红树的呼吸根就长得越高越粗大。

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

DOI: 10.5846/stxb201103140315

赵鹏, 夏北成, 秦建桥, 赵华荣. 流域景观格局与河流水质的多变量相关分析. 生态学报, 2012, 32(8): 2331-2341.

Zhao P, Xia B C, Qin J Q, Zhao H R. Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(8): 2331-2341.

流域景观格局与河流水质的多变量相关分析

赵 鹏¹, 夏北成^{1,*}, 秦建桥², 赵华荣^{1,3}

(1. 中山大学环境科学与工程学院, 广州 510275; 2. 广东省环境科学研究院, 广州 510045

3. 桂林理工大学环境科学与工程学院, 广西桂林 541004)

摘要:流域内的景观格局改变是人类活动的宏观表现,会对河流水质产生显著影响,因此明确影响水质变化的关键景观因子,对于深入了解景观对水质的影响机制具有重要的研究价值。选择广东省淡水河流域为研究对象,以 2007 年 ALOS 卫星影像以及水质监测数据为基础,运用空间分析和多变量分析方法,分析淡水河流域景观格局与河流水质的相关关系。用包括流域和河岸带尺度的景观组成和空间结构信息的景观指数表征景观格局,用 Spearman 秩相关分析、多元线性逐步回归模型和典型相关分析(CCA)研究景观指数和水质指标的相关关系。研究结果表明:林地、城镇用地和农业用地占淡水河流域总面积超过 90%,其中城镇用地超过 20%。多元线性逐步回归分析和 CCA 结果说明水质指标受到多个景观指数的综合影响,反映了景观格局对水质的复杂影响机制。流域景观格局对河流水质有显著影响,流域尺度的景观指数比河岸带尺度的景观指数对水质影响更大。城镇用地比例是影响耗氧污染物和营养盐等污染物浓度最重要的景观指数,林地和农业用地对水质的影响较小。另外,景观破碎化对 pH 值、溶解氧和重金属等水质指标有显著影响。CCA 的第一排序轴解释了景观指数与水质指标相关性的 54.0%,前两排序轴累积能解释景观指数与水质指标相关性的 87.6%,前两轴分别主要表达了城市化水平和景观破碎化水平的变化梯度。淡水河流域的景观格局特征从上游到下游呈现出城市—城乡交错—农村的景观梯度,水质变化也对应了这个梯度的变化,说明人类活动引起的流域土地覆盖及土地管理措施变化会对水质变化产生显著影响。

关键词:景观格局;景观指数;水质;典型相关分析

Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality

ZHAO Peng¹, XIA Beicheng^{1,*}, QIN Jianqiao², ZHAO Huarong^{1,3}

1 School of Environmental Science and Engineering, Sun-Yat-Sen University, Guangzhou 510275, China

2 Guangdong Provincial Academy of Environmental Science, Guangzhou 510045, China

3 School of Environmental Science and Engineering, Guilin University of Technology, Guilin 541004, China

Abstract: Water quality variation is generally linked to the change of landscape pattern in watershed, which represents the main impact of human activities in macroscopic view. Therefore, identifying the crucial landscape factors that affect water quality variation is valuable for understanding the mechanism that landscape may affect water quality. Multivariate analysis tools are effective methods to deal with complex correlations between landscape pattern and water quality. Besides, advances of remote sensing (RS) and geographic information systems (GIS) technologies have made regional and watershed scale studies much more feasible. This study was conducted along Danshui River watershed, a branch of Dongjiang River in Guangdong Province. The correlation between landscape pattern and water quality of Danshui River was represented by using spatial analysis and multivariate analysis methods base on ALOS satellite image and water quality monitoring data in 2007. Landscape metrics, including information of landscape composition and spatial configuration, were used to represent

基金项目:科技部东江水专项(2008ZX07211-009);广州市科信局应用基础研究专项(2011J4100103)

收稿日期:2011-03-14; **修订日期:**2011-08-01

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiabch@mail.sysu.edu.cn

landscape pattern. In order to cover overall landscape information, landscape metrics on both watershed scale and riparian scale were used. Spearman's rank correlation analysis, multiple linear regression models with step-wise and canonical correlation analysis (CCA) were used to reveal the linkage between landscape metrics and water quality. The results show that forest, urban and agriculture land use are accounted for more than 90% of the total area in Danshui River watershed, while the area proportion of urban land exceeds 20%. Results of multiple linear regression models with step-wise and CCA showed that water quality indicators were affected by more than one landscape metric. The variation of water quality was influenced by landscape pattern significantly. The landscape metrics in watershed scale revealed more information of water quality variation than landscape metrics in riparian scale. The proportion of urban land use proportion had the greatest impact on water quality. Spearman's rank correlation analysis and multiple linear regression models showed the proportion of urban land use was the most important contributing factor to cause variation of oxygen consuming pollutants and nutrients. However, forest and agriculture land use had less influence on water quality. On the other hand, landscape metrics about landscape fragmentation were crucial factors to affect indicators of water quality, such as pH, DO and heavy metals. The result of CCA indicated that the first ordination axis could explain 54.0% of the correlations between landscape metrics and water quality indicators, and the first two ordination axes could cumulatively explain 87.6% of the correlations between landscape metrics and water quality. The result of CCA revealed that water quality had an obvious trend with the varying landscape gradient. The first two ordination axes mainly represented urbanization gradient and landscape fragmentation gradient respectively. Landscape characteristics in the study area showed a gradient of urban, urban-rural fringe, rural from upstream to downstream of Danshui River watershed. The distribution of pollutants concentration was corresponded with the gradient of landscape pattern in the watershed. Land use and cover change is an integrated result due to human activities, and change the state of eco-system of river and watershed significantly. It's highly reasonable that the water quality must correspond to the change of watershed landscape.

Key Words: landscape pattern; landscape metrics; water quality; canonical correlation analysis

从景观生态学出现以来,景观格局与生态过程的关系一直都是该学科的关键论题^[1]。河流汇水区景观格局与河流水质变化有密切的联系^[2-3]。随着人类活动的增加,流域内的土地覆盖逐渐从自然植被转变为以人类活动为主导的农业、城镇用地,从而导致河流水质的退化^[4-8]。在许多地区点源污染已经得到有效控制的情况下,非点源污染因其污染的广泛性、不确定性成为影响河流水质的重要原因之一,而景观格局是影响非点源污染负荷的主要因素之一^[9-10]。单纯的水质监测评价和点源污染治理等管理措施不足以面对快速城市化过程中引起的河流水质恶化、水生生态系统退化等问题。使用与水质显著相关的景观格局指数作为景观尺度上的景观环境指标,可以直接反映水质变化的原因,对于水质监测、流域管理等有重要的意义^[11]。目前,国内外已有相关研究分析了景观组成(如森林、城镇、农田等)^[12-14]、景观空间结构(不同类型斑块的大小、形状和分布等)^[3-5, 15]以及不同景观研究尺度(河岸带、流域尺度等)^[16-18]对水质的影响。

景观指数众多,而且有些指标间还存在信息冗余,如何选出少量的关键性指标,建立景观指标与水质指标之间的联系并能够阐明其影响的机理,成为研究景观对水质影响的焦点^[5, 19-20]。由于景观格局与河流水质之间的关系非常复杂,仅仅求出景观变量和水质指标之间的单因素相关关系不足以完整、准确地说明景观对水质的影响。以多变量分析方法(如多元线性回归分析、主成分分析、典型相关分析等)直接从多个相关因素中提取重要的因子,可以避免依靠经验选取指标时可能导致的指标间信息冗余,并更加清晰地突显景观格局与河流水质之间的关键因素及其相关关系。本研究以淡水河流域为研究对象,在流域尺度和河岸带尺度上,用包含景观组成和结构信息的景观指数表征景观格局状况,通过 Spearman 秩相关分析、多元线性逐步回归分析和典型相关分析方法研究景观指数和河流水质指标(以下简称景观-水质)的相关关系,探讨景观格局对河流水质的影响。

1 研究区域概况

淡水河是广东省境内东江之西枝江下游的一个二级支流,发源于深圳龙岗的梧桐山(在深圳境内称为龙岗河),于惠州的惠阳区淡水镇进入惠州(惠州境内称为淡水河),在惠州市马安镇汇入西枝江(图 1)。全长约 95 km,流域面积约 1300 km²。位于北回归线以南,濒临南海,地处亚热带,属亚热带海洋性气候。流域多年平均降雨量为 1649 mm,且雨季集中于 4—9 月,雨季降雨量占全年的 80%。多年平均气温 21.7 ℃,年内温差较小。土壤分布主要为砂页岩赤红壤,其次为砂页岩红泥田,土层较浅,多含砾石,保水保肥差,肥力不高。淡水河流域上游地区城镇化程度高、工业发达,中下游地区原来以农业为主,近年来城镇化、工业发展也非常迅速,生活污水、工业废水及面源污染导致淡水河生态环境急剧恶化。

2 数据与方法

2.1 水质数据

采用 2007 年淡水河常规水质监测数据,逢单月上旬采样监测,水质指标包括酸碱度(pH 值)、溶解氧(DO)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、5 日生物化学需氧量(BOD₅)、化学需氧量(COD_{Cr})、氨氮(NH₃-N)、总氮(TN)、总磷(TP)、石油类(Oil)、铜(Cu)、锌(Zn)、氟化物(F)和阴离子表面活性剂(LAS)共 13 项。水质测试采用国家标准分析方法^[21]。一共有 11 个常规监测断面,D1—D7 是位于淡水河主干流上从上游至下游的 7 个水质监测断面,P1—P4 是位于淡水河主要支流坪山河干流上从上游至下游的 4 个水质监测断面(图 1)。

2.2 景观组成及景观指数

利用遥感影像为 2007 年 10 月 24 日 ALOS 卫星影像(分辨率为 2.5 m)获取研究区的土地利用信息。采用 ENVI4.5 对遥感影像数据进行大气辐射校正、几何校正等预处理,然后利用 ArcGIS9.2 进行人工目视解译和数字化,并结合实地调查,将研究区域的土地利用类型分为林地、城镇用地(包括工矿仓储用地、住宅用地、商服用地和交通运输用地)、农业用地(包括农田和果园)、水域(包括河流水面、水库水面和坑塘水面)、草地、裸地,一共 6 类。以 SRTM 的高程图(90 m 分辨率)为基础,利用 ArcGIS 的水文分析模块,获得淡水河流域范围、河网分布以及各监测断面的上游控制区域。河岸带尺度的研究范围取河道两岸各 100 m 宽的缓冲带^[16]。

利用 ArcGIS 中的 Patch Analyst 4 模块计算研究区流域尺度和河岸带尺度的景观水平和类型水平上的景观组成和景观指数,其中类型水平选取研究区内占主导地位的 3 种土地利用类型林地、城镇用地和农业用地。所选景观指数包括斑块大小、边界与形状、景观多样性三大类,其中景观多样性指数仅在景观水平上进行分析。另外考虑到林地独特的生态功能,还加入表征林地斑块的核心区域特征的景观指数(如核心区域密度、核心区域指数等),核心区域的缓冲区采用 200 m。由于河岸带尺度较小,以及人为划出缓冲带切割对许多斑块的形状和边界产生的影响较大,因此在河岸带尺度上仅考虑景观多样性和斑块大小的景观指数。

在景观指数中,部分指数之间存在信息重复,为突出对水质有重要影响的关键景观指数,对所有的景观指数进行两两之间的 Spearman 秩相关分析,筛选出相互独立,不存在显著相关关系($P < 0.05$)的景观指标体系。显著相关的景观指数中,优先选择经文献研究证明对水质变化有较大影响的景观变量^[3-5, 15]。

通过 Spearman 秩相关分析后,筛选出相互独立的景观变量如下:林地面积比例、城镇用地比例、农业用地

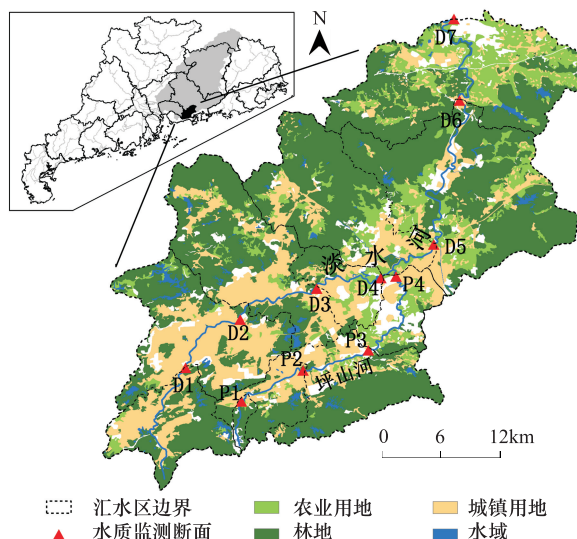


图 1 淡水河流域位置、水质监测断面所控制的汇水区 and 土地利用类型(D1—D7, P1—P4 为水质监测断面)

Fig. 1 Location of Danshui River Watershed, upland catchments of monitoring sections and land use type (D1—D7, P1—P4 were water monitoring sections)

比例、面积加权斑块分型指数(AWMPFD)、林地核心区域密度(CAD)、城镇用地边界密度(ED)、农业用地最大斑块指数(LPI)、河岸带城镇用地比例和河岸带林地平均最近邻距离(MNN)。这些景观变量包含了流域尺度和河岸带尺度上景观组成和结构的信息(表1)。

表1 景观指数描述

Table 1 Description of selected Landscape metrics

景观指数 Landscape metrics	计算公式 Formulations
林地比例/%	林地比例=(林地面积/流域总面积)×100%
城镇用地比例/%	城镇用地比例=(城镇用地面积/流域总面积)×100%
农业用地比例/%	农业用地比例=(农业用地面积/流域总面积)×100%
面积加权斑块分型指数	$\text{面积加权斑块分型指数} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \left[\frac{2 \ln(0.25 P_{ij})}{\ln(a_{ij})} \left(\frac{a_{ij}}{\text{流域总面积}} \right) \right]$ a 为斑块面积, P 为斑块周长, m 为斑块类型, n 为斑块数量
林地核心区域密度/(1/m ²)	林地核心区域密度=林地核心区域数量/流域总面积
城镇用地边界密度/(m/hm ²)	城镇用地边界密度=(城镇用地斑块边界长度/流域总面积)×10000
农业用地最大斑块指数/%	$\text{农业用地最大斑块指数} = [\max(A_j) / \text{流域总面积}] \times 100$ A 为农业用地斑块面积, j 为农业用地斑块数量
河岸带城镇用地比例/%	河岸带城镇用地比例=(河岸带城镇用地面积/河岸带总面积)×100%
河岸带林地平均最近邻距离/m	$\text{河岸带林地平均最近邻距离} = \frac{\sum_{j=1}^n D_j}{n}$ D 为最近邻河岸带林地斑块之间的距离, n 为河岸带林地斑块的数量

2.3 统计分析

用每个监测断面各种水质指标的标准变异系数(Standardized coefficients of variation, CV)表示水质指标的变化情况,计算公式:

$$CV = (SD/x) \times 100\% \quad (1)$$

式中, SD 为水质指标的标准偏差, x 为样本均值。

为了解景观特征对水质指标的影响,使用 Spearman 非参数检验方法检验景观指数与水质指标之间的相关性,并建立景观-水质的多元线性逐步回归模型,用变量 F 显著性概率作为评判标准检验,评判进入值的标准值为 0.05,评判剔除值的标准值为 0.10,对每一个水质指标,通过回归统计特征(P, R^2),选择最优模型。

用典型相关分析(Canonical Correspondence Analysis, CCA)研究景观-水质两组变量之间复杂的相关关系。CCA 是用于分析两个随机向量之间相关程度的一种多元统计方法,其基本思想是在矢量的线性函数空间中查找使得映射后变量相关系数最大的一对线性变换^[22]。在 CCA 结果图中,箭头表示景观指数,箭头连线的长度表示该景观指数的相对作用大小,箭头连线与排序轴的夹角表示该景观指数与排序轴相关性的程度,箭头的方向表示该景观指数的变化梯度方向^[23]。分析时,可以做出某水质指标与景观指数连线的垂直线,垂直线与连线相交点距离箭头越近,说明该水质指标或监测断面与该景观指数的正相关性越大,处于另一端则表示负相关性越大^[24]。CCA 结果图可以直观地把景观指数、水质指标以及样本点同时表达在排序轴的坐标平面上,以显示在一定的景观梯度下水质指标和样本点的分布情况。用 Monte Carlo tests 检验景观-水质相关系数和 CCA 排序轴的显著性。所有统计分析都在 SPSS17.0 以及 PC-ord5.0^[25] 环境下完成。

3 研究结果

3.1 各监测断面水质指标分异特征

从 2007 年淡水河流域 11 个水质监测断面水质指标统计信息可以看出, pH 和 DO 相对其他水质指标时空变化较小, CV 分别为 2.03% 和 39.39%, 时空变化较大的水质指标有 COD_{Mn}、BOD₅、TP、Oil 和 LAS, CV 均大于 100% (表 2)。

表 2 淡水河 2007 年各监测断面各项水质指标的统计信息

Table 2 Water quality statistics of Danshui river watershed in 2007

水质指标 Water quality variables	平均值(变化范围) Mean value(range)	标准偏差 Standard deviation	标准变异系数 Standardized coefficients of variation/%
pH	7.26 (7.05—7.81)	0.15	2.03
DO/(mg/L)	4.16 (0.60—8.02)	1.64	39.39
COD _{Mn} /(mg/L)	7.95 (1.03—46.05)	8.32	104.69
COD _{Cr} /(mg/L)	34.89 (5.53—113.93)	26.15	74.94
BOD ₅ /(mg/L)	12.42 (1.40—77.90)	16.05	129.24
NH ₃ -N/(mg/L)	8.54 (0.07—20.17)	5.83	68.28
TP/(mg/L)	1.31 (0.02—5.81)	1.36	103.61
TN/(mg/L)	12.93 (0.53—26.96)	7.61	58.82
Oil/(mg/L)	0.61 (0.01—4.78)	0.86	140.48
Cu/(mg/L)	0.11 (0.003—0.37)	0.10	91.57
Zn/(mg/L)	0.17 (0.01—0.16)	0.16	95.29
F/(mg/L)	0.59 (0.08—1.64)	0.46	78.84
LAS/(mg/L)	0.45 (0.02—2.63)	0.49	111.11

酸碱度 pH;溶解氧 DO;高锰酸盐指数 COD_{Mn};5 日生物化学需氧量 BOD₅;化学需氧量 COD_{Cr};氨氮 NH₃-N;总氮 TN;总磷 TP;石油类 Oil;铜 Cu;锌 Zn;氟化物 F;阴离子表面活性剂 LAS

3.2 土地利用结构

以各水质监测点上游汇水区为区域,分别计算其流域和河岸带两个尺度的分类结果(图 2)。在流域尺度上,各区域土地利用都是以林地为主,其次是城镇用地,有少数区域农业用地占较大比例,这 3 种土地利用类型的总面积占总面积接近 90% 或更高。淡水河流域城镇用地所占比例超过 20%,在个别小流域超过 30%,城市化程度较高。在河岸带尺度上也是林地、城镇用地和农业用地 3 种土地利用类型占主导地位,但是林地所占的比例下降,而城镇用地和农业用地所占的比例更大。淡水河流域沿程从上游到下游,林地比例变化不大,城镇用地比例逐渐减少,农业用地比例逐渐增大。

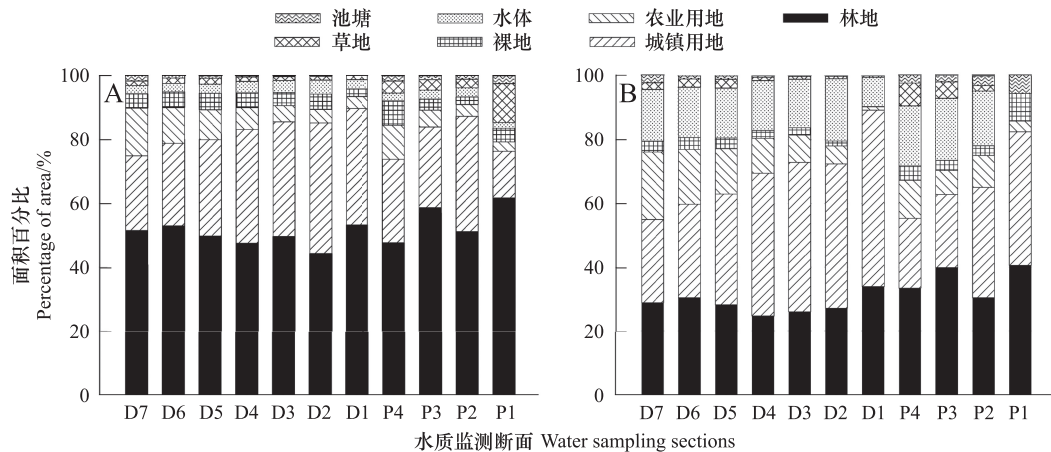


图 2 淡水河 11 个常规水质监测点上游汇水区土地利用分类结果

Fig. 2 The land use characteristics of those upland catchments of 11 sampling sections in Danshui River Watershed

A: 流域尺度, B: 河岸带尺度, D1—D7, P1—P4 为水质监测断面

3.4 景观-水质的多变量相关分析结果

3.4.1 景观-水质单因子相关分析结果

从 Spearman 秩相关分析结果可看出, pH 值与 Agr% 负相关, 与 F_CAD、R_Urb% 正相关。DO 仅与 AWMPFD 负相关, 与其他景观指数都无显著相关关系。COD_{Mn}、BOD₅ 和 TP 都是与 Urb% 和 U_ED 正相关, 而 COD_{Cr}、TN 和 Oil 都与 Urb% 和 R_Urb% 正相关。Cu 和 F 分别与都与 U_ED 和 Urb% 正相关, 而都与 A_LPI 负

相关。Zn 与 AWMPFD 正相关而与 For% 负相关。LAS 与所有景观指数都无显著相关关系,所有水质指标与 R_F_MNN 也都无显著相关关系(表 3)。

表 3 景观-水质的 Spearman 秩相关系数

Table 3 Spearman's rank correlation coefficients of landscape metrics and water quality indices

景观指数 Landscape metrics	pH	DO	COD _{Mn}	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TP
林地比例/%	0.273	0.136	-0.391	-0.573	-0.455	-0.455	-0.355
城镇用地比例/%	0.273	0.091	0.855 **	0.927 **	0.891 **	0.745 **	0.682 *
农业用地比例/%	-0.800 **	-0.382	-0.382	-0.245	-0.355	-0.218	-0.282
面积加权斑块分型指数	-0.439	-0.693 *	-0.018	0.060	-0.152	0.337	-0.051
林地核心区域密度	0.724 *	0.173	0.200	0.114	0.050	0.415	0.159
城镇用地边界密度	0.127	0.073	0.700 *	0.509	0.755 **	0.373	0.709 *
农业用地最大斑块指数	-0.068	0.565	-0.396	-0.264	-0.296	-0.515	-0.405
河岸带城镇用地比例/%	0.618 *	0.145	0.500	0.609 *	0.436	0.555	0.236
河岸带林地平均最近邻距离	0.073	-0.464	0.518	0.582	0.445	0.473	0.227
景观指数 Landscape metrics	TN	Oil	Cu	Zn	F	LAS	
林地比例/%	-0.545	-0.645 *	-0.323	-0.636 *	-0.400	-0.409	
城镇用地比例/%	0.745 **	0.909 **	0.574	0.355	0.627 *	0.573	
农业用地比例/%	-0.073	-0.200	-0.314	0.345	-0.227	0.018	
面积加权斑块分型指数	0.531	0.236	0.009	0.656 *	0.208	0.420	
林地核心区域密度	0.410	0.214	0.057	0.096	0.260	0.314	
城镇用地边界密度	0.145	0.327	0.715 *	-0.164	0.418	0.218	
农业用地最大斑块指数	-0.433	-0.433	-0.703 *	-0.460	-0.665 *	-0.282	
河岸带城镇用地比例/%	0.664 *	0.636 *	0.096	0.073	0.345	0.409	
河岸带林地平均最近邻距离	0.591	0.573	0.278	0.018	0.418	0.400	

* :在 0.05 水平上显著相关; ** :在 0.01 水平上显著相关;其他无显著相关性;林地面积比例 For%;城镇用地比例 Urb%;农业用地比例 Agr%;面积加权斑块分型指数 AWMPFD;林地核心区域密度 F_CAD;城镇用地边界密度 U_ED;农业用地最大斑块指数 A_LPI;河岸带城镇用地比例 R_Urb%;河岸带林地平均最近邻距离 R_F_MNN

3.4.1 多元线性回归分析结果

由于各个景观指数综合作用于河流水质,因此在单因子分析的基础上,进行多变量相关分析,在众多寻找影响水质指标变化的关键景观指数。

水质指标与景观指数的多元线性逐步回归模型都达到显著性水平($P<0.05$),pH 值、TN、石油类和 Cu 受到景观影响较大($R^2>0.8$),COD_{Mn}、BOD₅、TP、Zn 和氟化物受到景观影响较小($R^2<0.5$)。不同水质指标受到不同景观指数的影响,被选入回归模型的景观指数有城镇用地比例、林地核心区域密度、面积加权斑块分型指数、河岸带城镇用地比例、河岸带林地平均最近邻距离、城镇用地边界密度、农业用地最大斑块指数和林地比例。COD_{Mn}、COD_{Cr}、NH₃-H、TP、TN、石油类、氟化物和 LAS 都主要受城镇用地比例的影响,且都与城镇用地比例正相关。pH、TN、石油类和 Cu 的方程都选择了多个景观指数作为主要景观影响因子(表 4)。

3.4.2 典型相关分析结果

景观-水质的相关系数和 CCA 前两排序轴都达到显著水平($P<0.05$),第一排序轴解释了景观-水质相关性的 54.0%,前两排序轴累积能解释景观-水质相关性的 87.6%。第一轴与城镇用地比例、河岸带林地平均最近邻距离和河岸带城镇用地比例的相关性较高,相关系数分别为-0.879、-0.620 和-0.609,主要表达了城市化水平的变化梯度。第二轴与面积加权斑块分型指数、农业用地最大斑块指数和林地核心区域密度的相关性较高,相关系数分别为-0.784、0.609 和 0.539,主要表达了景观破碎化的变化梯度(表 5)。淡水河流域水

质的变化主要受到城市化和景观破碎化的影响,其中城市化是最主要的影响因素。

表 4 景观-水质的最优多元线性逐步回归模型
Table 4 The optimal multiple linear regression models with stepwise of landscape metrics and water quality indices

水质指标 Water quality indices	逐步回归方程 Multiple linear regression models with step-wise	R^2	P
pH	$pH=8.651+0.617 X_1-1.297 X_2$	0.959	<0.001
DO	$DO=1.970+8.171 X_1$	0.610	0.005
COD_{Mn}	$COD_{Mn}=-0.976+0.590 X_3$	0.476	0.019
COD_{Cr}	$COD_{Cr}=-36.046+2.364 X_3$	0.695	0.001
BOD_5	$BOD_5=-17.696+0.820 X_4$	0.419	0.031
氨氮	$氨氮=-8.480+0.567 X_3$	0.759	<0.001
TP	$TP=-1.716+0.101 X_3$	0.451	0.024
TN	$TN=-134.064+0.574 X_3+108.230 X_2$	0.847	0.001
石油类	$石油类=-0.996+0.110 X_3-0.009 X_5$	0.802	0.002
Cu	$Cu=-0.603+0.053 X_6-0.073 X_7-0.0008 X_5$	0.881	0.001
Zn	$Zn=0.907-0.014 X_8$	0.449	0.024
氟化物	$氟化物=-0.507+0.036 X_3$	0.391	0.040
LAS	$LAS=-0.362+0.027 X_3$	0.565	0.008

酸碱度 pH;溶解氧 DO;高锰酸盐指数 COD_{Mn} ;5 日生物化学需氧量 BOD_5 ;化学需氧量 COD_{Cr} ;总氮 TN;总磷 TP;铜 Cu;锌 Zn;阴离子表面活性剂 LAS;林地核心区域密度 X_1 ;面积加权斑块分型指数 X_2 ;城镇用地比例 X_3 ;河岸带城镇用地比例 X_4 ;河岸带林地平均最近邻距离 X_5 ;城镇用地边界密度 X_6 ;农业用地最大斑块指数 X_7 ;林地比例 X_8

图 3 反映了各监测断面上游汇水区的景观格局特征。监测断面 P1、D7 和 P4 位于第一象限,这 3 个监测断面的上游控制区域具有城市化程度低、景观破碎度小的景观格局特征。其中监测断面 P1 远离所有其他的监测断面的分布区,说明该监测断面上游汇水区城市化程度和景观破碎度都远低于其他的监测断面。监测断面 D3、D4、D5、D6 和 P3 位于排序图的第二象限,说明这几个监测断面上游汇水区的城市化程度不高,但景观破碎度较高,位于城乡交错地带。P2、D1、D2 位于排序图的第四象限,城市化程度高,但景观破碎度不高。淡水河流域的景观特征从上游到下游有城市化程度逐渐降低,景观破碎化程度先升高再降低的变化趋势,呈现出一个城市—城乡交错—乡村的景观梯度。

图 4 反映了水质指标与景观格局特征的关系。水质指标在前两轴的分布表明了水质指标变化受景观梯度变化的影响情况,相距较近的水质指标对景观梯度变化有相似的响应。DO 和 pH 值位于 CCA 排序图的第一象限,TN、Cu、Zn、F 和 LAS 位于排序图的第二象限, NH_3-N 、Oil 和 TP 位于排序图的第三象限, BOD_5 、 COD_{Cr} 和 COD_{Mn} 3 种表示耗氧污染物的水质指标位于排序图的第四象限。

4 讨论

本研究表明,Spearman 秩相关分析仅能检验景观指数和水质指标之间的单因素相关关系,多元线性逐步回归分析可以在众多景观指数中提取出影响某一水质指标的关键景观因子,CCA 排序可以更直观地表现出众多景观指数对水质指标的综合作用。

表 5 景观指数与 CCA 前两轴的典型相关系数
Table 5 The canonical correlation coefficients of landscape metrics and first two CCA ordinations

景观指数 Landscape metrics	第一轴 Axis 1	第二轴 Axis 2
城镇用地比例/%	-0.879	-0.084
林地比例/%	0.437	0.259
农业用地比例/%	0.497	-0.339
面积加权斑块分型指数	0.055	-0.784
林地核心区域密度	0.313	0.539
城镇用地边界密度	-0.557	0.197
农业用地最大斑块指数	0.082	0.609
河岸带城镇用地比例	-0.609	0.323
河岸带林地平均最近邻距离	-0.620	-0.097

许多研究证明了城市面积比例增加会导致河流水质退化^[3, 26], 本研究中 Spearman 秩相关分析、多元回归分析和 CCA 排序结果都表明 Urb% 的变化是解释水质变化最重要的一个景观指数(表 3、表 4、图 5)。耗氧污染物(BOD_5 、 COD_{Cr} 和 COD_{Mn})、营养物质(TN、TP 和 NH_3-N)、石油类和氟化物都与城镇用地比例显著正相关。除了通过点源污染增加排放到河流中的污染物之外, 城镇化的一个主要特点是不透水地面比例的增大。暴雨时期城镇地区在失去自然植被对污染物的截留、吸收作用以及土壤的自然下渗过程的情况下, 大量的污染物会通过不透水地面在短时间内进入河流^[27-28], 城市的地下排水系统进一步增加了洪峰流量和缩短了污染物进入河流的时间^[29]。在其他研究中, 林地和农业用地比例的变化是引起水质变化的重要原因之一^[16, 30], 在本研究中淡水河流域的林地和农业用地面积比例变化都不是引起水质变化的主要原因。但通过对景观格局的分析表明保持林地和农业用地斑块的完整性对避免水质恶化有更重要的意义, Lee 等人的研究也指出破碎化的林地和农业用地与水质的恶化有密切的联系^[3]。

pH 值、TN、Oil 和 Cu 的多元回归模型都选择了多个景观指数进入方程, 说明影响这些水质指标的关键景观因子不止一个(表 4)。CCA 结果表明城市化和景观破碎化是影响淡水河水质最主要的两个景观梯度。在 CCA 排序图中, TN、 NH_3-N 、LAS 和重金属 Cu、Zn 位于第二排序轴的下方(图 4), 即景观破碎化程度高的梯度方向, 说明景观破碎化是引起这些污染物浓度上升的重要因素。林地斑块的核心区域具有与斑块边缘处及破碎的林地斑块不同的群落结构和生态功能, 涵养水土和防止土壤中营养物质流失的能力更强^[5]。研究区域内完整的农业用地一般位于地形平坦地区, 水土流失程度较低, 而且农业生产集中便于对化肥和农药的使用进行科学管理, 减少面源污染物进入河流的量。

河岸带城镇用地比例和河岸带林地平均最近邻距离都反映了人类活动对河岸带的干扰程度, 河岸带城镇化的一个重要的表现是河道的渠道化, 河滨植物带被水泥堤坝取代不但割裂了河流的横向连通性, 而且破坏了河道自然蜿蜒的特点, 降低了河流生境的多样性。河滨植物带是截留面源污染物进入河流的天然屏障, 河岸带林地平均最近邻距离的增大说明了河滨植被斑块之间的连续性减弱, 对面源污染物的截留削减能力降低。一般来说, 河岸带的景观斑块对河流水质的影响远大于远离河道的景观斑块, 但是整个流域往往能反映更为全面的信息, 特别是当污染物与流域的水文条件密切相关的情况下^[31]。哪个尺度能更好地反映水质变化情况取决于景观数据的精度, 河岸带能不能代表全流域的景观情况, 流域的水文条件以及各种污染物的具体来源等因素^[2]。在本研究中, 河岸带城镇用地比例和河岸带林地平均最近邻距离被选入 BOD_5 、石油类和 Cu 的多元线性逐步回归模型, 说明流域尺度上景观格局特征比河岸带尺度上景观格局特征与水质变化关系更为密切。

5 结论

本研究分析了淡水河流域 11 个水质监测断面上游汇水区的景观格局与水质的关系, 结果表明流域的景观组成(主要表现为城市化)和景观结构(主要表现为景观破碎化)都对河流水质有重要影响。流域尺度比河岸带尺度的景观指数对水质的影响更大。

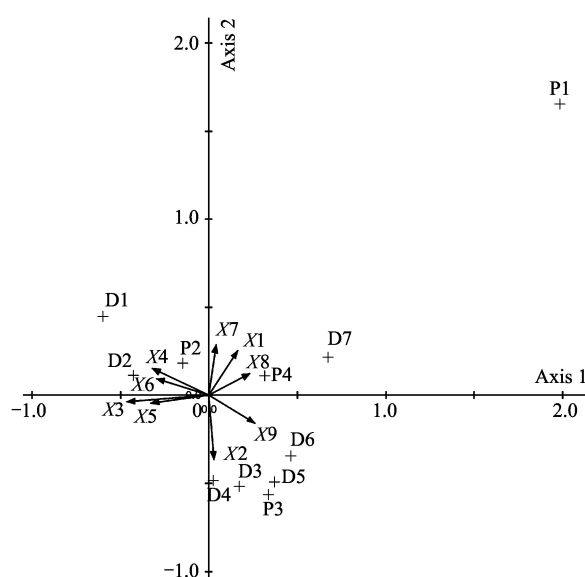


图 3 景观指数与监测断面的 CCA 排序图

Fig.3 CCA ordination plot of landscape metrics and sampling sections

林地核心区域密度 X_1 ; 面积加权斑块分型指数 X_2 ; 城镇用地比例 X_3 ; 河岸带城镇用地比例 X_4 ; 河岸带林地平均最近邻距离 X_5 ; 城镇用地边界密度 X_6 ; 农业用地最大斑块指数 X_7 ; 林地比例 X_8 ; 农业用地比例 X_9

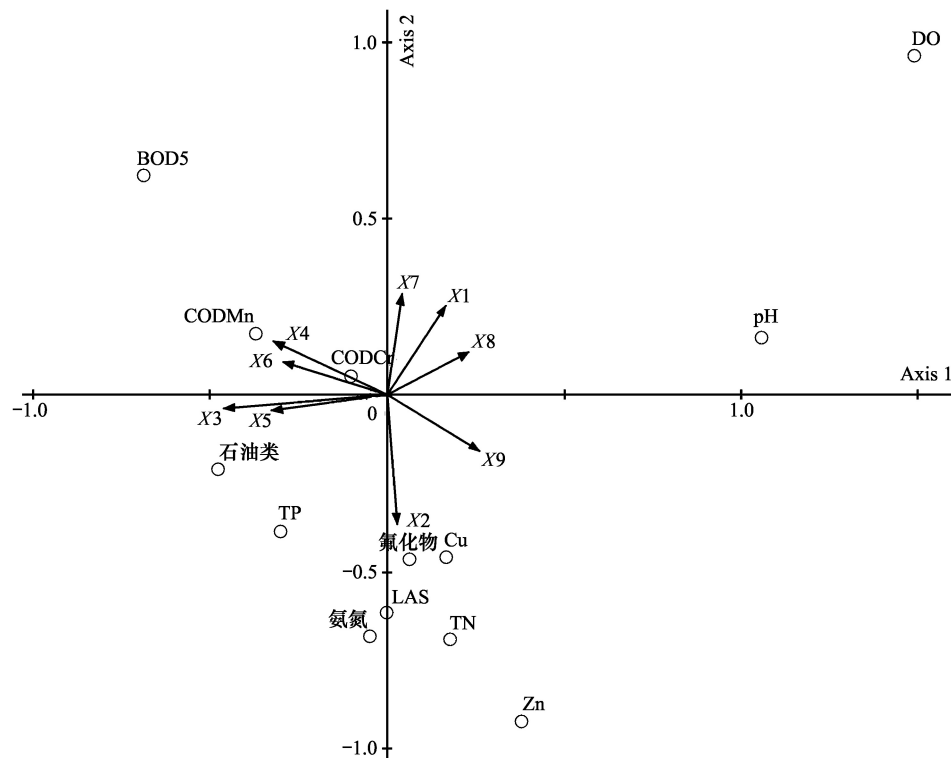


图4 景观指数与水质指标的 CCA 排序图

Fig. 4 CCA ordination plot of landscape metrics and water quality indices

林地核心区密度 X_1 ; 面积加权斑块分型指数 X_2 ; 城镇用地比例 X_3 ; 河岸带城镇用地比例 X_4 ; 河岸带林地平均最近邻距离 X_5 ; 城镇用地边界密度 X_6 ; 农业用地最大斑块指数 X_7 ; 林地比例 X_8 ; 农业用地比例 X_9

水质指标与景观指数的多元线性逐步回归模型都达到显著性水平 ($P < 0.05$), pH、TN、石油类和 Cu 受到景观影响较大 ($R^2 > 0.8$), COD_{Mn} 、 BOD_5 、TP、Zn 和氟化物受到景观影响较小 ($R^2 < 0.5$)。Spearman 秩相关分析和多元线性逐步回归模型表明 Urb% 增加是引起 COD_{Mn} 、 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 、TP、TN、石油类、氟化物和 LAS 等污染物浓度升高的主要原因。另外, pH 值、DO 和重金属等水质指标受到景观破碎化的影响。CCA 的第一排序轴解释了景观-水质相关性的 54.0%, 前两排序轴累积能解释景观-水质相关性的 87.6%, 城镇用地比例和面积加权斑块分型指数分别是与前两轴相关性最高的景观变量, 前两排序轴分别主要表达了城市化水平和景观破碎化水平的变化梯度。淡水河流域的景观特征从上游到下游呈现出城市—城乡交错—农村的景观梯度, 水质也从上游到下游逐渐变好。

以景观格局特征表征河流水质, 是一个较好的方法, 特别是从宏观上把握河流水环境和生态系统变化具有很好的优势。可以直接从区域的景观变化来判断河流生态系统的变化, 为河流生态系统管理提供了新的方法和手段。

References:

- [1] Wu J G, Hobbs R. Key issues and research priorities in landscape ecology: an idiosyncratic synthesis. *Landscape Ecology*, 2002, 17(4): 355-365.
- [2] Allan J D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology Evolution and Systematics*, 2004, 35(1): 257-284.
- [3] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, Hwang H S, Sung H C. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92(2): 80-89.
- [4] Uuemaa E, Roosaare J, Mander Ü. Landscape metrics as indicators of river water quality at catchment scale. *Nordic Hydrology*, 2007, 38(2): 125-138.

- [5] Amiri B J, Nakane K. Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the Chugoku District of Japan. *Water Resources Management*, 2009, 23(5): 931-956.
- [6] Johnson L B, Richards C, Host G E, Arthur J W. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Freshwater Biology*, 1997, 37(1): 193-208.
- [7] Mou B, Wang Q C, Hershey A E, Yu H L, Guo B Q. Land-use, stream order and stream water physical and chemical qualities. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1486-1492.
- [8] Gao C, Zhu J Y, Dou Y J, Zhang T L. Landscape management practices for the control of non-point source pollution: methods and principals. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(1): 109-116.
- [9] Chen L D, Fu B J, Xu J Y, Gong J. Location-weighted landscape contrast index: a scale independent approach for landscape pattern evaluation based on "Source-Sink" ecological processes. *Acta Ecologica Sinica*, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [10] Fu B J, Zhao W W, Chen L D, Liu Z F, Lu Y H. Eco-hydrological effects of landscape pattern change. *Landscape and Ecological Engineering*, 2005, 1(1): 25-32.
- [11] Ou Y, Wang X Y. Review of the influence of landscapes on stream ecosystems. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(23): 6624-6634.
- [12] Johnson L B, Gage S H. Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 1997, 37(1): 113-132.
- [13] Huang J L, Li Q S, Hong H S. Primary study on response of water quality to land use pattern in a medium-sized watershed, southeast of China. 2009 International Forum on Information Technology and Applications, Vol 3, Proceedings. IEEE Computer Society, 2009: 225-229.
- [14] Yang X Y, Jin W. GIS-based spatial regression and prediction of water quality in river networks: a case study in Iowa. *Journal of Environmental Management*, 2010, 91(10): 1943-1951.
- [15] Zhang D W, Li Y F, Sun X, Zhang F S, Zhu H X, Liu Y, Zhang Y, Zhuang M, Zhu X D. Relationship between landscape pattern and river water quality in Wujingang Region, Taihu Lake Watershed. *Environmental Science*, 2010, 31(8): 1775-1783.
- [16] Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. *Water Research*, 2001, 35(14): 3462-3472.
- [17] Shiels D R. Implementing landscape indices to predict stream water quality in an agricultural setting: an assessment of the Lake and River Enhancement (LARE) protocol in the Mississinewa River watershed, East-Central Indiana. *Ecological Indicators*, 2010, 10(6): 1102-1110.
- [18] Huang J L, Li Q S, Hong H S, Lin J, Qu M C. Preliminary study on linking land use and landscape pattern and water quality in the Jiulong River Watershed. *Environmental Science*, 2011, 32(1): 64-72.
- [19] Li S Y, Gu S, Tan X, Zhang Q F. Water quality in the upper Han River basin, China: the impacts of land use/land cover in riparian buffer zone. *Journal of Hazardous Materials*, 2009, 165(1/3): 317-324.
- [20] Collier K J. Linking multimetric and multivariate approaches to assess the ecological condition of streams. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2009, 157(1/4): 113-124.
- [21] Editors Committee of Environmental Protection Agency, China. *Water and Wastewater Monitoring Analysis Methods*. 4th ed. Beijing: Environmental Science Press of China, 2002.
- [22] Ma Z H. *Handbook of Modern Applied Mathematics: Probability, Statistics and Stochastic Process*. Beijing: Tsinghua University Press, 2000: 396-398.
- [23] Habib O A, Tippet R, Murphy K J. Seasonal changes in phytoplankton community structure in relation to physico-chemical factors in Loch Lomond, Scotland. *Hydrobiologia*, 1997, 350(1/3): 63-79.
- [24] Zhang Y M, Chen Y N, Zhang X L. Plant communities and their interrelations with environmental factors in the lower reaches of Tarim River. *Acta Geographica Sinica*, 2004, 59(6): 903-910.
- [25] McCune B, Mefford M J. *PC-ORD. Multivariate analysis of ecological data*. Version 5.0. Gleneden Beach: MjM Software Design, 1999.
- [26] White M D, Greer K A. The effects of watershed urbanization on the stream hydrology and riparian vegetation of Los Peñasquitos Creek, California. *Landscape and Urban Planning*, 2006, 74(2): 125-138.
- [27] Paul M J, Meyer J L. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2001, 32(1): 333-365.
- [28] Huang J L, Du P F, Ao C T, Lei M H, Zhao D Q, Ho M H, Wang Z S. Characterization of urban surface runoff in two urban catchments in Macau. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2006, 27(9): 1753-1759.
- [29] Yang L, Ma K M, Guo Q H, Zhao J Z. Impacts of the urbanization on waters non-point source pollution. *Chinese Journal of Environmental Science*, 2004, 25(6): 32-39.
- [30] Hao J F, Liu H Y, Hu J N, Li Y F, Zheng N. Impacts of landscape heterogeneity on water quality of urban wetlands at sub-watershed scale: a case study on the eastern suburb of Nanjing. *Acta Ecologica Sinica*, 2010, 30(15): 4154-4161.
- [31] Boyer E W, Goodale C L, Jaworsk N A, Howarth R W. Anthropogenic nitrogen sources and relationships to riverine nitrogen export in the

northeastern U. S. A. . Biogeochemistry, 2002, 57(1): 137-169.

参考文献:

- [7] 牟溥, 王庆成, Hershey A E, 于红丽, 郭宝琴. 土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系. 生态学报, 2004, 24(7): 1486-1492.
- [8] 高超, 朱继业, 窦贻俭, 张桃林. 基于非点源污染控制的景观格局优化方法与原则. 生态学报, 2004, 24(1): 109-116.
- [9] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法-景观空间负荷对比指数. 生态学报, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [11] 欧洋, 王晓燕. 景观对河流生态系统的影响. 生态学报, 2010, 30(23): 6624-6634.
- [15] 张大伟, 李杨帆, 孙翔, 张方山, 朱红兴, 刘毅, 张英, 庄敏, 朱晓东. 入太湖河流武进港的区域景观格局与河流水质相关性分析. 环境科学, 2010, 31(8): 1775-1783.
- [18] 黄金良, 李青生, 洪华生, 林杰, 曲盟超. 九龙江流域土地利用/景观格局-水质的初步关联分析. 环境科学, 2011, 32(1): 64-72.
- [21] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法(第四版). 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [22] 马振华. 现代应用数学手册, 概率统计与随机过程卷. 北京: 清华大学出版社, 2000: 396-398.
- [24] 张元明, 陈亚宁, 张小雷. 塔里木河下游植物群落分布格局及其环境解释. 地理学报, 2004, 59(6): 903-910.
- [28] 黄金良, 杜鹏飞, 欧志丹, 李梅香, 赵冬泉, 何万谦, 王志石. 澳门城市小流域地表径流污染特征分析. 环境科学, 2006, 27(9): 1753-1759.
- [29] 杨柳, 马克明, 郭青海, 赵景柱. 城市化对水体非点源污染的影响. 环境科学, 2004, 25(6): 32-39.
- [30] 郝敬锋, 刘红玉, 胡俊纳, 李玉凤, 郑因. 城市湿地小流域尺度景观空间分异及其对水体质量的影响——以南京市紫金山东郊典型湿地为例. 生态学报, 2010, 30(15): 4154-4161.

CONTENTS

Physiological responses of five deciduous broad-leaved tree seedlings in the Northeast Area of China to burning	WANG Rong, HU Haiqing (2303)
The occurrence regularity of psyllid in <i>Haloxylon</i> spp and its influencing factors	LI Fenlian, WU Xuehai, WANG Peiling, et al (2311)
The estimating of the spatial distribution of forest biomass in China based on remote sensing and downscaling techniques	LIU Shuangna, ZHOU Tao, SHU Yang, et al (2320)
Multivariate correlation analysis between landscape pattern and water quality	ZHAO Peng, XIA Beicheng, QIN Jianqiao, et al (2331)
Red fox habitat selection and landscape feature analysis in the Dalai Lake Natural Reserve in Inner Mongolia	ZHANG Honghai, LI Chengtao, DOU Huashan, et al (2342)
Research on assemblage characteristics of macroinvertebrates in the Yalu Tsangpo River Basin	XU Mengzhen, WANG Zhaoyin, PAN Baozhu, et al (2351)
Climate change induced potential range shift of the crested ibis based on ensemble models	ZHAI Tianqing, LI Xinhai (2361)
Analysis of the sources of second generation meadow moth populations that immigrated into Chinese pastoral areas in 2010	ZHANG Li, ZHANG Yunhui, ZENG Juan, et al (2371)
Genetic diversity based on cytochrome <i>b</i> gene analysis of different geographic populations of blue sheep in China	LI Nannan, LIU Zhensheng, WANG Zhenghuan, et al (2381)
Soil microbial properties under different grain-for-green patterns in depressions between karst hills	LU Shiyang, PENG Wanxia, SONG Tongqing, et al (2390)
Ecosystem and soil respiration of a poplar plantation on a sandy floodplain in Northern China	FANG Xianrui, ZHANG Zhiqiang, ZHA Tonggang, et al (2400)
Estimating total nitrogen content in water body based on reflectance from wetland vegetation	LIU Ke, ZHAO Wenji, GUO Xiaoyu, et al (2410)
Analysis on complete F type of mitochondrial genome in <i>Lamprotula leai</i>	CHEN Ling, WANG Guiling, LI Jiale (2420)
The source-sink landscape pattern change and its effect on phosphorus pollution in Yuqiao watershed	LI Chongwei, HU Jie, WANG Sa, et al (2430)
Responses of soil nematode communities to soluble salt contamination around Gangue hill in Fushun	ZHANG Weidong, LV Ying, XIAO Ying, et al (2439)
Effect of aboveground competition on biomass partitioning of understory Korean pine (<i>Pinus koraiensis</i>)	WANG Jinsong, FAN Xiuhua, FAN Juan, et al (2447)
Research of methane metabolic microbial community in soils of slash pine plantation and Masson pine plantation	WANG Yun, ZHENG Hua, CHEN Falin, et al (2458)
$\delta^{13}\text{C}$ values of stem phloem water soluble sugars of <i>Pinus massoniana</i> and <i>Cunninghamia lanceolata</i> response to meteorological factors	LU Yuxi, WANG Zhenxing, ZHENG Huaizhou, et al (2466)
Soil respiration patterns during restoration of vegetation in the Shapotou area, Northern China	GAO Yanhong, LIU Lichao, JIA Rongliang, et al (2474)
Dynamics of caloric value of <i>Robinia pseudoacacia</i> L. energy forest in the west of Henan Province	TAN Xiaohong, LIU Shiqi, MA Luyi, et al (2483)
<i>Ex-situ</i> symbiotic seed germination of <i>Dendrobium catenatum</i>	WU Huifeng, SONG Xiqiang, LIU Hongxia (2491)
Effects of red/far red ratio on morphological index, leaf area and dry matter partitioning of cut chrysanthemum flower	YANG Zaiqiang, ZHANG Jibo, LI Yongxiu, et al (2498)
Effect of prometryne on root activity and oxidative stress of <i>Polygala tenuifolia</i> Willd. seedling roots	WEN Yinyuan, GUO Pingyi, YIN Meiqiang, et al (2506)
Combined effects of elevated O_3 concentration and UV-B radiation on photosynthetic characteristics of soybean	ZHENG Youfei, XU Weimin, WU Rongjun, et al (2515)
Nutrients transfer for host plant and litter decomposition by AMF in Karst soil	HE Yuejun, ZHONG Zhangcheng, DONG Ming (2525)
The dynamics of bacteria community diversity during the fermentation process of traditional soybean paste	GE Jingping, CHAI Yangyang, CHEN Li, et al (2532)
Effect of site-specific fertilization on soil phosphorus in purple garden soil	SUN Qianqian, WANG Zhengyin, ZHAO Huan, et al (2539)
A method of determining standards for ecological compensation in agricultural areas, giving priority to environmental flows in water allocation	PANG Aiping, SUN Tao (2550)
The loss of ecosystem services value caused by food security assessment model and its application	LU Weiye, JIANG Zhide, ZHANG Yinglong, et al (2561)
Review and Monograph	
Review of the current situation of coastal ecological engineering using dredged marine sediments and prospects for potential application in China	HUANG Huamei, GAO Yang, WANG Yinxia, et al (2571)
Discussion	
Quorum sensing in anaerobic ammonium oxidation bacteria	DING Shuang, ZHENG Ping, ZHANG Meng, et al (2581)
Health evaluation of Dongting Lake based on morphological characters	SHUAI Hong, LI Jingbao, XIA Beicheng, et al (2588)
Scientific Note	
Effects of mix-leaf litter decomposition of different trees in the Loess Plateau	LIU Zengwen, DU Liangzhen, ZHANG Xiaoxi, et al (2596)
Changes in soil active organic carbon under different management types of bamboo stands	MA Shaojie, LI Zhengcai, WANG Bin, et al (2603)
Effects of drought stress on photosynthesis and associated physiological characters of pepper	OU Lijun, CHEN Bo, ZOU Xuexiao (2612)
Effects of silicon application and drought stress on photosynthetic traits and mineral nutrient absorption of rice leaves	CHEN Wei, CAI Kunzheng, CHEN Jining (2620)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态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 8 期 (2012 年 4 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 8 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