

ISSN 1000-0933

CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第 32 卷 第 20 期 Vol.32 No.20 **2012**

中国生态学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 20 期

2012 年 10 月 (半月刊)

目 次

太湖流域源头溪流氧化亚氮(N_2O)释放特征·····	袁淑方, 王为东 (6279)
闽江河口湿地植物枯落物立枯和倒伏分解主要元素动态·····	曾从盛, 张林海, 王天鹅, 等 (6289)
宁夏荒漠草原小叶锦鸡儿可培养内生细菌多样性及其分布特征·····	代金霞, 王玉炯 (6300)
陕西省栎黄枯叶蛾蛹的空间分布·····	章一巧, 宗世祥, 刘永华, 等 (6308)
模拟喀斯特生境条件下干旱胁迫对青冈栎苗木的影响·····	张中峰, 尤业明, 黄玉清, 等 (6318)
中国井冈山生态系统多样性·····	陈宝明, 林真光, 李 贞, 等 (6326)
鄂西南木林子常绿落叶阔叶混交林恢复过程中优势树种生态位动态·····	汤景明, 艾训儒, 易咏梅, 等 (6334)
不同增温处理对夏蜡梅光合特性和叶绿素荧光参数的影响·····	徐兴利, 金则新, 何维明, 等 (6343)
模拟长期大风对木本猪毛菜表观特征的影响·····	南 江, 赵晓英, 余保峰 (6354)
雷竹林土壤和叶片 N、P 化学计量特征对林地覆盖的响应·····	郭子武, 陈双林, 杨清平, 等 (6361)
利用树木年轮重建赣南地区 1890 年以来 2—3 月份温度的变化·····	曹受金, 曹福祥, 项文化 (6369)
川西亚高山草甸土壤呼吸的昼夜变化及其季节动态·····	胡宗达, 刘世荣, 史作民, 等 (6376)
火干扰对小兴安岭白桦沼泽和落叶松-苔草沼泽凋落物和土壤碳储量的影响·····	周文昌, 牟长城, 刘 夏, 等 (6387)
黄土丘陵区三种典型退耕还林地土壤固碳效应差异·····	佟小刚, 韩新辉, 吴发启, 等 (6396)
岩质公路边坡生态恢复土壤特性与植物多样性·····	潘树林, 辜 彬, 李家祥 (6404)
坡位对东灵山辽东栎林土壤微生物量的影响·····	张 地, 张育新, 曲来叶, 等 (6412)
太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响·····	王 瑛, 张建锋, 陈光才, 等 (6422)
基于多角度基尼系数的江西省资源环境公平性研究·····	黄和平 (6431)
中国土地利用空间格局动态变化模拟——以规划情景为例·····	孙晓芳, 岳天祥, 范泽孟 (6440)
世界主要国家耕地动态变化及其影响因素·····	赵文武 (6452)
不同氮源下好氧反硝化菌 <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 的脱氮特性·····	肖继波, 江惠霞, 褚淑祎 (6463)
基于生态足迹方法的南京可持续发展研究·····	周 静, 管卫华 (6471)
基于投入产出方法的甘肃省水足迹及虚拟水贸易研究·····	蔡振华, 沈来新, 刘俊国, 等 (6481)
浦江县土壤碱解氮的空间变异与农户 N 投入的关联分析·····	方 斌, 吴金凤, 倪绍祥 (6489)
长江河口潮间带盐沼植被分布区及邻近光滩鱼类组成特征·····	童春富 (6501)
深圳湾不同生境湿地大型底栖动物次级生产力的比较研究·····	周福芳, 史秀华, 邱国玉, 等 (6511)
灰斑古毒蛾口腔反吐物诱导沙冬青细胞 Ca^{2+} 内流及 H_2O_2 积累·····	高海波, 张淑静, 沈应柏 (6520)
濒危物种金斑喙凤蝶的行为特征及其对生境的适应性·····	曾菊平, 周善义, 丁 健, 等 (6527)
细叶榕榕小蜂群落结构及动态变化·····	吴文珊, 张彦杰, 李凤玉, 等 (6535)
专论与综述	
流域生态系统补偿机制研究进展·····	张志强, 程 莉, 尚海洋, 等 (6543)
可持续消费的内涵及研究进展——产业生态学视角·····	刘晶茹, 刘瑞权, 姚 亮 (6553)
工业水足迹评价与应用·····	贾 佳, 严 岩, 王辰星, 等 (6558)
矿区生态风险评价研究述评·····	潘雅婧, 王仰麟, 彭 建, 等 (6566)
研究简报	
围封条件下荒漠草原 4 种典型植物群落枯落物枯落量及其蓄积动态·····	李学斌, 陈 林, 张硕新, 等 (6575)
密度和种植方式对夏玉米酶活性和产量的影响·····	李洪岐, 蔺海明, 梁书荣, 等 (6584)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 312 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 35 * 2012-10	



封面图说: 草丛中的朱鹮——朱鹮有着鸟中“东方宝石”之称。洁白的羽毛, 艳红的头冠和黑色的长嘴, 加上细长的双脚, 朱鹮历来被日本皇室视为圣鸟。20 世纪前朱鹮在中国东部、日本、俄罗斯、朝鲜等地曾有较广泛地分布, 由于环境恶化等因素导致种群数量急剧下降, 至 20 世纪 70 年代野外已认为无踪影。1981 年 5 月, 中国鸟类学家经多年考察, 在陕西省洋县重新发现朱鹮种群, 一共只有 7 只, 也是世界上仅存的种群。此后对朱鹮的保护和科学研究做了大量工作, 并于 1989 年在世界首次人工孵化成功。

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

DOI: 10.5846/stxb201112211945

王瑛, 张建锋, 陈光才, 单奇华, 李泽波, 徐永辉, 陈云. 太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响. 生态学报, 2012, 32(20): 6422-6430.

Wang Y, Zhang J F, Chen G C, Shan Q H, Li Z B, Xu Y H, Chen Y. Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(20): 6422-6430.

太湖流域典型入湖港口景观格局对河流水质的影响

王 瑛¹, 张建锋^{1,*}, 陈光才¹, 单奇华¹, 李泽波¹, 徐永辉², 陈 云²

(1. 中国林业科学研究院亚热带林研所, 富阳 311400; 2. 宜兴市农林局, 宜兴 214206)

摘要:以太湖流域宜兴段的 3 条主要入湖港口为研究对象, 通过实地调查和数据分析, 探讨了入湖港口景观格局对河流水质的影响。反映景观格局的指标有港口周边 5 km 缓冲区域内的“源-汇”景观空间负荷对比指数(LCI)、斑块数量(NP)、边界密度(ED)、蔓延度指数(CONT)、香浓多样性指数(SHDI)和聚集度指数(AI); 反映水质变化的主要指标为总氮(TN)、总磷(TP)和化学需氧量(COD_{Mn})。以水质指标为因变量, 对二者做了相关性分析和通径分析, 结果表明, LCI 与 TN、TP 和 COD_{Mn} 关系显著, 对它们的直接作用分别为 0.266、1.512 和 0.979; ED 对 TN、COD_{Mn} 和 NH₄⁺-N 有显著影响, 直接作用为 0.740、-0.189 和 0.852; TN 和 NH₄⁺-N 与 CONT 相关性显著, 与 SHDI 呈负的极显著相关; 对 TN 和 NH₄⁺-N 来说, 两个景观格局指标(LCI 与景观格局指数)对它们都呈直接负作用; 其它指标之间关系不显著。这说明景观格局变化对区域内港口水质有一定影响, 合理配置景观格局能够有效地治理面源污染, 改善水质状况。

关键词:“源-汇”景观空间负荷对比指数; 景观格局指数; 相关性分析和通径分析; 水质指标

Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing

WANG Ying¹, ZHANG Jianfeng^{1,*}, CHEN Guangcai¹, SHAN Qihua¹, LI Zebo¹, XU Yonghui², CHEN Yun²

¹ Institute of Subtropical Forestry, Chinese Academy of Forestry, Fuyang 311400

² Yixing Agriculture & Forestry Department, Yixing 214206

Abstract: With rapid socio-economic development in the Taihu Lake Basin, pollution of Taihu Lake water is increasingly getting more serious. Thus government at all levels has allocated considerable resources (money and manpower) to this issue in the Taihu Lake Basin. As a result of their efforts, point source pollution has been better controlled around the basin. But non-point source pollution is still serious due to its dispersion and concealment, and its random nature, and consequent difficult monitoring. So it is still the key to resolving pollution in the basin and is a difficult point to which attention needs to be paid both currently and in the future. The non-point source pollution is the result of multiple factors such as soil, topography, hydrology, socio-economic development, management methods and land use, and it is closely related to the landscape distribution pattern. Reasonable landscape distribution can improve water quality by reducing the output of non-point source pollution, and hindering the transfer of watershed pollutants to receiving waters. Landscape pattern index can also be a good description of landscape heterogeneity, and the location-weighted landscape contrast index (LCI) can quantify non-point source pollution. However, little work has been done on the concrete relationship between the water quality index and the landscape index.

In order to investigate responses of water quality to landscape pattern in the Taihu Basin watershed, 3 typical streams

基金项目: 林业公益性行业科研专项(201104055); 江苏省科技项目(BE2009603, BE2008636); 2010 年浙江省林业科技项目

收稿日期: 2011-12-21; **修订日期:** 2012-05-29

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: zhangk126@126.com

connected to Taihu Lake in Yixing City were chosen as test plots. Indicators which reflect landscape characteristics such as source-sink landscape location-weighted Landscape Contrast Index (LCI), Number of Patches (NP), Edge Density (ED), Contagion Index (CONT), Shannon's Diversity Index (SHDI) and Aggregation Index (AI) were analyzed. Some parameters which reflect water quality such as Total Nitrogen (TN), Total Phosphorus (TP), and Chemical Oxygen Demand (COD_{Mn}) were also measured. Correlation analysis and path analysis between the landscape pattern and stream water quality were used to show significant positive correlations between LCI and TN, TP, and COD_{Mn} with direct action coefficients of 0.266, 1.512 and 0.979, respectively. Though LCI and TN were significantly negatively correlated, there was a less direct effect on TN. Rather, LCI has an indirect effect on TN concentrations via other landscape pattern indices. ED had a significant effect on TN, COD_{Mn} and $\text{NH}_4^+\text{-N}$, with direct action coefficients of 0.740, -0.189 and 0.852, respectively. CONT showed significant positive correlations with TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$, but SHDI was negatively correlated with TN and $\text{NH}_4^+\text{-N}$. The higher the values of CONT and SHDI, the better adhesion between landscape patches. The non-point pollution load assessment will be reduced, retained and transformed, and the water quality will be relatively good if better balanced allocation of landscape elements is adopted.

DingKua is the only port for which the LCI is less than 0. It has a proportion of 'sink' landscape which is the largest of the three ports. The woodland area is 59.46% and the open forest area is 2.64% of the DingKua 5km buffer zone. Forests have the effect of ecological restoration and pollutant interception. So the water quality at DingKua is the best of the three ports.

Among the other indexes the relationship was not significant. It was concluded that landscape pattern had a certain influence on stream water quality. Reasonable allocation of the landscape pattern is able to effectively combat non-point source pollution, and improve water quality in the watershed.

Key Words: the source-sink landscape location-weighted landscape contrast index (LCI); landscape pattern index; correlation analysis and path analysis; water quality

改革开放以来,随着太湖流域社会经济的迅速发展,太湖水污染问题日益严重,以致在2007年5月引起太湖蓝藻爆发。此后,各级政府投入大量人力物力治理太湖。经过努力,太湖周边的点源污染得到了较好的控制,而面源污染由于其分散性、隐蔽性、随机性和不易监测性^[1],对水质的影响仍较严重,是当前及今后治理的重点、难点^[2]。面源污染是土壤、地形、水文、社会经济发展、管理方式和土地利用等多因素综合作用的结果,其中景观空间分布格局与其关系密切^[3-6]。研究表明,合理的景观空间配置,可以减少面源污染输出,转化、拦截流域污染物进入水体,从而改善水质^[7-9]。

为了从根本上治理太湖流域面源污染,有必要深入了解面源污染的形成机理。已经知道,景观格局是生态过程的基础,通过格局特征可以推测过程特征,而过程反过来又影响格局形成^[10]。陈利顶等提出了“源-汇”景观空间负荷对比指数这一概念,它以生态过程为研究对象,能够量化面源污染的发生发展状况^[11-13]。景观格局指数也可以很好的描述景观空间异质性,反映流域面源污染状况^[14-15]。然而,截止到目前,对二者与水质变化之间具体关系的研究还多为定性研究^[16-19],将景观空间格局作用量化的研究相对较少。太湖作为中国第二大淡水湖,是上海、江苏、浙江等多个省市的水源区,其水质状况直接影响到周边省市的社会经济发展,但其周边景观格局对水质的作用机制还缺少系统研究。

本研究在宜兴市进行,选取了3条具有代表性的典型入湖港口,分析了各港口景观格局特征及“源-汇”景观负荷对比指数与水质的相关性,并在通径分析的基础上,将各景观指标对水质的直接作用和间接作用做定量分析,以期为宜兴市及太湖流域的水环境治理和区域景观建设提供科学依据。

1 研究地区与研究方法

1.1 研究区域

宜兴市(31°07'—31°7'N, 119°31'—120°03'E)位于太湖西岸,南部多为丘陵山地,北部多为平原。经济

来源北部以工商业为主,南部农林业和旅游业所占比例较大。其境内的太湖沿岸总长达 43.5 km,有烧香港、大浦港、大港口、定跨港等 14 条省控、国控河道和 12 条市控河道,共计 26 条入湖河道。因此,宜兴市入太湖港口水质状况对太湖水体影响甚大。本研究选择定跨港、大浦港、烧香港作为典型入湖港口(图 1)。分布于南部的定跨港区域是宜兴市天然次生林分布较多、保护较好的区域,其上游是一片竹海,人口很少,自然景观极好;下游入湖口是宜兴太湖生态农业观光园;大浦港流经区域经过了宜兴市区中心,且下游大浦镇是宜兴市的工业重镇;烧香港区域紧邻无锡市,上游的工农业都较为发达,下游入太湖流域是宜兴市生态公益林工程实施规模最大、林木长势最好的地区。

1.2 研究方法

本研究对 3 条港口做缓冲区分析,缓冲半径为 1、3 km 和 5 km。遥感影像采用 2010 年第 264 天的 Landsat TM (Landsat Thematic Mapper) 遥感数据,在 ENVI4.7 中将各波段与全色的第 8 波段融合成 15 m 分辨率影像后划分土地利用类型(图 1),其中林业用地类型的划分参照了宜兴市林业二次调查资源图。

1.2.1 水样采样与分析

本研究选取了宜兴市由北到南 3 条具有代表性的入太湖港口,每个港口由东到西均匀分布水质采样点(如图 1 所示),分别于 2011 年 3、6、9、12 月采集水样,每次取样 500 mL,于聚乙烯瓶中密封保存,第 2 天在中国林科院亚热带林业研究所国家重点实验室分析各水质指标。其中总氮(TN)用过硫酸钾氧化,紫外分光光度法测定;总磷(TP)用离子色谱法测定;氨氮(NH_4^+)用纳氏试剂光度法测定;化学需氧量(COD_{Mn})用酸性法测定^[20]。

1.2.2 “源-汇”景观空间负荷对比指数分析

本研究将耕地、工业用地和居民建设用地作为“源”景观,有林地、疏林地、生态公益林、湿地和水体作为“汇”景观。结合陈利顶等提出的“源-汇”景观空间负荷对比指数算法^[11-13],根据公式(1)计算各缓冲区内的距离、高度、坡度、景观累积面积百分比。

$$\text{LCI} = \log \left(\sum_{i=1}^m S_i \times W_i \times P_{\text{tei}} / \sum_{j=1}^n S_j \times W_j \times P_{\text{tej}} \right) \quad (1)$$

式中,LCI(landscape contrast index)为流域尺度上一定距离范围内累积景观空间负荷对比指数,包括相对距离(LCI_RD)相对高度(LCI_RE)、相对坡度(LCI_RE); m 和 n 分别表示“源”“汇”景观类型的数量; S_i 和 S_j 分别为“源”“汇”景观在区间范围内的面积累积百分比之和; W_i 和 W_j 分别为不同“源”“汇”景观类型在非点源污染物形成和削减方面所起作用的相对权重; P_{tei} 和 P_{tej} 分别表示第 i 种“源”景观和第 j 种“汇”景观在整个区间内所占的面积百分比。

对各景观的权重,鉴于本研究区域为城市化程度较高地区,“源”污染有工业污染和农业污染,所以参考岳隽等对西丽水库的“源-汇”景观空间负荷对比指数计算方法^[16],将各景观类型实测化学需氧量进行标准化处理,作为各景观类型的权重。

大浦港和烧香港位于宜兴市北部平原地区,缓冲带高度和坡度变化较小,当高度达到 15 m,坡度 $>6^\circ$ 时,很多港口已经不宜区分“源”景观或“汇”景观了,也无法计算相对高度和坡度景观空间对比指数(LCI_RE、

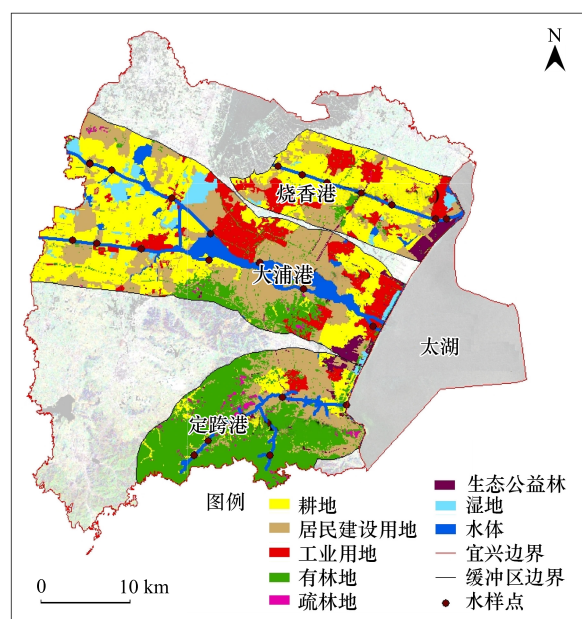


图 1 研究区地理位置及景观格局分布图

Fig. 1 Location and landscape pattern of study area

LCI_RS)值。因此,依照常规可认为这两个港口的高度和坡度对水质的影响极小,在此不做分析。定跨港的 LCI 指数按照公式(2)计算。

$$LCI = LCI_{RD} \times LCI_{RE} / LCI_{RS} \quad (2)$$

1.2.3 景观格局指数分析

将各缓冲区内的土地利用类型矢量图在 arcgis9.3 中转换成 grid 数据,使用 Fragstats3.3 软件分别计算 3 个港口 9 个缓冲区内的景观格局指数,在经过相关性分析后选取了斑块数量(NP)、边界密度(ED)、蔓延度指数(CONT)、香浓多样性指数(SHDI)和聚集度指数(AI)5 个景观指数来表征景观格局特征。

1.2.4 数据处理与分析

使用统计分析软件 SPSS16.0 统计各港口 4 个季度的水质数据,并将每个港口的所有采样点做平均分析,得到各港口水质均值指标。同时用 SPSS16.0 计算各缓冲区内的 LCI、NP、ED、CONT、SHDI 和 AI 与其对应港口的平均水质数据的统计相关关系,并进一步做通径分析。

2 结果与分析

2.1 各港口缓冲区土地利用结构和“源-汇”景观空间负荷对比指数分析

3 个港口缓冲区内土地利用状况见表 1,同时据此算出其“源-汇”景观空间负荷对比指数(图 2)。各港口水质均值指标见图 3。

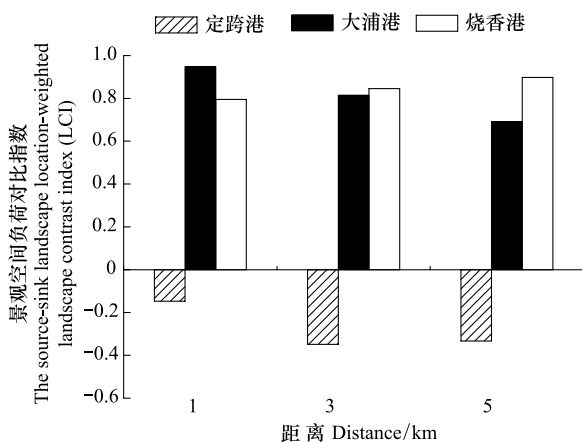


图 2 3 个港口缓冲区内景观空间负荷对比指数图

Fig. 2 Location-weighted landscape contrast index of 3 ports buffer

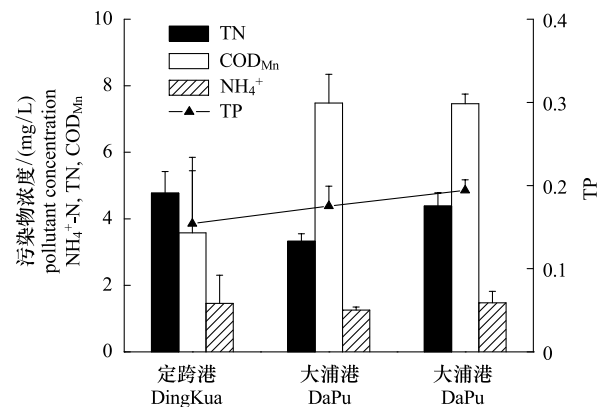


图 3 各港口水质均值指标

Fig. 3 The mean water quality index of watersheds

由此可以看出,定跨港的 3 个缓冲区域内都是有林地,且面积最大,是构成“汇”景观的主要贡献景观,且随着缓冲距离增加而增大,所占比例分别则分别达到了 48.63%、60.57% 和 59.46%;与此相对应的“源”景观中的居民建设用地所占比例则分别为 30.75%、22.28% 和 23.73%;对应的“源-汇”景观空间负荷对比指数(LCI)为-0.15、-0.35 和-0.33。陈利顶等研究指出,LCI 小于 0,表明该流域“汇”景观贡献较大,该流域的污染输出相对较少,“汇”景观的截留作用较强,反之亦然^[12-13]。结合图 3 显示的结果,可以看到定跨港的水质均值指标中 TN 为 4.77 mg/L,略大于其他两个港口,NH₄⁺-N 为 1.46 mg/L,排第二位,TP 和 COD 都是显著小于大浦港和烧香港。

对大浦港来说,耕地和居民建设用地所占比例都较大,为 30% 左右,且不随缓冲距离而改变,这也直接导致其 LCI 大于 0,表明流域污染物输出较多。由于其“汇”景观面积所占比例较小,3 个缓冲段内分别只有 23.15%、19.80% 和 20.9%,所以该流域缓冲区起到的截留作用有限,对应的水质状况也较差,COD_{Mn} 达到了最高值 7.48 mg/L。相关研究表明,耕地和居民建设用地比例过大,会导致 COD_{Mn} 浓度上升,水质变

差^[18, 21-23]。本研究的结果也说明了这一点。

对烧香港而言,从表 1 可以看出,耕地是其最主要的景观类型,缓冲距离为 1 km 时达到了 68.73%,随着缓冲距离的增加,所占比例有所下降;缓冲距离为 3 km 和 5 km 时,所占比例分别为 57.50% 和 52.42%。“汇”景观中有林地和生态公益林所占面积较大,当缓冲距离为 1 km 时,两种林地面积比例分别为 3.87% 和 6.90;随着缓冲距离的增加,有林地面积比例上升到了 4.19%,而生态公益林却下降到了 2.25%。烧香港的 LCI 指数随缓冲距离的增加而缓慢增大,分别为 0.80、0.85 和 0.90,说明烧香港地区面源污染较为严重。

表 1 各港口缓冲区内土地利用方式与结构

Table 1 Land-use composition in each buffer zone of ports

	缓冲距离 Buffer distance /km	源景观 Source landscape/%				汇景观 Sink landscape/%			
		耕地 Arable land	居民建设用地 Residential land	工业用地 Industrial land	有林地 Woodland	疏林地 Open forest land	生态公益林 Ecological forest	湿地 Wetland	水体 Water
定跨港	1	13.32	30.75	2.00	48.63	3.69	1.60	—	—
DingKua	3	10.12	22.28	2.79	60.57	3.04	1.21	—	—
	5	9.40	23.73	2.24	59.46	2.64	2.13	0.20	0.20
大浦港	1	34.24	29.78	12.82	3.07	0.08	0.24	5.12	14.64
DaPu	3	37.48	30.21	12.52	5.74	0.19	0.79	5.68	7.40
	5	36.50	29.18	13.42	8.39	0.38	1.57	4.87	5.69
烧香港	1	68.73	13.86	5.98	3.87	0.09	6.90	0.57	0.00
ShaoXiang	3	57.50	14.94	16.13	4.64	0.15	4.85	1.65	0.14
	5	52.42	19.06	16.94	4.19	0.10	4.65	1.53	1.09

2.2 各港口缓冲区景观格局指数分析

各港口缓冲区内的景观格局情况见表 2。可以发现,大浦港的斑块数量(NP)是 3 个港口中最大的,为 2177;而烧香港最小,只有 1173。定跨港的边界密度(ED)在 1 km 缓冲区域中达到了各港口的最大值 66.72;随着缓冲距离的增加,ED 有所减小。大浦港 1 km 缓冲区域 ED 最小,只有 40.97。另一方面,定跨港和烧香港的 ED 随缓冲距离的增加有减小的趋势,而大浦港的 ED 随缓冲距离增加而增大。ED 可以反映景观中异质性斑块之间物质、能量交换的潜力和相互影响的强度,可以表示景观整体的复杂程度^[24-26]。

表 2 各缓冲区内景观格局指数

Table 2 Landscape metrics in each buffer zone

	缓冲距离 Buffer distance/km	斑块数量 NP Patch number	边界密度 ED Edge density	蔓延度指数 CONTAG Contagion index	香浓多样性指数 SHDI Shannon's diversity index	聚集度指数 AI Aggregation index
定跨港	1	540	66.72	62.40	1.25	98.30
DingKua	3	1041	56.87	66.07	1.13	98.58
	5	1533	58.26	69.96	1.16	98.55
大浦港	1	643	40.97	61.05	1.55	98.93
DaPu	3	1452	43.74	60.78	1.56	98.91
	5	2177	46.33	58.20	1.60	97.71
烧香港	1	308	50.92	72.97	1.05	98.70
ShaoXiang	3	769	49.51	67.52	1.27	98.79
	5	1173	48.74	65.62	1.35	98.81

由表 2 能够看出,定跨港的蔓延度指数(CONT)随缓冲距离的增加而增加,由 1 km 时的 62.40 上升到了 3 km 时的 69.96;而其它两个港口则都随着距离的增加,蔓延度指数降低,如大浦港的 CONTAG 分别为 61.05、60.78 和 58.20。烧香港的 CONTAG 1 km 时为 72.97,是所有缓冲区内最大的,但缓冲距离为 5 km 时

则降低到了 65.62。

对多样性而言,一般来说各景观要素之间的面积分布越均匀,多样性越高。本研究中大浦港的香浓多样性指数(SHDI)是最高的,且随缓冲距离增加而增加,5 km 时达到了最大值 1.60;定跨港相对较低,各缓冲区内 SHDI 分别为 1.25、1.13 和 1.16。

定跨港的聚集指数(AI)先增加后减少,说明区域内景观的空间连接性先强后弱。整体而言,大浦港的 AI 最大,1km 缓冲区域内达到了 98.93;5km 缓冲区域内则降到了各港口的最低值 97.71;而烧香港各缓冲区域内的 AI 较为均匀,分别为 98.70、98.79 和 98.81。

2.3 景观格局特征变化与河流水质响应分析

2.3.1 “源-汇”景观空间负荷对比指数与河流水质

探讨景观格局特征变化与河流水质响应时,二者之间的相关系数能够在一定程度上反映 LCI 与水质指标的相关程度,但是要弄清楚其对水质指标的作用大小,还需要进一步做通径分析。对“源-汇”景观空间负荷对比指数与河流水质主要指标做通径分析,结果见表 3。由此可以看出,LCI 与 TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的相关系数分别为 -0.683 和 -0.430,其中与 TN 呈显著负相关,而与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 无显著关系。通径分析将相关系数分为直接作用和间接作用,显示各因素的相对重要性和相关关系大小^[27-28]。通径分析结果表明 LCI 对 TN 的直接作用为 0.266,是 4 个水质指标中最低的,它对 TN 的作用是通过间接作用表现的,对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的直接作用为 0.766。 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 通过 NP、ED 和 SHDI 对 TN 的间接作用较大,且也是负值,通过 CONT 和 AI 的作用虽然为正值,但是作用较小。

表 3 景观格局对水质指标的通径系数

Table 3 Path coefficients of landscape pattern to water quality index

水质指标 Water quality index	景观格局 测度指标 Landscape pattern measure index	相关系数 Correlation coefficient	直接作用 Direct effect	间接作用 Indirect effect					
				→ LCI	→ NP	→ ED	→ CONT	→ SHDI	→ AI
TN	LCI	-0.683 *	0.266		-0.019	-0.620	0.030	-0.424	0.083
	NP	-0.383	0.305	-0.017		-0.168	0.072	-0.415	-0.159
	ED	0.844 **	0.740	-0.223	-0.069		-0.048	0.530	-0.085
	CONT	0.689 *	-0.151	-0.053	-0.145	0.236		0.696	0.107
	SHDI	-0.895 **	-0.790	0.143	0.160	-0.496	0.133		-0.046
	AI	0.050	0.290	0.076	-0.167	-0.218	-0.056	0.124	
TP	LCI	0.881 **	1.512		-0.023	-0.203	0.041	-0.472	0.028
	NP	-0.198	0.371	-0.095		-0.055	0.096	-0.462	-0.053
	ED	-0.611	0.243	-1.266	-0.084		-0.064	0.589	-0.028
	CONT	0.206	-0.202	-0.303	-0.176	0.077		0.775	0.035
	SHDI	0.128	-0.879	0.812	0.195	-0.163	0.178		-0.015
	AI	0.319	0.096	0.434	-0.203	-0.072	-0.074	0.138	
COD_{Mn}	LCI	0.987 **	0.979		-0.008	0.158	0.015	-0.137	-0.021
	NP	0.044	0.122	-0.062		0.043	0.035	-0.134	0.040
	ED	-0.868 **	-0.189	-0.820	-0.028		-0.024	0.171	0.021
	CONT	-0.191	-0.074	-0.196	-0.058	-0.060		0.225	-0.027
	SHDI	0.539	-0.255	0.526	0.065	0.127	0.065		0.011
	AI	0.210	-0.073	0.281	-0.067	0.056	-0.027	0.040	
NH_4^+	LCI	-0.430	0.766		-0.028	-0.713	0.045	-0.596	0.096
	NP	-0.464	0.438	-0.048		-0.194	0.106	-0.583	-0.183
	ED	0.685 *	0.852	-0.641	-0.100		-0.071	0.743	-0.098
	CONT	0.787 *	-0.223	-0.154	-0.208	0.272		0.978	0.123
	SHDI	-0.894 **	-1.109	0.411	0.230	-0.571	0.197		-0.053
	AI	0.155	0.334	0.220	-0.240	-0.251	-0.082	0.175	

1) * 表示在 0.05 水平上显著相关, ** 表示在 0.01 水平显著相关

LCI 与 TP 和 COD_{Mn} 的相关系数分别为 0.881 和 0.987,呈极显著正相关。LCI 对 TP 的直接作用是所有指标中最大的,达到了 1.512;LCI 通过 SHDI 和 ED 对 TP 的间接作用分别为-0.472 和-0.203,都较大;通过 CONT 和 AI 对 TP 的作用虽为正值,但都非常小。LCI 对 COD_{Mn} 的直接作用为 0.979,通过 ED 和 CONT 的正向间接作用也都较小,通过其他景观格局指标的作用都为负值,且作用较小。此结果表明 TP 和 COD_{Mn} 在面源污染输出中起到的作用较大,可作为衡量面源污染程度的两个主要指标。这与岳隽、刘芳等人的研究结果类似^[16, 29]。

2.3.2 景观格局指数与河流水质

在前面通径分析的基础上,可以得到 6 个景观格局指标对各河流水质指标的回归方程:

$$Y_{\text{TN}} = -43.211 + 0.308X_{\text{LCI}} + 0.06X_{\text{ED}} - 0.021X_{\text{CONT}} - 2.496X_{\text{SHDI}} + 0.499X_{\text{AI}}$$

$$Y_{\text{TP}} = -0.168 + 0.047X_{\text{LCI}} + 0.001X_{\text{ED}} - 0.074X_{\text{SHDI}} + 0.004X_{\text{AI}}$$

$$Y_{\text{COD}_{\text{Mn}}} = 48.368 + 3.399X_{\text{LCI}} - 0.046X_{\text{ED}} - 0.03X_{\text{CONT}} - 2.413X_{\text{SHDI}} - 0.372X_{\text{AI}}$$

$$Y_{\text{NH}_4} = -7.283 + 0.143X_{\text{LCI}} + 0.011X_{\text{ED}} - 0.005X_{\text{CONT}} - 0.567X_{\text{SHDI}} + 0.092X_{\text{AI}}$$

由上面的回归方程及表 3 可以看出,NP 和 AI 从总体上与河流水质指标没有明显的相关关系。ED 与 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 有显著相关关系,与 TN 和 COD_{Mn} 有极显著相关关系,与 TP 的相关性不显著。ED 对 TN 的直接作用为 0.740,通过 SHDI 对 TN 的间接作用较大,为 0.530,通过其它景观指标对 TN 的作用较小,且都是负作用;对 TP 的直接作用为 0.243;ED 对 COD_{Mn} 的直接作用为-0.189,表明 ED 主要是通过 LCI、SHDI 等其他指标对 COD_{Mn} 起间接作用;ED 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的直接作用较大,达到了 0.852,是几个景观指标中最高的,且 ED 通过 SHDI 对 COD_{Mn} 的间接作用也较大,为 0.743。ED 主要表示边界形状的复杂程度和景观的破碎度,基于以上分析,表明流域景观复杂程度和破碎度与水质状况密切相关。

CONT 主要与 TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 呈显著相关,且对二者的直接作用分别为-0.151 和-0.223,为负相关。CONT 主要表示斑块间的连接度和破碎度,本研究结果说明区域景观的破碎度会显著影响 TN 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的浓度。

本研究中 SHDI 和 TN、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 有极显著关系,但是 SHDI 对 TN 的直接作用却是所有景观指标中最小的,仅有-0.790,它主要通过其它景观指标对 TN 产生间接作用。SHDI 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的直接作用为-1.109,通过 LCI 对 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的间接作用最大,达到了 0.411。SHDI 从斑块的分布均衡程度和类型两方面反映了景观异质性和多样性,SHDI 越高,表明景观的多样性越高,异质性越大,水体污染越轻,水质越好。

3 结论与讨论

本研究以太湖流域宜兴段的 3 条主要入湖港口为研究对象,通过实地调查和数据分析,计算了 3 个港口不同缓冲区的景观空间负荷对比指数和景观格局指数,并且将其与水质指标做相关性分析后发现景观空间分布与河流水质关系密切,通过通径分析,进一步将二者间的作用量化,可以直观的体现景观格局变化对水质的影响程度。

定跨港是 3 个港口中 LCI 小于 0 的唯一一个港口,其“汇”景观所占比重是 3 个港口中最大的,在 5 km 缓冲区内,生态修复、污染物截留作用较强的有林地面积比例达到了 59.46%,疏林地面积比例也有 2.64%,是 3 个港口中最高的。相对应的水质状况也实 3 个港口中最好的。已有研究也证明了植被可以有效改善水环境污染^[30-32]。

TP 和 COD_{Mn} 是衡量水体污染的两个重要指标,景观空间负荷对比指数(LCI)与 TP 和 COD_{Mn} 有极显著关系,且 LCI 对这两个水质指标的直接作用都较大,分别为 0.266、1.512 和 0.979;这说明 TP 和 COD_{Mn} 可以很好的反应区域面源污染输出状况,LCI 的变化能够有效地影响水质状况。LCI 与 TN 虽然呈负的显著相关,但对 TN 的直接作用较小,主要通过其它景观指标间接影响 TN 浓度。

表征景观破碎度和异质性的边界密度(ED)与各水质指标相关性较大,对水体的直接作用也较大,对 TN、 COD_{Mn} 和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的直接作用达到 0.740、-0.189 和 0.852。刘宇等人的研究也指出 ED 与土壤侵蚀、水土流

失关系密切^[26],从而影响面源污染输出物进入水体。

景观蔓延度指数(CONT)和香浓景观多样性指数(SHDI)与水质指标之间相关关系显著,二者都对水质污染指标有直接负作用。景观蔓延度越大,多样性越高,各斑块间的粘合度越好,景观要素之间分配均衡,面源污染输出较少,同时也被“汇”景观截留转化,故水质相对较好。这说明景观格局变化对区域内港口水质有一定影响,合理配置景观格局能够有效地治理面源污染,改善水质状况。这一点从本次调查的3条港口情况也能看出:定跨港的3个缓冲区域内都是有林地,且面积最大,是构成“汇”景观的主要贡献景观,且随着缓冲距离增加而增大,所占比例分别达到了48.63%、60.57%和59.46%;与此相对应的“源”景观中的居民建设用地所占比例则分别为30.75%、22.28%和23.73%;对应的“源-汇”景观空间负荷对比指数(LCI)为-0.15、-0.35和-0.33。可见,景观的域值大小、空间布局及其格局变化对水体能够产生直接和间接作用;只要“源”、“汇”景观合理配置,流域面源污染的治理将会起到事半功倍的效果。

在今后太湖流域水环境治理中,应基于这一原理,注重做好区域景观格局规划,在不影响社会经济发展的前提下,适度增加林地、湿地等“汇”景观面积,降低农田、工业用地等“源”景观比重。宜兴市自2007年起开始大力建设生态公益林,计划将太湖沿岸上溯3公里范围全部建成生态公益林区。在景观规划中,如果有林地面积达到60%,耕地与居民建设用地所占比例控制在20%—30%,那么,定跨港、大浦港和烧香港的LCI将分别下降至-0.47、0.59和0.57,多样性(SHDI)会分别增至1.25、1.66和1.41,景观异质性增大,破碎度降低,景观格局的正效应将会更加突出,表现在水体TN和NH₄⁺-N含量可能将下降约60%—80%。这样就能够实现最好的水污染生态修复效果,同时也充分发挥景观的环境美化作用,推动区域社会经济又好又快的发展。

References:

- [1] Cui J, Ma Y H, Zhao Y P, Dong J J, Shi R G, Huang W X. Characteristic and countermeasures for control and prevention of multiple area-pollution in agriculture. *Chinese Agriculture Science Bulletin*, 2006, 22(1): 335-340.
- [2] Zhang J F, Jiang J M, Zhang Z J, Shan Q H, Chen G C, Wang Y, Xu Y H, Wu H, Abarquez A. Discussion on role of forest to control agricultural non-point source pollution in Taihu Lake basin-based on source-sink analysis. *Water Resource and Protection*, 2009, 1(5): 345-350.
- [3] 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.
- [4] Tomer M D, Dosskey M G, Burkart M R, James D E, Helmers M J, Eisenhauer D E. Methods to prioritize placement of riparian buffers for improved water quality. *Agroforestry Systems*, 2009, 75(1): 17-25.
- [5] Tang Y L, Zhang G X. Relationships between watershed unit landscape pattern and agricultural non-point source pollution. *Chines Journal of Ecology*, 2009, 28(4): 740-746.
- [6] Li Z F, Liu H Y, Li H P, Wang X X, Liu H J, Wu M W. Impacts on nutrient export by landscape heterogeneity based on sub-watershed. *Environmental Science*, 2010, 31(9): 2029-2035.
- [7] Zhang H J, Chen F. Non-point pollution statistics and control measures in Taihu basin. *Water Resources Protection*, 2010, 26(3): 87-90.
- [8] Li Z F, Yang G S. Research on non-point source pollution in Taihu lake region. *Journal of Lake Science*, 2004, 16(S1): 83-88.
- [9] Kronvang B, Græsbøll P, Larsen S E, Svendsen L M, Andersen H E. Diffuse nutrient losses in Denmark. *Water Science and Technology*, 1996, 33(4): 81-88.
- [10] Wu J G. *Landscape Ecology: Pattern, Process, Scale and Hierarchy* (2nd edition). Beijing: Higher Education Press, 2007.
- [11] Chen L D, Tian H Y, Fu B J, Zhao X F. Development of a new index for integrating landscape patterns with ecological processes at watershed scale. *Chinese Geographical Sciences*, 2009, 19(1): 37-45.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [14] Xian G, Crane M, Su J S. An analysis of urban development and its environmental impact on the Tampa Bay watershed. *Journal of Environmental Management*, 2007, 85(4): 965-976.
- [15] Xiao H, 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.
- [16] 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.
- [17] 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.

- [18] Zhang D W, Li Y F, Sun X, Zhang F S, Zhu H X, Liu Y, Zhang Y, Zhuang M, Zhu X D. Relationship between landscape pattern and river water quality in Wujingang region, Taihu lake watershed. *Environmental Science*, 2010, 31(8): 1775-1783.
- [19] Zhou T, Peng S L, Ren W T. Influence of landscape pattern changes on the restoration of stream in Dongjiang river riparian buffer. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 29(1): 231-239.
- [20] State Environmental Protection Administration. *Water and Wastewater Monitoring and Analysis Methods*. (4th edition). Beijing: China Environmental Science Press, 2002.
- [21] Guan B H, Li J, Zeng A B, Deng J S, Zhang J. Impacts of urban land use on water quality in Hangzhou. *Resources Science*, 2008, 30(6): 857-863.
- [22] 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.
- [23] 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.
- [24] Farina A. *Principles and Methods in Landscape Ecology: Toward a Science of Landscape*. Boston: Kluwer Academic Pub, 2006.
- [25] Xiao D N. *Landscape Ecology*. Beijing: Science Press, 2003.
- [26] Liu Y, Lü Y H, Fu B J. Implication and limitation of landscape metrics in delineating relationship between landscape pattern and soil erosion. *Acta Ecologica Sinica*, 2011, 31(1): 267-275.
- [27] Gai J Y. *Test of Statistical Methods*. Beijing: China Agriculture Press, 2000.
- [28] Zhao Q, Jiang H M, Sun M Z, Li L Z, Xin Q G. Correlation and path analysis of yield components of winter wheat varieties with high yield potential cultured in regional trials of Shandong province. *Chinese Agricultural Science Bulletin*, 2011, 27(7): 42-45.
- [29] Liu F, Shen Z Y, Liu R M. The agricultural non-point source pollution in the upper reaches of the Yangtze River based on source-sink ecological process. *Acta Ecologica Sinica*, 2009, 26(6): 3271-3277.
- [30] Zhang J F, Shan Q H, Qian H T, Xu Y H, Cao M J. Effects and planting techniques of hedgerow intercropping on sloping lands in agricultural non-point source pollution control. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 2008, 28(5): 180-185.
- [31] Zeng L X, Huang Z L, Xiao W F, Lei J P, Pan L. Function, design and management of riparian vegetation buffer strips. *Scientia Silvae Sinicae*, 2010, 46(2): 128-133.
- [32] Zhang J F, Fang M Y, Li S, He B H, Liu G Y. Developing agroforestry in slopelands to combat non-point pollution in China. *Chinese Forestry Science and Technology (English Edition)*, 2007, 6(4): 67-72.

参考文献:

- [1] 崔健, 马友华, 赵艳萍, 董建军, 石润圭, 黄文星. 农业面源污染的特性及防治对策. *中国农学通报*, 2006, 22(1): 335-340.
- [5] 唐艳凌, 章光新. 流域单元景观格局与农业非点源污染的关系. *生态学杂志*, 2009, 28(4): 740-746.
- [6] 李兆富, 刘红玉, 李恒鹏, 王晓旭, 刘焕金, 郭明伟. 基于流域单元的营养盐输出与景观异质性影响研究. *环境科学*, 2010, 31(9): 2029-2035.
- [7] 张红举, 陈方. 太湖流域面源污染现状及控制途径. *水资源保护*, 2010, 26(3): 87-90.
- [8] 李兆富, 杨桂山. 太湖流域非点源污染特征与控制. *湖泊科学*, 2004, 16(S1): 83-88.
- [10] 郭建国. *景观生态学: 格局, 过程, 尺度与等级*. 北京: 高等教育出版社, 2007.
- [12] 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.
- [13] 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.
- [16] 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): 5271-5281.
- [17] 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.
- [18] 张大伟, 李杨帆, 孙翔, 张方山, 朱红兴, 刘毅, 张英, 庄敏, 朱晓东. 入太湖河流武进港的区域景观格局与河流水质相关性分析. *环境科学*, 2010, 31(8): 1775-1783.
- [19] 周婷, 彭少麟, 任文韬. 东江河岸缓冲带景观格局变化对水体恢复的影响. *生态学报*, 2009, 29(1): 231-239.
- [20] 国家环境保护总局. *水和废水监测分析方法 (第四版)*. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [21] 官宝红, 李君, 曾爱斌, 邓劲松, 张军. 杭州市城市土地利用对河流水质的影响. *资源科学*, 2008, 30(6): 857-863.
- [25] 肖笃宁. *景观生态学*. 北京: 科学出版社, 2003.
- [26] 刘宇, 吕一河, 傅伯杰. 景观格局-土壤侵蚀研究中景观指数的意义解释及局限性. *生态学报*, 2011, 31(1): 267-275.
- [27] 盖均镒. *试验统计方法*. 北京: 中国农业出版社, 2000.
- [28] 赵倩, 姜鸿明, 孙美芝, 李林志, 辛庆国. 山东省区试小麦产量与产量构成因素的相关和通径分析. *中国农学通报*, 2011, 27(7): 42-45.
- [29] 刘芳, 沈珍瑶, 刘瑞民. 基于“源-汇”生态过程的长江上游农业非点源污染. *生态学报*, 2009, 29(6): 3271-3277.
- [30] 张建锋, 单奇华, 钱洪涛, 徐永辉, 曹孟军. 坡地固氮植物篱在农业面源污染控制方面的作用与营建技术. *水土保持通报*, 2008, 28(5): 180-185.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 20 October, 2012 (Semimonthly)
CONTENTS

Characteristics of nitrous oxide (N ₂ O) emission from a headstream in the upper Taihu Lake Basin	YUAN Shufang, WANG Weidong (6279)
Nutrient dynamics of the litters during standing and sediment surface decay in the Min River estuarine marsh	ZENG Congsheng, ZHANG Linhai, WANG Tian'e, et al (6289)
Diversity and distribution of endophytic bacteria isolated from <i>Caragana microphylla</i> grown in desert grassland in Ningxia	DAI Jinxia, WANG Yujiong (6300)
Spatial distribution of <i>Trabala vishnou gigantina</i> Yang pupae in Shaanxi Province, China	ZHANG Yiqiao, ZONG Shixiang, LIU Yonghua, et al (6308)
Effects of drought stress on <i>Cyclobalanopsis glauca</i> seedlings under simulating karst environment condition	ZHANG Zhongfeng, YOU Yeming, HUANG Yuqing, et al (6318)
Ecosystem diversity in Jinggangshan area, China	CHEN Baoming, LIN Zhengguang, LI Zhen, et al (6326)
Niche dynamics during restoration process for the dominant tree species in montane mixed evergreen and deciduous broadleaved forests at Mulinzi of southwest Hubei	TANG Jingming, AI Xuenru, YI Yongmei, et al (6334)
Effects of different day/night warming on the photosynthetic characteristics and chlorophyll fluorescence parameters of <i>Sinocalycanthus chinensis</i> seedlings	XU Xingli, JIN Zexin, HE Weiming, et al (6343)
The effect of simulated chronic high wind on the phenotype of <i>Salsola arbuscula</i>	NAN Jiang, ZHAO Xiaoying, YU Baofeng (6354)
Responses of N and P stoichiometry on mulching management in the stand of <i>Phyllostachys praecox</i>	GUO Ziwu, CHEN Shuanglin, YANG Qingping, et al (6361)
Tree-ring-based reconstruction of the temperature variations in February and March since 1890 AD in southern Jiangxi Province, China	CAO Shoujin, CAO Fuxiang, XIANG Wenhua (6369)
Diel variations and seasonal dynamics of soil respirations in subalpine meadow in western Sichuan Province, China	HU Zongda, LIU Shirong, SHI Zuomin, et al (6376)
Effects of fire disturbance on litter mass and soil carbon storage of <i>Betula platyphylla</i> and <i>Larix gmelinii</i> - <i>Carex schmidtii</i> swamps in the Xiaoxing'an Mountains of Northeast China	ZHOU Wenchang, MU Changcheng, LIU Xia, et al (6387)
Variance analysis of soil carbon sequestration under three typical forest lands converted from farmland in a Loess Hilly Area	TONG Xiaogang, HAN Xinhui, WU Faqi, et al (6396)
Soil-property and plant diversity of highway rocky slopes	PAN Shulin, GU Bin, LI Jiaxiang (6404)
Effects of slope position on soil microbial biomass of <i>Quercus liaotungensis</i> forest in Dongling Mountain	ZHANG Di, ZHANG Yuxin, QU Laiye, et al (6412)
Responses of water quality to landscape pattern in Taihu watershed: case study of 3 typical streams in Yixing	WANG Ying, ZHANG Jianfeng, CHEN Guangcai, et al (6422)
Study on the fairness of resource-environment system of Jiangxi Province based on different methods of Gini coefficient	HUANG Heping (6431)
Simulation of the spatial pattern of land use change in China: the case of planned development scenario	SUN Xiaofang, YUE Tianxiang, FAN Zemeng (6440)
Arable land change dynamics and their driving forces for the major countries of the world	ZHAO Wenwu (6452)
Denitrification characteristics of an aerobic denitrifying bacterium <i>Deffluibacter lusatiensis</i> str. DN7 using different sources of nitrogen	XIAO Jibo, JIANG Huixia, CHU Shuyi (6463)
Study on sustainable development in nanjing based on ecological footprint model	ZHOU Jing, GUAN Weihua (6471)
Applying input-output analysis method for calculation of water footprint and virtual water trade in Gansu Province	CAI Zhenhua, SHEN Laixin, LIU Junguo, et al (6481)
Correlation analysis of spatial variability of Soil available nitrogen and household nitrogen inputs at Pujiang County	FANG Bin, WU Jinfeng, NI Shaoxiang (6489)
Characteristics of the fish assemblages in the intertidal salt marsh zone and adjacent mudflat in the Yangtze Estuary	TONG Chunfu (6501)
A comparison study on the secondary production of macrobenthos in different wetland habitats in Shenzhen Bay	ZHOU Fufang, SHI Xiuhua, QIU Guoyu, et al (6511)
Regurgitant from <i>Orgyia ericae</i> Germar induces calcium influx and accumulation of hydrogen peroxide in <i>Ammopiptanthus mongolicus</i> (Maxim. ex Kom.) Cheng f. cells	GAO Haibo, ZHANG Shujing, SHEN Yingbai (6520)
Behavior characteristics and habitat adaptabilities of the endangered butterfly <i>Teinopalpus aureus</i> in Mount Dayao	ZENG Juping, ZHOU Shanyi, DING Jian, et al (6527)
Community structure and dynamics of fig wasps in syconia of <i>Ficus microcarpa</i> Linn. f. in Fuzhou	WU Wenshan, ZHANG Yanjie, LI Fengyu, et al (6535)
Review and Monograph	
Review and trend of eco-compensation mechanism on river basin	ZHANG Zhiqiang, CHENG Li, SHANG Haiyang, et al (6543)
Definition and research progress of sustainable consumption: from industrial ecology view	LIU Jingru, LIU Ruiquan, YAO Liang (6553)
The estimation and application of the water footprint in industrial processes	JIA Jia, YAN Yan, WANG Chenxing, et al (6558)
Research progress in ecological risk assessment of mining area	PAN Yajing, WANG Yanglin, PENG Jian, et al (6566)
Scientific Note	
Litter amount and its dynamic change of four typical plant community under the fenced condition in desert steppe	LI Xuebin, CHEN Lin, ZHANG Shuoxin, et al (6575)
Effects of planting densities and modes on activities of some enzymes and yield in summer maize	LI Hongqi, LIN Haiming, LIANG Shurong, et al (6584)

《生态学报》2013 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的生态学专业性高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,300 页,国内定价 90 元/册,全年定价 2160 元。

国内邮发代号:82-7,国外邮发代号:M670

标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 20 期 (2012 年 10 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 20 (October, 2012)

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 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:1000717	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