

# 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

岳 隽<sup>1,2</sup>, 王仰麟<sup>1,2</sup>, 李正国<sup>1,2</sup>, 张 源<sup>1,2</sup>, 卜心国<sup>1,2</sup>

(1. 北京大学环境学院, 北京 100871; 2. 北京大学深圳研究生院数字城市与景观生态研究中心, 广东 深圳 518055)

**摘要:** 从深圳市的现实研究需求出发, 在对地表水体主要水质指标因子分析的基础上, 研究了深圳市境内五个集雨面积大于 100 km<sup>2</sup> 的河流近 10 年的水质时空变化特征。然后结合 5 个流域的土地利用详查数据, 应用统计分析和空间分析方法论证了流域内土地利用类型与河流水质关键指标之间的相关关系。研究表明, 从 1996 - 2004 年深圳市 5 个主要河流的有机物污染程度有不断增加的趋势, 不同时间段内 5 个流域的耕地、园地和建设用地的数量对相应河水质的有机物污染有明显的正效影响作用。因此为了制定和实施合理的水环境保护对策, 需要对流域内土地利用结构进行优化调整, 以期构建流域尺度上水土资源协调发展的可行预案。

**关 键 词:** 河流水质; 时空变化; 土地利用; 相关分析; 深圳市

**中图分类号:** X52, X144      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1001-6791(2006)03-0359-06

随着我国城市化进程的不断加快, 城市水环境问题日益凸现, 主要表现为: 社会经济对水资源的需求甚至超过其供水能力或水资源总量、人口的增加导致对水空间的侵蚀和占有以及社会经济系统排放的污染物严重危害了水资源质量<sup>[1]</sup>, 这些问题的解决与否逐渐成为城市可持续发展的瓶颈要素。深圳地区在短短的 20 多年里经历了快速城市化过程, 其发展演变对水环境带来了深远的影响。一方面, 城市下垫面的巨大改变, 使得汇流时间大大减少, 汇流路径缩短, 造成洪涝灾害日益严重<sup>[2]</sup>; 另一方面, 河流水质遭到了严重的破坏, 主要河流有机污染严重, 主要河段水质均超过国家地表水 类标准<sup>[3]</sup>。由于深圳市的河流基本上均为雨源性河流, 河流的水量 and 水质都与暴雨历时、强度等密切相关, 这也使得由于暴雨径流引发的非点源污染对河流水质的影响比较严重, 而土地利用方式的不合理是目前非点源污染恶化的关键所在<sup>[4]</sup>。研究深圳市河流水质的时空变化特征, 继而探讨其受土地利用的影响程度对于开展深圳市水资源保护和可持续利用具有非常重要的意义。

## 1 研究基础

### 1.1 数据准备

深圳市目前共有河流 310 多条, 流域面积大于 100 km<sup>2</sup> 的河流有 5 条, 分别为茅洲河、观澜河、深圳河、龙岗河和坪山河, 其他河流则干小流短。在本次研究中重点分析这五条河流所在流域内土地利用类型对河流水质时空变化特征的影响情况。根据深圳市 2000 年和 2003 年的土地利用详查图(比例尺为 1:10 000), 利用 ArcView 的空间分析功能将土地利用图与流域分布图进行叠加获取了深圳市主要流域的土地利用/覆被分布情况。根据深圳市 1996 - 2004 年的环境质量公报获取了主要河流环境质量监测数据的年平均值。研究对象的位置分布见图 1。

收稿日期: 2005-10-14; 修订日期: 2005-12-20

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(40471002); 北京大学深圳研究生院院长基金资助项目(2005060)

作者简介: 岳 隽(1977-), 女, 甘肃兰州人, 北京大学博士研究生, 主要从事景观生态与土地利用研究。

E-mail: yuejun163@163.com

## 1.2 研究方法

研究中采用统计分析和空间分析两种方法。一方面,利用相关分析法描述了不同水质指标以及土地利用类型与水质指标之间的关系强度。另一方面,利用 ArcView 的空间分析功能,确定了具有较强相关关系的水质变量的浓度分布梯度图,同时将与关键水质指标相关的土地利用图与水质指标浓度变化柱状图叠加起来,直观地表现不同水质指标受土地利用影响的范围和程度。

## 2 研究结果

### 2.1 关键水质指标的选择

深圳市历年河流水质监测的常规项目包括:水温、pH 值、溶解氧、高锰酸盐指数、五日生化需氧量、亚硝酸盐氮、硝酸盐氮、氨氮、总氮、总磷、挥发酚、氰化物、石油类、砷、汞、六价铬等。由于监测项目过多,不可能对所有指标一一展开分析。这里对深圳市主要河流水质的监测指标年平均值进行了相关分析,选择了河流水质评价的关键指标,结果见表 1。

表 1 深圳市主要河流水质指标的相关性分析

Table 1 Correlation analysis of the key determinands of main rivers in Shenzhen

水质指标 $x$	水质指标 $y$	相关系数	置信水平
高锰酸盐指数	溶解氧含量	-0.8142	0.001
	五日生化需氧量	-0.7381	0.001
五日生化需氧量	高锰酸盐指数	0.7701	0.001
	溶解氧含量	-0.9370	0.100
氨氮*	高锰酸盐指数	0.9400	0.100
	溶解氧含量	-0.9334	0.100
总氮*	高锰酸盐指数	0.9389	0.100
	氨氮	0.9962	0.050
	溶解氧含量	-0.7349	0.001
总磷	高锰酸盐指数	0.8698	0.001
	五日生化需氧量	0.7447	0.001
	氨氮	0.9614	0.100
	总氮	0.9613	0.001

\*由于氨氮和总氮数据的统计年份不连续,因此进行相关分析时只选择了 2002 - 2004 年的样本值。

### 2.2 河流水质的时间变化

根据以上水质指标的相关分析结果,选择溶解氧含量、高锰酸盐指数、五日生化需氧量和总磷来分析河流水质的时间变化特征,具体的变化趋势见图 2。

从以上 4 个水质指标的变化趋势图中,可以发现这五大河流的溶解氧浓度变化的总体趋势是降低的,高锰酸盐指数、五日生化需氧量和总磷变化的总体趋势则是上升的,这说明近十年以来深圳市河流水质的污染程度都在不断提高。4 个水质指标在 2000 - 2003 年都有较为明显的上下波动。其中,溶解氧含量在 2000 - 2001 年有所上升,2001 - 2002 年表现出明显的下降趋势,其中尤以观澜河表现的最为明显。高锰酸盐指数从 2000 - 2001 年表现出下降趋势,2001 - 2002 年表现出明显的上升趋势,2003 年以后又开始降低,由于 2002 年上升的数值比较大,因此 2002 年高锰酸盐指数在不同河流几乎均达到了历年来的凸点位置。总磷的变化则表现出明显的双峰特征,在 2000 年有一个极大值,在 2002 年又有一个极大值,2001 年则多数表现为降低的趋势,其中以茅洲河表现的比较明显,从 1999 - 2002 年阶段性持续上升。五日生化需氧量变化的波动性也比较强烈,其中以茅洲河上升和下降的幅度最大,不同流域的五日生化需氧量值在 2000 - 2001 年之间均有所下降,从 2001



图 1 研究区域位置分布图

Fig. 1 Location map of study sites in Shenzhen

结果表明高锰酸盐指数和五日生化需氧量、氨氮、总氮和总磷之间存在显著的正相关关系,与溶解氧含量之间存在显著的负相关关系。溶解氧含量与高锰酸盐指数、五日生化需氧量、氨氮、总氮、总磷之间都存在显著的负相关关系。总氮、氨氮和总磷之间存在显著的正相关关系。由于溶解氧含量、高锰酸盐指数、五日生化需氧量和总磷之间的相关关系比较明显,所以它们可以被用来反映深圳市河流水质的主要变化趋势。实际上在对深圳市河流污染物的分析中也发现,这些水质指标均为河流的主要污染物。

- 2002 年又开始上升。从以上 4 个水质指标的分析中，可以发现除了溶解氧含量这一个指标以外，其余 3 个水质指标均在 2000 - 2003 年表现出较为明显的先下降后上升然后又下降的趋势，上升的幅度基本上都大于下降的幅度，这说明这 5 条河流在 2002 年都发生了较为严重的污染情况。

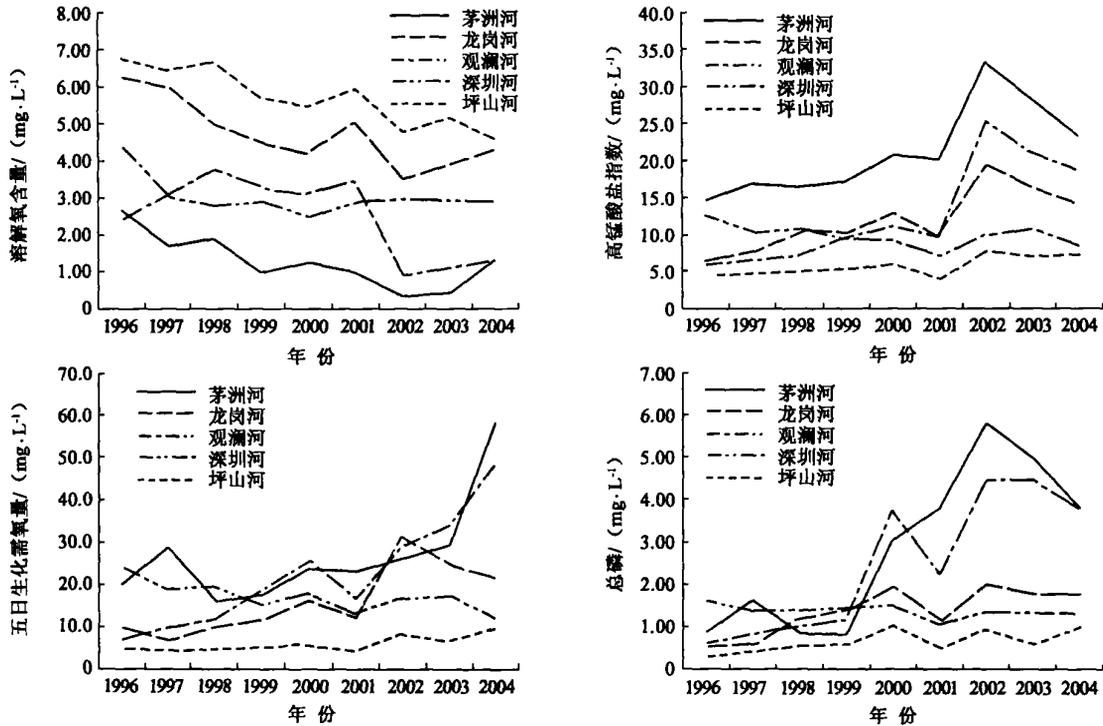


图 2 深圳市主要河流水质历年变化趋势图

Fig. 2 Temporal change of water quality in main rivers of Shenzhen

### 2.3 河流水质的空间变化

针对以上 4 个水质指标，分别对波动变化比较明显的 2001 年和 2002 的水质监测数据进行空间分布分析。将浓度指标进行分级，并利用 ArcView 直观地反映在图 3 中。

从 2001 年这五个流域各水质指标的浓度分布图来看，除溶解氧含量以外，茅洲河流域的高锰酸盐指数、五日生化需氧量和总磷的浓度均高于其他流域，说明这个流域的污染情况比其他流域要严重。到 2002 年，茅洲河流域相对于其他流域仍然具有最高的高锰酸盐指数和总磷浓度，龙岗河流域和观澜河流域的五日生化需氧量数值也相对较高。从 2001 - 2002 年这几个流域的污染都出现了不同程度的加剧情况。深圳河流域的水质指标浓度相较其他流域来讲均处于中间水平，这可能与深圳河流域大部分位于深圳经济特区内，对污染源的控制和处理能力要高于特区外有关。从水质指标浓度的空间分布图可以看出，茅洲河流域的污染较为严重，龙岗河流域和观澜河流域的污染情况日益加剧，坪山河流域的水污染情况相对较轻。

### 2.4 土地利用与河流水质的相关关系

许多研究表明，土地利用/覆被类

表 2 深圳市土地利用类型与水质指标的相关性分析

Table 2 Correlation analysis of the key determinands and catchment land use in Shenzhen

土地利用类型	水质指标	年份	相关系数	置信水平
耕地	高锰酸盐指数	2000	0.8712	0.05
		2003	0.8283	0.05
园地	高锰酸盐指数	2000	0.9566	0.01
		2003	0.8367	0.05
建设用地	五日生化需氧量	2000	0.7111	0.10
		2003	0.8046	0.10
建设用地	溶解氧含量	2000	- 0.7228	0.10
		2003	- 0.6675	0.10

型与水体的数量和质量之间存在着紧密的相互作用关系，土地利用的方式和土地覆被的类型可以显著地影响水体的水质和水量<sup>[5]</sup>。为了分析流域内土地利用对河流水质的影响程度，研究中从时间和空间两个序列上，分别采用 2000 年和 2003 年的土地利用数据与相应年份各流域的水质监测年平均数据进行了相关分析，从两者的相关程度能够间接地看出土地利用对河流水质的影响程度。具体的分析结果见表 2。

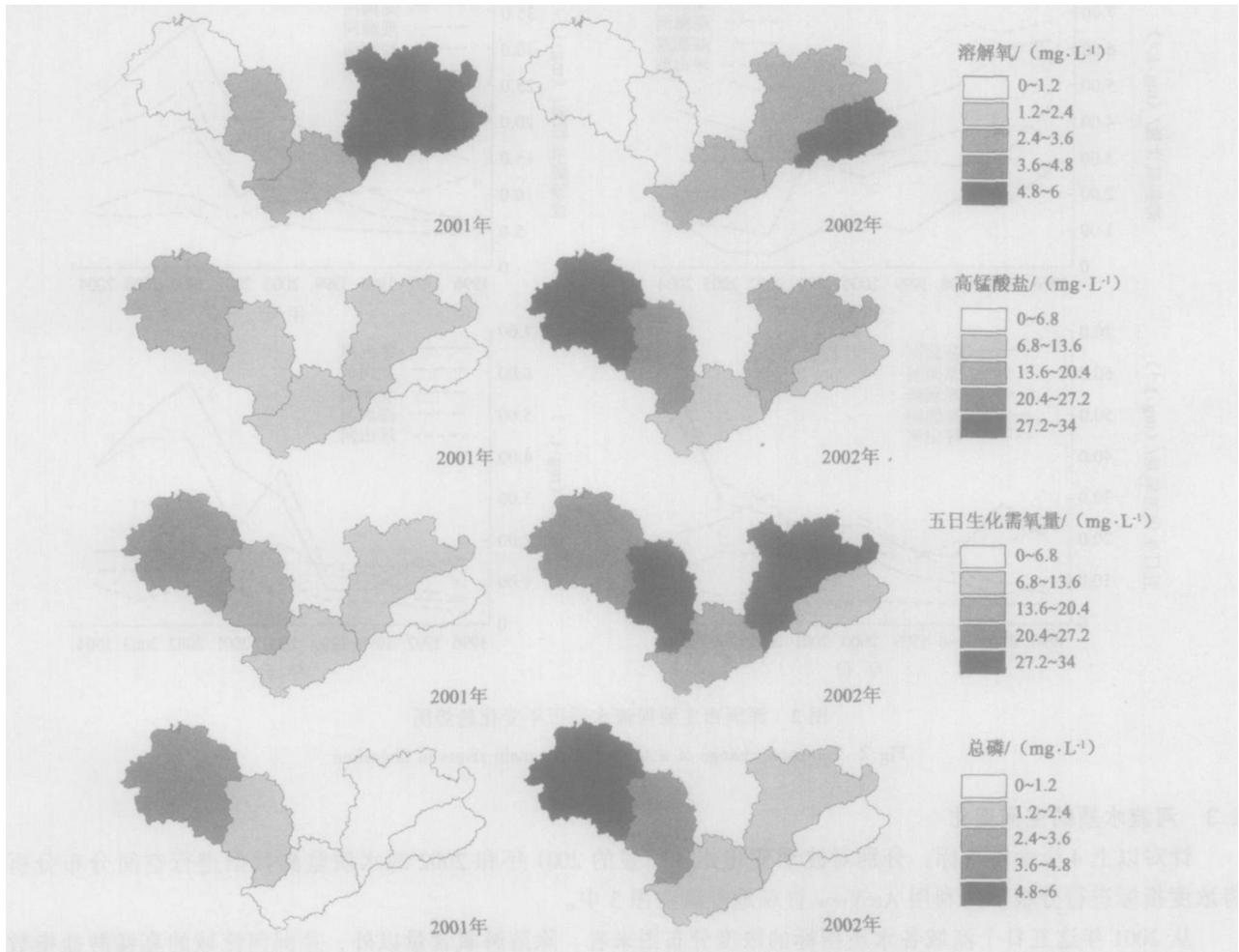


图 3 深圳市主要河流水质空间变化分布图

Fig. 3 Spatial change of water quality in main rivers of Shenzhen

统计相关分析的结果表明流域内土地利用类型与河流水质主要指标之间存在显著的相关关系。比如，耕地和园地都与高锰酸盐指数有显著的正相关关系，建设用地与五日生化需氧量有显著的正相关关系，与溶解氧有较为显著的负相关关系。可见，在 2000 年和 2003 年，深圳市 5 个主要流域内耕地和园地这两类土地利用类型对河流水质的高锰酸盐指数有比较明显的正效影响作用，建设用地对河流水质的五日生化需氧量有比较明显的正效影响作用，建设用地对河流水质的溶解氧含量有比较明显的负效影响作用。这表明流域内土地利用类型可以显著影响河流水质污染物的浓度。

为了进一步分析土地利用对水质的影响程度，利用 ArcView 的空间分析工具，对 2003 年相关关系比较显著的不同类型的土地利用分布图与水质指标浓度变化图进行叠加，来分析两者的空间关系。分析结果见图 4。

从图 4 中可以看出，2003 年茅洲河流域具有较高的高锰酸盐指数，同时茅洲河流域内的耕地和园地的数量也明显大于其他流域；2003 年深圳河流域和坪山河流域具有较低的高锰酸盐指数，这两个流域内的耕地和

园地的数量也明显少于其他流域。2003年茅洲河流域和观澜河流域具有较高的五日生化需氧量值，其建设用地的数量明显大于具有较低五日生化需氧量值的坪山河流域。与此相反的是，在同样的建设用地数量下，2003年茅洲河流域和观澜河流域的溶解氧含量相较于其他流域来说则比较低。这实际上反映出建设用地与五日生化需氧量之间的正相关关系，以及建设用地与溶解氧含量之间的负相关关系。

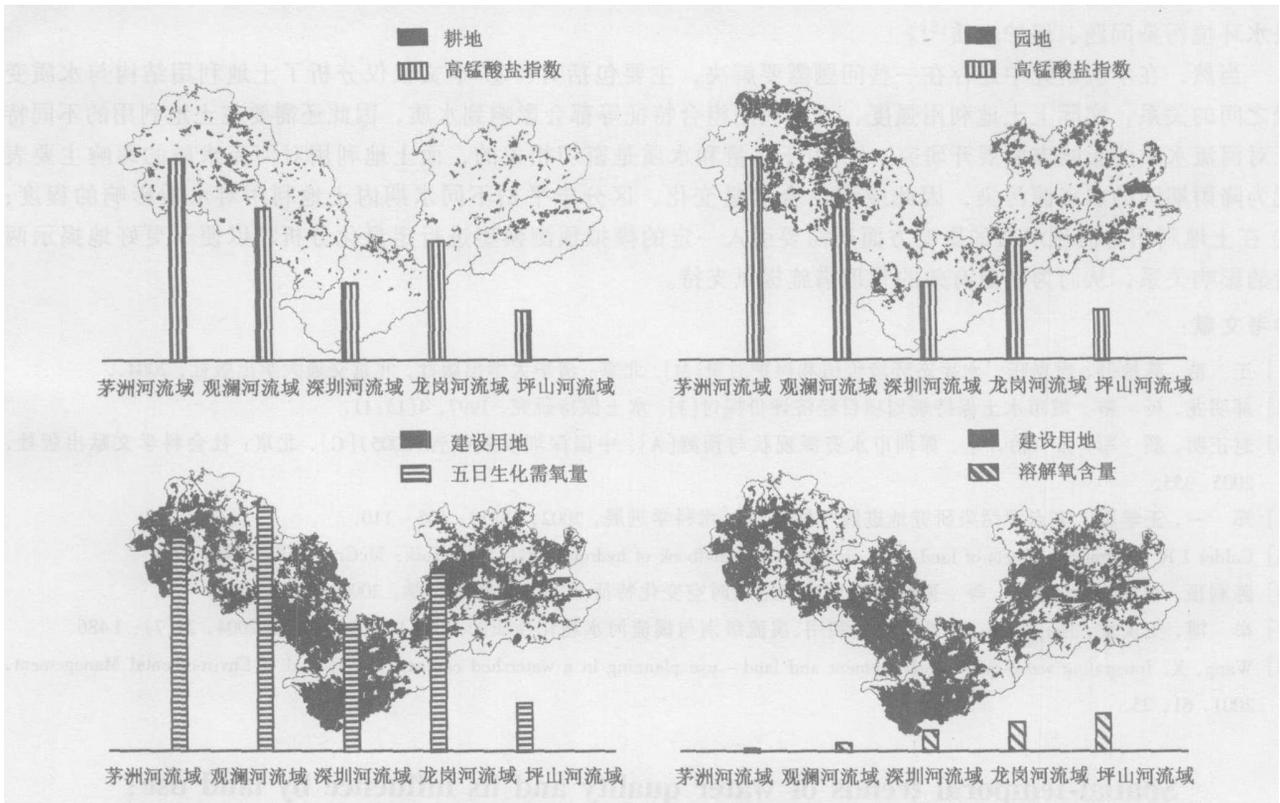


图4 深圳市2003年土地利用与水质指标的空间分析

Fig. 4 Spatial analysis of catchment land use and the key determinands in Shenzhen in 2003

由于高锰酸盐指数、五日生化需氧量和溶解氧含量均为有机物污染的重要指标，水污染越严重，溶解氧含量越低，高锰酸盐指数和五日生化需氧量越高。从以上的分析中可以看出耕地、园地和建设用地的数量对河流水质的有机物污染有明显的影响作用，而且这些土地利用类型的数量越高，其对河流水质有机物污染的贡献程度就越大。将这一研究结果与国内其他学者的研究成果进行对照分析<sup>[6,7]</sup>，发现虽然由于考虑数据完整性而选择的水质监测指标有所不同，但是研究结果均表明耕地、建设用地这些用地类型的增加，均会增加水污染负荷量，导致地表水质恶化。当然由于相关分析作为一种统计分析方法，只能分析土地利用类型与水质指标两个要素之间相互关系的密切程度，其分析结果受到数据量以及边界条件的限制。因此若要更好地分析土地利用变化对水环境影响的程度，还需要利用一定的模拟模型进行定量化研究。

### 3 结论和讨论

根据以上对深圳市1996-2004年主要河流水质指标的分析，发现茅洲河、龙岗河、观澜河、深圳河和坪山河各个河流的污染程度都随着时间的变化有所增加，其中从2000-2003年则表现出明显的上下波动趋势。在空间分布上，茅洲河的污染情况比较严重，坪山河的污染程度最轻。为了分析土地利用类型变化对水质变化带来的影响，将2000年和2003年土地利用详查数据与不同年份的水质指标监测值进行相关分析，发现耕地和园地与高锰酸盐指数有较为明显的正相关关系，建设用地与五日生化需氧量具有明显的正相关关系，而与溶解

氧浓度具有明显的负相关关系。在随后的土地利用空间分布图与水质指标浓度变化图的叠加分析中,也证实了水质指标与土地利用类型之间相关关系的存在。从以上的研究中,可以看出土地利用类型的变化对水质变化具有较为明显的影响作用。因此在河流水质变化原因的探讨中,土地利用类型的变化是一项非常重要的因素。只要能够明确土地和水质之间的关系,这样就可以通过适当的土地利用规划来确定合理的污染预防措施,从而解决水环境污染问题、保护水质<sup>[8]</sup>。

当然,在本次研究中还存在一些问题需要解决,主要包括有: 本文仅仅分析了土地利用结构与水质变量之间的关系,实际上土地利用强度、土地利用组合特征等都会影响到水质,因此还需要在土地利用的不同特征对河流水质的影响方面展开研究; 由于水量和水质是密切相关的,而土地利用对河流水质的影响主要表现为降雨期间的非点源污染,因此应该结合水量变化、区分丰平枯不同水期内土地利用对水质影响的程度;

在土地利用对河流水质的影响方面还需要引入一定的模拟预测模型进行定量化分析,以便于更好地揭示两者的影响关系,从而为制定有效的管理措施提供支持。

#### 参考文献:

- [1] 王 浩,陈敏健,唐克旺. 水生态环境价值和保护对策[M]. 北京:清华大学出版社,北京交通大学出版社,2004.
- [2] 郝明龙,杨 耕. 城市水土保持规划项目经济评价探讨[J]. 水土保持研究,1997,4(1):11.
- [3] 赵正明,颜 军,张 怡,等. 深圳市水资源现状与预测[A]. 中国深圳发展报告(2005)[C]. 北京:社会科学文献出版社,2005. 355.
- [4] 郑 一,王学军. 非点源污染研究地进展与展望[J]. 水科学进展,2002,13(1):105-110.
- [5] Calder I R. Hydrologic effects of land - use change[A]. Handbook of hydrology[C]. New York: McGraw-Hill, 1993. 50.
- [6] 陈利顶,李俊然,郭旭东,等. 蓟运河流域地表水质时空变化特征分析[J]. 环境科学,2000,6(21):61.
- [7] 牟 溥,王庆成, Hershey A E, 等. 土地利用、溪流级别与溪流河水理化性质的关系[J]. 生态学报,2004,24(7):1486.
- [8] Wang, X. Integrating water-quality management and land - use planning in a watershed context[J]. Journal of Environmental Management, 2001, 61: 25.

## Spatial-temporal trends of water quality and its influence by land use : A case study of the main rivers in Shenzhen \*

YUE Jun<sup>1,2</sup>, WANG Yang-lin<sup>1,2</sup>, LI Zheng-guo<sup>1,2</sup>, ZHANG Yuan<sup>1,2</sup>, BU Xir-guo<sup>1,2</sup>

(1. College of Environmental Sciences, Peking University, Beijing 100871, China;

2. Center for Digital City and Landscape Ecology, Shenzhen Graduate School, Peking University, Shenzhen 518055, China)

**Abstract:** With an increasing trend of the urbanization in most domestic cities, urban water environment will be influenced greatly. This paper probes into the spatial-temporal trends of water quality of the five rivers with the watershed area above 100 km<sup>2</sup> in Shenzhen city, and explains the correlation relationship between the land use type and the water quality indicator by using the statistical analysis and the spatial analysis. The results show that the water quality of these five rivers from 1996 to 2004 is deteriorated and the land use type of these watersheds has close relationship with different water quality indicators, specially, the usage of arable land, orchard land and construction land will obviously result in the organic pollution of the in-stream water quality. This study indicates the water resources protection from the perspective of the land structure optimization and land use planning.

**Key words:** in-stream water quality; spatial-temporal trends; land use; correlation analysis; Shenzhen city

\* The study is financially supported by the National Natural Science Foundation of China (No. 40471002).