

# 不同土地利用类型对城市湿地水质的影响 )) 以南京市紫金山山间小流域湿地为例

郝敬锋, 刘红玉, 胡俊纳, 曹 晓

(南京师范大学地理科学学院, 江苏省环境演变与生态建设重点实验室, 江苏 南京 210046)

[摘要] 综合运用 RS 和 GIS 技术对南京市紫金山周边小流域进行边界提取、土地利用类型分析, 并且通过水样野外采集与实验室分析处理方法自 2008 年 3 月至 2009 年 2 月一年间对小流域所在水库水质进行监测. 通过计算水质指数 (WQI) 得出其季节性变化规律, 结合该小流域土地利用类型特征, 揭示流域内土地利用类型与水质之间的关系. 结果表明: 各小流域内土地利用类型对下游水体水质影响显著. <sup>1</sup> 水质指数 (WQI) 季节性变化主要表现在: 上游有建设用地的流域从春季到秋季期间 WQI 有降低趋势, 从秋季到冬季又逐渐上升; 而无建设用地或者建设用地面积比例较小的小流域在夏季暴雨径流的影响下, 水质会逐渐改善, WQI 有升高趋势. <sup>2</sup> 小流域内建设用地对各小流域水体水质有负效影响. 而以景观林为主的苗圃对下游水体影响不大; 流域内林地、水库占流域面积越大, 其下游水体水质则相对较好, 对水质改善有着正效影响.

[关键词] 土地利用, 城市湿地, 水质, 南京市

[中图分类号] P96 X21 [文献标识码] A [文章编号] 100124616(2010)0120125205

## Influence of Land Use on Water Quality in Urban Area

)) A Case Study of Zijin Mountain in Nanjing

Hao Jingfeng, Liu Hongyu, Hu Junna, Cao Xiao

( Jiangsu Key Lab of Environment Change and Ecology Construction, School of Geography Science,  
Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract This study extracts the boundary of the small catchments and analyzes of land use type of these small catchments around the Zijin Mountain in Nanjing with the aid of remote sensing, GIS techniques. Water quality was monitored from March 2008 to February 2009 by the methods of water quality collection and analyzes in the laboratory. Statistical analysis and the seasonal variation of the water quality indices (WQI) are used to illustrate the relationship between land use type and the water quality in the study area. Results show that the typical of the land use of the small catchments affect the water quality downstreams obviously. <sup>1</sup> The seasonal variation of the WQI show that all of the WQI declined from spring to autumn and it would be increased from autumn to winter except Wuming reservoir. It is because rainstorm carried lots of pollutant from the construction land to the downstream water body during summer. <sup>2</sup> Water quality would get worse when the usage of construction land got bigger and the water quality would get better when the forest land and reservoir land got bigger. So it could be concluded that the usage of construction land would obviously result in the water pollution while the usage of forests land and land would keep it down.

Key words: land use, urban wetland, water quality, Nanjing city

随着土地利用与土地/覆被变化 (LUCC) 成为全球变化领域的核心研究计划以来, 国内外学者通过实例对土地利用/覆被变化的环境效应已进行了广泛探讨<sup>[1,2]</sup>. 其中土地利用/覆被变化对湿地水质的影响也得到重视. 例如, Herlihy 等通过对美国中大西洋的 368 个湿地流域的研究, 得出了在区域尺度上河流水质化学性质与湿地流域土地利用类型之间的关系, 对数据多重回归分析得出氯离子、营养盐、底质阳离子等

收稿日期: 2009203212

基金项目: 国家自然科学基金 (40871084).

通讯联系人: 刘红玉, 教授, 博士生导师, 研究方向: 景观生态学与湿地. E-mail: lhy8589@163.com

化学易变物质与流域的土地覆被有强烈的相关性<sup>[1]</sup>; Hou lahan 等通过对加拿大东南部的安大略湖进行研究发现湿地水体中的氮、磷与周围林地面积和林地距湿地的距离有相关关系<sup>[5]</sup>. 近年来, 城市化快速发展, 对城市湿地水质产生重要影响. 目前对于湿地水质的研究主要按照地表水水质标准对水体类别进行简单划分, 而在城市生态系统中利用天然分水岭为边界划分的小流域为研究单元, 对流域内水体污染状况以及各营养盐之间的相互转换关系研究的文献较少. 本研究首先利用 GIS 水文分析功能对南京市紫金山地区进行流域划分, 选取典型流域并对其水质进行监测, 运用 SPSS1210 软件对各水质指标与土地利用类型进行相关性分析得出 spearman 相关系数, 最终揭示水质与其周围土地利用类型之间的关系, 更好的为该地区的规划建设提供科学参考, 促进城市湿地保护与水资源的可持续利用.

紫金山位于江苏省南京市中山门外, 主峰海拔 44819 m, 地理坐标为: 32b02c29195dN~ 32b05c41110d N, 118b48c32141dE~ 118b53d08104Ed 面积超过 20 km<sup>2</sup>, 是南京市民休闲养生的重要场所. 该区属于北亚热带湿润气候, 季风显著, 四季分明, 多年平均气温 15e 左右, 雨水充沛, 年平均降水量 1100 mm 左右. 紫金山周围土地利用类型以林地为主. 近年来, 受快速城市化影响, 其周边区域不断被开发利用. 在许多集水区域内建设用地、住宅用地等土地利用类型, 使原有土地利用 覆被发生改变. 本文选取紫金山周边典型集水小流域为研究单元, 通过监测小流域内湿地水质状况, 揭示城市化过程中人类活动对湿地的影响, 为合理利用与保护城市湿地提供科学依据.

## 1 研究方法

### 1.1 小流域选取和土地利用类型信息提取

通过提取南京市 1:50 000 地形图高程数据, 在 ArcGIS912 中建立空间数据库, 并利用 GIS912 水文分析功能生成山间小流域, 通过人工纠正得到紫金山周边山间小流域边界, 并从中挑选 5 个具有代表性的小流域: 友谊水库、上黄马水库、下黄马水库、五棵松水库以及无名水库流域 (图 1). 将小流域内土地利用类型划分为林地、草地、水库、住宅用地、道路、苗圃. 采用 2007 年南京市高分辨率 Spot 遥感影像数据, 在 ArcGIS912 软件中进行配准和数字化处理, 并通过目视解译, 得到各个小流域土地利用类型矢量数据. 由于各流域的面积不同, 且较小, 为了更直观地反映各土地利用类型对流域内水质的影响, 各土地利用类型面积用其占整个流域的面积百分比来表示. 考虑到流域内道路、住宅用地面积较小, 并且根据这些山间小流域内土地利用类型性质, 把道路与住宅用地归为一类, 草地与林地归为一类. 这些山间小流域处于非工业区, 因此流域水质主要是受人类生活及农业活动的影响.

### 1.2 水质监测与分析

2008 年 3 月至 2009 年 2 月对研究区 5 个流域内水库水体进行水质监测. 采样频率为每月 1 次, 本研究主要是揭示土地利用对下游水体水质的影响, 因此采样时间安排在降雨 2 d 后认为地表径流进入水体时. 样品布点是在每个流域出口. 所测水质指标包括氨氮 (NH<sub>3</sub>-N)、硝态氮 (NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>-N)、总氮 (TN)、总磷 (TP)、溶解氧 (DO)、酸碱度 (pH)、电导率 (Cond). 其中溶解氧 (DO)、酸碱度 (pH) 及电导率采用 YSI 556MPS 多参数水质测量仪现场测得, 通过连续记录 3 组数据取平均值处理. 鉴于各个样点设置在每个流域的出口且出口比较狭窄, 而平行采样则缺乏可比性, 因此各营养盐指标 (TN、TP、NO<sub>3</sub>+NO<sub>2</sub>-N、NH<sub>3</sub>-N) 采样方法主要是在每个流域出口用 500 mL 聚乙烯瓶采集 1 个表层水样, 实验室 4℃ 冷藏, 48 h 内分析. 通过实验室连续水质分析仪 (skalar) 测得, 每个样品设置 1 个空白 (CK)、3 个平行, 通过加和平均值来反映此月的水质状况. 样品的预处理方法参考 5 水和废水监测分析方法<sup>[6]</sup>. 最后取 12 个月数据的平均值来初步反映该水库水质概况. 由于采样点周围土地利用类型的特点, 在评价水质状况时仅仅使用地表

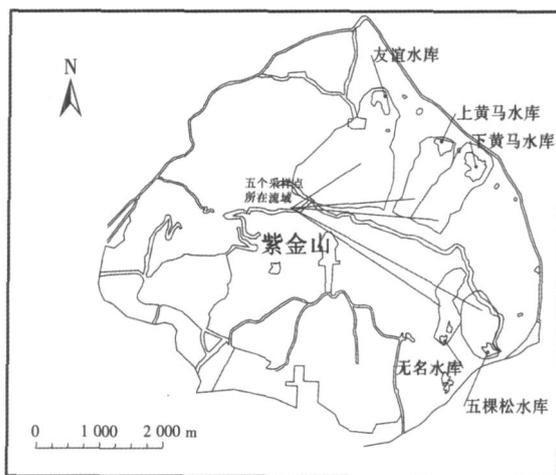


图 1 紫金山采样点空间分布图

Fig.1 Location map of samples in Zijin

水水质标准并不能有效反映出水质差异与流域内的土地利用类型的关系. 国内外很多文献证明<sup>[729]</sup>, 应用水质指数 (WQI) 可以有效衡量水质总体状况, 有效地反映各水体水质差异, 因此本文通过计算 WQI 季节性变化, 即春季 (3~5 月)、夏季 (6~8 月)、秋季 (9~11 月)、冬季 (12~2 月), 取每个季节 3 个月份水质数据的平均值来反映该季节水质整体状况, 通过与流域内土地利用状况对比, 在一定程度上说明周围土地利用结构与水质之间的响应关系. WQI 计算方法根据水质评价需要, 首先对流域水质分级, 本研究分为 6 个等级 (表 1).

表 1 水质指标与标准值对照表

Table 1 Parameters considered for WQI calculation

评价指标	权重	评分标准					
		100	80	60	40	20	0
NH <sub>3</sub> -N/(mg/L)	3	< 01 05	< 01 055	< 01 06	< 01 065	[ 01 070	> 01 07
NO <sub>3</sub> + NO <sub>2</sub> -N/(mg/L)	2	< 01 85	< 11 00	< 11 15	< 11 30	[ 11 45	> 11 45
TN/(mg/L)	3	< 01 95	< 11 50	< 21 05	< 21 60	[ 31 10	> 31 10
TP/(mg/L)	4	< 01 01	< 01 025	< 01 04	< 01 055	[ 01 07	> 01 07
DO/(mg/L)	3	> 71 0	> 61 0	> 51 0	> 41 0	\ 31 0	< 31 0
pH	1	71 0~ 71 5	71 6~ 81 0	81 1~ 81 5	81 6~ 91 0	91 1~ 91 5	> 91 5
Cond/(L S/cm)	2	< 180	< 200	< 220	< 240	[ 260	> 260

第一级赋值 100 第二级 80 依此类推, 最后一级为 0 从 100 到 0 反映水质逐级变差. 然后根据实测指标值对其进行分级, 并且根据专家评价法以及各单项指标对水体影响的程度进行分配权重. 计算公式<sup>[10]</sup>为:

$$WQI = \frac{\sum_{i=1}^n C_i P_i}{\sum_{i=1}^n P_i} \quad (1)$$

式中: C<sub>i</sub> 表示第 i 项指标的评价分数, P<sub>i</sub> 表示第 i 项指标的权重.

在水质单项指标分析对比中, 则采用了统计分析方法中的相关分析法, 计算出各土地利用类型与各项水质指标的 spearman 相关系数, 得到土地利用与水质之间的相关关系.

## 2 结果与分析

### 2.1 小流域土地利用状况

表 2 概括了 5 个采样点所在流域内各个土地利用类型及其面积比例, 5 个小流域面积除友谊水库所在流域较大为 191169 hm<sup>2</sup>, 其它均在 100 hm<sup>2</sup> 之内; 建设用地和道路面积都较小, 各个小流域土地利用状况均以林地为主, 土地利用类型与流域面积的比值见表 2 除无名水库所在流域林地占 80% 以下, 其它几个流域内林地的比例都在 80% 以上, 友谊水库林地面积比例达到 95.178%; 因为研究区为紫金山山间小流域, 所以建设用地所占比例较小, 都在 3% 以下, 上黄马和下黄马水库所在流域建设用地相对较大; 无名水库和五棵松水库所在流域中上游有苗圃, 主要种植景观用树.

表 2 5 个流域土地利用类型面积比例

Table 2 The proportion of the land use type of the five catchments %

	友谊水库	上黄马水库	下黄马水库	无名水库	五棵松水库
林地	95.178	89.178	85.12	77.135	80.199
水库	2.18	7.148	11.39	5.117	5.128
建设用地	1.14	2.175	3.134	0	2.17
苗圃	0	0	0	17.108	10.19

### 2.1.2 5 个流域内水库水质情况

图 2 为 1 年内各水质指标的加和平均值, 从图 2 可以看出, 5 个流域内水库水质整体情况较好. 氨氮浓度在 0.033~0.067 mg/L 之间, 达到地表水 III 类水标准; 总氮除友谊水库较高为 3.55 mg/L 之外, 其它几个水库总氮浓度基本处于 0~0 类水水质标准; 溶解氧 (DO) 处在 0~0 类水水质标准所要求的浓度范围之内. 五棵松水库总磷达到最高为 0.08 mg/L, 属于 0 类水质总磷浓度. 这与五棵松水库所在流域上游

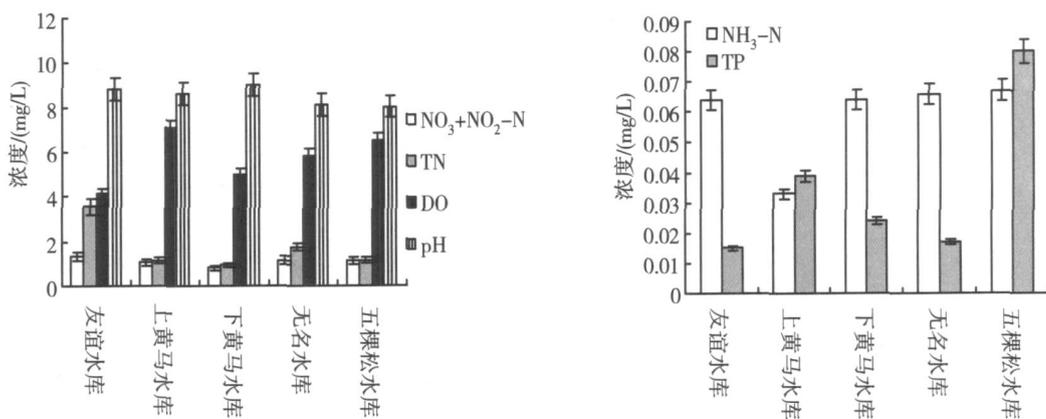


图 2 流域内采样点水质指标

Fig.2 The key determinands of each catchment

作为前养鹿厂的建设用地有关,这也是造成五棵松水库及友谊水库 WQI 较低的主要原因;另外,几个采样点的硝态氮差别不大, Amanda Azous 等人研究表明<sup>[11]</sup>在没有林地覆盖的流域内的水体,其硝态氮的含量要比至少有 14% 林地覆盖流域内水体中的含量高,从表 2 中可以看出,各个流域内林地覆盖率均远远大于 14%,所以硝态氮浓度差异并不明显.各个水库水质季节性变化差异可以从水质指数(WQI)(图 3)看出,整体来看,上黄马和下黄马水库水质相对较好,五棵松水库和友谊水库的水质相对较差,而无名水库水质季节变化比较明显.从图 3 中还可以看出,各个水库水质季节性变化规律

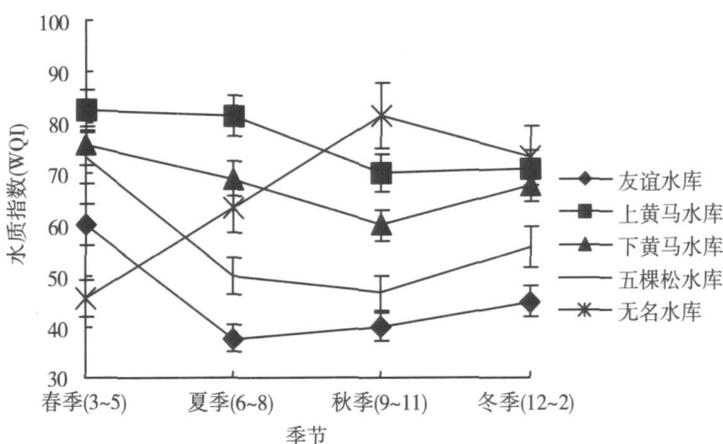


图 3 5 个水库水质(WQI)指数季节变化图

Fig.3 The seasonal variation of WQI of the catchments

为春季到夏秋季 WQI 表现为下降趋势,秋季到冬季又表现为上升趋势,这主要是因为夏季暴雨径流将上游污染物带入水库,而无名水库 WQI 在夏季、秋季反而升高,结合 5 个流域土地利用差异可知,导致 WQI 在夏季降低的主要是上游的建设用地,流域内苗圃对下游水体污染贡献并不大.而无名水库所在小流域内的苗圃主要是种植一些景观用树等植物相当于人工林,施肥量少且不是直接地表施肥,肥料不易随暴雨径流直接进入下游水库,因此在夏季随着暴雨增加从而稀释了各营养盐浓度导致无名水库水质反而较好, WQI 呈上升趋势.

### 2.1.3 流域内土地利用状况与水质之间关系

相关研究表明,土地利用类型与水质之间存在紧密相互作用关系<sup>[5,12]</sup>,本研究对土地利用类型面积比例与水质各项指标通过统计分析得到 spearman 相关系数(表 3).从表 3 可以看出林地与总氮呈负相关关系;建设用地与电导率呈正相关关系;水库面积与硝态氮及总氮呈负相关关系;苗圃与酸碱度呈显著负相关关系;通过对各流域水体水质指数(WQI)的比较,进一步揭示土地利用类型与水质之间的关系,其中上黄马水库和下黄马水库的 WQI 指数较高,从表 2 中可以看出这两个水库面积占整个流域面积与其它几个水库面积比例相比较,而水库的面积与 WQI 呈正相关关系,这也是上黄马水库和下黄马水库的水质较好的原因.五棵松水库与友谊水库的 WQI 指数较小,说明两个水库水质相对于其它几个采样点较

表 3 流域内土地利用类型与水质指标相关性分析  
Table 3 Correlation analysis of the key detem inands and land use type

土地利用	水质指标	相关系数
林地	总氮	- 01 612
水库	硝态氮	- 01 98* *
水库	总氮	- 01 759
水库	WQI	01 7
苗圃	酸碱度	- 01 88*
建设用地	电导率	01 7

注: \* 表示在 A= 0.05 水平上相关性显著,  
\* \* 表示在 A= 0.01 水平上相关性显著.

差,这主要是流域内上游建设用地造成的,其中五棵松水库上游建设用地在 2005年之前是一个养鹿场,对下游水质造成影响,采样点紧邻沪宁高速公路南京连接线以及环陵路,对五棵松水库水质有一定的影响,而友谊水库上游的建设用地主要是上游的住宅用地对下游水体的影响.通过对各小流域水质数据与土地利用数据的对比分析,发现流域内林地、水库面积在其所在流域面积中的比例越大,该流域的水质就越好,其对水质净化起着积极作用,而流域内,道路、住宅用地等建设用地则对水库水质起到负效应,并且这些土地利用类型数量越多,对水库水质污染的贡献越大.这与国内外相关研究结果类似<sup>[5,13]</sup>.

### 3 结论与讨论

通过对 5个流域水库水质与土地利用类型分析比较,发现山间小流域水质受外界干扰比较敏感,流域内土地利用类型与流域内水库水质有着密切相关关系: 1 各小流域内林地、水库面积越大,水库水质越好;随着建设用地的增加,水库水质变差. 2 从水质指数(WQI)季节性变化趋势来看,有建设用地小流域在夏季随着暴雨径流的增加下游污染物质浓度也相应增加,具体表现在 WQI指数的降低;而无建设用地存在的小流域从春季到夏秋季节 WQI则呈现上升趋势,这主要是因为夏季暴雨大增水库水位上升,对下游污染物质有稀释作用.

本研究存在需要解决的问题: 1 本研究只是从土地利用类型现状对水质进行分析,但是土地利用强度以及土地利用格局对流域内水质都有一定的影响,进一步的研究应该通过模拟模型来定量说明二者之间的关系. 2 流域内土地利用对水库水质影响与降雨量有关,本研究只是从一个时间段对水库水体进行采样分析,最后采用平均值的办法来获得水质数据,不能直观地反映问题,应该结合当地降雨量来对水质进行综合研究.

### [参考文献]

- [1] Alant H erlhy, John L Stoddard, Colleen Burch Johnson, et al. The relationship between stream chemistry and watershed land cover data in the midatlantic region. U. S[ J]. Water, Air, and Soil Pollution, 1998, 105: 3772386
- [2] David Cassell, Donald Stevens, Paul Shaffer, et al. Regional characteristics of land use in northeast and southern blue ridge province: Associations with acid rain effects on surface water chemistry[ J]. Environmental Management, 1991, 15(2): 2692279.
- [3] 刘红玉, 吕宪国, 张世奎, 等. 湿地景观变化过程与累积环境效应研究进展[ J]. 地理科学进展, 2003, 22(1): 60270.
- [4] 于兴修, 杨桂山. 典型流域土地利用(覆被变化及对水质的影响))以太湖上游浙江西苕溪流域为例[ J]. 长江流域资源与环境, 2003, 12(3): 2112217.
- [5] Jeff E Houlihan, Scott Findlay C. Estimating the critical distance at which adjacent land use degrades wetland water and sediment quality[ J]. Landscape Ecology, 2004, 19: 6772690.
- [6] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 2002.
- [7] Jannalagadda S B, Mhere G. Water quality of the odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe[ J]. Wat Res, 2001, 35(10): 237122376.
- [8] 曹蕾, 徐霞君. 水质指数法在原水水质评价中的应用[ J]. 中国农村水利水电, 2006(4): 829.
- [9] 李思悦, 张全发. 运用水质指数法评价南水北调中线水源地丹江口水库水质[ J]. 环境科学研究, 2008, 21(3): 61268.
- [10] Silvia F P, Daniel A W. Use of water quality indices to verify the impact of Cordoba City (Argentina) on Suquia River[ J]. Wat Res, 2001, 34(11): 291522926.
- [11] Amanda A zous, Richard R Homer. Wetlands and Urbanization: Implication for the Future[M]. Washington: Lewis Press, 2001: 2372255.
- [12] 岳隽, 王仰麟, 李正国, 等. 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[ J]. 水科学进展, 2006, 17(3): 3592364.
- [13] 黄沈发, 王敏, 车越, 等. 平原河网地区水源地水质对土地利用变化的响应))以黄浦江上游水源地为例[ J]. 生态与农村环境学报, 2006, 22(4): 14219.