

方知库
Eco-Environmental
Knowledge Web

环境科学

ENVIRONMENTAL SCIENCE

ISSN 0250-3301 CODEN HCKHDV
HUANJING KEXUE

- 主办 中国科学院生态环境研究中心
- 出版 科学出版社



2020

Vol.41 No.11
第41卷 第11期

目次

中国工业源挥发性有机物排放清单 梁小明, 孙西勃, 徐建铁, 叶代启, 陈来国(4767)

中国水泥排放清单及分布特征 汤铃, 薛晓达, 伯鑫, 郭静, 王鹏, 翟文慧, 崔维庚, 汪寿阳, 李时蓓, 董广霞(4776)

环境空气 PM_{2.5} 化学组分监测数据审核指标的建立:以长三角地区为例 张哲, 乔利平, 周敏, 朱书慧, 郭会琴, 王红丽, 楼晟荣, 陶士康, 陈长虹(4786)

南京江北新区大气颗粒物化学组分的粒径分布特征 张毓秀, 于兴娜, 刘偲嘉, 安俊琳, 张程(4803)

郑州市 PM_{2.5} 化学组分的季节变化特征及来源解析 张剑飞, 姜楠, 段时光, 孙有昌, 郝祺, 张瑞芹(4813)

山西大学城 PM_{2.5} 中元素特征、来源及健康风险评估 李雪梅, 牟玲, 田妹, 郑利荣, 李杨勇(4825)

2000~2019年中国 PM_{2.5} 时空演化特征 夏晓圣, 汪军红, 宋伟东, 程先富(4832)

北京地区偏南风 and 偏东风条件下污染特征差异 尹晓梅, 乔林, 朱晓婉, 郭恒, 刘湘雪, 熊亚军(4844)

基于天气背景天津大气污染输送特征分析 蔡子颖, 杨旭, 韩素芹, 姚青, 刘敬乐(4855)

基于天气分型的上甸子大气本底站臭氧污染气象条件 吴进, 李琛, 马志强, 孙兆彬, 朱晓婉, 董璠(4864)

基于环境空气中 VOCs 在线监测数据精准识别化工园区 VOCs 排放源 孙佳宁, 谢绍东(4874)

芜湖市大气挥发性有机物污染特征、大气反应活性及源解析 高亢, 章慧, 刘梦迪, 赵晓宇, 吴婷, 贾其娜(4885)

密云水库上游白河地表水质对不同空间尺度景观格局特征的响应 张微微, 李晓娜, 王超, 赵春桥, 史瑞双(4895)

北京密云水库流域水体夏季 DOC 和 DIC 质量浓度及同位素组成初探 陈吉吉, 郭婧, 徐苏士, 陶蕾, 荆红卫(4905)

2009~2018年太湖湖泛强度变化及其影响因素 辛华荣, 朱广伟, 王雷松, 李骏, 陆隽(4914)

雷州半岛岭北地区地下水水文地球化学特征 张宏鑫, 吴亚, 罗炜宇, 陈雯, 刘怀庆(4924)

基于多环境介质氮素和同位素的滦平盆地地下水硝酸盐来源示踪 孙厚云, 卫晓锋, 贾凤超, 李多杰, 李健, 李霞, 殷志强(4936)

会仙岩溶湿地水体金属元素分布与健康风险评估 李军, 邹胜章, 梁永平, 林永生, 周长松, 赵一(4948)

太白山自然保护区水体 CDOM 吸收与三维荧光特征 张文浩, 赵铎霖, 王晓毓, 郝强州, 李喜梅, 高鹏程(4958)

强降雨对平原河网区入湖河道氮、磷影响 连心桥, 朱广伟, 杨文斌, 朱梦圆, 许海(4970)

长江流域淡水生态系统内分泌干扰物、药物和个人护理品的风险排序 苏超, 崔严(4981)

嘉兴市城市河网区多环芳烃污染源解析及生态风险评估 杨延梅, 赵航晨, 孟睿, 何连生, 赵昊, 杜士林, 丁婷婷(4989)

污水处理厂对漓江桂林市河段淡水生物中微塑料累积的影响 谢元沅, 张清科, 张漓杉, 钟山, 刘俊勇, 侯晓映, 王华, 冯静培, 梁祖鸿, 陈舞阳(4999)

村镇生活污水处理设施抗生素浓度分布规律 卢亚楠, 郭雅妮, 王坤, 陆伟东, 王拓, 柴玉峰, 柳蒙蒙, 钟慧, 陈梅雪, 魏源送(5008)

冬季小流域水体微生物多样性及影响因素 朱金山, 秦海兰, 孙启耀, 王宝珍, 高润霞, 郭锐利, 李武斌(5016)

水库热分层期沉积物中有机物特性及对好氧反硝化细菌脱氮的影响 王彤, 文刚, 黄廷林, 司凡, 王晨旭, 路林超, 林薇(5027)

长三角地区 MBBR 泥膜复合污水厂低温季节微生物多样性分析 韩文杰, 吴迪, 周家中, 何强, 阚渝姣(5037)

类群划分方法对南亚热带水库夏季浮游植物群落与环境响应关系的影响 郭芳, 顾继光, 赵剑, 余华章, 肖利娟(5050)

基于决策树的城市黑臭水体遥感分级 李玲玲, 李云梅, 吕恒, 徐杰, 杨子谦, 毕顺, 许佳峰(5060)

纳米零价铁强化微生物电催化-厌氧膜生物组合反应器抗膜污染能力及其调控机制 潘阳, 牛承鑫, 支忠祥, 王建辉, 陆雪琴, 戴金山, 甄广印, 孙彤彤, 康娜英(5073)

温度和基质浓度对厌氧氨氧化工艺中 N₂O 释放的影响 王丝可, 于恒, 左剑恶(5082)

以污泥发酵液与尾水混合液为补给碳源的 A²/O 污染物去除特性 荣懿, 邵劲博, 于优城, 石恒, 金鹏康(5089)

不同曝气比对连续流亚硝化颗粒污泥运行的影响 张杰, 劳会妹, 李冬, 魏子清(5097)

中温厌氧消化与高温厌氧消化对污泥重金属风险及稳定性的影响 田中科, 王芬, 闫钊(5106)

基于 PMF 模型及地统计的土壤重金属健康风险定量评价 韩琳, 徐夕博(5114)

再开发利用工业场地土壤重金属含量分布及生态风险 沈城, 刘霞雯, 吴健, 黄沈发, 王敏, 黄波涛(5125)

有机改性蒙脱土对苯的吸附机制和影响因素 侯静雯, 施维林, 高娟(5133)

硫酸亚铁和硝酸铁施用对根际土壤-水稻系统中镉迁移的影响 李义纯, 陈勇, 唐明灯, 李林峰, 林晓扬, 王艳红, 许迪豪, 艾绍英(5143)

叶用油菜和孔雀草间作对植物生长和镉累积的影响 闫秀秀, 徐应明, 王林, 陶雪莹, 孙约兵, 梁学峰(5151)

重金属固定细菌调控土壤铁氧化物阻控小麦 Cd 吸收效应 王晓宇, 韩辉(5160)

油-稻轮作模式下修复材料对土壤铜修复的持续性影响 赵颖颖, 李虹川, 胡宏祥, 薛中俊, 刘娜, 吴孟君(5168)

氮肥使用对北方夏玉米季氨挥发的影响 张薇, 倪邦, 许秀春, 杨轩, 孟凡乔(5176)

生物炭影响下土壤呼吸温度敏感性及细菌群落结构的变化 曹坤坤, 张沙沙, 胡学玉, 黄洋(5185)

铜尾矿白羊草重金属含量对叶际和根际真菌群落的影响 贾彤, 郭婷艳, 王瑞宏, 柴宝峰(5193)

典型水环境微生物源异味物研究进展 张海涵, 苗雨甜, 黄廷林, 刘凯文, 刘祥, 黄鑫, 杨尚业, 司凡, 李程遥(5201)

广告:国家微生物科学数据中心 (前插)

《环境科学》征订启事(4785) 《环境科学》征稿简则(4947) 信息(5015, 5124, 5132)

密云水库上游白河地表水质对不同空间尺度景观格局特征的响应

张微微, 李晓娜*, 王超, 赵春桥, 史瑞双

(北京市农林科学院北京草业与环境研究发展中心, 北京 100097)

摘要: 基于密云水库上游北京境内白河段9个监测断面的水质数据, 利用多元统计分析方法分析不同空间尺度(100、200、300、500和1 000 m)河岸带缓冲区土地利用景观格局特征与水质总氮(TN)和总磷(TP)的关联性, 识别水质对景观特征响应的最佳缓冲区尺度。结果表明, 密云水库上游北京境内白河周边土地利用景观格局对水质的影响随着河岸缓冲区不同宽度的变化而不同, 在河岸小尺度缓冲区表现得更为明显, 对水质TN和TP空间分异解释的最佳尺度分别为300 m和100 m河岸缓冲区。300 m缓冲区尺度, 耕地斑块密度和草地聚集指数是影响河流TN的主要指数。100 m缓冲区尺度, 城乡居民点面积比例对河流TP影响显著。该研究表明, 优化河岸缓冲区300 m宽度范围内的景观格局, 特别是耕地和林草地的合理配置提高农业景观的连通性和聚集度以及岸边城乡居民点面积与污染物排放控制, 对于改善北京境内白河段河流水质的生态功能和保障密云水库饮用水安全十分重要。

关键词: 景观指数; 河流水质; 河岸缓冲区; 空间尺度; 多元统计分析

中图分类号: X522 文献标识码: A 文章编号: 0250-3301(2020)11-4895-10 DOI: 10.13227/j.hjxx.202003250

Water Quality Response to Landscape Pattern at Different Spatial Scales in Baihe River in the Upper Reaches of the Miyun Reservoir

ZHANG Wei-wei, LI Xiao-na*, WANG Chao, ZHAO Chun-qiao, SHI Rui-shuang

(Beijing Research & Development Center for Grass and Environment, Beijing Academy of Agriculture and Forest Science, Beijing 100097, China)

Abstract: Understanding the quantitative relationship between multi-scale landscape pattern and water quality is of important theoretical significance for rational landscape configuration and non-point source pollution control. Using water quality data at nine monitoring sites on the Baihe River in the upper reaches of the Miyun Reservoir in Beijing, a correlation analysis and a multiple stepwise regression were used to determine the effects of the landscape characteristics on the water quality at different riparian buffer zone scales (100, 200, 300, 500, and 1 000 m). The results showed that the impact of the landscape pattern, composed of both landscape composition and configuration, on the surface water quality, varied significantly with spatial scales. The landscape characteristics for the 300 m and 100 m buffer zones appeared to have slightly greater effects on the water quality index TN and TP, respectively. The patch density of cultivated land and the aggregation index of grassland were recognized as the dominant indices influencing TN for the 300 m buffer zone. The area proportion of rural residential at the 100 m buffer zone was the dominant index influencing TP. It is very important to optimize the landscape pattern within a 300 m width of a riparian buffer zone. In particular, the reasonable allocation of cultivated land, forest, and grassland, to improve the connectivity and aggregation of agricultural landscapes, and the control of rural residential areas and pollutant discharge along the river bank, will enhance the ecological function of the water quality of the Baihe River in Beijing. This will ensure drinking water safety from the Miyun Reservoir.

Key words: landscape metrics; water quality; riparian buffer zones; spatial scale; multivariate statistical analysis

水环境质量在生境保护、农业、工业和公共卫生等方面发挥着至关重要的作用^[1]。河流水体的水质与其邻近景观和人为活动密切相关, 景观格局对流域内水文循环和非点源养分污染过程具有重要影响^[2-4], 并最终影响河流水质。认识景观格局与河流水质之间的定量关系, 不仅对于进一步了解水文循环和非点源污染过程具有重要的理论意义, 而且对于优化区域景观格局设计进而改善流域水质具有重要的参考价值。

景观格局对水质的影响非常复杂, 具有区域异质性和空间尺度差异性。一方面, 在农业用地或林地等不同景观主导的流域, 其景观格局与水质的关系

存在差异性^[5]; 另一方面, 在同一个流域, 两者之间的关系也常常随景观度量空间范围的变化而变化^[6]。迄今为止, 河段缓冲区、河岸带缓冲区和集水区这3种空间尺度被广泛用于景观变量与河流水质关系研究中。有研究表明, 集水区/流域尺度景观对水质变异性的解释更好^[7-10], 也有研究报道, 河段或河岸带尺度土地利用景观比流域尺度能更好地预

收稿日期: 2020-03-24; 修订日期: 2020-05-15

基金项目: 公益性行业(农业)科研专项(201503106)

作者简介: 张微微(1981~), 女, 博士, 副研究员, 主要研究方向为流域水土资源变化与效应评价, E-mail: zhangwei492@163.com

* 通信作者, E-mail: lxn1977@126.com

测水质^[11-14].可以看出,由于每个流域的特殊性、人为干扰强度以及数据集分辨率的差异性,景观格局与河流水质在不同空间尺度上的关系研究尚未取得共识,由区域异质性和空间尺度差异性导致的景观格局与河流水质复杂关系的不同仍是目前研究面临的重大挑战.因此,需要在更多典型流域内开展不同空间尺度土地利用景观与水质的关系研究,为流域水环境质量改善等相关水资源管理与决策提供有价值的信息.

景观格局,包括景观构成和景观空间配置,都与水质有着密切的关系.早期的研究主要集中在流域内土地利用组成(例如,不同土地利用类型的百分比)对水质的影响^[15-17].近年来,随着景观生态学、地理信息系统技术和遥感技术的迅速发展,景观格局指数为土地利用空间配置的量化提供了一种有效的方法^[10].有研究表明,多个景观指数(如斑块密度、边缘密度、斑块面积指数、最大斑块指数、蔓延度等)均与河流水质有显著的相关性^[18-24].也有研究表明,与景观水平上的景观指数相比,类型水平上的景观指数与河流水质的关系更密切^[25-27].利用景观格局指数方法量化景观组成与空间配置,定量分析景观水平与类型水平上景观指数与水质的关系,对于优化景观要素空间配置支撑流域水环境管理具有重要的科学意义.

密云水库作为北京市最主要的地表饮用水水源地,其上游白河和潮河流域是生态环境建设和污染防治的首要区域.尤其,北京境内白河段作为白河堡水库向密云水库集中输水的主河道,其河岸带景观格局对于改善河流水质和维持密云水库库区饮用水安全至关重要.目前,有关密云水库上游流域景观格

局对水质的影响研究主要是子流域尺度上土地利用景观组成/类型与水质的关系分析^[28,29].近些年,也有学者开展了密云水库上游流域河岸带空间尺度景观格局解释水质变化研究,但主要集中在景观水平景观指数与水质的关系研究^[30,31],类型水平景观指数对水质的影响还有待进一步探讨.本研究通过对密云水库上游北京境内白河段水质采样监测,在划分多个河岸带缓冲区空间尺度的基础上,分析不同河岸带缓冲区尺度土地利用景观格局特征与水质指标的关联性,识别水质对景观特征响应的最佳河岸带缓冲区尺度,以期北京境内密云水库上游白河流域水环境管理提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 研究区概况

密云水库位于北京市密云区北部($E116^{\circ}07' \sim 117^{\circ}30'$, $N40^{\circ}14' \sim 41^{\circ}05'$),总库容 43.75 亿 m^3 ,是华北地区最大水库,也是首都最大的饮用水源地.白河干流全长 280 km,起源于河北省沽源县,是密云水库两大入库河流之一.北京市境内白河段自延庆白河堡水库入境,沿北京延庆区、怀柔区和密云区,注入密云水库,河段长 126.7 km,是北京市的重要生活生产水源河(图 1).该河段流经区域以中低山地貌为主,土壤类型以淋溶褐土和棕壤为主;属暖温带季风型大陆性半湿润半干旱气候,全年平均气温为 $9 \sim 10^{\circ}C$;降水季节变化明显,6~8 月最多,降水所形成的径流是河流主要补给来源,也是水质污染的主要途径;相关研究表明了农业非点源污染是影响密云水库流域水质的主要因素^[28].

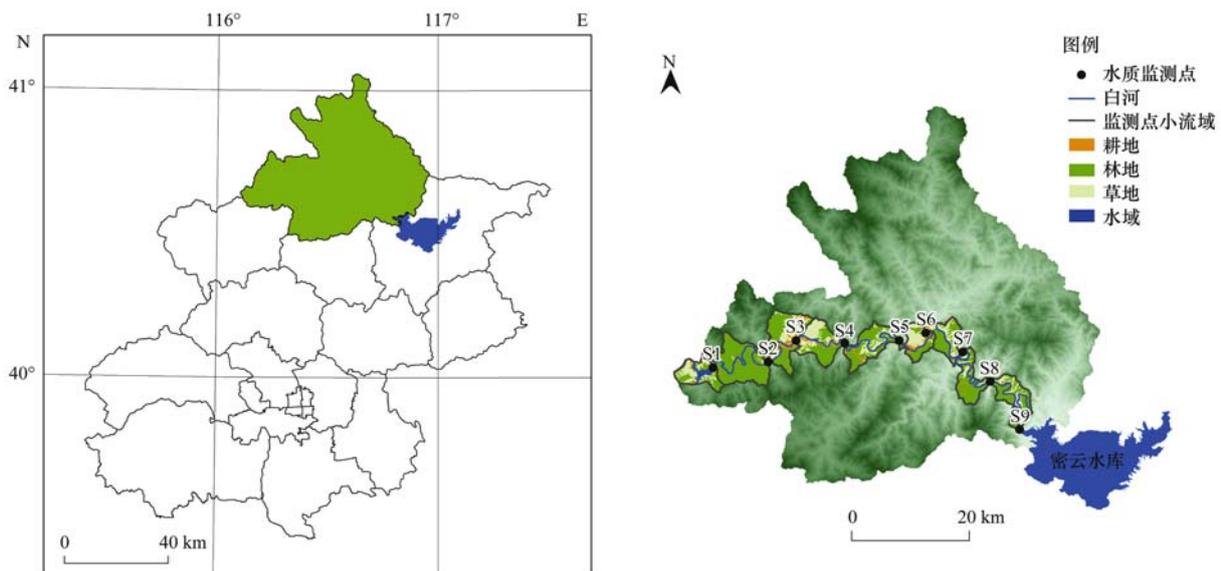


图 1 研究区概况及采样点示意

Fig. 1 Location of the study area and sampling points

1.2 河流水质监测与分析

根据小流域出口反映汇流产出的特点,本研究监测断面基于小流域的出口进行选取. 首先基于 $30\text{ m} \times 30\text{ m}$ 分辨率数字高程模型 (DEM) 对研究区流域进行小流域的划分, 其次沿北京境内白河段主河道, 在 9 个小流域的出口处设置监测断面 (图 1), 于 2018 年汛期 6~9 月逐月进行水样采集和实验室分析. 采样时间为每月降水雨停 2~3 天以后进行, 以减少土地利用对河流水质影响的滞后效应, 每个采样点分别采集表层 0.5 m 处水样, 每次取水样 500 mL 左右, 密封保存带到实验室进行测定. 根据以往对密云水库所处流域多年地表水质风险评价研究^[32], 氮和磷是该研究区水体富营养化的主要来源, 本研究选取总氮 (TN) 和总磷 (TP) 作为水体无机污染的输出指标, 采用国家标准水质检测分析方法进行 TN 和 TP 浓度的测定, 采用国家地表水环境质量标准 (GB 3838-2002) 进行分析.

1.3 河岸带缓冲区空间尺度划分

河岸带连接着陆地景观和水生生态系统, 在影响河流健康方面起着至关重要的作用. 鉴于针对河岸带缓冲区长度和宽度的定义没有统一的说法, 根据前人研究结果和研究区河岸带景观变化情况, 分别对白河 9 个水质监测断面构建 5 个空间尺度的河岸带缓冲区, 即以每个监测点断面为基点, 以平行河道分别向河流上游延伸至该监测点最直接小流域边界为长度, 以垂直河道 100、200、300、500 和 1 000 m 为宽度在河流两岸建立缓冲区 (图 2).

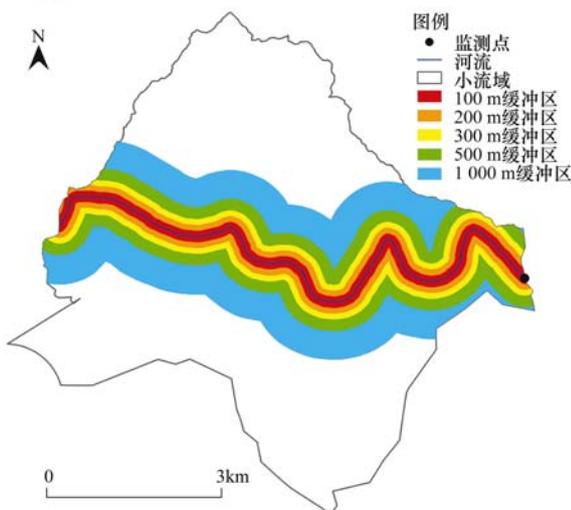


图 2 不同空间尺度河岸带缓冲区划分示意

Fig. 2 Definition of riparian buffer zones at different spatial scales

1.4 土地利用景观格局表征

以 2018 年 SPOT5 遥感影像数据为数据源, 采用面向对象分类方法, 将研究区土地利用/覆被分为耕地、林地、草地和水体等类型 (图 1). 基于先期土

地利用图, 采用目视解译结合实地调研的方法, 通过建立混淆矩阵, 选取生产者精度、用户精度、Kappa 系数和总精度这 4 个指标, 对分类结果进行验证. 评价结果表明, 研究区土地利用/覆被分类总精度为 0.885, Kappa 系数为 0.873, 分类精度能够满足研究需要.

景观指数是景观生态学中量化景观格局/特征常用的研究方法. 本研究重点考虑斑块的大小、形状、景观破碎化程度、聚集程度和多样性, 在景观水平上选取了分维数 (PAFRAC)、斑块密度 (PD)、蔓延度指数 (CONTAG) 和香农多样性指数 (SHDI) 这 4 个景观指数, 在类型水平上选取了类型面积比例 (PLAND)、斑块密度 (PD)、边缘密度 (ED) 和聚集度指数 (AI) 这 4 个景观指数. 基于 ArcGIS 和 Fragstats 4.0 计算 5 个河岸带尺度的景观指数.

1.5 数据分析

针对不同空间尺度河岸带缓冲区, 对景观水平和类型水平上景观指数与水质指标进行相关性分析, 继而采用多元逐步回归分析研究不同空间尺度河岸带缓冲区景观格局特征对水质的影响. 分析之前对各数据进行正态分布检验, 通过 Kolmogorov-Smirnov 检验, 各数据集均符合正态分布.

2 结果与分析

2.1 水质特征描述

水质参数统计分析见表 1, 9 个监测断面汛期水质平均浓度 (TN 和 TP) 如图 3 所示. 对比国家地表水环境质量标准 (GB 3838-2002), 密云水库上游白河流域各监测断面 TN 浓度的均值超过了 V 类水质标准, TP 浓度的均值满足 I 类水质标准. 可以看出, 2018 年汛期流域内水质氮污染风险较大, 磷污染风险较小, 空间上看, TN 和 TP 变化趋势也不同. 从 S1~S9 监测点, 水质 TN 浓度有先增大然后向下游降低的趋势, 近水库 S9 监测点 TN 浓度最低. 水质 TP 浓度从上游到下游没有明显的升高或降低趋势, S3、S5 和 S8 监测点 TP 浓度高于其它监测点.

表 1 水质数据描述性统计

水质指标	最小值 /mg·L ⁻¹	最大值 /mg·L ⁻¹	平均值 /mg·L ⁻¹	标准差
TN	1.374	7.955	3.446	1.534
TP	0.001	0.020	0.008	0.004

2.2 不同空间尺度缓冲区土地利用/覆被分布

不同空间尺度河岸带缓冲区土地利用/覆被类型面积比例如图 4 所示. 各尺度缓冲区土地利用/覆被类型以耕地和林地为主, 随着缓冲区宽度的增加,

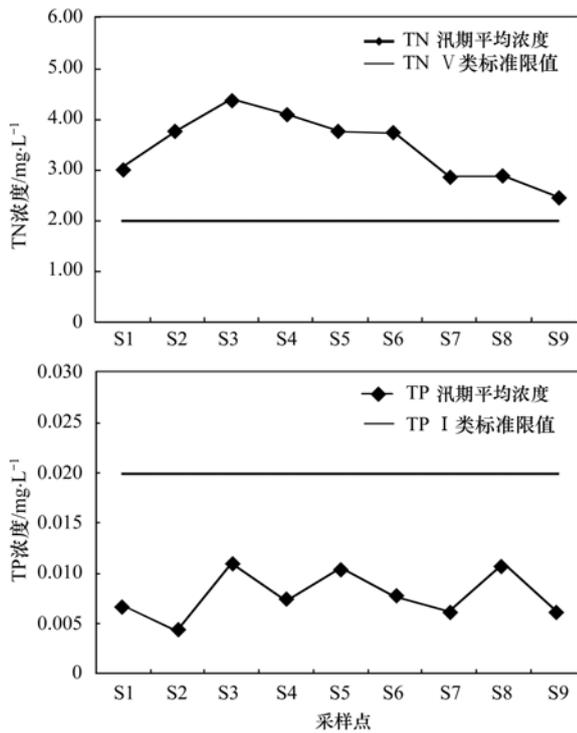


图3 9个监测断面 TN 和 TP 汛期平均浓度

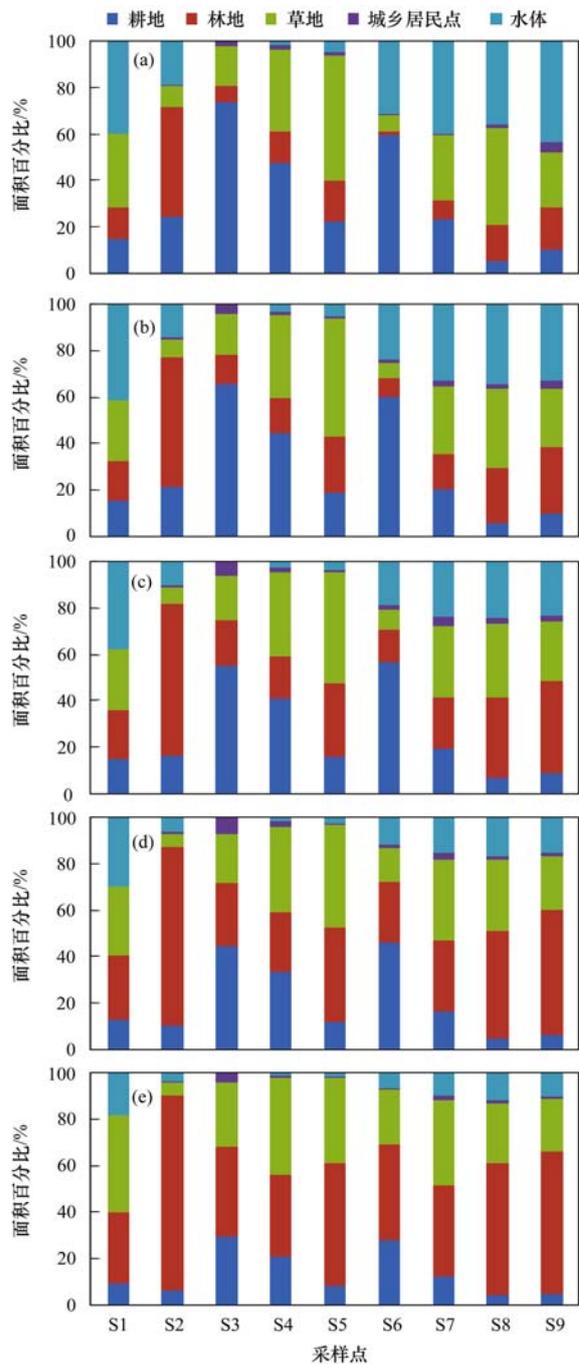
Fig. 3 Water quality in the rainy season at nine monitoring sites

耕地面积比例呈减少趋势,林地面积比例呈增加趋势,城乡居民点面积比例先增加后减少,水体面积占比降低,草地面积占比变化较小。

在缓冲区宽度为 100、200 和 300 m 内,土地利用/覆被变化趋势大体一致. S3、S4 和 S6 以耕地为主,耕地面积比例随宽度的增加而减少,其次是林地和草地,3 类土地利用面积总占比在 72%~95% 之间; S2 以林地为主,并随缓冲带宽度的加大面积比例也增加,面积比例在 43%~72% 之间,其次是耕地,面积比例在 14%~22% 之间; S1、S5、S7、S8 和 S9 以草地和林地为主,面积比例在 45%~70% 之间,其次是水体和耕地. 在缓冲区宽度为 500 m 和 1 000 m 内, S3 和 S6 主要以耕地、林地和草地为主,3 类土地利用类型比例都在 30% 左右。

2.3 不同空间尺度缓冲区景观特征

图 5 表示了不同尺度缓冲区景观水平指数 PD、PAFRAC、CONTAG 和 SHDI 的差异,这 4 项指数分别代表了景观斑块破碎度、斑块形状复杂度、景观聚集程度和景观类型多样性. 100 m 缓冲区内 PD 的最大值、最小值、均值和中位数都最高,表明该尺度内景观斑块破碎化最严重;随着缓冲区宽度的增加,PD 值逐渐减小,到 1 000 m 宽度缓冲区尺度 PD 均值最小. 100 m 缓冲区 PAFRAC 各统计值最小,表明该尺度上人类活动对景观的干扰程度最强;随着缓冲区宽度的增加,PAFRAC 均值逐渐增大,到



(a) 100 m 缓冲区; (b) 200 m 缓冲区; (c) 300 m 缓冲区; (d) 500 m 缓冲区; (e) 1 000 m 缓冲区

图4 不同空间尺度土地利用景观组成

Fig. 4 Landscape composition characteristics at different spatial scales

1 000 m 缓冲区尺度 PAFRAC 均值最大,人类活动对景观的干扰程度减弱. 100~300 m 缓冲区, CONTAG 最大值、最小值、中位数和均值较小,缓冲区宽度增加,CONTAG 统计值也逐渐增大,到 1 000 m 缓冲区尺度 CONTAG 各个统计值最大,表明随着缓冲区宽度增大,景观连通性和聚集度越高. 100~300 m 缓冲区,SHDI 的最大值、最小值、中位数和均值相对较高,随着缓冲区宽度增加,SHDI 均

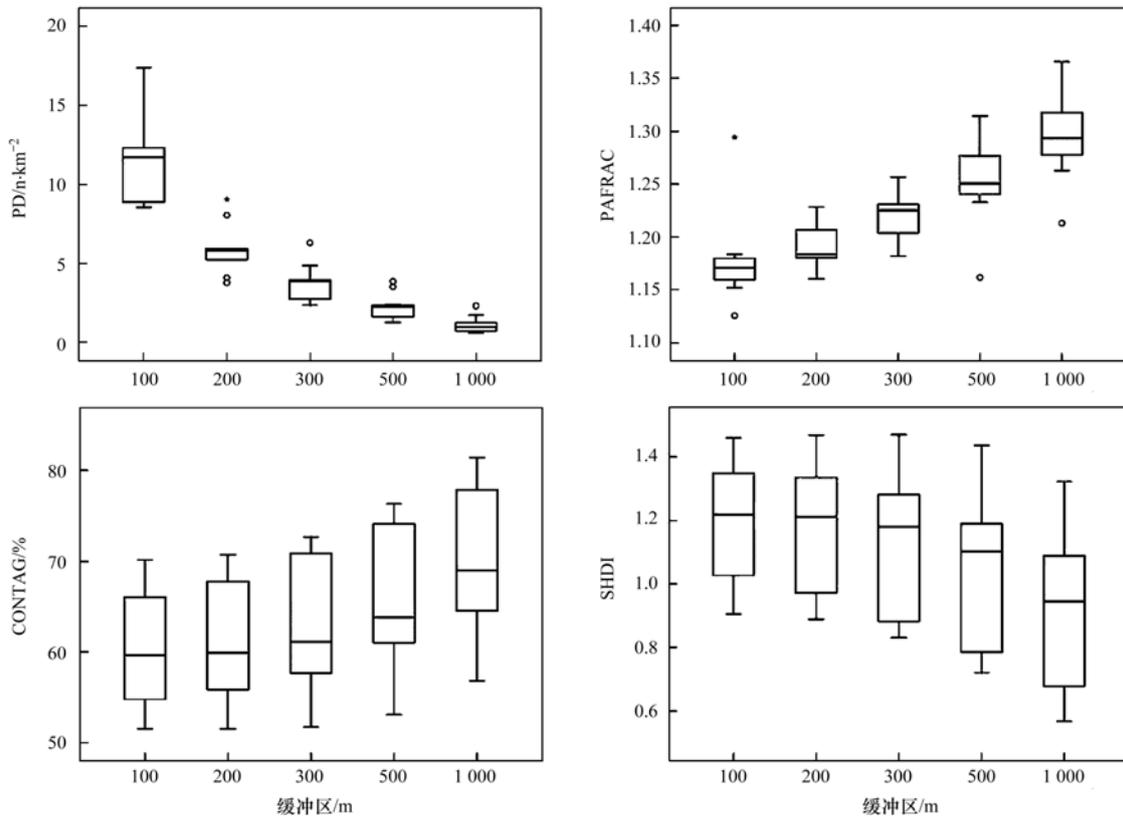


图5 不同空间尺度景观水平指数 PD、PAFRAC、CONTAG 和 SHDI

Fig. 5 Landscape metrics representing spatial configuration at the landscape level at different spatial scales, namely PD, PAFRAC, CONTAG, and SHDI

值逐渐减小,说明各景观类型所占的比例差异增大,景观多样性下降.

图6表示了不同尺度缓冲区类型水平指数 PD、ED 和 AI 的差异. 耕地 PD (PD_{耕地})、林地 PD (PD_{林地})、草地 PD (PD_{草地})、城乡居民点 PD (PD_{城乡居民点})、耕地 ED (ED_{耕地}) 和城乡居民点 ED (ED_{城乡居民点}) 在这 5 个缓冲区的统计值随着缓冲区宽度的增加而降低. 其中, 100m 宽度缓冲区内这些景观类型指数的最大值、最小值、均值和中位数都最高, 表明该尺度内耕地、林地、草地和城乡居民点景观斑块破碎化最严重; 随着缓冲区宽度的增加, 到 1 000 m 宽度缓冲区各统计值最小. 林地 ED (ED_{林地}) 和草地 ED (ED_{草地}) 在这 5 个缓冲区内没有特别的变化, 表明随着缓冲区宽度的增加, 林地和草地类型在景观连通性上变化较小. 100 m 宽度缓冲区内耕地 AI (AI_{耕地})、林地 AI (AI_{林地})、草地 AI (AI_{草地}) 和城乡居民点 AI (AI_{城乡居民点}) 最大值、最小值、均值和中位数最低, 在 200 ~ 1 000 m 宽度缓冲区, AI_{林地} 和 AI_{草地} 各统计值逐渐增大, 而 AI_{耕地} 和 AI_{城乡居民点} 各统计值变化较小, 表明随着缓冲区宽度的增加, 林地和草地聚集度都越来越高, 耕地和城乡居民点 2 种景观类型受人类作用的影响较大, 在多个缓冲区的聚集度没有

特别的变化.

2.4 不同空间尺度缓冲区景观特征与水质的关系

2.4.1 不同空间尺度缓冲区景观特征与水质相关性

不同缓冲区尺度土地利用景观指数与汛期平均 TN 和 TP 的相关性分析见表 2 和表 3. 在 100 m 和 200 m 缓冲区, TN 与 PLAND_{耕地}、PD_{耕地}、ED_{耕地} 这 3 项指数有显著的正相关性. 在 300 m 缓冲区尺度, TN 与 5 项指数有显著的相关性, 其中, 与 PAFRAC 和 AI_{草地} 具有显著的负相关, 与 PD、PLAND_{耕地}、PD_{耕地}、ED_{耕地} 具有显著的正相关. 在 500 m 和 1 000 m 缓冲区尺度, TN 与 PD_{耕地} 和 ED_{耕地} 有显著的正相关性. 在 100 m 缓冲区尺度, TP 与 PLAND_{城乡居民点}、PD_{草地} 这两项指数有显著的正相关. 在 200 ~ 1 000 m 缓冲区尺度, TP 与各个景观指数都没有显著的相关性.

2.4.2 不同空间尺度缓冲区景观特征与水质回归分析

基于上述相关性分析, 以各个空间尺度与 TN 和 TP 具有显著相关性的指标作为自变量, 分别与 TN 和 TP 进行回归分析, 分析结果见表 4. 100 ~ 300 m 缓冲区尺度, TN 与景观指数的回归系数调整后 R² 由 0.613 增大到 0.884, 其中, 100 m 和 200 m 缓冲区的解释变量为 PD_{耕地}, 300 m 缓冲区的解释变

表 2 不同空间尺度土地利用景观指数与汛期平均 TN 的相关性¹⁾

Table 2 Correlation between landscape metrics at different spatial scales and average TN concentrations in the rainy season

景观指数	缓冲区/m				
	100	200	300	500	1 000
PAFRAC	-0.564	-0.133	-0.723 *	-0.512	0.078
PD	0.488	0.409	0.653 *	0.560	0.580
CONTAG	-0.318	-0.309	-0.336	-0.386	-0.392
SHDI	0.302	0.302	0.333	0.384	0.388
PLAND_耕地	0.646 *	0.669 *	0.689 *	0.578	0.549
PLAND_林地	-0.218	-0.238	-0.270	-0.312	-0.300
PLAND_草地	-0.140	-0.137	-0.095	-0.010	0.093
PLAND_城乡居民点	0.077	0.218	0.265	0.284	0.286
PLAND_水体	-0.258	-0.173	-0.052	0.098	0.135
PD_耕地	0.813 **	0.844 **	0.905 **	0.806 **	0.796 *
PD_林地	0.587	-0.074	0.055	0.325	0.431
PD_草地	0.227	0.361	0.402	0.483	0.494
PD_城乡居民点	0.226	0.568	0.527	0.496	0.244
PD_水体	-0.313	-0.314	-0.048	-0.200	0.180
ED_耕地	0.754 *	0.709 *	0.689 *	0.675 *	0.669 *
ED_林地	0.555	0.262	0.225	0.292	0.445
ED_草地	0.228	0.163	0.151	0.165	0.242
ED_城乡居民点	0.071	0.253	0.350	0.332	0.156
ED_水体	-0.290	-0.284	-0.277	-0.295	-0.291
AI_耕地	-0.394	-0.304	-0.263	-0.195	-0.291
AI_林地	-0.401	-0.343	-0.344	-0.379	-0.439
AI_草地	-0.191	-0.494	-0.667 *	-0.541	-0.459
AI_城乡居民点	0.011	-0.188	-0.164	-0.148	0.566
AI_水体	0.041	0.016	0.016	0.021	0.140

1) * 表示 $P < 0.05$, ** 表示 $P < 0.01$,下同

表 3 不同空间尺度土地利用景观指数与汛期平均 TP 的相关性

Table 3 Correlation between landscape metrics at different spatial scales and average TP concentrations in the rainy season

景观指数	缓冲区/m				
	100	200	300	500	1 000
PAFRAC	0.314	-0.533	-0.032	0.009	-0.389
PD	0.156	0.313	0.260	0.089	0.042
CONTAG	-0.091	-0.144	-0.139	-0.130	-0.183
SHDI	0.093	0.140	0.133	0.127	0.185
PLAND_耕地	0.200	0.184	0.176	0.175	0.167
PLAND_林地	-0.256	-0.254	-0.238	-0.229	-0.277
PLAND_草地	0.090	0.169	0.249	0.344	0.395
PLAND_城乡居民点	0.718 *	0.531	0.511	0.421	0.287
PLAND_水体	0.062	0.041	-0.032	-0.108	-0.127
PD_耕地	-0.181	-0.401	-0.447	-0.624	-0.471
PD_林地	-0.107	0.356	0.306	0.116	0.069
PD_草地	0.663 *	0.638	0.628	0.436	0.300
PD_城乡居民点	0.303	0.137	0.150	0.194	0.383
PD_水体	-0.091	0.059	0.022	0.158	0.056
ED_耕地	-0.057	0.007	0.036	0.044	0.016
ED_林地	-0.544	-0.328	-0.184	-0.121	-0.022
ED_草地	0.221	0.280	0.304	0.320	0.305
ED_城乡居民点	0.407	0.333	0.284	0.256	0.312
ED_水体	0.170	0.193	0.171	0.078	0.044
AI_耕地	0.543	0.570	0.534	0.522	0.520
AI_林地	-0.080	-0.138	-0.153	-0.152	-0.126
AI_草地	-0.462	-0.338	-0.098	0.203	0.496
AI_城乡居民点	-0.007	0.180	0.115	0.057	-0.508
AI_水体	0.212	0.257	0.205	0.165	0.110

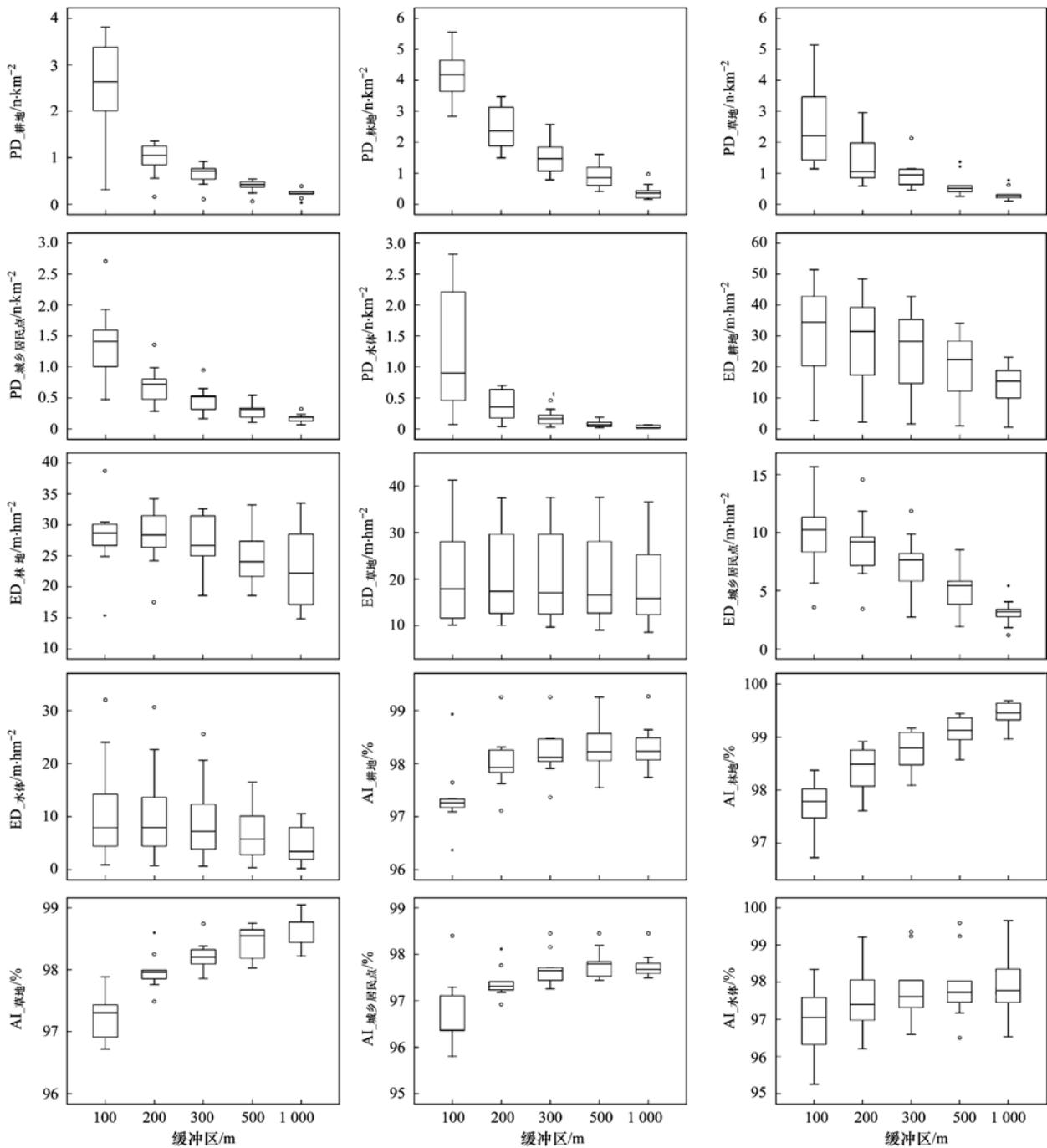


图 6 不同空间尺度类型水平指数统计

Fig. 6 Landscape metrics representing spatial configuration at the class level at different spatial scales

表 4 不同空间尺度 TN 和 TP 的多元回归分析

Table 4 Multiple regression analysis of TN and TP at different spatial scales

水质指标	缓冲区尺度/m	回归方程变量	标准化 Beta	调整后 R^2	Sig.
TN	100	PD_耕地	0.813	0.613	0.008
	200	PD_耕地	0.844	0.671	0.004
	300	PD_耕地	0.792	0.884	0.001
	500	AI_草地	-0.327	0.599	0.009
	1000	PD_耕地	0.796	0.582	0.01
TP	100	PLAND_城乡居民点	0.718	0.446	0.03

量为 PD_{耕地} 和 AI_{草地}. 随着尺度的增加, 到 500 m 和 1000 m 缓冲区尺度, 回归分析的调整后 R^2 逐渐降

低到 0.599 和 0.582,解释变量为 $PD_{\text{耕地}}$. 对于 TP 水质指标,在 100 m 缓冲区尺度 TP 与景观指数的回归显著,但调整后 R^2 较低,为 0.446,解释变量为 $PLAND_{\text{城乡居民点}}$.

3 讨论

3.1 不同空间尺度影响水质的景观指数

以往研究表明,一些景观指数能很好地解释水体污染物的负荷量,通过建立景观指数与河流水体污染物浓度的关联,利用景观指数解释水质指标变化,有助于水质指标变化预测^[23]. 本研究显示,在各个研究尺度上,景观格局在类型水平上对水质 TN 和 TP 的解释能力更强,在景观水平上仅 PAFRAC 和 PD 在 300 m 缓冲区尺度上与水质 TN 有正的相关性. 这与以往部分研究结论一致. 比如,Shen 等^[26]的研究认为类型水平景观指数对北京北运河流域的 TN 和 TP 影响显著;李昆等^[27]在汉江流域襄阳城区段研究表明,类型水平景观指数对河流水质的影响程度更明显. 类型水平景观指数用来表示景观中单个景观类型的空间分布和格局,本研究中耕地、草地和城乡居民点等类型的景观指数对密云水库上游白河流域北京段的影响更明显,反映了耕地、草地和城乡居民点等景观/斑块类型的组成和结构配置的变化对河流水体污染物的吸收和降解有差异,是影响该河段水体中 TN 和 TP 污染因子浓度变化的重要因素.

在密云水库上游北京境内白河段, $PD_{\text{耕地}}$ 是 100 ~ 1 000 m 缓冲区尺度上影响水体 TN 变化的景观指数,反映了在每个缓冲区尺度上耕地斑块破碎化程度越高, TN 污染风险越大. 本研究不同缓冲区宽度的景观组成和结构特征分析表明,随着缓冲区宽度的增加,耕地的面积占比越来越小, $PD_{\text{耕地}}$ 值也逐渐降低,但是耕地斑块密度在每个缓冲区尺度上都与 TN 存在一定的关联性,二者的相关系数随缓冲区宽度的增加先增大后降低,水体中 TN 浓度对 300 m 缓冲区尺度上 $PD_{\text{耕地}}$ 的响应最强烈. 表明在本研究区 100 ~ 1 000 m 缓冲区尺度上耕地斑块的破碎化不利于农田中氮的固定和截留,加剧了氮向周边水体流失的风险,在 300 m 河岸缓冲区尤其突出.

以往研究表明,草地作为截留污染物的一种“汇”景观,对进入河流水体的污染物有一定的净化作用,本研究得出了一致的结果,认为 $AI_{\text{草地}}$ 和 $PD_{\text{草地}}$ 分别对水体中的 TN 和 TP 浓度变化有一定的影响. 在 300 m 缓冲区尺度上 $AI_{\text{草地}}$ 与 TN 呈负相关关系,表明在距离河岸带 300 m 的区域,草地的聚集能够增强草地对氮的截留和阻滞能力,在一定程

上能够降低水体氮污染风险. 在 100 m 缓冲区尺度上 $PD_{\text{草地}}$ 与 TP 呈正相关关系,反映了 100 m 河岸带草地的破碎化程度越高,连通性越差,越不利于草地对磷的拦截和阻滞,从而会加剧水体中磷的污染. 因此,本研究区近河岸带缓冲区 100 ~ 300 m 大面积聚集并连通的草地对进入河流水体的氮磷污染物具有较好的净化作用.

通常在人口经济快速发展的城市区域,小尺度城乡居民用地对水质起着重要的作用^[1],但本研究以农业为主导类型的流域中, $PLAND_{\text{城乡居民点}}$ 成为 100 m 缓冲区尺度上影响水体 TP 浓度变化的景观指数,并且城乡居民点面积占比越大,水体中 TP 污染风险越高. 这主要是由于近年来沿密云水库上游白河休闲旅游的发展对河流水质造成了一定的压力. 根据采样期间的实地调查,沿白河周边发展了“百里山水画廊”、“白河湾”和“清凉谷”等越来越来多的休闲旅游景区,在每年的 5 ~ 10 月吸引了大批市民休闲观光,其近河岸带区域开发了多处农家院民宿,这种人为干扰产生的生活污水加剧了河流水质的污染风险.

3.2 景观特征对水质影响的最佳尺度

不同河岸缓冲区宽度上景观类型组成和结构的异质性,导致水体污染物对不同空间尺度景观特征的响应存在差异. 哪个河岸缓冲区尺度景观格局对水质产生的影响更大仍是一个颇有争议的问题. 本研究基于不同尺度的分析结果表明,该研究区景观特征对水质的影响随着河岸缓冲区宽度的变化而不同,景观特征对水质 TN 和 TP 的影响在河岸小尺度缓冲区表现得更明显,最佳尺度分别为河岸缓冲区 300 m 和 100 m. 这与以往部分研究结论一致,比如,中国北运河 100 m 缓冲区^[26]、美国洛亚诺克河 200 m 缓冲区^[33]、中国抚仙湖流域 200 m 缓冲区^[34] 和中国汉江 300 m 缓冲区^[5] 等近河岸不同尺度缓冲区内景观指数可以解释大部分水质变异. 但也与部分研究结论不同,比如中国新疆艾比湖流域 4 km 缓冲区^[23] 和美国比斯坎湾 1 km 缓冲区^[35] 等较大河岸带尺度上的景观特征能更好地解释大部分水质变异.

河岸缓冲带作为一种典型的陆地/水交错带景观,在水生生态系统与陆地生态系统的物质交换过程中起着重要作用,其根本目的是防止土壤侵蚀的发生和过滤来自非点源污染横向进入水体的污染物. 继以往研究之后,本研究充分证实了密云水库上游北京境内白河段近河岸带 300 m 缓冲区内景观格局特征对河流水质氮磷浓度变化的影响程度最大. 因此,为了实现有效的流域水环境管理,增强河流水

质的生态功能,应重视河岸缓冲区 300 m 宽度范围内景观的合理配置. 在 300 m 河岸缓冲带内,减少耕地分散种植的发生,降低耕地景观破碎化程度;增加草地的种植密度,提高草地的聚集度和连通性,增强草地对进入河流污染物的有效截留;同时针对临近水体的 100 m 范围河岸带,在保障休闲旅游发展的基础上,控制大规模休闲旅游民宿开发强度,加强已有居民点生活污水处理设施建设与使用,减少污染物进入河流的途径.

4 结论

(1) 密云水库上游北京境内白河段 100 ~ 1 000 m 河岸缓冲区 5 个不同空间尺度上,类型水平上的景观指数对河流水质的影响更显著. 耕地的斑块密度在 5 个尺度上都对河流 TN 浓度有不同程度的影响,在 300 m 缓冲区尺度上的影响最强烈,耕地斑块越破碎,TN 污染风险越高;草地的聚集指数在 300 m 缓冲区尺度对河流 TN 浓度变化有影响,草地聚集度越高,TN 污染风险越低;对河流 TP 影响最显著的景观指数是 100 m 缓冲区尺度上城乡居民点的面积比例,城乡居民用地面积占比越大,TP 污染风险越高.

(2) 景观格局对河流水质指标的影响在不同宽度河岸缓冲区有较大差异,300 m 和 100 m 河岸缓冲区景观格局分别对水质 TN 和 TP 指标具有较强的空间分异解释能力,并将 300 m 缓冲区作为北京境内密云水库上游白河水质对景观特征响应的最佳河岸带尺度,重视河岸缓冲区 300 m 宽度范围内的合理规划设计,通过耕地和林草地的合理配置以及岸边城乡居民点面积与污染物排放控制,增强和改善河流水质的生态功能.

参考文献:

- [1] Shi P, Zhang Y, Li Z B, *et al.* Influence of land use and land cover patterns on seasonal water quality at multi-spatial scales [J]. *CATENA*, 2017, **151**: 182-190.
- [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] Ouyang W, Song K Y, Wang X L, *et al.* Non-point source pollution dynamics under long-term agricultural development and relationship with landscape dynamics[J]. *Ecological Indicators*, 2014, **45**: 579-589.
- [4] Bu H M, Zhang Y, Meng W, *et al.* Effects of land-use patterns on in-stream nitrogen in a highly-polluted river basin in northeast China[J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **553**: 232-242.
- [5] Li K, Chi G Q, Wang L, *et al.* Identifying the critical riparian buffer zone with the strongest linkage between landscape characteristics and surface water quality [J]. *Ecological Indicators*, 2018, **93**: 741-752.
- [6] Goldstein R M, Carlisle D M, Meador M R, *et al.* Can basin land use effects on physical characteristics of streams be determined at broad geographic scales? [J]. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2007, **130**(1-3): 495-510.
- [7] King R S, Baker M E, Whigham D F, *et al.* Spatial considerations for linking watershed land cover to ecological indicators in streams [J]. *Ecological Applications*, 2005, **15**(1): 137-153.
- [8] Li S Y, Zhang Y L, Zhang Q F. Interaction of landscape setting and stream flow seasonality on nitrogen concentrations in a subtropical river, China [J]. *Acta Oecologica*, 2012, **44**: 38-45.
- [9] Meneses B M, Reis R, Vale M J, *et al.* Land use and land cover changes in Zêzere watershed (Portugal) — water quality implications[J]. *Science of the Total Environment*, 2015, **527-528**: 439-447.
- [10] De Mello K, Valente R A, Randhir T O, *et al.* Effects of land use and land cover on water quality of low-order streams in Southeastern Brazil: watershed versus riparian zone [J]. *CATENA*, 2018, **167**: 130-138.
- [11] Sahu M, Gu R R. Modeling the effects of riparian buffer zone and contour strips on stream water quality [J]. *Ecological Engineering*, 2009, **35**(8): 1167-1177.
- [12] Uriarte M, Yackulic C B, Lim Y, *et al.* Influence of land use on water quality in a tropical landscape: a multi-scale analysis [J]. *Landscape Ecology*, 2011, **26**(8): 1151-1164.
- [13] Collins K E, Doscher C, Rennie H G, *et al.* The effectiveness of riparian 'restoration' on water quality—a case study of lowland streams in Canterbury, New Zealand [J]. *Restoration Ecology*, 2013, **21**(1): 40-48.
- [14] McMillan S K, Tuttle A K, Jennings G D, *et al.* Influence of restoration age and riparian vegetation on reach-scale nutrient retention in restored urban streams [J]. *Journal of the American Water Resources Association*, 2014, **50**(3): 626-638.
- [15] 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.
- [16] Xiao H G, Ji W. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques [J]. *Journal of Environmental Management*, 2007, **82**(1): 111-119.
- [17] Tu J. Combined impact of climate and land use changes on streamflow and water quality in eastern Massachusetts, USA [J]. *Journal of Hydrology*, 2009, **379**(3-4): 268-283.
- [18] Sun R H, Chen L D, Chen W L, *et al.* Effect of land-use patterns on total nitrogen concentration in the upstream regions of the Haihe River Basin, China [J]. *Environmental Management*, 2013, **51**(1): 45-58.
- [19] 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.
- [20] Gonzales-Inca C A, Kalliola R, Kirkkala T, *et al.* Multiscale landscape pattern affecting on stream water quality in agricultural watershed, SW Finland [J]. *Water Resources Management*, 2015, **29**(5): 1669-1682.
- [21] Ding J, Jiang Y, Liu Q, *et al.* Influences of the land use pattern on water quality in low-order streams of the Dongjiang River basin, China: a multi-scale analysis [J]. *Science of the Total Environment*, 2016, **551-552**: 205-216.
- [22] Campagnaro T, Frate L, Carranza M L, *et al.* Multi-scale

- analysis of alpine landscapes with different intensities of abandonment reveals similar spatial pattern changes; implications for habitat conservation [J]. *Ecological Indicators*, 2017, **74**: 147-159.
- [23] 王小平, 张飞, 李晓航, 等. 艾比湖区域景观格局空间特征与地表水质的关联分析 [J]. *生态学报*, 2017, **37** (22): 7438-7452.
Wang X P, Zhang F, Li X H, *et al.* Correlation analysis between the spatial characteristics of land use/cover-landscape pattern and surface-water quality in the Ebinur Lake area [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2017, **37** (22): 7438-7452.
- [24] 朱珍香, 高肖飞, 彭凤, 等. 厦门后溪水质与流域景观特征沿城乡梯度的变化分析 [J]. *生态学报*, 2019, **39** (6): 2021-2033.
Zhu Z X, Gao X F, Peng F, *et al.* Relationship between water quality and landscape characteristics of the Houxi River watershed in Xiamen City along a rural-urban gradient [J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2019, **39** (6): 2021-2033.
- [25] Shen Z Y, Hou X S, Li W, *et al.* Relating landscape characteristics to non-point source pollution in a typical urbanized watershed in the municipality of Beijing [J]. *Landscape and Urban Planning*, 2014, **123**: 96-107.
- [26] Shen Z Y, Hou X S, Li W, *et al.* Impact of landscape pattern at multiple spatial scales on water quality: a case study in a typical urbanised watershed in China [J]. *Ecological Indicators*, 2015, **48**: 417-427.
- [27] 李昆, 王玲, 孙伟, 等. 城市化下景观格局对河流水质变化的空间尺度效应分析 [J]. *环境科学学报*, 2020, **40** (1): 343-352.
Li K, Wang L, Sun W, *et al.* Spatial effect of landscape pattern on river water quality under urbanization [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2020, **40** (1): 343-352.
- [28] 张敏, 李令军, 赵文慧, 等. 密云水库上游河流水质空间异质性及其成因分析 [J]. *环境科学学报*, 2019, **39** (6): 1852-1859.
Zhang M, Li L J, Zhao W H, *et al.* Spatial heterogeneity and cause analysis of water quality in the upper streams of Miyun Reservoir [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2019, **39** (6): 1852-1859.
- [29] 许尔琪, 张红旗. 密云水库上游流域土地利用与地表径流营养物的关系 [J]. *应用生态学报*, 2018, **29** (9): 2869-2878.
Xu E Q, Zhang H Q. Relationship between land use and nutrients in surface runoff in upper catchment of Miyun Reservoir, China [J]. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2018, **29** (9): 2869-2878.
- [30] 欧洋, 王晓燕, 耿润哲. 密云水库上游流域不同尺度景观特征对水质的影响 [J]. *环境科学学报*, 2012, **32** (5): 1219-1226.
Ou Y, Wang X Y, Geng R Z. The influences of different landscape characteristics on water quality in the upper watershed of Miyun Reservoir [J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 2012, **32** (5): 1219-1226.
- [31] 刘文竹, 王晓燕, 欧洋. 密云水库小流域不同尺度景观格局与水质的相关性分析 [J]. *首都师范大学学报(自然科学版)*, 2013, **34** (6): 70-75.
Liu W Z, Wang X Y, Ou Y. Correlation analysis between landscape pattern and water quality at local scale in the upper watershed of Miyun Reservoir [J]. *Journal of Capital Normal University (Natural Science Edition)*, 2013, **34** (6): 70-75.
- [32] 张微微, 孙丹峰, 李红, 等. 北京密云水库流域 1980~2003 年地表水质评价 [J]. *环境科学*, 2009, **31** (7): 1483-1491.
Zhang W W, Sun D F, Li H, *et al.* Surface water quality assessment in Miyun reservoir watershed, Beijing in the period 1980-2003 [J]. *Environmental Science*, 2009, **31** (7): 1483-1491.
- [33] Sponseller R A, Benfield E F, Valett H M. Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities [J]. *Freshwater Biology*, 2001, **46** (10): 1409-1424.
- [34] Dai X Y, Zhou Y Q, Ma W C, *et al.* Influence of spatial variation in land-use patterns and topography on water quality of the rivers inflowing to Fuxian Lake, a large deep lake in the plateau of southwestern China [J]. *Ecological Engineering*, 2017, **99**: 417-428.
- [35] Carey R O, Migliaccio K W, Li Y C, *et al.* Land use disturbance indicators and water quality variability in the Biscayne Bay Watershed, Florida [J]. *Ecological Indicators*, 2011, **11** (5): 1093-1104.

CONTENTS

Industrial Volatile Organic Compounds (VOCs) Emission Inventory in China	LIANG Xiao-ming, SUN Xi-bo, XU Jian-tie, <i>et al.</i> (4767)
Contribution of Emissions from Cement to Air Quality in China	TANG Ling, XUE Xiao-da, BO Xin, <i>et al.</i> (4776)
Audit Indicators and Suggested Ranges for Data Validation of Chemical Components in Ambient PM _{2.5} : A Case Study of the Yangtze River Delta ZHANG Zhe, QIAO Li-ping, ZHOU Min, <i>et al.</i> (4786)
Size Distribution of Particulate Chemical Components in Nanjing Jiangbei New Area	ZHANG Yu-xiu, YU Xing-na, LIU Si-jia, <i>et al.</i> (4803)
Seasonal Chemical Composition Characteristics and Source Apportionment of PM _{2.5} in Zhengzhou	ZHANG Jian-fei, JIANG Nan, DUAN Shi-guang, <i>et al.</i> (4813)
Characteristics, Sources, and Health Risks of Elements in PM _{2.5} in Shanxi University Town	LI Xue-mei, MU Ling, TIAN Mei, <i>et al.</i> (4825)
Spatio-temporal Evolution of PM _{2.5} Concentration During 2000-2019 in China	XIA Xiao-sheng, WANG Jun-hong, SONG Wei-dong, <i>et al.</i> (4832)
Differences in Pollution Characteristics Under the Southerly and Easterly Wind in Beijing	YIN Xiao-mei, QIAO Lin, ZHU Xiao-wan, <i>et al.</i> (4844)
Transport Characteristics of Air Pollution in Tianjin Based on Weather Background	CAI Zi-ying, YAN Xu, HAN Su-qin, <i>et al.</i> (4855)
Influence of Meteorological Conditions on Ozone Pollution at Shangdianzi Station Based on Weather Classification	WU Jin, LI Chen, MA Zhi-qiang, <i>et al.</i> (4864)
Accurate Identification of Ambient VOCs Emission Sources in an Industrial Park Using On-Line Monitoring Data	SUN Jia-ning, XIE Shao-dong (4874)
Characteristics, Atmospheric Reactivity, and Source Apportionment of Ambient Volatile Organic Compounds in Wuhu	GAO Kang, ZHANG Hui, LIU Meng-di, <i>et al.</i> (4885)
Water Quality Response to Landscape Pattern at Different Spatial Scales in Baihe River in the Upper Reaches of the Miyun Reservoir	ZHANG Wei-wei, LI Xiao-na, WANG Chao, <i>et al.</i> (4895)
Concentration and Carbon Isotope Composition of DOC and DIC in the Miyun Reservoir Watershed in Summer	CHEN Ji-ji, GUO Jing, XU Su-shi, <i>et al.</i> (4905)
Variation and Driving Factors of Black Water Event Intensity in Lake Taihu During 2009 to 2018	XIN Hua-rong, ZHU Guang-wei, WANG Xue-song, <i>et al.</i> (4914)
Hydrogeochemical Investigations of Groundwater in the Lingbei Area, Leizhou Peninsula	ZHANG Hong-xin, WU Ya, LUO Wei-yu, <i>et al.</i> (4924)
Source of Groundwater Nitrate in Luanping Basin Based on Multi-environment Media Nitrogen Cycle and Isotopes	SUN Hou-yun, WEI Xiao-feng, JIA Feng-chao, <i>et al.</i> (4936)
Metal Distributions and Human Health Risk Assessments on Waters in the Huixian Karst Wetland, China	LI Jun, ZOU Sheng-zhang, LIANG Yong-ping, <i>et al.</i> (4948)
Absorption and Three Dimensional Fluorescence Spectra of CDOM in the Water of the Taibaishan Nature Reserve	ZHANG Wen-hao, ZHAO Duo-lin, WANG Xiao-yu, <i>et al.</i> (4958)
Effect of Heavy Rainfall on Nitrogen and Phosphorus Concentrations in Rivers at River-net Plain	LIAN Xin-qiao, ZHU Guang-wei, YANG Wen-bin, <i>et al.</i> (4970)
Risk Ranking of Endocrine Disrupting Compounds, Pharmaceuticals, and Personal Care Products in the Aquatic Environment of the Yangtze River Basin	SU Chao, CUI Yan (4981)
Sources and Ecological Risk Assessment of Polycyclic Aromatic Hydrocarbons in the Jiaxing River Network	YANG Yan-mei, ZHAO Hang-chen, MENG Rui, <i>et al.</i> (4989)
Impact of a Sewage Treatment Plant on the Accumulation of Microplastics in Freshwater Organisms in the Lijiang River of the Guilin Urban Section XIE Yuan-shan, ZHANG Qing-ke, ZHANG Li-shan, <i>et al.</i> (4999)
Distribution of Antibiotic Concentration in Domestic Wastewater Treatment Facilities in Villages and Towns	LU Ya-nan, GUO Ya-ni, WANG Kun, <i>et al.</i> (5008)
Microbial Diversity and Influencing Factors in a Small Watershed in Winter	ZHU Jin-shan, QIN Hai-lan, SUN Qi-yao, <i>et al.</i> (5016)
Characteristics of Organic Matter in Sediments During the Thermal Stratification of a Reservoir and Effects on an Aerobic Denitrifier	WANG Tong, WEN Gang, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (5027)
Microbial Diversity Analysis of WWTPs Based on Hybrid-MBBR Process in a Low Temperature Season in the Yangtze River Delta	HAN Wen-jie, WU Di, ZHOU Jia-zhong, <i>et al.</i> (5037)
Effects of Phytoplankton Classifications on the Relationship Between Phytoplankton Community and Environment in Summer Subtropical Reservoirs, Southern China GUO Fang, GU Ji-Guang, ZHAO Jian, <i>et al.</i> (5050)
Remote Sensing Classification of Urban Black-odor Water Based on Decision Tree	LI Ling-ling, LI Yun-mei, LÜ Heng, <i>et al.</i> (5060)
Enhanced Membrane Anti-fouling Ability of Anaerobic Membrane Bioreactor Equipped with Bio-electrochemical System Using Nano-zero-valent Iron and Its Regulation Mechanism PAN Yang, NIU Cheng-xin, ZHI Zhong-xiang, <i>et al.</i> (5073)
Effects of Temperature and Substrate Concentration on N ₂ O Release of ANAMMOX Process	WANG Si-ke, YU Heng, ZUO Jian-e (5082)
Characteristics of Nutrient Removal in a Pilot-scale A ² /O with Mixture of Sludge Fermentation Liquor and Tail Water as External Carbon Source RONG Yi, SHAO Jin-bo, YU You-cheng, <i>et al.</i> (5089)
Effect of Different Ratios of Anaerobic Time and Aeration Time on the Operation of a Continuous-Flow Reactor with Partial Nitrification Granules ZHANG Jie, LAO Hui-mei, LI Dong, <i>et al.</i> (5097)
Effects of Mesophilic Anaerobic Digestion and Thermophilic Anaerobic Digestion on the Risk and Stability of Heavy Metals in Sludge	TIAN Zhong-ke, WANG Fen, YAN Zhao (5106)
Quantitative Evaluation of Human Health Risk of Heavy Metals in Soils Based on Positive Matrix Factorization Model and Geo-statistics	HAN Lin, XU Xi-bo (5114)
Distribution and Ecological Risk of Heavy Metals in the Soil of Redevelopment Industrial Sites	SHEN Cheng, LIU Fu-wen, WU Jian, <i>et al.</i> (5125)
Investigating Adsorption of Naphthalene to Organo-Modified Montmorillonites and Influencing Factors	HOU Jing-wen, SHI Wei-lin, GAO Juan (5133)
Effects of Ferrous Sulfate and Ferric Nitrate on Cadmium Transportation in the Rhizosphere Soil-Rice System	LI Yi-chun, CHEN Yong, TANG Ming-deng, <i>et al.</i> (5143)
Effects of Intercropping of <i>Brassica chinensis</i> L. and <i>Tagetes patula</i> L. on the Growth and Cadmium Accumulation of Plants	YAN Xiu-xiu, XU Ying-ming, WANG Lin, <i>et al.</i> (5151)
Effects of Heavy Metal-immobilizing Bacteria on Reducing Wheat Uptake Cd by Regulation Soil Iron Oxides	WANG Xiao-yu, HAN Hui (5160)
Sustained Effects of Remediation Materials on Soil Copper Remediation Under Oil-Rice Rotation	ZHAO Ying-ying, LI Hong-chuan, HU Hong-xiang, <i>et al.</i> (5168)
Impacts of Nitrogen Application on Ammonia Volatilization During Maize Season in Northern China	ZHANG Wei, NI Bang, XU Xiu-chun, <i>et al.</i> (5176)
Effect of Biochar on Changes of the Temperature Sensitivity of Soil Respiration and Bacterial Community Structure	CAO Kun-kun, ZHANG Sha-sha, HU Xue-yu, <i>et al.</i> (5185)
Effects of Heavy Metal Contents on Phyllosphere and Rhizosphere Fungal Communities for <i>Bathriochloa ischaemum</i> in Copper Tailings Area JIA Tong, GUO Ting-yan, WANG Rui-hong, <i>et al.</i> (5193)
Advances in Microbe-Derived Taste and Odor Compounds in Typical Aquatic Ecosystems	ZHANG Hai-han, MIAO Yu-tian, HUANG Ting-lin, <i>et al.</i> (5201)