

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, 张晓峥, 金帮明, 李伟, 苏永良, 毛思予, 刘堰 (1858)
全氟辛烷磺酸 (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质脱水效果的影响	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)	

基于“源”“汇”景观格局指数的海河流域总氮流失评价

孙然好¹, 陈利顶¹, 王伟², 王赵明¹

(1. 中国科学院生态环境研究中心城市与区域生态国家重点实验室, 北京 100085; 2. 河北省环境科学研究院, 石家庄 050037)

摘要: 土地利用类型及其格局能够影响非点源污染时空特征, 而景观格局分析方法是评价非点源污染的重要技术手段, 但是传统的景观格局指数较少考虑景观之间的位置关系, 导致生态意义不明确。“源”“汇”景观格局理论中的“源景观”和“汇景观”指的是促进和阻碍非点源污染发生的景观类型。通过收集海河流域 2009 年夏季 26 个子流域的总氮浓度数据, 并结合 1:25 万 DEM 和 1:10 万土地利用图, 构建了融合景观类型、面积、空间位置等信息在内的源汇景观格局指数, 发现源汇景观格局指数与总氮浓度有很好的相关性, 在燕山山区、太行山区和下游平原区的相关系数分别为 0.86、0.67 和 0.65。结果表明, 源汇景观格局指数能够很大程度上反映总氮的空间变异特征, 可以为其它流域的非点源污染评价提供参考, 也有可能作为输入参数提高现有水质模型的模拟精度。

关键词: 源汇景观; 景观格局; 景观指数; 总氮; 海河

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2012)06-1784-05

Correlating Landscape Pattern with Total Nitrogen Concentration Using a Location-weighted Sink-source Landscape Index in the Haihe River Basin, China

SUN Ran-hao¹, CHEN Li-ding¹, WANG Wei², WANG Zhao-ming¹

(1. State Key Laboratory of Urban and Regional Ecology, Research Center for Eco-Environmental Sciences, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100085, China; 2. Hebei Research Academy of Environmental Sciences, Shijiazhuang 050037, China)

Abstract: Understanding the effect of land cover pattern on nutrient losses is of great importance in management of water resources. The extensive application of mechanism models is limited in large-scale watersheds owing to the intensive data and calibration requirements. On the other hand, the traditional landscape indexes only take the areas and types of land cover into account, considering less about their topographic features and spatial patterns. We constructed a location-weighted landscape index (LWLI) based on the Lorenz curve, which plots the cumulative proportion of areas for sink and source landscapes respectively against cumulative proportion of their relative location to the outlet in a watershed, including relative elevation, distance and slope. We assessed the effect of land cover pattern on total nitrogen losses in the Haihe River. Firstly, 26 watersheds were derived from 1:250 000 digital elevation model (DEM), and their “source” and “sink” landscape types were identified from Landsat TM images in 2007. The “source” landscapes referred to the paddy land, dry land and residential area, correspondingly the “sink” landscapes referred to the forest and grassland. Secondly, LWLI was calculated according to the landscape types and spatial patterns for each watershed. Thirdly, we assessed the effect of land cover pattern on total nitrogen (TN) flux according to the value of LWLI, comparing with the area proportion of sink-source landscapes. The correlation coefficients were different in three parts of Haihe River, i. e., 0.86, 0.67 and 0.65 in the Yanshan Mts, Taihang Mts and lower Haihe River. The results showed strong correlations between TN and LWLI in contrast to the weak correlations between TN and area proportion of sink and source landscape types. This study indicates the spatial pattern of land cover is essential for accessing the nutrient losses, and the location-weighted landscape pattern analysis may be an alternate to existing water quality models, especially in large watershed scales. The sink-source index is sufficiently simple that it can be compared across watersheds and be easily interpreted, and potentially be used in landscape pattern optimal designing and planning.

Key words: sink-source landscape; landscape pattern; landscape index; total nitrogen; Haihe River

随着农业机械化发展, 化肥和农药得到大量使用, 农业非点源污染已经成为地表水环境污染的主要来源。非点源污染具有不确定性强、时空差异大、影响因素及作用过程复杂、污染监测困难等特点^[1-5]。因此, 对非点源污染进行识别和模拟是进行流域水环境管理的重要手段。

非点源污染模型是近年来发展比较快的技术手

段, 主要是通过对整个流域系统及其内部污染过程进行定量描述, 分析非点源污染产生的时空分布特

收稿日期: 2011-11-11; 修订日期: 2011-12-19

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目(40925003); 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2012ZX07501002)

作者简介: 孙然好(1981~), 男, 博士, 助理研究员, 主要研究方向为景观格局识别与动态模拟, E-mail: rhsun@rcees.ac.cn

征,识别其主要来源和迁移路径,预报污染产生的负荷及其对水体的影响,为流域管理和规划提供决策依据^[6~10],比较著名的模型包括 AGNPS、ANSWERS、MIKE-SHE、SWAT、HSPF、SPARROW 等^[3,11~14]。然而,现有模型的结构、适用尺度、侧重的水文过程具有差异,模型精度很大程度上取决于数据质量,在一些缺乏数据的流域模拟中受到很大限制。由于非点源污染受到土地利用类型及格局的影响,土地利用时空特征与非点源污染具有密切的联系,利用景观格局指数评价非点源污染也是一个重要的技术手段^[15~19]。但是,多数景观格局指数仅仅考虑了景观类型、形状和面积等信息,而没有考虑景观类型的空间位置和地形特征,导致景观格局指数生态意义不明确、刻画非点源污染的能力不足。因此,构建具有空间属性的景观格局指数对于大流域的非点源污染评价具有重要意义。

“源”“汇”景观格局理论是近年来出现的一种用于景观格局分析的研究手段,能够比较好的融合景观类型、面积、空间位置和地形特征,可以用于刻画非点源污染的空间异质性。根据该理论,在非点源污染形成过程中,流域中一些景观类型起到了“源”的作用,一些景观起到了“汇”的作用,同时一些景观起到了传输的作用。影响非点源污染强度的因素除了“源”“汇”景观的类型、面积外,还与它们的空间分布特征有关系,包括景观单元相对于流域出口(监测点)的“相对距离”、“相对高度”和“坡度”,基本假设是景观单元离监测点的相对距离越近、相对高度越大、相对坡度越陡,越能增大非点源污染的危险性。为了将源汇景观的各种空间特征融合在一起,借用了洛仑兹曲线公式,计算不同景观单元随着距离、相对高度和坡度的面积累积百分比,最终形成了源汇景观格局指数,该指数在东北海倫地区、黄土高原地区等都进行了应用和尝试^[20,21]。

海河流域在我国具有重要的政治、经济和文化地位,快速的经济发展和城市化进程造成了严重的非点源污染现象^[22~25]。由于流域具有山地和平原地形变化大、季节性断流明显、人类干扰强烈等特点,使得对参数要求很高的机制模型在应用时存在较大的困难。因此,本研究通过建立海河流域的源汇景观格局指数,并与实地监测的总氮(TN)浓度进行相关性分析,评价源汇景观格局指数对非点源污染表征能力和适用性,以为海河流域水环境管理提供依据,并为国内外其它类似流域非点源污染评价提供方法参考。

1 材料与方法

1.1 研究区域

海河流域位于 $112^{\circ} \sim 120^{\circ}\text{E}$ 、 $35^{\circ} \sim 43^{\circ}\text{N}$ 之间,西依黄土高原、东临渤海、北靠蒙古高原、南临黄河。流域总面积 31.8 万 km^2 ,占中国国土面积的 3.3% ,涉及 8 个省区范围,包括北京、天津两市全部、河北省大部、山西省东部、河南、山东两省北部、以及内蒙古自治区和辽宁省一小部分地区(图 1)。海河流域支撑了全国 10% 人口、 11% 耕地、 13% GDP 和 12% 的粮食生产总量,具有非常重要的政治、经济和文化地位。海河流域的降水量分布呈较明显的地带性差异,沿太行山、燕山山脉迎风坡有一条年降雨量达 600 mm 的弧形多雨带,平原地区降水量一般为 $500 \sim 600 \text{ mm}$ 。由于受季风气候的影响,流域降水量年内分配很不均匀, 80% 集中在汛期。海河流域的河流水系包括滦河、海河和徒骇马颊河三大水系,属于资源型严重缺水地区,多年平均水资源总量 370 亿 m^3 ,水资源占全国的 1.3% ,人均水资源仅为全国平均的 13% 。由于城市化进程的加快和人口的增多,海河流域的污染越来越严重,“有河皆干、有水皆污”的现象日益严重。

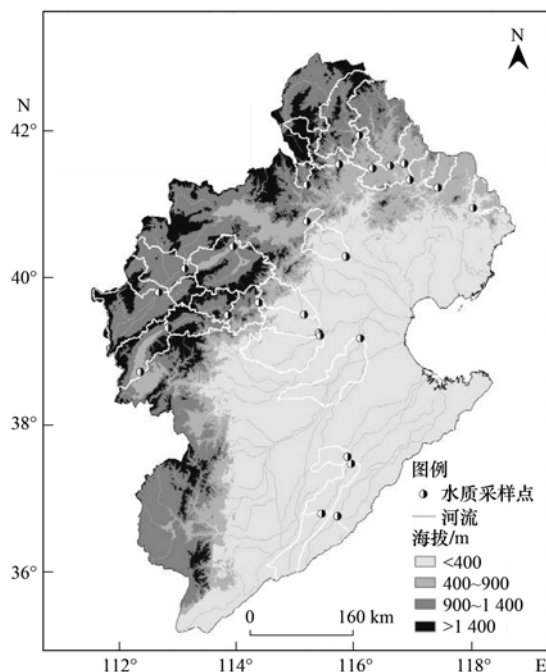


图 1 海河流域位置及监测站点

Fig. 1 Location of sampling sites in the Haihe River basin

1.2 数据来源

利用 $1:25 \text{ 万}$ DEM,在 ArcGIS 水文模块的支持下,提取了有常年流水的 26 个子流域水系及汇水

区. 对此 26 个子流域, 根据地理位置和地形地貌特征将它们分为 3 个地理单元, 分别为燕山山区 (10 个子流域)、太行山区 (8 个子流域)、下游平原区 (8 个子流域).

水质数据是 2009 年 7~9 月现场采集获得, 在此期间对海河流域进行了 2 次水质采样, 每个子流域的出口设置一个监测点, 两次采样的平均值作为该子流域的代表性水质指标. 由于海河流域面积大, 无法将水样带回实验室进行测定, 水质参数利用了 WTW PhotoLab S12 便携式仪器进行实验, 确保水质参数能够在最短的时间内得到及时的测量.

土地利用数据来自于 1:10 万土地利用图, 由中国环境科学研究院利用 2007 年 Landsat TM 影像 (30 m 分辨率) 进行解译, 并负责进行加工处理、精度校准. 原始的土地利用类型分为 26 个类别, 根据本研究需要将其合并为 7 类: 水田、旱地、居住地、林地、草地、水体和未利用土地 (图 2).

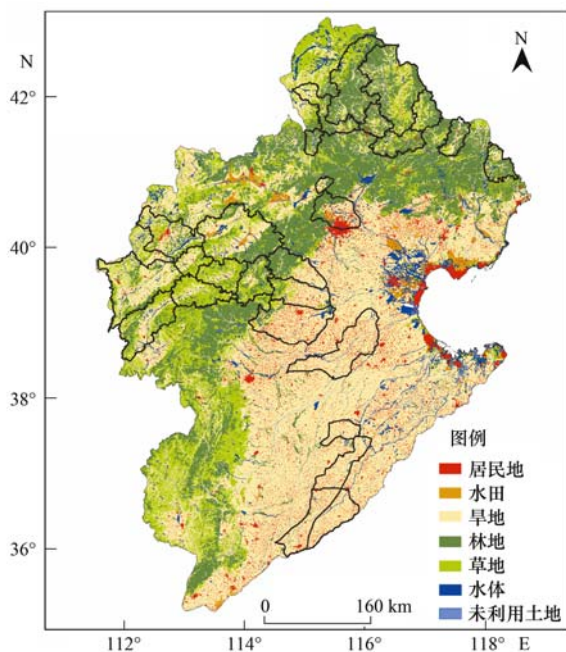


图 2 海河流域土地利用类型

Fig. 2 Land use pattern in the Haihe River basin

1.3 源汇景观指数构建

1.3.1 源汇景观类型的划分

根据源汇景观格局理论, 源景观是促进水土和养分流失过程发生的类型, 汇景观是抑制水土和养分流失过程发生的类型. 在海河流域中, 源景观包括居住地、水田、旱地, 汇景观包括林地、草地、水域和未利用土地对养分的流失更多在于传输的作用. 不同的“源”“汇”景观对非点源污染的贡献是不同的, 根据前期在一些小流域进行的监测和研究^[26], 并借

鉴了土壤侵蚀通用方程中的作物覆盖与管理因子 (C 值), 对其贡献进行了简单赋值, 依次为居住地 (1.0)、水田 (0.8)、旱地 (0.6)、林地 (0.8)、草地 (0.6).

1.3.2 基于洛仑兹曲线的源汇景观指数的构建

陈利顶等^[20, 21]利用了洛仑兹曲线公式建立了源汇景观指数, 在文献中已有比较详细的理论假设和推导过程^[22], 公式如下:

$$LWLI' = \sum_{i=1}^m A_{source\ i} \times W_i \times AP_i / \left[\sum_{i=1}^m A_{source\ i} \times W_i \times AP_i + \sum_{j=1}^n A_{sink\ j} \times W_j \times AP_j \right] \quad (1)$$

$LWLI = LWLI'_{distance} \times LWLI'_{elevation} / LWLI'_{slope}$ (2) 式中, $LWLI$ 是综合的源汇景观指数, $LWLI'$ 表示分别以相对距离 (distance)、相对高程 (elevation) 和坡度 (slope) 为横坐标建立的源汇景观指数, $A_{source\ i}$ 和 $A_{sink\ j}$ 分别指源景观和汇景观在洛仑兹曲线中的面积累积曲线, W_i 和 W_j 指得是源景观和汇景观的权重, AP_i 和 AP_j 指的是源景观和汇景观在流域内的面积比例, m 和 n 为源景观和汇景观的类型数目.

大致计算步骤包括: 首先将源汇景观类型进行栅格化处理, 然后按照相对距离 (按照相对高程和坡度也类似) 统计源景观和汇景观的面积, 并以相对距离/相对高度/坡度为横坐标、景观面积为纵坐标绘制累积面积曲线, 曲线与横坐标围成的面积即为 A_{source} 、 A_{sink} . 利用 MATLAB 编程语言, 实现了源汇景观的曲线绘制, 获取了 26 个子流域的源汇景观指数.

2 结果与讨论

2.1 区域划分及水质特征

以 2009 年夏季采集的总氮数据为代表, 对海河流域的非点源污染状况进行了分析, 结果表明水环境状况存在明显的区域分异规律 (表 1). 总氮平均浓度分别是太行山区 ($1.63 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > 下游平原区 ($1.11 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) > 燕山山区 ($0.07 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$). 这种空间分布特征的原因可能是, 太行山区由于较高的降水量和较低的植被覆盖度, 水土流失严重, 因此土壤养分造成的非点源污染严重; 而下游平原区由于人类活动强烈, 以及农田的退水也造成水体严重污染; 相对来说, 燕山山区植被覆盖较好, 水土流失较弱, 而且农田以旱地为主, 非点源污染程度较轻. 除了气候、植被、降水等差异之外, 已有研究表明, 农田非点源氮磷等污染物的流失受到施肥方式、地表和地下径流等影

响^[27]. 3 个地理单元之间的土壤类型以及土壤管理模式(如施肥季节、种类和方式等)可能存在不同,也会导致不同地理单元之间的总氮流失差异.

表 1 海河流域 26 个子流域的源汇景观指数及总氮含量特征

Table 1 Spatial pattern of sink-source index and TN concentration in the 26 watersheds of the Haihe River basin				
地理单元	子流域	源汇面积比	源汇景观指数	总氮 /mg·L ⁻¹
燕山山区	潮河	0.537 4	0.280 5	0.11
	奶水河	0.539 3	0.856 7	0.2
	黑河	0.275 3	0.192 7	0.03
	滦河上游	0.35	0.140 6	0.011
	滦河下游	0.269	0.167 3	0.01
	瀑河	0.376 5	0.25	0.1
	青龙河	0.355 5	0.203 1	0.1
	武烈河	0.316	0.178 8	0.06
	小滦河	0.208 7	0.170 3	0.03
	伊逊河	0.372 4	0.278 5	0.06
太行山区	滹沱河上游	0.575 8	0.531 9	1.87
	滹沱河下游	0.277 3	0.193 2	0.77
	黄沙河	1.227	0.715 6	1.4
	拒马河上游	0.319 7	0.329 8	1.06
	拒马河下游	0.817 6	1.542 5	2.34
	拒马河中游	0.230 6	0.243 4	1.4
	桑干河	0.828 5	0.630 5	2.6
	御河	0.862	0.521 6	1.58
下游平原区	白洋淀 1	22.561 9	2.178 7	1.34
	白洋淀 2	35.681 2	2.129 4	1.36
	马颊河上游	30.846 2	0.943 8	0.54
	马颊河中游	26.428 8	0.963 4	0.53
	平武河	66.587 4	0.994 8	1.37
	徒骇河上游	37.768	0.941 7	1.05
	温榆河上游	22.139 2	2.424 8	1.5
	子牙河	29.375 6	0.960 1	1.19

2.2 源汇景观格局指数与总氮的相关性

根据表 1 的数据,计算了总氮浓度与源汇景观格局指数、源汇景观面积比例的相关性. 在燕山山区、太行山区和下游平原区的 LWLI 与总氮的相关系数分别为 0.86、0.67、0.65,而源汇面积比与总氮的相关系数则分别为 0.82、0.48、0.19. 可以看出,源汇景观指数 LWLI 与总氮的相关系数要高于简单的源汇面积比例,说明了 LWLI 指数能够有效的表征总氮的流失量.

本研究中不同地理单元的 LWLI 指数与总氮的相关性有所差异,这与不同区域的地理特征和土地利用格局有关系. 燕山山区植被覆盖度高,人类密度相对较低,水体污染主要来自于农业非点源污染,比较单一的污染机制也使得模拟的精度比较高. 太行山区和下游平原区的人为干扰比较强烈,除了农业非点源污染外,城镇和农村生活污水、工业点源排放

等也会影响到源汇景观指数的模拟精度. 此外,下游平原区地势低平,1:25 万的 DEM 很难准确的提取流域界线,而且河流的水力联系也受到行政区划的割裂,势必也会影响到 LWLI 指数的表征能力.

2.3 源汇景观格局指数的适用性与前景分析

本研究表明,源汇景观格局指数越大,流域出口监测点的非点源污染物的浓度越大,相反,非点源污染物的浓度越小. 源汇景观格局指数将景观类型、面积、空间位置等信息进行集成,考虑了水文过程的部分机制,具有跨尺度性,可以适合于不同面积、气候、地形特征的流域. 但是,源汇景观格局指数是一个相对值,适合于环境背景相似的流域,如果环境背景差异较大,不同流域之间的指数不具可比性,需要对其它环境因子进行校正. 源汇景观指数的构建具有开放性,可以将其它空间属性和指标加以引进,也会增加该指数的模拟精度,比如雨水汇集路径、流域形状等. 在下一步研究中,还需要通过比较其它传统的景观格局指数,综合评价源汇景观指数的准确性.

3 结论

(1) 基于野外监测数据显示,海河流域总氮流失存在明显的空间异质性,在燕山山区的总氮流失最低,而太行山区和下游平原区较高.

(2) 源汇景观格局指数是可以有效刻画非点源污染空间特征的定量指标. 本研究仅仅利用了相对距离、相对高程和坡度三个地形指标构建了源汇景观格局指数,与总氮浓度的相关性要远高于简单的源汇景观面积比例,源汇景观指数针对非点源污染的发生过程,指数值大小与非点源污染发生的风险程度形成对应. 表明该指数可以在大流域非点源污染评价中进行应用,具有参数容易获取、精度较高等特点,同时该指数也有可能经过适当调整后,作为其它水文和水质模型的输入参数,用于提高模型模拟的精度.

参考文献:

[1] 贺缠生,傅伯杰,陈利顶. 非点源污染的管理及控制[J]. 环境科学,1998,19(5): 87-91, 96.

[2] 陈利顶,傅伯杰. 农田生态系统管理与非点源污染控制[J]. 环境科学,2000,21(2): 98-100.

[3] 王晓燕,秦福来,欧洋,等. 基于 SWAT 模型的流域非点源污染模拟——以密云水库北部流域为例[J]. 农业环境科学学报,2008,27(3): 1098-1105.

[4] 李琪,陈利顶,齐鑫,等. 奶水河流域农耕区非点源磷污染危险性评价与关键源区识别[J]. 环境科学,2008,29(1): 32-37.

[5] 董蓓蓓,马淑花,曹宏斌,等. 我国农田总氮流失影响因素

- 分析 [J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(10): 2040-2045.
- [6] 沈晔娜, 吕军, 陈军华, 等. 水源区河流非点源污染物入河量计算的水质方程反演方法 [J]. 环境科学, 2010, **31**(8): 1768-1774.
- [7] Wang Y, Choi W, Deal B M. Long-term impacts of land-use change on non-point source pollutant loads for the St. Louis metropolitan area, USA [J]. Environmental Management, 2005, **35**(2): 194-205.
- [8] Ouyang W, Skidmore A K, Toxopeus A G, *et al.* Long-term vegetation landscape pattern with non-point source nutrient pollution in upper stream of Yellow River basin [J]. Journal of Hydrology, 2010, **389**(3-4): 373-380.
- [9] 王慧亮, 李叙勇, 解莹. 多模型方法在非点源污染负荷中的应用展望 [J]. 水科学进展, 2011, **22**(5): 727-732.
- [10] 王夏晖, 陆军, 张庆忠, 等. 基于流域尺度的农业非点源污染物空间排放特征与总量控制研究 [J]. 环境科学, 2011, **32**(9): 2554-2561.
- [11] Diaz-Ramirez J, Duan Z Y, McAnally W, *et al.* Sensitivity of the HSPE model to land use/land cover datasets [J]. Journal of Coastal Research, 2005, **52**: 89-94.
- [12] Hoos A B, McMahon G. Spatial analysis of instream nitrogen loads and factors controlling nitrogen delivery to streams in the southeastern United States using spatially referenced regression on watershed attributes (SPARROW) and regional classification frameworks [J]. Hydrological Processes, 2009, **23**(16): 2275-2294.
- [13] 黄志霖, 田耀武, 肖文发, 等. 非点源污染模型 AnnAGNPS 在三峡库区林农复合小流域模拟效果评定 [J]. 环境科学, 2009, **30**(10): 2872-2878.
- [14] 刘博, 徐宗学. 基于 SWAT 模型的北京沙河水库流域非点源污染模拟 [J]. 农业工程学报, 2011, **27**(5): 52-61.
- [15] Chang C L, Kuan W H, Lui P S, *et al.* Relationship between landscape characteristics and surface water quality [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2008, **147**(1-3): 57-64.
- [16] 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.
- [17] 唐艳凌, 章光新. 流域单元景观格局与农业非点源污染的关系 [J]. 生态学杂志, 2009, **28**(4): 740-746.
- [18] 张大伟, 李扬帆, 孙翔, 等. 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 [J]. 环境科学, 2010, **31**(8): 1775-1783.
- [19] 赵军, 杨凯, 邵俊, 等. 区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展 [J]. 生态学报, 2011, **31**(11): 3180-3189.
- [20] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 等. 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 [J]. 生态学报, 2003, **23**(11): 2406-2413.
- [21] 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.
- [22] Liu C, Wang Z Y, He Y, *et al.* Evaluation of water and sediment qualities at river mouths in the Haihe River system [J]. International Journal of Sediment Research, 2007, **22**(4): 318-326.
- [23] Wang W, Tang X Q, Huang S L, *et al.* Ecological restoration of polluted plain rivers within the Haihe River Basin in China [J]. Water, Air, & Soil Pollution, 2010, **211**(1-4): 341-357.
- [24] 葛怀凤, 秦大庸, 周祖昊, 等. 基于污染迁移转化过程的海河干流天津段污染关键源区及污染类别分析 [J]. 水利学报, 2011, **42**(1): 61-67.
- [25] 朱梅. 海河流域农业非点源污染负荷估算与评价研究 [D]. 北京: 中国农业科学研究院, 2011.
- [26] Chen L D, Tian H Y, Fu B J, *et al.* Development of a new index for integrating landscape patterns with ecological processes at watershed scale [J]. Chinese Geographical Science, 2009, **19**(1): 37-45.
- [27] 陈颖, 赵磊, 杨勇, 等. 海河流域水稻田氮磷地表径流流失特征初探 [J]. 农业环境科学学报, 2011, **30**(2): 328-333.

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 Yunmeng 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-cao, 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