

ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 31 卷 第 11 期 Vol.31 No.11 **2011**

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 31 卷 第 11 期

2011 年 6 月 (半月刊)

目 次

微生物介导的碳氮循环过程对全球气候变化的响应·····	沈菊培, 贺纪正 (2957)
巢湖蓝藻水华形成原因探索及“优势种光合假说”·····	贾晓会, 施定基, 史绵红, 等 (2968)
我国甜菜夜蛾间歇性暴发的非均衡性循环波动·····	文礼章, 张友军, 朱 亮, 等 (2978)
庞泉沟自然保护区华北落叶松林的自组织特征映射网络分类与排序·····	张钦弟, 张金屯, 苏日古嘎, 等 (2990)
上海大莲湖湖滨带湿地的生态修复·····	吴 迪, 岳 峰, 罗祖奎, 等 (2999)
芦芽山典型植被土壤有机碳剖面分布特征及碳储量·····	武小钢, 郭晋平, 杨秀云, 等 (3009)
土壤微生物群落结构对中亚热带三种典型阔叶树种凋落物分解过程的响应·····	张圣喜, 陈法霖, 郑 华 (3020)
中亚热带几种针、阔叶树种凋落物混合分解对土壤微生物群落碳代谢多样性的影响·····	陈法霖, 郑 华, 阳柏苏, 等 (3027)
桂西北喀斯特峰丛洼地表层土壤养分时空分异特征·····	刘淑娟, 张 伟, 王克林, 等 (3036)
重金属 Cd 胁迫对红树蚬的抗氧化酶、消化酶活性和 MDA 含量的影响·····	赖廷和, 何斌源, 范航清, 等 (3044)
海南霸王岭天然次生林边缘效应下木质藤本与树木的关系·····	乌玉娜, 陶建平, 奚为民, 等 (3054)
半干旱黄土丘陵区不同人工植被恢复土壤水分的相对亏缺·····	杨 磊, 卫 伟, 莫保儒, 等 (3060)
季节性干旱对中亚热带人工林显热和潜热通量日变化的影响·····	贺有为, 王秋兵, 温学发, 等 (3069)
新疆古尔班通古特沙漠南缘多枝桉柳光合作用及水分利用的生态适应性·····	王珊珊, 陈 曦, 王 权, 等 (3082)
利用数字图像估测棉花叶面积指数·····	王方永, 王克如, 李少昆, 等 (3090)
野生大豆和栽培大豆光合机构对 NaCl 胁迫的不同响应·····	薛忠财, 高辉远, 柳 洁 (3101)
水磷耦合对小麦次生根特殊根毛形态与结构的影响·····	张 均, 贺德先, 段增强 (3110)
应用物种指示值法解析昆崙山植物群落类型和植物多样性·····	孙志强, 张星耀, 朱彦鹏, 等 (3120)
基于 MSIASM 方法的中国省级行政区体外能代谢分析·····	刘 晔, 耿 涌, 赵恒心 (3133)
不同生态区烟草的叶面腺毛基因表达·····	崔 红, 冀 浩, 杨惠娟, 等 (3143)
B 型烟粉虱对 23 种寄主植物适应度的评估和聚类分析·····	安新城, 郭 强, 胡琼波 (3150)
杀虫剂啶虫脒和毒死蜱对捕食蜘蛛血细胞 DNA 的损伤作用·····	李 锐, 李生才, 刘 佳 (3156)
杀真菌剂咪鲜安对萼花臂尾轮虫的影响·····	李大命, 陆正和, 封 琦, 等 (3163)
长、短期连续孤雌生殖对萼花臂尾轮虫生活史和遗传特征的影响·····	葛雅丽, 席貽龙 (3170)
专论与综述	
区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展·····	赵 军, 杨 凯, 邵 俊, 等 (3180)
露水对植物的作用效应研究进展·····	叶有华, 彭少麟 (3190)
葡萄座腔菌科研究进展——鉴定, 系统发育学和分子生态学·····	程燕林, 梁 军, 吕 全, 等 (3197)
人工林生产力年龄效应及衰退机理研究进展·····	毛培利, 曹帮华, 田文侠, 等 (3208)
树木年轮在干扰历史重建中的应用·····	封晓辉, 程瑞梅, 肖文发, 等 (3215)
植物中逆境反应相关的 WRKY 转录因子研究进展·····	李 冉, 娄永根 (3223)
研究简报	
三江源地区高寒草原土壤微生物活性和微生物量·····	任佐华, 张于光, 李迪强, 等 (3232)
3 种黑杨无性系水分利用效率差异性分析及相关 <i>ERECTA</i> 基因的克隆与表达·····	郭 鹏, 夏新莉, 尹伟伦 (3239)
猕猴桃园节肢动物群落重建及主要类群的生态位·····	杜 超, 赵惠燕, 高欢欢, 等 (3246)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 298 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 33 * 2011-06	



封面图说: 盘锦市盘山县水稻田——盘锦市位于辽宁省西南部, 自古就有“鱼米之乡”的美称。这里地处温带大陆半湿润季风气候, 有适宜的温度条件和较长的生长期以供水稻生长发育, 农业以种植水稻为主, 年出口大米达 1 亿多公斤, 是国家级水稻高产创建示范区和重要的水稻产区。

彩图提供: 沈菊培博士 中国科学院生态环境研究中心 E-mail: jpshe@reccs.ac.cn

区域景观格局与地表水环境质量关系研究进展

赵 军^{1,2}, 杨 凯^{2,*}, 邵 俊², 单福征¹

(1. 上海大学环境科学与工程系, 上海 200072;

2. 华东师范大学资源与环境科学学院, 上海市城市化生态过程与生态恢复重点实验室, 上海 200062)

摘要:区域景观格局对地表水环境具有重要影响,20 世纪 70 年代以来国外学者对区域景观格局与地表水水质之间的关系开展了大量研究。在系统梳理景观格局与水质关系的研究思路和技术方法基础上,综合国内外文献探讨了水化学离子、常规污染物、营养物、重金属、有机物、水生生物,直至当前的河流健康等各类水环境指标对景观格局的响应程度,以及景观格局影响水环境的尺度效应问题。当前研究存在划定流域边界未能严格避免流域嵌套及土地利用空间自相关、选择景观格局变量尚未充分重视空间结构和水文地貌因素、数据分析技术多限于半定量分析等问题,尝试提出了相应的解决方案。提出国内研究的发展方向,指出在关注研究区域的流域边界是否明确和点源污染是否得到控制两个理论前提基础上,进一步根据非点源污染物在景观格局中的累积和迁移转化行为特征,进行相应的土地利用景观分类将是十分重要和迫切的基础性工作,提出了将景观格局与过程关系理论应用于城市面源污染调控的关键科学问题,包括非点源与目标水体的空间位置关系、不透水面和透水面的空间格局关系、区域不透垫面比例是否存在阈值,以及设置透水面的最佳空间尺度等。

关键词:景观格局; 水质指标; 梯度分析; 非点源污染; 不透水面

Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality

ZHAO Jun^{1,2}, YANG Kai^{2,*}, TAI Jun², SHAN Fuzheng¹

1 Department of Environmental Science and Engineering, Shanghai University, Shanghai 200072, China

2 Shanghai Key Laboratory of Urbanization Ecological Process and Ecological Restoration, School of Resources and Environmental Science, East China Normal University, Shanghai 200062, China

Abstract: Landscape pattern has a great impact on the surface water quality. Many studies have focused on the relationship between the two aspects since 1970s, especially from the appearance of the landscape ecology method which remarkably promoted the studies after 1990s. This paper firstly reviewed the research theory and method in the related studies in the recent 30 years in abroad and home. It is shown that the landscape pattern metrics in the studies has developed from qualitative analysis, land use configuration, land use spatial pattern, and currently to an integration of landscape pattern and hydro-geomorphy structure, while the focus of surface water quality indices has expanded from hydro-chemical ions, normal pollutants, nutrients, heavy metals, organic pollutants, and currently to aquatic organisms and stream health as well. In the field of hydro-chemical ions, it is found that only qualitative not quantitive method were used just to compare the ion concentrations in different land use area, which may be caused by the lack of landscape theory and GIS technique; In the field of the pollutants, there is an interesting finding that physical indicators such as water temperature, total suspended solid (TSS), conductivity and pH may be more sensitive to the change of landscape pattern than the chemical indicators; In the field of nutrients, it is revealed that there is often a notable difference between N and P in their response to landscape variation, more usually, N is more sensitive than P because of their different source form human activities; and

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40871016);上海市科委科技发展基金项目(09DZ1200901);上海高校选拔培养优秀青年教师科研专项基金(2009);上海大学创新基金项目(2009);上海市重点学科三期(S30109)

收稿日期:2010-02-10; 修订日期:2010-12-31

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: kyang@re.ecnu.edu.cn

in the field of aquatic organisms and stream health, it is emphasized that the impervious area index should be used as a key environmental indicator, in which the threshold effect are of great necessity to be discussed, which often shows that biological indicators are more intended to have a lower threshold than the chemical and hydrological in their response to the change or variation of landscape pattern. Great attention has been paid to the problem of scale effect, however, the results are still confused in the problem of what is an effective scale would represent the most variation of water quality data. Critical techniques were summarized, such as step-wise multi-regression, Pearson relationship, gradient analysis, and model estimation. Some issues are put forward such as (1) watershed embedding and spatial auto-correlation in the delineation of watershed boundary, (2) the spatial configuration and hydro-morphology was often ignored in the selection of landscape metrics, and (3) the qualitative and semi-quantitative analysis method was mostly choused in the data analysis, and corresponding strategies were given. Finally, the prospect of domestic studies is tentatively suggested, which should be based on two theoretical premises, namely whether the watershed boundary could be clearly defined and whether the point pollution in the study area was completely controlled, and the most important is how to define a nice landscape classification system according to the cumulation and transformation activity rules of non-point pollutions in different landscape arrangement. Some key scientific points were proposed for the application of landscape pattern and process theory to urban non-point pollution control, which including how far is the non-point source to the target water, the spatial pattern and threshold of impervious area, and what is the effective scale to setting the pervious area like wetland and riparian buffer zone.

Key Words: landscape pattern; water quality index; gradient analysis; non-point pollution; impervious area

点源污染得到较好控制后,非点源污染对区域地表水环境的影响愈加显著,并逐渐成为影响区域地表水质的主要因素。从景观生态学视角看,非点源污染物在异质斑块间的迁移行为受到不同“源”“汇”斑块的影响和控制,不同“源”“汇”景观的数量比例和空间排列方式,均对地表水环境产生影响^[1-4]。国外学者自 20 世纪 70 年代以来广泛关注区域景观格局的水环境质量响应评价研究,并形成了较为完善的理论和方法体系,发展至今大致可分为 3 个阶段:早期大多仅是对不同土地利用类型区域的水质参数进行简单的定性比较;90 年代以后开始研究区域不同土地利用方式的数量组成与典型污染物浓度的关系;2000 年之后随着景观生态学的迅速发展,景观格局逐渐代替了简单的土地利用组成变量,不同土地利用方式的空间布局对污染物迁移分布的影响开始受到关注。

2000 年后国内开始对土地利用结构与氮磷营养物、重金属、有机物等污染物空间分布的关系开展了一定探索^[5-10],研究方法多为定性或半定量分析方法,研究对象集中于区域土地利用结构对常规环境指标的影响。近期郭青海和马克明^[1,11-12]、岳隽和王仰麟^[13-15]等国内学者开展了丰富的探索性工作。本文以国外研究为重点,在归纳相关研究主要思路和方法的基础上,分析了景观格局与水环境关系研究中所采用的指标体系、分析方法和尺度效应,尝试讨论各研究环节中所存在的突出问题,提出可能的解决手段。结合国内相关研究,讨论了开展相关研究面临的困惑、挑战及对策,以期景观格局与过程关系理论在城市面源污染调控实践中的实际应用和发展提供新的方法论参考。

1 研究思路与方法

1.1 研究思路框架

当前景观格局与水质关系研究的典型技术思路可以归纳如图 1:①获得土地利用数据、环境质量数据及可能需要的流域水文地貌数据。土地利用数据一般可来源于遥感解译数据,值得注意的是,美国学者相关研究的土地利用数据大多直接来自于美国地质调查局 USGS 网站,国内这方面存在困难;环境质量数据大多来自实地监测。需要强调,环境质量数据须为多次规律性监测的平均结果,以避免仅采用一次监测数据所导致的偶然误差;水文地貌数据亦多依据遥感图像根据 GIS 水文分析扩展模块获得,而流速流量等水文数据则多

来自于野外实地监测。②水质断面对应的水文贡献单元边界的确定和景观格局变量选取及计算。水文贡献单元一般即指流域,其界定方法多借助于 ArcGIS 或 ArcView 软件的水文分析模块。在选择景观格局变量后,计算各水文贡献单元的景观格局指数,将水文贡献单元的土地利用、水文地貌、水质数据进行 GIS 空间叠加^[16]。③采用多元分析方法对景观格局与水质关系进行验证和分析。国外研究较多采用传统的相关分析和回归分析来证实两者相关关系,以及通过逐步回归分析来建立显著景观格局变量建立其与水水质参数之间的关联模型,进一步采用梯度分析方法,解析不同景观格局变量对水质空间分异的贡献率。

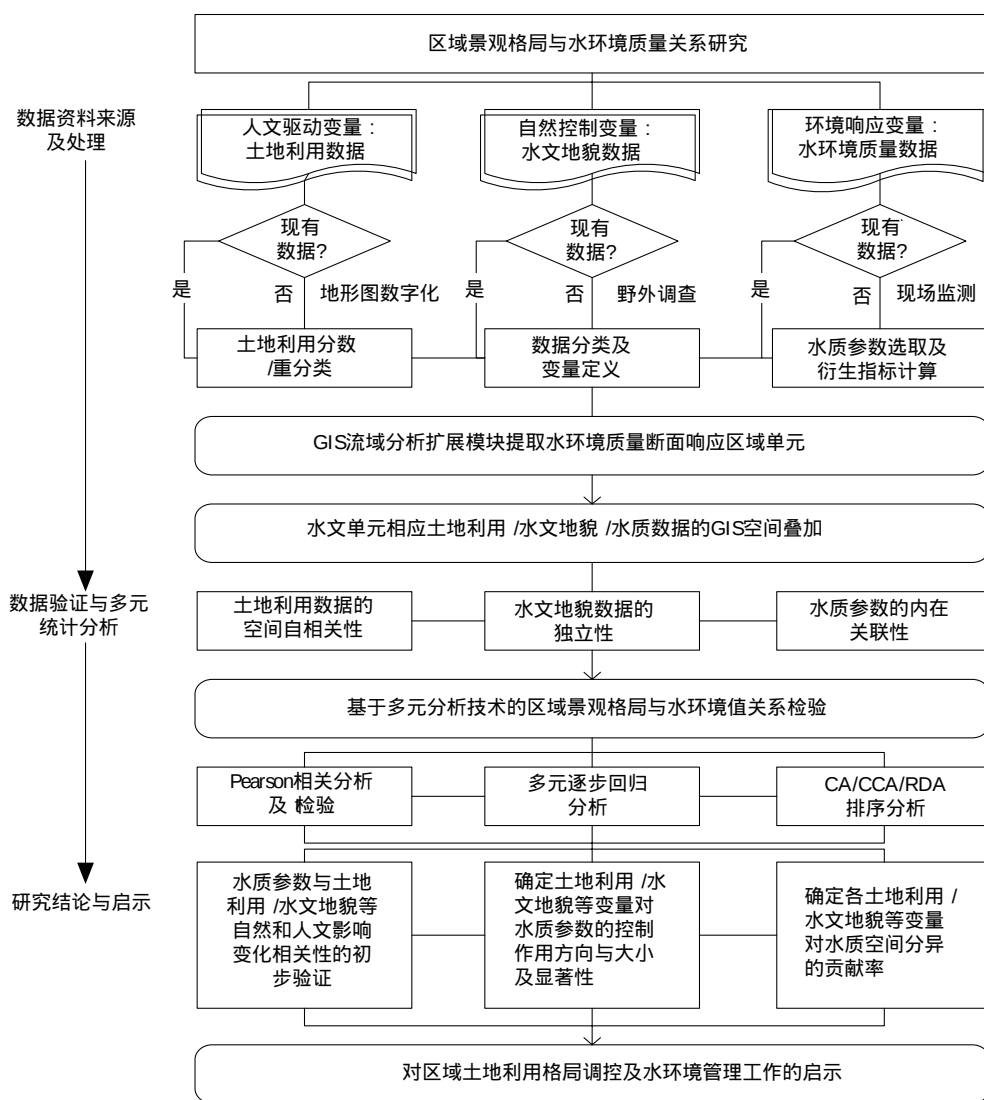


图1 景观格局与水质关系研究的典型思路

Fig. 1 Diagram of technical program of study on relationship between landscape pattern and water quality

1.2 技术方法发展

采用一定数据分析方法对景观格局与地表水水质之间关系进行推绎,是相关研究的关键环节之一,随着景观格局变量的综合化和复杂化,相应的数据分析方法也逐渐得到发展(表1)。景观格局与水质关系研究初期(20世纪70年代和80年代)大多仅是对不同用地类型区域的水质参数进行简单的比较,或采用方差分析、回归分析等方法,证明景观格局变量与水质之间确实存在相关关系,并识别出显著的景观格局变量,但难以解决各变量之间的多重共线性问题,且难以定量区分不同景观格局变量对水质空间分异的贡献。举例而言,在相关分析中已证明一组景观格局变量和水文地貌变量与水质存在显著相关,即对水质空间分异现象具有显著

影响,但不能解释具体某一显著景观格局变量对水质空间分异现象的解释能力^[17-19]。

2000 年之后定量分析主要依赖于两类方法:其一是采用多元统计分析技术,包括传统的相关分析、方差分析、逐步回归分析,和由群落生态学研究领域引入的梯度分析方法如对应分析 CA、典范对应分析 CCA、冗余分析 RDA 等;其二是借助于环境数学模型对区域景观格局变化所起的水环境质量变化进行预测模拟^[20-21],多先采用一定流域不同景观格局多年降水径流关系,在定量评估景观格局变化对流域水量平衡影响的基础上,结合水质模拟模型分析水环境质量变化特征。从已检索文献来看,多元统计分析技术是当前主要方法,模型模拟尚不多见,且已有的模型模拟也多集中于区域土地利用变化所引起的水文效应,环境效应尚不多见。

表 1 3 个发展阶段中相关指标与数据分析方法的发展

Table 1 Metrics, indices and analytical method in the three stages

阶段 Stage	景观格局变量 Landscape metrics	水环境质量指标 Water quality index	数据分析方法 Analysis technique
1970—1990 年	将监测断面设置于不同的主导土地利用类型区域,但未出现土地利用或景观格局变量	NO_3^- 、 SO_4^{2-} 等盐基离子指标; Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 等阳离子指标	仅是对不同用地类型区域的水质参数进行简单的定性比较,较少采用数据分析技术
1990—2000 年	流域或区域内不同土地利用方式的组成比例	DO 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等污染物指标;盐基离子指标; TN 、 TP 等营养物指标	采用相关分析、一元或多元回归分析、逐步回归分析、方差分析等多元分析方法
2000 年—至今	流域或区域内不同土地利用方式的组成比例和空间结构;流域地貌;河流水文;大气沉降和地下水交换等	电导率、 TSS 、 DO 、 $\text{NH}_3\text{-N}$ 等污染物指标; TN 、 IN 、 TP 、 DRP 等营养物指标; Hg 、 Cd 等重金属污染物指标; TOC 、 PAHs 等有机物指标; IBI 和 HI 等生物指标;河流健康综合指标	仍较多采用传统多元分析技术,但梯度分析方法如对应分析 CA、典范对应分析 CCA、冗余分析 RDA 开始得到应用

2 水环境质量对景观格局的响应

区域景观格局与河流水文、物理、化学、生物指标,以及河流健康评价综合指标之间存在的关联关系得到大量关注,归纳起来,区域景观格局对水环境质量的影响主要集中于常规水质理化指标、重金属、营养物、化学离子,以及包涵生物指标、河岸带指标等的综合指标等 5 个方面,其中以常规理化指标和营养物方面的研究较为丰富。

2.1 水化学离子对景观格局的响应

水化学离子与区域景观格局关系研究是早期研究的重点内容,但近年来所受关注已相对较少。Rhodes^[22]在研究美国 Mill River 流域混和型土地利用区域人类活动对河流水化学离子影响时,进行了不同人类活动强度区域内水质断面各类阴离子和阳离子平均浓度与城市用地面积、道路密度等景观指标的相关分析。Zampella^[23]以美国 Mullica River 流域为案例区域,探讨了流域上游土地利用方式对 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 SO_4^{2-} 等水化学离子以及其他营养物指标的影响,结果表明流域水质与上游土地利用方式存在显著关联。早期研究大多仅是对不同土地利用类型区域的水化学离子指标进行定性比较,并重点寻找这些阴阳离子与人类活动排放的关系,所采用的研究方法亦较为简单,基本未涉及景观格局指标。

2.2 常规理化指标对景观格局的响应

常规水质指标始终是相关研究的重点关注对象,Buck^[24]在研究新西兰 South Island 地区农业用地流域景观格局水质关系时,对研究区域各水质断面 DO 、电导率、混浊度、温度、 DRP 、 TN 、 TP 等 12 个常用指标进行了实地监测,采用相关分析方法检验了水质指标与景观格局之间的关联关系。Chattorpadhyay^[25]探讨了快速城市化区域土地利用变化对水质影响时,选择了水质断面的 pH 、 DO 、 Cl 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 等水质参数进行了野外监测,将断面水质参数按所在土地利用类型区域进行平均值比较。Jabbarian^[26]从景观水平和斑块类型水平上比较了日本 Chugoku 地区景观格局与 pH 、 DO 、 SS 、 TN 、 TP 等水质参数的关系,认为斑块类型水平上景观格局对水质

影响更为明显。Lee^[27]研究了韩国南部某水库流域 BOD、COD、TN、TP 等水质指标与景观格局的关系,结果表明城市斑块破碎化程度越高则对水质负面影响越大,而林地越为集中则越有利于促进水质改善。

国内学者亦在这方面取得较大进展,郭青海^[11]以武汉汉阳四湖为例,探讨了城市土地利用异质性对水质与景观关系的影响,认为土地利用异质性对两者关系存在明显影响。岳隽^[13-15]以深圳西丽水库小流域为例,采用景观空间负荷对比指数和灰色关联分析方法对地表水质与“源”“汇”景观之间关系进行了较为深入的分析。Yin^[28]以上海地区为研究区域,探讨了 DO、COD_{Mn} 等传统水质指标与建成区面积比例、人口密度、河道等级等 3 个因素的关系。对相关研究中不同水质理化指标与景观格局的相关性进行对比可以发现,物理指标如 TSS、pH、电导率、水温等对景观格局的响应通常比化学指标如 DO、BOD₅、NH₃-N 等更加敏感,而 DO 这一综合性指标往往与景观格局指标相关性不大,这一现象尚待科学解释。此外应该指出,从已检索文献来看,作为影响河流水生生态的重要指标,水温、pH 等物理指标亦开始受到重视,未来研究须进一步加强。

2.3 营养物对景观格局的响应

营养物也见于传统理化指标与区域景观格局关系研究中,但国外许多研究专门针对营养物与景观格局的关系。Johnson^[29]在关于河岸带与全流域景观格局对河流水质影响的比较研究中,采用了 TN、NH₃-N、NO₂-N、TP、PO₄-P 等 6 个营养物指标。Jones^[30]探讨了美国中大西洋区域 Chesapeake Bay 营养物负荷与区域景观要素面积比例、流域坡度、大气氮沉降等影响因素关系,认为不同营养物、沉积物的预测回归变量和方程存在区别。Molinero^[31]建立了美国 South Fork Broad River 流域土地利用格局与一级河流营养物浓度关系,结果表明总氮与景观格局相关关系更为显著,总磷受河流内源和相关强点源排放等因素掩盖影响,与景观格局关系较弱。Caccia^[32]研究美国佛罗里达 Biscayne Bay 海湾水质与土地利用格局关系时,比较了不同类型区域营养物指标的空间分布差异。营养物对景观格局响应的共识性规律在于,N、P 两种营养物对景观格局的响应规律一般明显不同,其主要原因应在于两种元素的污染来源不同,且其环境化学行为也存在差异,研究结果大多表明 N 营养物对景观格局的响应较之 P 营养物更加敏感,其原因可能在于前者较多受控于不同土地利用方式上的人类活动,而后者影响因素更为多样复杂。

2.4 重金属和有机污染物对景观格局的响应

2000 年之后重金属和有机污染物与景观格局的关系开始得到关注,相关研究尚处于起步阶段。Paul^[33]将较大尺度上的美国中大西洋和新南英格兰地区作为研究区域,对河口沉积物中 Hg、Ni、Zn、Pb、Ag 等重金属和有机物污染与区域景观格局指数关系进行了详细评价,认为污染水平与流域城市化不透水面呈显著正相关,与非森林湿地面积比例呈负相关,与点源污染物输入通量呈正相关。Xiao^[34]研究了美国 Tris-State 矿区流域景观格局与电导率、总镉、总铅、总铁、总锌、总铝等污染物指标关系,分析认为某一景观格局组成指标即可预测重金属污染指标的空间分布,这一研究的新颖之处在于在传统景观格局组成变量基础上引进了许多景观水平和斑块类型水平上的空间结构变量,结果表明结构变量对污染指标的预测能力弱于组成变量。Frost^[35]就美国 Ontonagon River 流域的可溶性有机物(DOM)与流域景观格局指标的关系进行了探讨,该研究采用了各类用地面积比例、河道长度、流域面积等许多涵盖景观格局变量和水文地貌指标在内的指标体系,但结果表明未有一个变量可对污染物浓度变异产生决定性影响。由于可检索到的相关研究案例尚不充分,重金属和有机污染物对景观格局的响应规律还有待于进一步探索与观察。

2.5 水生生物与河流健康状况对景观格局的响应

近年来河流健康概念逐渐为国内外学者接受,河流健康综合指标如生态完整性指数 IBI、栖息地指数 HI,在景观格局尤其是不透水面格局与水环境之间关系研究中受到越来越多地关注。Wang^[36]探讨了美国 Wisconsin 东南地区 47 个小流域连续不透水面积与鱼类群落多样性、生态完整性指数 IBI、河道基流等 3 个河流质量指标的关系,结果表明这种关系均表现为非线性,连续不透水面积比例为 8% 和 12% 是相关效应的临界值。Morse^[37]则详细探讨了城市化区域不透水面比例对河流 EPT 昆虫群落多样性的影响,并提出 6% 和 27% 总不透水面的两个临界点值。可以发现,相较于传统的区域景观格局与水质关系研究,在与河流生物或

涵盖生物指标的河流健康状况关系研究中,区域不透水面通常是一个十分重要的景观格局变量,河流生物和健康状况对不透水面的响应一般存在 1—2 个临界值(10%—25%),这一临界值显著低于化学和水文指标(30%—50%)。流域/区域不透水面对河流健康的影响及其调控未来将继续成为国际上的热点问题,国内研究亟待跟进。

3 景观格局影响水环境的尺度效应

尺度效应始终是景观生态学研究的重要内容,景观格局与水环境关系研究在流域尺度上始终得到关注^[38-39],国外学者就不同空间尺度上尤其是河岸带尺度与流域尺度、不同等级流域的景观格局与水质关系的差异性开展了较多探讨。Johnson^[17]对河岸带尺度和全流域尺度上景观格局与水质关系的差异性进行了深入分析,认为河岸带尺度对景观格局与水质关系的解释能力优于流域尺度,但部分水质指标在两个尺度上与景观格局无明显关联关系。Sliva^[18]对加拿大 Ontario 地区河流水质与景观格局关系研究时发现,河岸带和全流域两种不同尺度对河流水质影响并无显著差异。Buck^[24]在研究新西兰 South Island 地区河流水质与景观格局关系时,认为高等级河流水质主要受上游区域景观格局影响,而低等级河流水质多决定于局地土地利用格局。

总体来看,景观格局与水质关系对空间尺度的依赖性问题尚未形成一致观点,不同研究所获得的研究结论往往存在差异,其原因可能在于各研究区域的景观格局特征不同,景观类型及分布格局差异对水质的影响尺度也不尽相同,因而所得结论存在差异是可以理解的,相关研究应向着研究方法的普适性推进^[40]。可以进一步认为,水环境质量受土地利用格局的影响与水文缓冲区尺度存在关联,但这种关联性可能只在某一个有效缓冲区尺度上表现最为明显,而这个有效缓冲区尺度在不同研究区域往往各不相同,既可能是河岸带或是全流域,也可能处于两者中间的某个尺度,最终取决于非点源排放之后复杂的源汇过程,非点源空间格局、河流水文地貌、区域景观格局都将产生影响。相应地,为表征这些复杂源汇过程对河流水环境的影响,近年来相关研究中所采用的景观格局指标也愈加综合,一方面不再局限于景观格局等自然因素,逐渐加入了人文社会因素如人口密度、污水厂建设等,另一方面在自然因素自身方面,不仅考虑斑块水平上的空间格局,景观水平上的空间格局、地貌、水文等指标也日益受到重视。

4 问题与展望

4.1 问题讨论

从景观格局与水质关系的典型技术流程来看,关键环节包括流域单元界定、景观格局变量选择 and 数据分析方法选择,相应地,国外研究存在问题可大致归纳为以下 3 个方面:

(1) 流域单元及其边界的划定 未严格避免流域嵌套及土地利用空间自相关。区域景观格局与水质关系大多建立在流域尺度上,与水质断面相对应的水文贡献单元的界定对研究区域边界及相应的景观格局分析具有决定性意义。目前大多采用 ArcView 或 ArcGIS 等软件的水文分析扩展模块对水质断面的水文贡献单元边界加以界定,然而已有研究在界定各水质断面的水文贡献单元时,存在未能严格避免各子流域的相互重叠或嵌套的问题,各水质断面的相应流域等级是否一致未有明确界定。有学者专门探讨研究区域一级流域(与源头河流相对应的最低等级流域)尺度上景观格局与水质关系,即是基于这一考虑^[31,36,41]。

(2) 景观格局变量的选择 空间结构和水文地貌因素尚待充分考虑。笔者对近年来国外 17 个典型案例中景观格局指标类型及具体指标的使用情况进行了梳理和统计^[18-19,23-24,28-30,33-35,41-46],结果表明(表 2 和图 2)当前研究大多局限于景观格局的组成指标(即不同景观要素的面积比例),而空间结构指标较少受到关注,污染物在异质斑块间的迁移和累积规律未能考虑到景观格局与水质关系研究中。究其原因,可能在于景观格局的空间结构变量相对难以测算,而近年来 Fragstats、APACK 等景观格局分析软件的出现则可以克服这一困难^[34]。此外,流域面积、流域坡度、河流等级等水文地貌自然因素尚待综合考虑^[19,28-29,35]。

(3) 数据分析结果的解释 仍限于半定量分析。目前国外研究仍以相关分析、回归分析等传统分析技术为主,严格地讲,相应的分析结果只是半定量的。近年来梯度分析技术逐渐在相关研究中得到应用,尤其以冗

余分析(RDA)和典范对应分析(CCA)最具代表性,与传统多元分析方法不同,梯度分析技术可对不同景观格局变量对水质空间分异现象的解释能力进行定量化解构,其最大优势在于能独立保持各个解释变量对被解释变量变异的贡献率,不是单纯对变量组进行分析,也不是将几个变量综合为一个虚拟的复变量^[47]。梯度分析可以区分自然因素(如水文地貌参数)和人文因素(如景观格局变量)对景观环境响应的解释能力差异,以及各变量对两者相关关系的解释能力差异,可以预见这一技术方法在未来将会得到推广。

表 2 常用景观格局指标类型及相关具体指标
Table 2 Landscape pattern indices frequently used in the study

指标类型 Metric category	常用具体指标 Special metrics
景观组成 Landscape percentage	不同土地利用类型的面积比例
斑块水平景观结构 Configuration at patch scale	斑块密度、边界密度、散置并列指数等
景观水平景观结构 Configuration at landscape scale	散置并列指数,蔓延度指数,香农多样性指数等
流域地貌 Watershed morphology	流域面积,流域坡度,流域地质,河网密度等
河流水文 River hydrology	河道等级,河道长度,河流流速等
其他 Others	大气氮沉降,地下水交换,道路密度,人口密度等

4.2 研究展望

景观格局与水质环境质量之间存在必然联系,但其过程异常复杂,而当前研究往往较少将两者联系起来讨论。采用景观生态学方法可改变该领域研究多局限于河流或河流廊道自身的状况,在较大空间尺度上对区域土地利用方式和强度进行识别,通过建立与河流生物、化学、水文、栖息地等指标的相关关系,对区域景观格局对相应水文单元的水环境质量影响进行定量判断^[29,48-49]。研究结果可揭示不同土地利用方式的数量和空间结构对各类水体污染物浓度分布的贡献,并间接揭示不同污染物在异质景观斑块中化学行为的差异,从而为区域尺度上如何优化各类土地利用方式的组成和格局,以及非点源污染控制实践提供规划依据^[50-51],未来以下几个方面值得进一步关注:

(1) 研究前提条件及困惑 开展相关研究应当符合一些重要前提条件,而这些条件实际上往往难以得到满足,因而给相关研究带来困惑和挑战,须进一步取得共识,可归纳为以下 3 个方面,① 研究区域应具有明确的流域边界。在流域地貌特征较为特殊的区域如我国长江三角洲、珠江三角洲等地区,河道纵横交错,流域边界较为模糊,开展这方面研究将面临困惑。此外,注意到国外相关研究多以大尺度的自然流域为例,但国内对在城市化地区开展相关研究,以实现面源污染控制方面的需求显然更加迫切,而城市化地区水文水环境又多为水闸所控制,流域/汇水域边界与自然条件下亦有明显区别^[1-2]。排水片和水利片等水资源管理模式可能成为城市化区域的流域/汇水域边界划定的有效突破口^[52]。② 区域内点源污染得到严格控制。由于发展中国家的污水集中处理体系一般不够完善,以相对发达的上海地区为例,2008 年该市污水集中处理率为 75%,因而在这些区域所取得的研究结果是否会存在较大偏差,以及如何正确理解这些偏差是未来值得关注的研究方向。③ 如何确定适宜的土地利用分类体系。由于不同景观类型或用地类型上的污染物类型和负荷不尽相同,甚至同一用地类型的不同斑块上污染物负荷也会有明显差异,因此在明确用地类型和水质关系时就必须明晰污染物累积量和雨水径流迁移量,这就必然涉及城市非点源污染,因而研究水质与景观格局关系时,根据非点源污染物累积和迁移转化行为特征,进行相应的

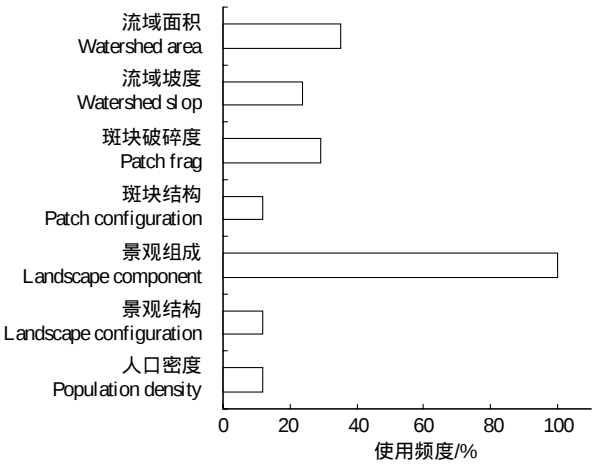


图 2 常用景观格局及相关指标使用频度比较
Fig. 2 Common landscape pattern metrics and their use frequencies

土地利用分类是十分必要的,而土地利用方式划分宜粗不宜细,即分为几个大类是目前较为常见的分类形式。当前国内相关基础数据已有较多积累,有望对此形成有力支持。此外,由于雨水径流对面源污染物存在初期冲刷效应,因而对不同水文期和不同雨型条件下的水质进行测定也是十分必要的。值得注意的是,近年来不透水面作为折射区域生态环境质量的重要指标,受到越来越多地关注,不透水面作为特殊的景观类型,在未来研究中可能成为关键指标。

(2) 基于过程机理的评价论证方法 多元分析方法尤其是相关分析是当前这方面研究的主要手段,梯度分析技术可以弥补当前传统多元分析技术的不足,是对传统多元分析的重要改进。然而需要强调的是,不论是何种多元统计分析技术,所建立的景观格局与水质的相关关系并不能代表因果关系,因为景观指数仅描述空间布局概念,而污染径流在不同景观类型上的迁移过程十分复杂,这就促使相关研究中应当进一步考虑是否有直接数据支持两者相关关系,景观格局和水质之间应架构一座桥梁,以将两者相关关系推进转换为因果关系。将景观格局变量、流域水文地貌参数、降水条件等参数纳入 SWAT、L-THIA 等环境数学模型,从非点源污染产生和迁移分布的过程机理上,对区域景观格局与水质关系进行论证将是未来重要研究方向之一,而两者关系的尺度效应问题也将成为其中的必要内容。

(3) 城市面源污染的景观生态调控应用前景 2000 年后国内开始对相关领域开展探索,研究方法亦多为定性或半定量分析方法,研究对象集中于区域土地利用结构对地表水常规水质的影响。总体来看,国内未来研究方向包括两方面:其一是采用更加完备的景观格局指标体系,并结合相应的流域水文地貌等自然因素,对地表水水质空间分异现象进行解释;其二是相关研究成果如何结合最佳管理实践(BMPs),将景观格局与过程理论应用于城市面源污染控制和河流健康保护^[40,53-54],这方面可借鉴景观生态安全格局及生态战略点规划思路,如优先规划保护非点源污染敏感地区^[12],增加设置河岸缓冲带、人工湿地、透水路面等透水面,值得关注的科学问题包括非点源与目标水体的空间位置关系、不透水面和透水面的空间格局关系、区域不透垫面比例是否存在阈值,以及设置透水面的最佳空间尺度等。

References:

- [1] Guo Q H, Ma K M, Yang L. Main sources of urban non-point source pollution and control measures for classified catchments. *Environmental Science*, 2006, 27(11): 2170-2175.
- [2] Chen L D, Fu B J, Zhao W W. Source-sink landscape theory and its ecological significance. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 26(5): 1444-1449.
- [3] Mao Z P, Yin C Q, Shan B Q, Peng W Q. Spatial variability of agricultural pollutions in complicated landscape system with multiple ponds. *Journal of Hydraulic Engineering*, 2006, 37(6): 727-733, 739-739.
- [4] 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.
- [5] Li J R, Chen L D, Guo X D, Fu B J. Effects of land use structure on non-point source pollution. *China Environmental Science*, 2000, 20(6): 506-510.
- [6] Chen L D, Fu B J, Zhang S R, Qiu J, Guo X D, Yang F L. Comparative study on the dynamics of non—point source pollution in a heterogeneous landscape. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(6): 808-816.
- [7] Wang X J, Ren L R, Dai Y N, Chen J, Pu X Y, Tao S. Contents of PAH compounds in different types of soils in Tianjin area. *Geographical Research*, 2003, 22(3): 360-366.
- [8] Mou P, Wang Q C, Hershey A E, Yu H L, Guo B Q. Land—use, stream order and stream water physical and chemical qualities. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1486-1492.
- [9] Zheng Y M, Chen T B, Chen H, Zheng G D, Luo J F. Lead accumulation in soils under different land use types in Beijing City. *Acta Geographica Sinica*, 2005, 60(5): 791-797.
- [10] Song S J, Zhou W C. Effects of land use structure on surface water quality in Minjiang River Basin. *Resources and Environment in the Yangtze Basin*, 2008, 17(5): 712-715.
- [11] Guo Q H, Ma K M, Zhang Y. Impact of land use pattern on lake water quality in urban region. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(2): 776-787.
- [12] 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.
- [13] Yue J, Wang Y L, Li Z G, Zhang Y, Bo X G. Spatial-temporal trends of water quality and its influence by land use: a case study of the main rivers in Shenzhen. *Acta Ecologica Sinica*, 2006, 17(3): 359-364.

- [14] 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): 5271-5281.
- [15] 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.
- [16] Detenbeck N E, Elonen C M, Taylor D L, Anderson L E, Jicha T M, Batterman S L. Region, landscape, and scale effects on lake superior tributary water quality. *Journal of The American Water Resources Association*, 2004, 40(3): 705-720.
- [17] Johnson L B, Richards C, Host G E, Arthur J W. Landscape influences on water chemistry in Midwestern stream ecosystems. *Freshwater Biology*, 1997, 37(1): 193-208.
- [18] 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.
- [19] Galbraith L M, Burns C W. Linking land-use, water body type and water quality in southern New Zealand. *Landscape Ecology*, 2007, 22(2): 231-241.
- [20] Tang Z X, Engel B A, Lim K J, Pijanowski B C, Harbor J. Minimizing the impact of urbanization on long term runoff. *Journal of The American Water Resources Association*, 2005, 41(6): 1347-1359.
- [21] Tong S T Y, Chen W L. Modeling the relationship between land use and surface water quality. *Journal of Environmental Management*, 2002, 66(4): 377-393.
- [22] Rhodes A L, Newton R M, Pufall A. Influences of land use on water quality of a diverse New England Watershed. *Environmental Science and Technology*, 2001, 35(18): 3640-3645.
- [23] Zampella R A, Procopio N A, Lathrop R G, Dow C L. Relationship of land-use/land-cover patterns and surface-water quality in the Mullica River Basin. *Journal of The American Water Resources Association*, 2007, 43(3): 594-604.
- [24] Buck O, Niyogi D K, Townsend C R. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. *Environmental Pollution*, 2004, 130(2): 287-299.
- [25] Chattopadhyay S, Rani L A, Sangeetha P V. Water quality variations as linked to landuse pattern; a case study in Chalakudy river basin, Kerala. *Current Science*, 2005, 89(12): 2163-2169.
- [26] Amiri B J, Nakane J. Modeling the linkage between river water quality and landscape metrics in the Chugoku District of Japan. *Water Resources Management*, 2009, 23(5): 931-956.
- [27] Lee S W, Hwang S J, Lee S B, Hwang H S, Sung H C. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. *Landscape and Urban Planning*, 2009, 92(2): 80-89.
- [28] Yin Z Y, Walcott S, Kaplan B, Cao J, Lin W Q, Chen M J, Liu D S, Ning Y M. An analysis of the relationship between spatial patterns of water quality and urban development in Shanghai, China. *Computers, Environment and Urban Systems*, 2005, 29(2): 197-221.
- [29] Johnson L B, Gage S H. Landscape approaches to the analysis of aquatic ecosystems. *Freshwater Biology*, 1997, 37(1): 113-132.
- [30] Jones K B, Neale A C, Nash M S, van Remortel R D, Wickham J D, Riitters K H, O'Neill R V. Predicting nutrient and sediment loadings to streams from landscape metrics; a multiple watershed study from the United States Mid-Atlantic Region. *Landscape Ecology*, 2001, 16(4): 301-312.
- [31] Molinero J, Burke R A. Relations between land use and stream nutrient concentrations for small watersheds in the Georgia Piedmont//Proceedings of the 2003 Georgia Water Resources Conference. Georgia: Georgia Water Resources Institute, 2003.
- [32] Caccia V G, Boyer J N. Spatial patterning of water quality in Biscayne Bay, Florida as a function of land use and water management. *Marine Pollution Bulletin*, 2005, 50(11): 1416-1429.
- [33] Paul J F, Comeleo R L, Copeland J. Landscape metrics and estuarine sediment contamination in the Mid-Atlantic and Southern New England Regions. *Environment Quality*, 2002, 31(3): 836-845.
- [34] Xiao H G, Ji W. Relating landscape characteristics to non-point source pollution in mine waste-located watersheds using geospatial techniques. *Journal of Environmental Management*, 2007, 82(1): 111-119.
- [35] Frost P C, Larson J H, Johnston C A, Young K C, Maurice P A, Lamberti G A, Bridgham S D. Landscape predictors of stream dissolved organic matter concentration and physicochemistry in a Lake Superior river watershed. *Aquatic Sciences*, 2006, 68(1): 40-51.
- [36] Wang L Z, Lyons J, Kanehl P, Bannerman R. Impacts of urbanization on stream habitat and fish across multiple spatial scales. *Environmental Management*, 2001, 28(2): 255-266.
- [37] Morse C C, Huryn A D, Cronan C. Impervious surface area as a predictor of the effects of urbanization on stream insect communities in Maine, U. S. A.. *Environmental Monitoring and Assessment*, 2003, 89(1): 95-127.
- [38] Worrall F, Burt T P. The impact of land-use change on water quality at the catchment scale; the use of export coefficient and structural models. *Journal of Hydrology*, 1999, 221(1/2): 75-90.
- [39] Maloney K O, Mulholland P J, Feminella J W. Influence of catchment-scale military land use on stream physical and organic matter variables in small southeastern plains catchments (USA). *Environmental Management*, 2005, 35(5): 677-691.
- [40] Guo Q H, Ma K M, Yang L, He K T. Testing a dynamic complex hypothesis in the analysis of land use impact on lake water quality. *Water Resources Management*, 2009, 24(7): 1313-1332.

- [41] 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.
- [42] Griffith J A. Geographic techniques and recent applications of remote sensing to landscape-water quality studies. *Water, Air and Soil Pollution*, 2002, 138(1/4): 181-197.
- [43] 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(3/4): 234-247.
- [44] Sonoda K, Yeakley J A, Walker C E. Near-stream landuse effects on streamwater nutrient distribution in an urbanizing watershed. *Journal of the American Water Resources Association*, 2001, 37(6): 1517-1532.
- [45] 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*, 1998, 105(1/2): 377-386.
- [46] Ren W W, Zhong Y, Meligrana J, Anderson B, Watt W E, Chen J K, Leung H L. Urbanization, land use, and water quality in Shanghai: 1947—1996. *Environment International*, 2003, 29(5): 649-659.
- [47] Lepš J, Šmilauer P. *Multivariate Analysis of Ecological Data Using CANOCO*. New York: Cambridge University Press, 2003.
- [48] Booth D B, Karr J R, Schauman S, Konrad C P, Morley S A, Larson M G, Burges S J. Reviving urban streams: land use, hydrology, and human behavior. *Journal of the American Water Resources Association*, 2004, 40(5): 1351-1364.
- [49] Yu K J, Zhang L. Preservation and development of water cities adaptive to the areas flooded by the Yellow River. *Acta Ecologica Sinica*, 2008, 39(6): 688-696.
- [50] Paul M J, Meyer J L. Streams in the urban landscape. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 2001, 32: 333-365.
- [51] Yue J, Wang Y L, Li G C, Wu J S. The Conceptual framework of watershed landscape optimization concerning water environmental protection. *Progress in Geographical Science*, 2007, 26(3): 38-45.
- [52] Zhao J. *Landscape Pattern Change and Its Environmental Response Across Multiple Spatial Scales in Tidal Plain*. Shanghai: East China Normal University, 2008.
- [53] Gascuel-Oudoux C, Massa F, Durand P, Merot P, Troccaz O, Baudry J, Thenail C. Framework and tools for agricultural landscape assessment relating to water quality protection. *Environmental Management*, 2009, 43(5): 921-935.
- [54] Liu Y, Yu Y J, Guo H C, Yang P J. Optimal land-use management for surface source water protection under uncertainty: a case study of Songhuaba Watershed (Southwestern China). *Water Resources Management*, 2009, 23(10): 2069-2083.

参考文献:

- [1] 郭青海, 马克明, 杨柳. 城市非点源污染的主要来源及分类控制对策. *环境科学*, 2006, 27(11): 2170-2175.
- [2] 陈利顶, 傅伯杰, 赵文武. “源”“汇”景观理论及其生态学意义. *生态学报*, 2006, 26(5): 1444-1449.
- [3] 毛战坡, 尹澄清, 单保庆, 彭文启. 农业非点源污染物在水塘景观系统中的空间变异性研究. *水利学报*, 2006, 37(6): 727-733, 739-739.
- [4] 陈利顶, 傅伯杰, 徐建英, 巩杰. 基于“源-汇”生态过程的景观格局识别方法——景观空间负荷对比指数. *生态学报*, 2003, 23(11): 2406-2413.
- [5] 李俊然, 陈利顶, 郭旭东, 傅伯杰. 土地利用结构对非点源污染的影响. *中国环境科学*, 2000, 20(6): 506-510.
- [6] 陈利顶, 傅伯杰, 张淑荣, 丘君, 郭旭东, 杨福林. 异质景观中非点源污染动态变化比较研究. *生态学报*, 2002, 22(6): 808-816.
- [7] 王学军, 任丽然, 戴永宁, 陈静, 朴秀英, 陶澍. 天津市不同土地利用类型土壤中多环芳烃的含量特征. *地理研究*, 2003, 22(3): 360-366.
- [8] 牟溥, 王庆成, Hershey A E, 于红丽, 郭宝琴. 土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系. *生态学报*, 2004, 24(7): 1486-1492.
- [9] 郑袁明, 陈同斌, 陈煌, 郑国砥, 罗金发. 北京市不同土地利用方式下土壤铅的积累. *地理学报*, 2005, 60(5): 791-797.
- [10] 宋述军, 周万村. 岷江流域土地利用结构对地表水水质的影响. *长江流域资源与环境*, 2008, 17(5): 712-715.
- [11] 郭青海, 马克明, 张易. 城市土地利用异质性对湖泊水质的影响. *生态学报*, 2009, 29(2): 776-787.
- [12] 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.
- [13] 岳隼, 王仰麟, 李正国, 张源, 卜心国. 河流水质时空变化及其受土地利用影响的研究——以深圳市主要河流为例. *水科学进展*, 2006, 17(3): 359-364.
- [14] 岳隼, 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): 5271-5281.
- [15] 岳隼, 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.
- [49] 俞孔坚, 张蕾. 黄泛平原区适应性“水城”景观及其保护和建设途径. *水利学报*, 2008, 39(6): 688-696.
- [51] 岳隼, 王仰麟, 李贵才, 吴健生. 基于水环境保护的流域景观格局优化理念初探. *地理科学进展*, 2007, 26(3): 38-45.
- [52] 赵军. *平原河网地区景观格局变化与多尺度环境响应研究*. 上海: 华东师范大学, 2008.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 31, No. 11 June, 2011 (Semimonthly)

CONTENTS

Responses of microbes-mediated carbon and nitrogen cycles to global climate change	SHEN Jupei, HE Jizheng (2957)
Formation of cyanobacterial blooms in Lake Chaohu and the photosynthesis of dominant species hypothesis	JIA Xiaohui, SHI Dingji, SHI Mianhong, et al (2968)
Unbalanced cyclical fluctuation pattern of intermittent outbreaks of beet armyworm <i>Spodoptera exigua</i> (Hübner) in China	WEN Lizhang, ZHANG Youjun, ZHU Liang, et al (2978)
Self-organizing feature map classification and ordination of <i>Larix principis-rupprechtii</i> forest in Pangquangou Nature Reserve	ZHANG Qindi, ZHANG Jintun, Suriguga, et al (2990)
Ecological effects of lakeside wetlands restoration in Dalian Lake, Shanghai	WU Di, YUE Feng, LUO Zukui, et al (2999)
Soil organic carbon storage and profile inventory in the different vegetation types of Luya Mountain	WU Xiaogang, GUO Jinping, YANG Xiuyun, et al (3009)
Response of soil microbial community structure to the leaf litter decomposition of three typical broadleaf species in mid-subtropical area, southern China	ZHANG Shengxi, CHEN Falin, ZHENG Hua (3020)
The decomposition of coniferous and broadleaf mixed litters significantly changes the carbon metabolism diversity of soil microbial communities in subtropical area, southern China	CHEN Falin, ZHENG Hua, YANG Bosu, et al (3027)
Spatiotemporal heterogeneity of topsoil nutrients in Karst Peak-Cluster depression area of Northwest Guangxi, China	LIU Shujuan, ZHANG Wei, WANG Kelin, et al (3036)
Effects of cadmium stress on the activities of antioxidant enzymes, digestive enzymes and the membrane lipid peroxidation of the mangrove mud clam <i>Geloina coaxans</i> (Gmelin)	LAI Tinghe, HE Binyuan, FAN Hangqing, et al (3044)
The edge effects on tree-liana relationship in a secondary natural forest in Bawangling Nature Reserve, Hainan Island, China	WU Yuna, TAO Jianping, XI Weimin, et al (3054)
Soilwater deficit under different artificial vegetation restoration in the semi-arid hilly region of the Loess Plateau	YANG Lei, WEI Wei, MO Baoru, et al (3060)
The diurnal trends of sensible and latent heat fluxes of a subtropical evergreen coniferous plantation subjected to seasonal drought	HE Youwei, WANG Qiubing, WEN Xuefa, et al (3069)
Ecological adaptability of photosynthesis and water use for <i>Tamarix ramosissima</i> in the southern periphery of Gurbantungut Desert, Xinjiang	WANG Shanshan, CHEN Xi, WANG Quan, et al (3082)
Estimation of leaf area index of cotton using digital Imaging	WANG Fangyong, WANG Keru, LI Shaokun, et al (3090)
Different response of photosynthetic apparatus between wild soybean (<i>Glycine soja</i>) and cultivated soybean (<i>Glycine max</i>) to NaCl stress	XUE Zhongcai, GAO Huiyuan, LIU Jie (3101)
Effects of water and phosphorus supply on morphology and structure of special root hairs on nodal roots of wheat (<i>Triticum aestivum</i> L.)	ZHANG Jun, HE Dexian, DUAN Zengqiang (3110)
Applications of species indicator for analyzing plant community types and their biodiversity at Kunyushan National Forest Reserve	SUN Zhiqiang, ZHANG Xingyao, ZHU Yanpeng, et al (3120)
Societal metabolism for chinese provinces based on multi-scale integrated analysis of societal metabolism (MSIASM)	LIU Ye, GENG Yong, ZHAO Hengxin (3133)
Comparative gene expression analysis for leaf trichomes of tobacco grown in two different regions in China	CUI Hong, JI Hao, YANG Huijuan, et al (3143)
Performance evaluation of B biotype whitefly, <i>Bemisia tabaci</i> on 23 host plants	AN Xincheng, GUO Qiang, HU Qiongbo (3150)
Studies of hemocytes DNA damage by two pesticides acetamiprid and chlorpyrifos in predaceous spiders of <i>Pardosa astrigera</i> Koch	LI Rui, LI Shengcai, LIU Jia, (3156)
Effects of the fungicide prochloraz on the rotifer <i>Brachionus calyciflorus</i>	LI Daming, LU Zhenghe, FENG Qi, et al (3163)
Effects of long- and short-term successive parthenogenesis on life history and genetics characteristics of <i>Brachionus calyciflorus</i>	GE Yali, XI Yilong (3170)
Review and Monograph	
Review of the relationship between regional landscape pattern and surface water quality	ZHAO Jun, YANG Kai, TAI Jun, et al (3180)
Review of dew action effect on plants	YE Youhua, PENG Shaolin (3190)
Advances in Botryosphaeriaceae: identification, phylogeny and molecular ecology	CHENG Yanlin, LIANG Jun, LÜ Quan, et al (3197)
Advances in research on the mechanisms of age-related productivity decline of planted forests	MAO Peili, CAO Banghua, TIAN Wenxia, et al (3208)
The application of tree-ring on forest disturbance history reconstruction	FENG Xiaohui, CHENG Ruimei, XIAO Wenfa, et al (3215)
Research advances on stress responsive WRKY transcription factors in plants	LI Ran, LOU Yonggen (3223)
Scientific Note	
The soil microbial activities and microbial biomass in Sanjiangyuan Alpine grassland	REN Zuohua, ZHANG Yuguang, LI Diqiang, et al (3232)
The differences of water use efficiency (WUE) among three <i>Populus deltoids</i> clones, and the cloning and characterization of related gene, <i>PdERECTA</i>	GUO Peng, XIA Xinli, YIN Weilun (3239)
Arthropod community reestablishment and niche of the main groups in kiwifruit orchards	DU Chao, ZHAO Huiyan, GAO Huanhuan, et al (3246)

2009 年度生物学科总被引频次和影响因子前 10 名期刊★

(源于 2010 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	11764	1	生态学报	1.812
2	应用生态学报	9430	2	植物生态学报	1.771
3	植物生态学报	4384	3	应用生态学报	1.733
4	西北植物学报	4177	4	生物多样性	1.553
5	生态学杂志	4048	5	生态学杂志	1.396
6	植物生理学通讯	3362	6	西北植物学报	0.986
7	JOURNAL OF INTEGRATIVE PLANT BIOLOGY	3327	7	兽类学报	0.894
8	MOLECULAR PLANT	1788	8	CELL RESEARCH	0.873
9	水生生物学报	1773	9	植物学报	0.841
10	遗传学报	1667	10	植物研究	0.809

★《生态学报》2009 年在核心版的 1964 种科技期刊排序中总被引频次 11764 次,全国排名第 1;影响因子 1.812,全国排名第 14;第 1—9 届连续 9 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 31 卷 第 11 期 (2011 年 6 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA
(Semimonthly, Started in 1981)
Vol. 31 No. 11 2011

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元