

中国百种杰出学术期刊
中国精品科技期刊
中国科协优秀期刊
中国科学院优秀科技期刊
新中国 60 年有影响力的期刊
国家期刊奖

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica

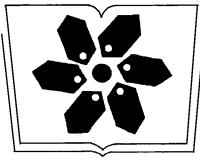
(Shengtai Xuebao)

第 30 卷 第 21 期
Vol.30 No.21
2010



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 30 卷 第 21 期 2010 年 11 月 (半月刊)

目 次

棉铃虫幼虫对人类呈味物质的取食反应.....	李为争,付国需,王英慧,等 (5709)
西藏拉萨机场周边风沙源空间分布及演变趋势.....	李海东,沈渭寿,邹长新,等 (5716)
新疆沙湾冷泉沉积物的细菌系统发育多样性.....	曾 军,杨红梅,徐建华,等 (5728)
应用鱼类完整性评价体系评价辽河流域健康.....	裴雪姣,牛翠娟,高 欣,等 (5736)
不同海拔天山云杉叶功能性状及其与土壤因子的关系.....	张慧文,马剑英,孙 伟,等 (5747)
滨河湿地不同植被对农业非点源氮污染的控制效果.....	徐华山,赵同谦,贺玉晓,等 (5759)
内蒙古温带荒漠草原能量平衡特征及其驱动因子.....	阳伏林,周广胜 (5769)
南北样带温带区栎属树种功能性状对气象因子的响应.....	冯秋红,史作民,董莉莉,等 (5781)
伏牛山自然保护区物种多样性分布格局.....	卢训令,胡 楠,丁圣彦,等 (5790)
减弱 UV-B 辐射对烟草形态、光合及生理生化特性的影响	陈宗瑜,钟 楚,王 毅,等 (5799)
川西亚高山针阔混交林乔木层生物量、生产力随海拔梯度的变化	刘彦春,张远东,刘世荣,等 (5810)
三峡库区消落带水淹初期地上植被与土壤种子库的关系.....	王晓荣,程瑞梅,肖文发,等 (5821)
洞庭湖西岸区防护林土壤和植物营养元素含量特征.....	柏方敏,田大伦,方 晰,等 (5832)
择伐对阔叶红松林主要树种径向与纵向生长的影响.....	蒋子涵,金光泽 (5843)
野鸭湖典型湿地植物光谱特征.....	刘 克,赵文吉,郭逍宇,等 (5853)
三种线性模型在杉木与马尾松地位指数相关关系研究中的比较.....	朱光玉,吕 勇,林 辉,等 (5862)
不同干扰类型下羊草种群的空间格局.....	陈宝瑞,杨桂霞,张宏斌,等 (5868)
基于 SWAT 模型的祁连山区最佳水源涵养植被模式研究——以石羊河上游杂木河流域为例	王军德,李元红,李赞堂,等 (5875)
2D 与 3D 景观指数测定山区植被景观格局变化对比分析	张志明,罗亲普,王文礼,等 (5886)
基于投影寻踪的珠江三角洲景观生态安全评价	高 杨,黄华梅,吴志峰 (5894)
海峡两岸 16 个沿海城市生态系统功能比较	张小飞,王如松,李 锋,等 (5904)
同安湾围(填)海生态系统服务损害的货币化预测评估	王 萱,陈伟琪,张璐平,等 (5914)
太阳辐射对玉米农田土壤呼吸作用的影响	孙敬松,周广胜,韩广轩 (5925)
水分胁迫下 AM 真菌对沙打旺生长和抗旱性的影响.....	郭辉娟,贺学礼 (5933)
宁夏南部旱区坡地不同粮草带比间作种植模式比较.....	路海东,贾志宽,杨宝平,等 (5941)
节节草生长对铜尾矿砂重金属形态转化和土壤酶活性的影响.....	李 影,陈明林 (5949)
自然植物群落形成过程中铜尾矿废弃地氮素组分的变化	安宗胜,詹 婧,孙庆业 (5958)
硅介导的水稻对二化螟幼虫钻蛀行为的影响	韩永强,刘 川,侯茂林 (5967)
饥饿对转基因鲤与野生鲤生长竞争和性腺发育的影响.....	刘春雷,常玉梅,梁利群,等 (5975)
专论与综述	
河流水质的景观组分阈值研究进展	刘珍环,李 猷,彭 建 (5983)
研究简报	
长期模拟增温对岷江冷杉幼苗生长与生物量分配的影响	杨 兵,王进闯,张远彬 (5994)
环境因素对长额斗蟋翅型分化的影响	曾 杨,朱道弘,赵吕权 (6001)

河流水质的景观组分阈值研究进展

刘珍环^{1,2}, 李 猷², 彭 建^{1,2,*}

(1. 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室, 中国农业科学院农业资源与农业区划研究所, 北京 100081;

2. 地表过程分析与模拟教育部重点实验室, 北京大学城市与环境学院, 北京 100871)

摘要: 土地利用/覆被变化产生的区域生态环境负面效应已引起国内外研究者的广泛关注, 其中, 河流水质对景观组分变化的响应已在区域及更大尺度的研究中, 成为热点。探讨河流水质的景观组分阈值, 可以弥补非点源污染研究在区域尺度上的景观变化影响水质问题研究中的不足, 而这是当前流域水环境管理及土地利用规划与管理的主要依据之一。从景观组分指数与水质指标出发, 分析了当前研究的常用指标, 认为: 具有明确物理意义的景观组分指数, 如不透水表面指数、植被指数等, 受到水质的景观组分阈值研究的青睐; 在水质指标中, 水化学指标应用最为广泛, 同时, 表征水生生态系统条件的如生物类指标、综合生物类与非生物类指标, 也逐渐受到重视, 方兴未艾。尽管河流水质的景观组分阈值是当前的研究重点, 但在区域以及更大尺度上, 阈值的差异较大。在今后的研究中, 水质退化的景观组分阈值还需在研究尺度、水质指标及阈值标准等问题上进一步深化, 而景观格局指数的应用将会促进对水质退化受景观组分空间配置影响的研究。对水质的景观组分阈值研究进行综述, 可以为区域尺度上开展水质保护、流域水环境管理及土地利用规划提供前沿信息。

关键词: 景观组分; 河流水质; 阈值

The landscape components threshold of stream water quality: a review

LIU Zhenhuan^{1,2}, LI You², PENG Jian^{1,2,*}

1 Key Laboratory of Resources Remote Sensing & Digital Agriculture, Ministry of Agriculture, Institute of Agricultural Resources and Regional Planning, Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China

2 Laboratory for Earth Surface Processes, Ministry of Education, College of Urban and Environmental Science, Peking University, Beijing 100871, China

Abstract: This review aims to provide the frontier information of relationship between landscape change and water quality in order to obtain more attention of domestic researchers in this field, and to make a theoretical foundation of the case study in the future. The negative impacts of land use/cover change on regional ecological environment quality have been widely discussed throughout the world and have generated many debates in numerous valuable researches. In addition, the impacts of landscape component on water quality have become the specifically research hot spot in the regional and larger scale. It is necessary and valuable to discuss the issue of landscape threshold for two important reasons. On the one hand, the research of landscape threshold of water quality is beneficial for the further research of land use/cover change impact on water quality at regional scale; on the other hand, it helps the researchers and government officials to understand the scientific bases of water quality management, land use planning and management. This paper summarized landscape components indicators and water quality indicators used to analyze the relationship between landscape change and stream water quality. The landscape components indicators, such as impervious surface area (ISA), Vegetation index, and land use/cover categories components, are widely used to represent landscape component in watershed, which can effectively express urban land, agriculture land and forest land. The researchers usually prefer to use those indicators with physical meanings such as ISA and Normalized difference vegetation index (NDVI). There are four kinds of indicators to represent stream water quality, which are physical indicators, chemistry indicators, biological and integrated chemical indicators and biological indicators.

基金项目: 农业部资源遥感与数字农业重点开放实验室开放课题项目; 国家自然科学基金资助项目(40801066)

收稿日期: 2010-06-11; **修订日期:** 2010-10-08

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: jianpeng@urban.pku.edu.cn

Chemical indicators are still the most popular indices because they could be obtained conveniently and economically. Meanwhile, those indicators which could indicate aquatic ecosystems conditions such as biological indicators, Index of Biological Integrity (IBI) are also extensively used. The current researches of the relationship between landscape change and stream water quality focused on threshold value, however, at the regional and larger scale, the threshold varied greatly because of the geographical background differences of study areas. In the further study, the researches of landscape component threshold of degraded water quality should be enhanced from three aspects, (1) the research scale, (2) water quality indicators, and (3) the criterion of threshold. The application of landscape pattern indicators in landscape component threshold will promote the research about how landscape spatial pattern will influent stream water quality, which is the key issue in the field of water quality protection, water environment management and watershed land use planning at the regional and larger scale.

Key Words: landscape component; stream water quality; threshold

土地利用/覆被变化对区域生态环境产生的消极影响已引起国内外研究者的广泛关注,其中河流水质受流域人为活动影响已是不争的事实,但其影响机理及效应尚未明晰^[1]。单纯的评价水质、污水治理及湖库水资源保护等管理措施不足以面对快速城市化过程中面临的区域水资源匮乏、水质恶化、水生生态系统退化等问题,急需区域尺度上的管理与规划方法调控流域水质污染^[2]。土地利用/覆被变化体现了人类活动对地表的能动作用,尤其在人类活动强度较大的地区,土地利用/覆被的快速变化甚至彻底改变了地表物质组成与结构,对水环境质量产生显著影响^[3],表现为通过改变水体物理、化学性质以及生物属性,产生非点源污染,进而加重流域非点源污染负荷,导致区域水质退化及富营养化^[4-5]。

当前,区域水质受土地利用/覆被变化影响的研究主要集中在两个方面,即流域尺度上的水文水质模拟预测与区域尺度上的景观水质关联分析。流域尺度上,河流水质除了受到点源污染的影响,还受到非点源污染的影响。在许多地区,点源污染得到有效控制,而非点源污染,因其污染的广泛性、随机性,已成为影响水质的重要污染源之一,日益受到重视,而景观变化是影响非点源污染负荷的主要因素之一^[6-7]。流域尺度上运用经验与机理水质模型分析水质问题,非点源污染负荷模拟是当前研究城市水质污染的主要热点之一^[8],但其缺陷主要表现在:首先是非点源污染负荷模型只能解决的是流域尺度的问题而难以解决区域尺度的水质退化^[9];其次是模型以经验模型为主,机理过程模型尚未成熟,经验模型不具有普适性,应用到其它地区难以获得信服的结论^[10];再次非点源污染负荷模型需要的模型参数众多,模拟难度大^[11]。探讨河流水质的景观组分阈值,可以弥补目前非点源污染研究在区域尺度上的不足,也有助于为流域水环境管理及土地利用规划与管理提供依据^[12]。

水质受景观组分变化的影响,已成为区域及更大尺度上土地利用/覆被变化的生态环境效应研究的热点,但景观组分与水质之间的关联关系、影响形式、影响距离及影响阈值水平等还属于难点问题^[13]。区域水质的景观组分阈值研究在国内尚未有报道,本文旨在通过整理和分析国际相关文献,为国内相关领域,在研究区域尺度上景观格局演变的水环境效应、流域水环境管理与土地利用规划等方面提供前沿信息。

1 景观组分指数

在研究景观组分与水质的关系时,常用景观组分指数表征景观组分,包括不透水表面百分比指数(imperious surface area,简称ISA)、植被指数(NDVI)、不同土地利用/覆被类型的组分比例等。其中,ISA用于表征地表覆被的城市化程度,植被指数用于分析流域或河岸带的生态条件,土地利用/覆被类型的组分比例采用某覆被类型面积占总面积的百分比表示。

1.1 不透水表面指数

不透水表面(imperious surface,简称IS)是城市中一种人工地表特征,隔离地表水下渗到土壤,割断城市地表与地下水文联系,主要由城市中的道路、停车场、广场及屋顶等建筑物组成^[14]。不透水表面是城市环境

变化的主要因素之一,对城市地区的降雨、径流、污染、生态系统等在数量和质量上产生深刻的影响,是流域尺度研究与管理需要面对的重要问题^[15],也是一个城市可持续发展及自然资源规划的关键性环境指标^[16]。不透水表面地区增大了径流量及温度,增加了径流中的沉积物及污染物数量以及自然景观的破碎度^[17]。不透水表面指数 (ISA) 是指单位面积内不透水表面地表所占的面积比例,不仅可表示城市化程度,还可作为衡量环境质量的指标^[18]。

不透水表面指数在表征城市地区的流域内人类活动强度方面具有显著优势,因此常用于表征流域景观要素,在城市地区、高度城市化流域的水质及水生生态系统退化研究中(如美国的 Chesapeake 湾流域^[19])应用广泛。不透水表面是城市地区地表覆被的主要类型,是控制土壤持水量,径流量及洪峰流量的主要因素^[20]。许多研究表明,不透水表面是评价城市化过程导致水质退化的重要地表覆被因子^[12]。

1.2 植被指数

植被指数是植被生长状态及植被盖度的最佳指示因子。目前广泛应用的是归一化植被指数 (NDVI)。NDVI 是监测地区、全球植被和生态环境变化的有效指标,因此 NDVI 适用于大尺度上的植被动态监测及土地利用/覆被变化的指示,可以作为流域生态条件的环境指标,反映流域植被覆盖的生物物理条件。流域植被覆盖是影响河流径流及水质的因素之一^[21],因此常用于河岸带植被及植被盖度变化明显区域的水质或水生生态系统研究中,如 Shanadasa 等人^[22]以 Puget Sound 流域为例,建立植被破碎度、植被盖度与河流生态指标之间的关系,认为上游子流域的植被破碎度和河岸带的植被盖度与水生生态质量的变化有显著关系。研究景观与河流水质的关系中,植被指数在未受人类活动干扰地区具有良好的适用性,但在人类活动强度较大的地区,由于流域地表覆被状况较为复杂,植被盖度减少对河流水质的影响远不及其他土地覆被类型的变化,植被指数很难有效表征景观与水质关系,因此植被指数应用范围较小。

1.3 土地利用/覆被组分指数

土地利用/覆被组分指数表征的是一个区域内的不同土地利用/覆被类型的比例。土地利用/覆被分类是当前研究土地利用/覆被变化的常用方法,但在不同研究区内,土地利用/覆被类型复杂多样,分类标准难以统一。应用土地利用/覆被组分指数分析水质变化时,必然受到土地覆被分类的影响,目前的研究多集中于城市用地^[23-25]、城乡交错带区^[26]、农业用地^[27]及林地^[22]等类型。

利用土地利用/覆被组分指数,分析区域景观水质关系,一般通过统计回归方法获得两者之间的关联关系,例如 Mehaffey^[28]运用逐步回归分析方法研究了纽约地区的水源地流域的土地利用与水质关系,认为建设用地比例和农业用地比例与水质指标关系密切,但是农业用地的贡献程度随时间增长有降低趋势;Jung 等人^[29]研究认为农业用地比例与水质呈负相关,居住用地比例与水质呈正相关。然而,简单的组分比例关系,无法获得景观组分影响水质的阈值,特别是在城市与农业地区。

对于景观组分指数而言,不透水表面指数常用于表征城市化地区的流域景观组分,并且因其明确的物理意义,在研究城市化过程对河流水质的影响方面应用较多;植被指数常应用于大中尺度(如生态区、河岸带或是海岸带)的研究中,其优势在于能够有效表征区域或河岸带内的自然植被状况变化及其对河流水质的影响,然而,在城市化程度较高的流域地区应用效果较差;土地利用/覆被组分指数常用于城乡过渡带或农牧地区的流域水质研究,其优点是能够有效地分析土地利用/覆被变化导致河流水质退化的主导组分,缺点是难以表征流域内空间格局对水质的影响程度。因此在河流水质的景观组分阈值研究中,ISA 较适用于高度城市化流域,植被指数适用于植被盖度高度流域,而土地利用/覆被组分指数适用于农业程度高的流域。

2 水质指数

如果不控制流域的人类活动影响,即使治理措施得当,也不能缓解河流下游地区的水生生态系统的退化^[30],因此急需在区域尺度上从土地利用/覆被角度控制流域人类活动,进而管理水环境。水质广义上包括水体物理、化学及生物等属性特征的质量^[31]。土地利用与河流生态系统的物理、化学及生态特征变化有很大的关系,且河流上游的土地利用格局直接影响到全流域的河流功能、退化及恢复潜力;而河流水生生态系统的

条件反映了景观变化对水质的累积影响,可以用于表示土地利用活动的水质效应。

2.1 物理指标

河流的物理变化包括水温、河流加宽及截弯取直、侵蚀及沉积速率增加等等^[32-33],这些变化会改变水文循环。当前研究景观变化导致河流物理指标改变的方法主要有:(1)河流内部流量方法,常用指标为对比历史流量变化及水力指标。Richer 等人^[34]运用水文变化指数包含水力几何参数(例如河流的潮湿度、水位深度、流速)的输出及最小允许基流的统计说明河流变化受人类活动的影响^[35]。(2)自然栖息地质量方法,是目前评价河流物理属性变化应用广泛的方法^[36],但其构成指标尚未统一。国际地理科学联合会运用一系列指数评价时空尺度下的水生生态环境如沉积物序列及成分、土壤与沉积物侵蚀、河流流量、河流渠道形态、河流沉积物存储与载荷、地表水质量、洪积平原和湿地的水文状况构成栖息地指数评价河流变化。英国环境部的河流栖息地调查分析了河渠、河岸、河流临近 500m 内的土地利用情况对河流变化的影响^[37]。美国环保部的快速评价方法将底层土壤、河流内覆盖、河渠形态及河岸结构组合成栖息地质量指标^[38],用于评价河流变化。

水质物理指标适合于定性描述,定量较难,但河流栖息地质量评价指数(habitat quality index, HQI)是其中最为方便全面的方法之一,通过野外调查、层次分析或是专家打分评价河流栖息地得分。Morse 等人^[39]的研究认为河流栖息地质量与土地利用密切相关。Lussier^[40]的研究发现河流物理化学指数、栖息地质量、营养物质指数与流域的居住用地比例显著负相关。栖息地质量包括形态结构、水动力、有些还包括水质及水生生物等指标,但目前评价指标及标准不统一仍然是栖息地指数应用的难点。同时,目前河流质量变化研究中的物理指标应用较少,更多关注栖息地质量指标。

2.2 水化学指标

水质的化学变化包括有机物组成水平、pH 值、悬浮物及溶解固体、氮磷等营养物质及重金属含量变化等类型。由于水质指标众多,不同的研究对水化学指标的选择差异较大。Cooper^[41]运用沉积物、富营养化、缺氧化及生物群落结构分析方法分析了 TOC、TON、TS、DOP 在 Chesapeake Bay 的演变过程,认为水质变化与土地利用变化及人口变化关系密切。Wang 等人^[42]通过分析大迈阿密河流域的土地利用与水质的关系,认为传导率是代表水质的很好指标,与流域及上游的城市土地利用类型具有较强的相关性,但传导率并非非点源污染的敏感水质指标。Conway^[43]以新泽西州海岸带为研究区,选择 pH 及电导率为水质指标,分析二者与 ISA 之间的相互关系,认为两者呈强相关性。Xian 等人^[44]以 Tampa Bay 流域为研究区,选择了 BOD₅、TSS、TKN、TN、TDP、Pb、Zn 为非点源水质参数,分析了其污染载荷与 ISA 之间的关系,认为水质与城市土地覆被间存在非线性响应关系。Tu^[45]运用 GIS 及统计方法分析了美国东麻省的城市发展对水质的影响,认为建设用地面积比例与水化学指标有高度的空间相关性。Schoonover^[46]分析土地覆被变化对河流营养元素及大肠菌群变化的影响。水质化学监测具有简单、低成本、技术健全等方面的优势,因此水化学指标是水质研究最为常见的水质指标。然而,当前水质变化研究中过分注重水化学指标的应用,并且化学指标与物理指标的综合性较低,都应该引起相关研究者的重视,而将水化学指标与景观组分关联,进行区域水质的景观组分阈值研究是当前最常用方法。

2.3 生物指标

土地利用/覆被从其它类型转变为建设或农业用地时,会降低河流生态系统的生物多样性,这种关联关系使得生物指标常用作生态阈值的监测性指标。水生生态指标用大型底栖无脊椎动物群落结构、生物完整性指数(IBM),底栖动物完整性指数(B-IBM)等指标来评价水生生态群落的结构及功能。IBM 指数用来评价水生生物的物种丰富度及组成结构,指示物种、营养组成、鱼类丰富度及鱼类多样性。B-IBM 指数自 1990 年代中期用于评价美国太平洋东北部河流的生态条件以来,集成了多种生态条件评价的综合指数。B-IBM 指数采用打分方式来评价流域生态条件,是有效诊断河流生态条件受到影响的因子^[47]。此外,还有河流无脊椎动物预测与分类系统(RIVPACS)等生物指标类型。Alberti 等人^[47]在 Puget Sound 下游地区的研究表明,水生生态系统受

城市地区景观变化影响较大,底栖大型无脊椎动物指标与不透水表面指数、林地景观组分之间关系密切。美国华盛顿州西雅图地区的比较研究发现大型无脊椎动物指标与建设用地面积比例和不透水表面指数呈现高度的线性负相关^[48]。Utz 等人^[49]选择美国 Maryland 地区,通过累计频率分布方法比较了农业用地、城市用地及不透水表面指数梯度变化下的水生无脊椎动物种群的变化响应,发现约 44%—56% 种群对城市用地、不透水表面指数具有负效响应。Karr 等人^[50]对生物指标用于景观水质关系研究进行了深入的探讨,认为生物指标是研究河流水质变化受景观组分影响的最佳指示指标类型。

生物指标可以表征一定时期内流域条件多种变化的综合作用,但也存在一些缺陷。例如计算无脊椎动物指标极其繁琐,难收集数据;结果较定性,区位得分通常是定量的分级,优秀、良、合格及不及格;IBI 等指数依赖一个未受或受轻微到影响系统作为一个基准参考,在高度城市化的研究区中缺少合适的参照河段,就很难指示河流水质为什么退化^[51];另外,一些生物指标在评价水质时不考虑河流自然属性。在大流域尺度上应用的综合生物指标获得结论往往与实际相悖,例如 RIVPACS 用于很小、浅短的流域效果明显,而在大流域的下游河段运用时就发现评价结果偏差明显,这样就误认为人类活动对小流域的影响要小于大流域^[52]。尽管生物指标存在缺陷,但在研究水生生态系统(特别是受人类活动影响的)质量方面,该指标已被广泛应用。

3 水质的景观组分阈值

阈值是当系统质量、性能或征候发生突变时的突变点值,或者当一个环境变量发生较小的变化时,系统产生较大的响应;阈值分析的难点源自非线性动力机制及多因子共同作用于不同时空尺度上的驱动力^[53]。在水质变化科学中,当前重点关注如何防止水生生态系统发生突变。景观组分与水质关联关系往往因区域而有显著差异,其关系表现为非线性、阈值响应,同时,水质标准与决定阈值的景观组分之间具有唯一性,使得阈值应用成为水环境管理中的重大挑战。土地利用/覆被变化引起的水质退化存在不同等级的阈值响应关系,与流域内发生的物理、化学与生态变化紧密相关,因此水质的景观组分阈值研究为水质变化研究提供基础,是定量实施流域管理及城市规划的主要依据^[12]。

一般认为,较低程度的土地利用/覆被变化就可能导致水环境质量退化,当水环境质量退化到一定程度,将导致水生生物的群落受损且无法恢复^[54]。从前人研究的阈值标准来看(表 1),景观组分指数对阈值结果具有重要影响。Arnold 和 Gibbons^[18]认为 ISA 小于 10% 时,水环境质量开始退化;当 ISA 达到 30% 时,水质退化不可逆转;并以此作为河流水质的判断标准,即 ISA 小于 10% 的为“保护性”河流,10%—30% 的为“受影响”河流,超过 30% 的为“退化的”河流。Klein^[55]认为初始的 ISA 最低阈值标准在 15% 左右,而 Schueler^[16]认为影响阈值在 10%—20% 之间。Morse 等^[39]通过总结文献发现大多数研究的最低阈值标准在 5%—25% 之间,超过阈值将导致生物多样性降低、种群密度降低及敏感性物种减少;同时在美国缅因州的研究结果表明,河流昆虫群落的物种丰富度在 ISA 超过 6% 时显著下降,且栖息地质量及水质与不透水表面比例呈现线性关系。Conway^[43]在美国新泽西州海岸带的研究表明,pH 值及电导率表征的水质与不透水表面存在潜在阈值于 2.4% 及 5.1%。Groffman 等人^[53]讨论了如何辨析在生态系统、景观及区域尺度上陆地及水生生态环境中的阈值问题,发现水生生物种群阈值范围为 10%—15%。Ourso 等人^[56]以美国 Alsaska 的 Anchorage 为例,选择了河岸条件、河内基质、水化学指标等指标与流域不透水表面指数关联分析,认为有八个水质指标存在阈值响应关系,阈值平均值范围为 4.4%—5.8%。Lussier 等人^[40]认为水生物种组成变化 ISA 阈值为 8%—47%,而居住用地比例的阈值为 24%—59%。Utz^[49]选择美国 Maryland 地区,发现约 44%—56% 种群对城市发展用地与不透水表面盖度具有水生生物的负效应响应。Theobald 等人^[57]将美国的流域影响按不透水表面比例分为无压力(0—0.9%)、轻度胁迫(1%—4.9%)、受到胁迫(5%—9.9%)、受到影响(10%—24.9%)、及退化(大于等于 25%) 5 个阈值等级。Todd 等人^[58]认为溶解氧的建设用地组分阈值为 7.5%;Limburg^[59]的研究表明鱼类多样性的建设用地组分阈值为 10%,Hicks 和 Larson^[60]的结论表明河流栖息地质量变化地林地组分阈值为 30%—50%。从相关文献中可以看出,景观组分与水质之间的阈值水平存在区域差异,不同的水质指标与不透水表面之间的关系也存在较大差异。由于指标选取以及区域背景存在较大差异,目前关于水质的阈

值水平尚未形成确定性结论。

在景观组分与水质指标之间的阈值关系研究中,不透水表面指数较为常用,阈值变化研究主要集中于变化显著的城市化程度高的流域中;而在农业、森林等土地覆被类型变化不显著的流域研究较少,阈值不显著。一般认为,水化学指标及生物指标表征的水质受不透水表面影响的初始阈值为 5%,而水质退化到不可逆转时的阈值为 30% 左右。但确定水质的影响阈值需要科学地分析水质与不透水表面之间的相互关系,难点在于寻找不透水程度和水质退化界限标准的确定依据^[61]。

4 研究展望

景观组分与水质关系研究在理论与技术方面都有待进一步发展,可以肯定的是,随着水环境长期监测网络的建立、3S 技术的发展以及水文水质模型的完善,必将促进对景观变化的水质效应的深入认识。相关研究需要在以下 4 个方面进行挖掘:

(1) 研究尺度问题 在景观水质关系研究中,空间尺度包含可达尺度、河岸带尺度、流域尺度是 3 种基本尺度^[1],其中河岸带和流域尺度是土地利用/土地覆被变化与水生生态系统响应关系的关注焦点,河岸带尺度的宽度是尺度应用中要面对的问题,常用的河流缓冲区有径流时间缓冲区^[62-63]、河岸植被宽缓冲区^[64]、陆面距离缓冲区^[65-66]、欧氏距离缓冲区等多种形式^[67]。然而,水质的景观组分阈值会随空间尺度变化而变化^[49],因此区域尺度与大尺度的研究日益受到重视^[21]。其中,区域尺度包括生态区或者大流域,大尺度包括大陆尺度(如美国大陆尺度)。Goldstien 等人^[68]的研究表明,在生态区及大陆两种尺度上,环境条件是决定河流质量的重要因子,而土地利用变化的影响不明显;但随着大陆尺度降到生态区尺度时,土地利用变化影响的显著性在增强。

年内时间尺度是研究水质动态的最佳尺度,水质随季节变化亦有明显的分异现象。Griffith 等^[69]认为 NDVI 与河流条件参数存在显著性相关,早春 NDVI 值关联的绿色开始时间是与河流数据普遍关联的变量。流域对不同的元素流可能存在不同的影响。Gergel 等人^[70]认为在时间尺度上,流域的湿地面积比例对水质的影响秋季大于春季。Ahearn 等人^[71]发现河流 N 营养元素与草地在年际尺度上呈正相关关系,而与在旱季呈负相关效应。Pan 等人^[72]认为不同尺度下,农业用地对河流栖息地与生物种群的重要性不一致,而水化学指标对农业用地比例的变化存在时间尺度及空间尺度效应。因此,土地利用/覆被变化与水质变化关系,明显受到空间尺度及季节变化的影响。不同的空间尺度下,二者具有不同的响应关系,同样,季节变化导致二者在时间上的响应关系存在差异。

(2) 将景观格局指数应用于河流水质研究 Griffith^[21]认为在大尺度上的景观水质关系研究中,景观生态学方法日益重要。景观格局指数用来表征流域内的景观空间配置关系,能够补充土地利用变化监测结果,定量研究人类活动对河流水质的影响^[85]。当前景观格局指数因其生态环境意义不明而饱受诟病^[86],但景观格局指数依然是分析景观与生态环境变化之间关系的有效工具之一,只要明确了景观格局指数的生态环境意义,其在分析景观组分与水质关系方面将会大有作为^[85]。不透水表面指数、植被指数及土地利用/覆被类型比例指数虽然能部分代表当前研究中的景观格局特征,但仍存在局限性。例如,不透水表面指数表征城市化地区的流域效果明显,但在非城市化地区却难以应用;植被指数在研究植被覆盖度较高的流域或河岸带时有良好的效果,但在植被盖度较低的流域,则无法有效表征景观特征;土地利用/覆被类型组分指数虽然能够表征流域内用地的结构,但却忽略了用地类型之间的空间镶嵌格局。在不同时空尺度上,简单定量表征景观组分已不能满足研究要求,还需考虑景观组分的空间构型,因此将景观格局指数应用于景观组分与水质的阈值研究中,将能够有效弥补当前研究对景观构型与空间相互关系的忽视,充分发挥景观生态学中空间镶嵌体的整体思想在河流水质研究中的作用。相关研究案例也初步表明,土地利用邻接关系对水质变化产生影响^[87],景观格局与水质之间具有显著的关联关系^[88-89]。

(3) 水质指标的应用 当前研究河流水质时,根据研究目标的不同,可以将水环境研究中的指标分为 4 类,生物类指标、物理指标、化学指标及生物类与非生物类综合指标。此 4 类指标是当前国内外常用于表示河

表 1 河流水质退化的景观组分阈值研究结果总结

Table 1 Summary of degradation threshold of water quality in different research literature

河流影响参数类型 Parameter types of stream water quality	水质指标 Stream water quality indicators	景观组分指标 Landscape component indicators	水质退化的 景观组分阈值/% Percentage landscape component threshold for degradation	参考文献 Reference study
非生物指标-化学属性类指标 Abiotic-chemical	营养污染物	不透水表面指数	42	[73]
	磷		45	[74]
	TP 及 TSS 的富营养化		30	[58]
	水质化学类指标		45	[74]
	溶解氧		10	[74]
	溶解氧	建设用地组分	7.5	[58]
	极低溶解氧	不透水表面指数	43	[73]
	重金属		50	[75]
	Zn		40	[75]
	河流沉积物中的重金属		7.5—8.1	[56]
非生物指标-物理属性指标 Abiotic-physical	pH 值及电导率		2.4—5.1	[43]
	基流量	不透水表面指数	45	[55]
	河流径流量		>21	[75,76]
	洪峰流量		4.6	[30]
	河岸侵蚀及扩大	建设用地	34	[77]
		不透水表面指数	8—10	[78]
			30	[74]
			10	[30]
	栖息地质量	不透水表面指数	4—9	[79]
		林地组分	30—50	[60]
生物指标 Biotic	悬浮物及沉积物	不透水表面指数	20	[79]
			50	[75]
			43	[73]
	底栖无脊椎动物	不透水表面指数	8	[75]
			15	[55]
	鱼类多样性	建设用地	10	[59]
		不透水表面指数	8	[80]
			12	[54]
			3.6	[30]
			10	[81]
IBI	城市建设用地	8	[82]	
总生物类群丰富度	不透水表面指数	1.2—3.4	[56]	
大型底栖无脊椎动物		8—15	[83]	
河流昆虫种群丰富度		6	[39]	
水生物种组成变化	不透水表面(居住用地)	8—47 (24—59)	[40]	
水生物种多样性	不透水表面指数	10—15	[78]	
生物与非生物指标综合指标 Integrated Abiotic and biotic	IBI, 栖息地质量	不透水表面指数	10—20	[83]
	水深变化及指标		12	[84]

流水质的指标,其中化学类指标在我国应用广泛,但这类指标的最大缺陷在于无法有效表征河流水生生态系统健康的属性。鉴于阈值作为体现生态系统健康标准的重要参数,因此水生生态系统健康将是今后景观水质关系研究的重要考察标准。而由生物类与非生物类指标综合而成的水质指标,如 I-IBI,能够全面表征河流生

态系统健康,将在河流水质研究中被广泛应用。

(4) 阈值标准 河流水质的景观组分阈值是制定流域管理政策的标准之一。如果要将阈值标准进行推广,就需要深入研究不同区域的阈值标准,特别是发达、发展中以及快速城市化地区等景观异质性强、发展不平衡的区域,水质的景观组分阈值具有较大差异。在给定景观组分情景下,存在阈值使得水质快速恶化,但阈值的精确程度却随着区域变化而变化,因此深入分析比较不同区域水质的景观组分阈值,有利于阈值标准的统一,也有利于阈值在规划管理中的应用。

综上所述,景观组分指标中具有明确物理意义的,如不透水表面指数、植被指数等受到阈值研究的青睐。水质指标中,表征水生生态系统条件的水质指标如生物类指标、综合生物类与非生物类指标应用广泛,而应用最为广泛的依然是水化学指标。水质退化的景观组分阈值是定量实施流域管理及城市规划的主要依据之一。在今后的研究中,水质的景观组分阈值研究受到研究尺度选择、水质指标应用及阈值标准设定的影响,而景观格局指数的应用将会促进景观组分空间配置对水质退化影响的研究。

References:

- [1] Allan J D. Landscapes and riverscapes: the influence of land use on stream ecosystems. *Annual Review of Ecology, Evolution, and System*, 2004, 35:257-284.
- [2] Jin W B, Li B L. Development of watershed-scale Landscape-water Quality Models. *Science & Technology Review*, 2008, 26(7):72-77.
- [3] 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.
- [4] Guo X D, Chen L D, Fu B J. Effects of land use/land cover changes on regional ecological environment. *Advances in Environmental Science*, 1999, 7(6):66-75.
- [5] Yu X X, Yang G S, Wang Y. Advances in Researches on environmental effects of land use/cover change. *Scientia Geographica Sinica*, 2004, 24(5):627-633.
- [6] 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.
- [7] Fu B J, Zhao W W, Chen L D, Liu Z F, Lv Y H. Eco-Hydrological effects of landscape pattern change. *Landscape and Ecological Engineering*, 2005, 1(1):25-32.
- [8] Yang L, Ma K M, Guo Q H, Zhao J Z. Impacts of the urbanization on waters non-point source pollution. *Environmental Science*, 2004, 25(6):32-39.
- [9] Nash M S, Heggem D T, Ebert D, Wade T G, Hall R K. Multi-scale landscape factors influencing stream water quality in the state of Oregon. *Environmental Monitoring Assessment*, 2008, DOI: 10.1007/s 10661-008-0489-x
- [10] Chen L D, Tian H Y, Fu B J, Zhao X F. Development of a new index for integrating landscape patterns with ecological processes a watershed scale. *Chinese Geographic Science*, 2009, 19(1):037-045.
- [11] Guo Q H, Ma K M, Zhao J Z, Yang L, Yin C Q. A landscape ecological approach for urban non-point source pollution control. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2005, 16(5):977-981.
- [12] Brabec E, Schulte S, Richards P L. Impervious surfaces and water quality: a review of current literature and its implications for watershed planning. *Journal of Planning Literature*, 2002, 16(4):499-514.
- [13] Herlihy A T, Stoddard J L, Johnson C B. The relationship between stream chemistry and watershed land cover data in the Mid-Atlantic Region, U. S. . *Water, Air, and Soil Pollution*, 1997, 105:377-386.
- [14] Stankowski S J. Population density as an indirect indicator of urban and suburban land-surface modifications//U. S. Geological Survey Professional Paper 800-B. Washington, DC: U. S. Geological Survey, 1972.
- [15] Leopold L B. *Hydrology for Urban Land Planning — A Guidebook on the Effects of Urban Land Use*. Washington, DC: USGS Circular 554, 1968.
- [16] Schueler T R. The importance of imperviousness. *Watershed Protection Techniques*, 1994, 1:100-111.
- [17] Carter R W. Magnitude and frequency of floods in suburban areas. U. S.//Geological Survey Paper 424-B, B9-B11. Washington, DC: U. S. Geological Survey, 1961.
- [18] Arnold C L, Gibbons C J. Impervious surface coverage: the emergence of a key environmental indicator. *Journal of the American Planning Association*, 1996, 62(2):243-258.
- [19] Jantz P, Goetz S, Jantz C. Urbanization and the loss of resource lands in the Chesapeake Bay Watershed. *Environmental Management*, 2005, 36(6):808-825.

- [20] Li L J, Jiang D J, Li J Y, Liang L Q, Zhang L. Advances in hydrological response to land use/land cover change. *Journal of Natural Science*, 2007, 22(2):211-224.
- [21] Griffith J A, Martinko E A, Whistler J L, Price K P. Interrelationships among landscapes, NDVI, and stream water quality in the U. S. Central Plains. *Ecological Applications*, 2002, 12(6): 1702-1718.
- [22] Shandasa V, Alberti M. Exploring the role of vegetation fragmentation on aquatic conditions: Linking upland with riparian areas in Puget Sound lowland streams. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 90: 66-75.
- [23] Groffman P M, Law N L, Belt K T, Band L E, Fisher G T. Nitrogen fluxes and retention in urban watershed ecosystems. *Ecosystems*, 2004, 7: 393-403.
- [24] Beyene A, Legesse W, Triest L, Kloos H. Urban impact on ecological integrity of nearby rivers in developing countries: the Borkena River in highland Ethiopia. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2008, DOI 10.1007/s10661-008-0371-x.
- [25] Tavernia B G, Reed J M. Spatial extent and habitat context influence the nature and strength of relationships between urbanization measures. *Landscape and Urban Planning*, 2009, doi:10.1016/j.landurbplan.2009.02.003.
- [26] Yu X J, Ng C N. Spatial and temporal dynamics of urban sprawl along two urban-rural transects: A case study of Guangzhou, China. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 79(1): 96-109.
- [27] Cao Y, Williams D D, Williams N E. Williams, Data transformation and standardization in the multivariate analysis of river water quality. *Ecological Applications*, 1999, 9(2): 669-677.
- [28] Mehaffey M H, Nash M S, Wade T G, Ebert D W, Jones K B, Rager A. Linking land cover and water quality in New York City's water supply watershed. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2005, 107:29-44.
- [29] Jung K W, Lee S W, Hwang H S, Jang J H. The effects of spatial variability of land use on stream water quality in a coastal watershed. *Paddy Water Environment*, 2008, 6: 275-284.
- [30] Booth D B, Jackson C R. Urbanization of aquatic systems: Degradation thresholds, stormwater detection and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association*, 1997, 33(5):1077-1090.
- [31] Walsh C J. Urban impacts on the ecology of receiving waters: a framework for assessment, conservation and restoration. *Hydrobiologia*, 2000, 431: 107-114.
- [32] Booth D. Stream-channel incision following drainage-basin urbanization. *Water Resource Bulletin*, 1990, 26: 407-417.
- [33] Arnold D G, Boison P J, Patton P C. Sawmill Brook: An example of rapid geomorphic change related to urbanization. *Journal of Geology*, 1982, 90: 155-166.
- [34] Richter B D, Baumgartner J V, Powell J, Braun D P. A method for assessing hydrologic alteration within ecosystems. *Conservation Biology*, 1996, 10: 1163-1174.
- [35] Jowett I G. Instream flow methods: a comparison of approaches. *Regulated Rivers: Research and Management*, 1997, 13:115-127.
- [36] Gergel S E, Turner M G, Miller J R, Melack J M, Stanley E H. Landscape indicators of human impacts to riverine systems. *Aquatic Sciences*, 2002, 64:118-128.
- [37] Fox P J A, Naura M, Raven P. Predicting habitat components for semi-natural rivers in the United Kingdom//Leclerc M, Capra H, Valentin S, Boudreault A, Cote I, eds. *Proceedings of the 2nd International Conference on Habitats and Hydraulics*, Vol B., Quebec, CA: INRS-Eau, FQSA, IAHR/AIRH, 1996:149-162.
- [38] Madhavan B B, Kurisaki K S N, Sivakumar T V L N. Appraising the anatomy and spatial growth of the Bangkok metropolitan area using a vegetation- impervious-soil model through remote sensing. *International Journal of Remote Sensing*, 2001, 22(5):789- 806.
- [39] Morse C C, Huryn A D, Cronan C. Impervious surface areas as a predictor of the effects of urbanization on stream insect communities in Maine, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, 89:95-127.
- [40] Lussier S M, da Silva S N, Charpentier M. The influence of suburban land use on habitat and biotic integrity of coastal Rhode Island streams. *Environmental Monitor Assessment*, 2008, 139: 119-136.
- [41] Cooper S R. Chesapeake Bay watershed historical land use: impact on water quality and diatom communities. *Ecological Applications*, 1995, 5(3): 703-723.
- [42] Wang X, Yin Z. Using GIS to assess the relationship between land use and water quality at a watershed level. *Environment International*, 1997, 23(1): 103-114.
- [43] Conway T M. Impervious surface as indicator of pH and specific conductance in the urbanizing coastal zone of New Jersey, USA. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85:308-316.
- [44] Xian G, Crane M, Su J. An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85:965-976.
- [45] Tu J, Xia Z G, Clarke K C, Frei A. Impact of urban sprawl on water quality in Eastern Massachusetts, USA. *Environmental Management*, 2007, 40: 183-200.
- [46] Schoonover J, Lockaby B G, Pan S. Changes in chemical and physical properties of stream water across an urban-rural gradient in western Georgia.

- Urban Ecosystems, 2005, 8: 107-124.
- [47] Alberti M, Booth D., Hill K, Coburn B, Avolio C, Coe S, Spirandelli D. The impact of urban pattern on aquatic ecosystems: An empirical analysis in Puget lowland sub-basins. *Landscape and Urban Planning*, 2007, 80:345-361.
- [48] Morley S A, Karr J R. Assessing and restoring the health of urban streams in the Puget Sound Basin. *Conservation Biology*, 2002, 16:1498-1509.
- [49] Utz R M, Hilderbrand R H, Boward D M. Identifying regional differences in threshold responses of aquatic invertebrates to land cover gradients. *Ecological Indicators*, 2009, 9:556-567.
- [50] Karr J R, Chu E W. Sustaining living rivers. *Hydrobiologia*, 2000, 422: 1-14.
- [51] Harris J H, Silveira R. Large-scale assessments of river health using an Index of Biotic Integrity with low-diversity fish communities, *Freshwater Biology*, 1999, 41:235-252.
- [52] Petts G E. Historical analysis of fluvial hydrosystems//Petts G E, Moller H, Roux A L, eds. *Historical Change of Large Alluvial Rivers: Western Europe*. Chichester: Wiley, 1989:1-18.
- [53] Groffman P M, Baron J S, Blett T. Ecological thresholds: the key to successful environmental management or an important concept with no practical application? *Ecosystem*, 2006, 9: 1-13.
- [54] Booth D B, Jackson C R. Urbanization of aquatic systems: Degradation thresholds, stormwater detection and the limits of mitigation. *Journal of the American Water Resources Association*, 1997, 33(5):1077-1090.
- [55] Klein R D. Urbanization and stream quality impairment. *Water Resources Bulletin*, 1979, 15(4): 948-63.
- [56] Ourso R T, Frenzel S A. Identification of linear and threshold responses in streams along a gradient of urbanization in Anchorage, Alaska. *Hydrobiologia*, 2003, 501: 117-131.
- [57] Theobald D M, Goetz S J, Norman J B, Jantz P. Watersheds at risk to increased impervious surface cover in the conterminous United States. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2009, 14 (4):362-368.
- [58] Todd D A, Benient P B, Haasbeek J F, Noell J. Impact of land use and NPS loads on lake quality. *Journal of Environmental Engineering*, 1989, 115(3): 633-49.
- [59] Limburg K E, Schmidt R E. Patterns of fish spawning in Hudson River tributaries: Response to an urban gradient? *Ecology*, 1990, 71(4):1238-45.
- [60] Hicks A L, Larson J S. Impacts of urban storm water runoff on freshwater wetlands and the role of aquatic invertebrate bioassessment//Roesner L A ed. *Effects of Watershed Development and Management on Aquatic Ecosystems*. New York: American Society of Civil Engineers, 1997.
- [61] Vølstad J H, Roth N E, Mercurio G, Southerland M T, Strelbel D E. Using environmental stressor information to predict the ecological status of Maryland non-tidal streams as measured by biological indicators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, 84: 219-242.
- [62] Baker M E, Weller D E, Jordan T E. Improved methods for quantifying potential nutrient interception by riparian buffers. *Landscape Ecology*, 2006, 21:1327-1345.
- [63] Burcher C L. Using simplified watershed hydrology to define spatially explicit 'zones of influence'. *Hydrobiologia*, 2008, DOI 10.1007/s10750-008-9572-0.
- [64] Houlahan J E, Findlay C S. Estimating the 'critical' distance at which adjacent land-use degrades wetland water and sediment quality. *Landscape Ecology*, 2004, 19:677-690.
- [65] 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.
- [66] Van Sickle J, Johnson C B. Parametric distance weighting of landscape influence on streams. *Landscape Ecology*, 2008, DOI 10.1007/s10980-008-9200-4.
- [67] King R S, Baker M E, Whigham D F, Weller D E, Jordan T E, Kazyak P F, Hurd M K. Spatial considerations for linking watershed land cover to ecological indicators in streams. *Ecological Applications*, 2005, 15(1):137-153.
- [68] Goldstein R M, Carlisle D M, Meador M R, Short T M. Can basin land use effects on physical characteristics of stream be determined at broad geographic scales? *Environmental Monitor Assessment*, 2007, 130: 495-510.
- [69] Griffith J A. Geographic techniques and recent applications of Remote Sensing to Landscape-water quality studies. *Water, Air, and Soil Pollution*, 2002, 138: 181-197.
- [70] Gergel S E, Turner M G, Kratz T K. Dissolved organic carbon as an indicator of the scale of watershed influence on lakes and rivers. *Ecological Applications*, 1999, 9(4): 1377-1390.
- [71] Ahearn D S, Sheibley R W, Dahlgren R A, Anderson M, Johnson J, Tate K W. Land use and land cover influence on water quality in the last free-flowing river draining the western Sierra Nevada, California. *Journal of Hydrology*, 2005, 313: 234-247.
- [72] Pan Y D, Herlihy A, Kaufmann P, Wigington J, van Sickle J, Moser T. Linkages among land-use, water quality, physical habitat conditions and lotic diatom assemblages: A multi-spatial scale assessment. *Hydrobiologia*, 2004, 515: 59-73.
- [73] Griffin D M Jr, Grizzard T J, Randall C W. Analysis of non-point pollution export from small catchments. *Journal of the Water Pollution Control Federation*, 1980, 52(4): 780-90.

- [74] May C W, Horner R R, Karr J R, Mar B W, Welch E B. Effects of urbanization on small streams in the Puget Sound lowland Ecoregion. *Watershed Protection Techniques*, 1997, 2(4): 483-494.
- [75] Horner R R, Booth D B, Azous A, May C W. Watershed determinants of ecosystem functioning // Roesner L A ed. *Effects of Watershed Development and Management on Aquatic Ecosystems*. New York: American Society of Civil Engineers, 1997.
- [76] Krug W R, Goddard G L. Effects of urbanization on stream flow, sediments loads and channel morphology in Pheasant Branch Basin near Middleton, Wisconsin // U. S. Geological Survey Water Resources Investigations Report 85-4068. Madison, WI: U. S. Geological Survey, 1986.
- [77] MacRae C R. Experience from morphological research on Canadian streams: Is control of the two-year frequency runoff event the best basis for stream channel protection? // Roesner L A ed. *Effects of Watershed Development and Management on Aquatic Ecosystems*. New York: American Society of Civil Engineers, 1997.
- [78] Booth D B, Reinelt L E. Consequences of urbanization on aquatic systems-measured effects, degradation thresholds, and corrective strategies // *Watershed 93 Conference Proceedings*, March 21-24. Alexandria, VA: Tetra Tech, 1993.
- [79] Wyzga A M. *The Effects of Urbanization and Fine Sediment Deposition in Puget Sound Lowland Streams*. Seattle: Department of Civil Engineering, University of Washington, 1997.
- [80] Miltner R J. Urbanization influences on biotic integrity in the Cuyahoga River Basin. Paper presented at the 59th Midwest Fish and Wildlife Conference, Milwaukee, WI, 1997.
- [81] Wang L, Lyons J, Kanehl P. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. *Environmental Management*, 2001, 28: 255-66.
- [82] Yoder C O, Edward T R. Assessing the condition and status of aquatic life designated uses in urban and suburban watersheds // Roesner L A ed. *Effects of Watershed Development and Management on Aquatic Ecosystems*. New York: American Society of Civil Engineers, 1997.
- [83] Shaver E, Maxted J, Curtis G. Watershed protection using an integrated approach // Harry C T ed. *Stormwater NPDES Related Monitoring Needs: Proceedings of an Engineering Foundation Conference*. New York: American Society of Civil Engineers, 1995.
- [84] Galli J. *Thermal Impacts Associated with Urbanization and Stormwater Management Best Management Practices*. Washington, DC: Sediment and Stormwater Administration of the Maryland Department of the Environment, Metropolitan Washington Council of Governments, 1990.
- [85] Chen L D, Liu Y, Lv Y H, Feng X M, Fu B J. Landscape pattern analysis in landscape ecology: current, challenges and future. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [86] Kearns F R, Kelly N M, Carter J L, Resh V H. A method for the use of landscape metrics in freshwater research and management. *Landscape Ecology*, 2005, 20: 113-125.
- [87] Tran C P, Bode R W, Smith A J, Kleppel G S. Land-use proximity as a basis for assessing stream water quality in New York State (USA). *Ecological Indicators*, 2010, 10: 727-733.
- [88] Yue J, Wang Y L, Li G C, Wu J S, Xie M M. The influence of landscape spatial difference on water quality at differing scales: a case study of Xili reservoir watershed in Shenzhen City. *Acta Ecologica Sinica*, 2007, 27(12): 5271-5282.
- [89] Yue J, Wang Y L, Li G C, Wu J S, Xie M M. Relationships between landscape pattern and water quality at western reservoir area in Shenzhen City. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 2008, 19(1): 203-207.

参考文献:

- [2] 金卫斌,李百炼. 流域尺度的景观-水质模型研究进展. *科技导报*, 2008, 26(7): 72-77.
- [3] 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.
- [4] 郭旭东,陈利顶,傅伯杰. 土地利用/土地覆被变化对区域生态环境的影响. *环境科学进展*, 1999, 7(6): 66-75.
- [5] 于兴修,杨桂山,王瑶. 土地利用/覆被变化的环境效应研究进展与动向. *地理科学*, 2004, 24(5): 627-633.
- [6] 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. *生态学报*, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [8] 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.
- [11] 郭青海,马克明,赵景柱,杨柳,尹澄清. 城市非点源污染控制的景观生态学途径. *应用生态学报*, 2005, 16(5): 977-981.
- [20] 李丽娟,姜德娟,李九一,梁丽娇,张丽. 土地利用/覆被变化的水文效应研究进展. *自然资源学报*, 2007, 22(2): 211-224.
- [85] 陈利顶,刘洋,吕一河,冯晓明,傅伯杰. 景观生态学中的格局分析: 现状、困境与未来. *生态学报*, 2008, 28(11): 5521-5531.
- [88] 岳隽,王仰麟,李贵才,吴健生,谢苗苗. 不同尺度景观空间分异特征对水体质量的影响——以深圳市西丽水库流域为例. *生态学报*, 2007, 27(12): 5271-5282.
- [89] 岳隽,王仰麟,李贵才,吴健生,谢苗苗. 深圳市西部库区景观格局与水质的关联特征. *应用生态学报*, 2008, 19(1): 203-207.

2008 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊*

(源于 2009 年版 CSTPCD 数据库)

排序 Order	期刊 Journal	总被引频次 Total citation	排序 Order	期刊 Journal	影响因子 Impact factor
1	生态学报	8956	1	生态学报	1.669
2	应用生态学报	7979	2	植物生态学报	1.656
3	植物生态学报	3742	3	应用生态学报	1.632
4	西北植物学报	3584	4	生物多样性	1.474
5	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3460	5	生态学杂志	1.276
6	植物生理学通讯	3187	6	植物学通报	1.058
7	生态学杂志	3148	7	西北植物学报	1.046
8	遗传学报	2142	8	植物生理与分子生物学 学报	1.034
9	植物生理与分子生物学学报	1855	9	遗传学报	0.887
10	昆虫学报	1580	10	遗传	0.835

★《生态学报》2008 年在核心版的 1868 种科技期刊排序中总被引频次 8956 次,全国排名第 2;影响因子 1.669,全国排名第 14;第 1~8 届连续 8 年入围中国百种杰出学术期刊;中国精品科技期刊

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 30 卷 第 21 期 (2010 年 11 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 30 No. 21 2010

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

主 编 冯宗炜
主 管 中国科学技术协会
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

出 版 科 学 出 版 社
地址:北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717

印 刷 北京北林印刷厂
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

订 购 全国各地邮局
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

广告经营 京海工商广字第 8013 号
许 可 证

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

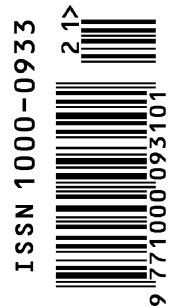
Editor-in-chief FENG Zong-Wei
Supervised by China Association for Science and Technology
Sponsored by Ecological Society of China
Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS
Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China

Published by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North Street,
Beijing 100717, China

Printed by Beijing Bei Lin Printing House,
Beijing 100083, China

Distributed by Science Press
Add:16 Donghuangchenggen North
Street, Beijing 100717, China
Tel:(010)64034563
E-mail:journal@cspg.net

Domestic All Local Post Offices in China
Foreign China International Book Trading
Corporation
Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China



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