

汾河流域土地利用格局与水质变化的关系

张福平^{1,2}, 赵沙¹, 周正朝¹, 魏永芬³

(1. 陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062; 2. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000; 3. 日本国立岐阜大学 流域圈科学研究中心, 岐阜 501-1193)

摘要: 以汾河流域为研究对象, 综合运用遥感影像解译和相关分析方法分析了汾河流域的土地利用空间格局及主要水质指标(生化需氧量(BOD₅)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、氨氮(NH₃-N)含量及溶解氧(DO))含量的变化特征, 探讨了土地利用状况对汾河水质的影响。结果表明, 汾河流域土地利用类型以林地和耕地为主, 两者占全流域面积的 90% 以上; 沿河不同宽度的缓冲区(分别向两岸划分 100, 600, 1 500 m)范围内, 建设用地、耕地与水质变化呈正相关关系, 而林地与水质变化呈负相关关系, 表明建设用地及耕地对水质的改善有负效应, 而河流沿岸林对改善水质有正效应, 并且这种影响在距河岸 100 m 缓冲区范围内达到最大。随着缓冲距离的增大土地利用变化对水质的影响逐渐减弱, 说明汾河流域近岸带的土地利用方式对河道水环境质量的影响最大。

关键词: 土地利用变化; 缓冲区; 水质; 汾河流域

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0308-05

中图分类号: F301.2, X824

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.073

Relationship Between Changes of Land Use Pattern and Water Quality in Fenghe River Basin

ZHANG Fu-ping^{1,2}, ZHAO Sha¹, ZHOU Zheng-chao¹, WEI Yong-fen³

(1. College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China; 2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou, Gansu 730000, China; 3. River Basin Research Center, Gifu University, Gifu 501-1193, Japan)

Abstract: Land use/land cover of Fenghe River Basin was quantitative analyzed using Landsat TM image which acquiring in 2009, and its effects on water quality were evaluated by Pearson correlation analysis, in which, the main water quality indexes included BOD₅, COD_{Mn}, NH₃-N and DO. The results showed that the forest and cultivated lands were the main land use types, and they accounts for more than 90% of the whole basin area. The buffer area which along the main tributary extending 100, 600 and 1 500 m, the cultivated land and constructive land were positively correlated with water quality index, while forest land were negatively correlated with water quality index. It indicated that the land use in the river basin had great impacts on water quality parameters, construction land and cultivated land have negative effects on water quality, and forest land has positive effects on water quality. The influence of land use to water quality achieved the maximum in 100 m buffer area. With the increase of the buffer distance, the influence was weaken gradually. It indicated that land use is the main factor influencing water environmental quality in Fenghe River Basin.

Keywords: land use change; buffer area; water quality; Fenghe River Basin

土地利用/覆盖变化(LUCC)和水文循环的生物圈方面 BAHC 计划是国际地圈生物圈计划(IGBP)中的两个核心科学问题。土地利用变化作为一种人

为的“系统干扰”是直接或间接影响水文过程的第二个主要边界条件。土地利用变化往往会加重流域土壤侵蚀并影响流域水文循环的所有环节,从而加剧流

收稿日期:2013-07-05

修回日期:2013-08-24

资助项目:国家水体污染控制与治理科技重大专项“渭河典型重污染支流综合整治技术集成与示范”(2008ZX07012-002-004); 中国博士后科学基金项目(2011M501496); 陕西师范大学中央高校基本科研业务费专项资金项目(GK201101002)

作者简介:张福平(1973—),男(汉族),山西省柳林县人,博士,副教授,主要研究方向为资源环境遥感与 GIS 应用。E-mail:zhang_fuping@163.com。

域的非点源污染^[1-2]。国内外许多资料表明,土地利用方式对流域水环境具有强烈的影响,人类在集水区内的所有活动,如果未在适宜的保育措施下进行,都可能对水环境产生影响^[3-5]。同时土地利用/覆盖变化又与人类的生产、生活密切相关,可以通过改变土地利用方式达到控制非点源污染的目的^[6-7]。因此在流域尺度下揭示土地利用变化特征及土地利用空间格局对水环境的影响,对于提高流域水环境质量及实现流域生态环境持续发展具有重要的研究意义。

沔河地处西安市西南部,属于渭河右岸的一级支流,也是西安市第三大河流。1998年,沔河及其支流被列为西安市地表饮用水源地,是该市人民的重要生活饮用水水源地。近年来,随着流域内社会经济的快速发展、人口的急剧增长以及黑河引水工程的实施,对沔河水的需求量迅速增加,水资源的供需矛盾日益凸显。尤其是研究区内城镇的扩张、大学园区的建设、林地的破坏以及农田中农药化肥的过量使用等,使沔河水体的非点源污染趋于加剧。单纯从点源控制水污染已经不能从根本上解决流域水环境污染问题。因此,本文通过对流域内非点源污染的关键因素——土地利用方式进行研究,探讨不同土地利用格局与水质非点源污染的关系,提出控制流域非点源污染的土地利用优化模式及措施,将对提高沔河流域水环境质量,实现流域生态环境健康安全与可持续发展具有重要的现实意义。

1 研究区概况与数据资料

1.1 研究区概况

沔河发源于西安市长安区喂子坪乡鸡窝子村以南的秦岭北侧,流经西安市的长安区、户县、咸阳市的秦都区内的20多个乡镇,先后纳高冠河、太平河、漓河3大支流,在草滩农场西、咸阳市北部鱼王村附近入渭。沔河全长78 km,流域面积为1 460 km²,南高北低,平均比降8.2‰,其中流经山区面积约为863.6 km²。流域属暖温带半湿润季风气候,区内年均温10℃以上,多年平均降雨量632 mm,且降水时空分布不均,多集中在7—9月,由北向南递增,年平均蒸发量1 400 mm。

据1988—2009年研究区水质监测和评价显示,沔河上游水质保持良好,中下游在1988—2005年这一期间污染较为严重,从2005—2009年沔河中下游水质逐渐好转,基本可以满足《地表水环境质量标准》中对Ⅲ类水域标准的要求。

1.2 数据资料

采用的主要数据有2009年的TM遥感影像、

30 m分辨率的DEM数据及主要监测断面的水质监测数据,水质数据来源于西安市环境监测站。另外还使用了土地利用数据、地形图、西安市水系分布图、研究区的自然、社会经济统计资料以及实地考察数据等。

2 研究方法

2.1 基于遥感的土地覆盖分类及空间格局分析

考虑到影像的可获得性和影像本身的质量,采用的数据为2009年6月获取的Landsat TM遥感影像。首先,利用2010年野调查时实测的控制点对所有影像进行二次多项式的几何精校正,使最终误差控制在0.5个像元内。其次,结合国内外研究经验以及所研究的区域的实际情况,基于最大似然法进行监督分类,土地利用/覆盖分为耕地、林地、草地、水域、建设用地和未利用地6大类,并参照地形图和土地利用现状图,结合人工目视的方法进行检验纠正,并以实测的点为准,对分类精度进行评价。

2.2 土地利用格局与水质的关系分析

土地利用的水质响应研究,一般是研究流域土地利用空间特征和土地利用结构与水质变化的关系,而土地利用数据的提取又包括全流域、子流域范围和缓冲区范围3种研究尺度,究竟用哪种尺度分析土地利用的水质响应,需要根据具体情况而定^[8]。目前大多数的研究采用流域范围进行研究,本研究结合沔河流域遥感影像、DEM图、西安市水系分布图及实地调查结果,确定缓冲区的缓冲范围为沿沔河主要支流分别向两岸划分100,600,1 500 m共3种不同宽度的缓冲区。考虑河流下游水环境会受河流上游来水水质等干扰,以全区9个水质监测点的位置为准,均取各监测断面至上游各主要支流的缓冲区内的土地利用面积与该断面的水质关系进行研究。

以西安市环境监测站点提供的2009年沔河9个水质监测断面的生化需氧量(BOD₅)、高锰酸盐指数(COD_{Mn})、氨氮(NH₃-N)含量及溶解氧(DO)含量这4个关键有机污染指标为主要指标,对流域不同缓冲区内的各类型土地利用比例以及影响流域水质的关键指标进行检验,均符合正态分布。因此在SPSS软件的支持下,利用Pearson相关分析对其相关性进行计算,在相关性分析的基础上,建立土地利用结构和水质指标之间的多元回归模型^[9]:

$$Y=C+b_1X_1+b_2X_2+\dots+b_nX_n$$

式中:Y——各种水质参数的浓度;X₁,X₂,…,X_n——各种土地利用类型的比例;b₁,b₂,…,b_n——系数;C——常数项;n——监测站点的数目(9)。

3 研究结果

3.1 沔河流域土地覆盖分类与空间格局分析

沔河流域遥感影像分类总体精度为 85.39%，分类精度 Kappa 指数为 0.86，达到最低允许判别精度 0.7 的要求。通过分析沔河流域遥感图可以得出，流域内以上游地区的林地最多，面积达 792.15 km²，其次是耕地面积 502.22 km²，两者占流域总面积近 90%，其次是建设用地，而草地、水域和未利用地面积

所占比重很小。

3.2 土地利用格局对水质的影响

3.2.1 土地利用结构与水质关系分析 利用 GIS 软件，将生成的 100,600,1500 m 这 3 种缓冲带分别与 2009 年的沔河流域土地利用类型数据进行叠加分析，获取 2009 年西安市 9 个水质监测断面至上游主要支流不同缓冲带内的土地利用类型结构图(图 1)。同时，对各土地覆盖类型所占缓冲区比例与水质的相关关系进行分析。

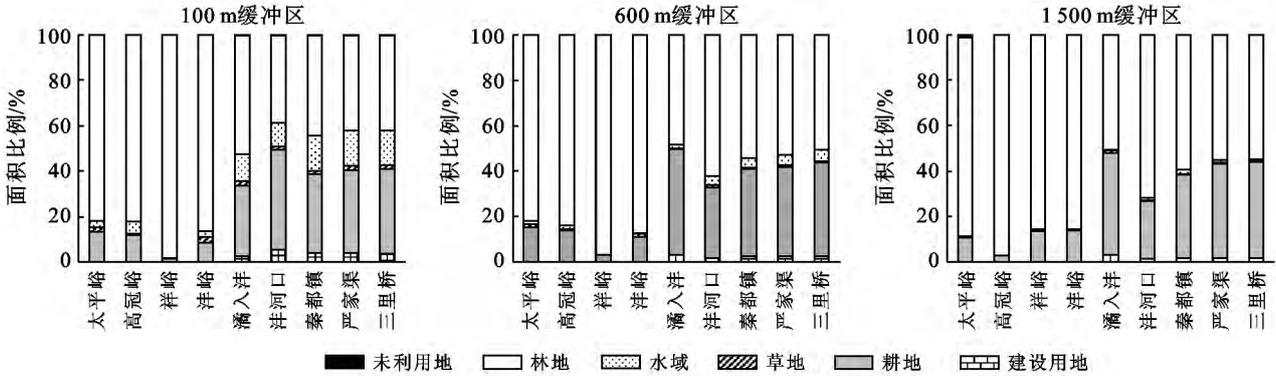


图 1 沔河流域各监测站点不同缓冲区范围内地类结构

由表 1 可以看出，在各缓冲区尺度上，建设用地面积所占比例与溶解氧含量呈负相关关系，与其余水质指标均呈正相关关系，且相关系数较大；耕地面积所占比例与有机污染综合指数、生化需氧量、氨氮及高锰酸盐指数均呈现负相关关系，与溶解氧含量正相关关系，且相关系数较大；草地所占的面积比例与生化需氧量、氨氮、高锰酸盐指数、有机污染综合指数水

质参数呈正相关关系，与溶解氧呈负相关关系，但总体来看，相关性不显著；林地与有机污染综合指数、生化需氧量、氨氮及高锰酸盐指数均存在负相关关系，与溶解氧存在正相关关系，且相关性较强，表明随着林地比重增大水体质量趋好；未利用地主要是分布于河道旁，多是滩地及人工采挖沙石而成的，对水质会造成一定影响。

表 1 沔河流域土地利用结构和水质监测指标的相关性分析

土地类型	缓冲区距离/m	生化需氧量 BOD	高锰酸盐指数 COD	溶解氧 DO	NH ₃ -N	水质综合污染 指数 A
建设用地	100	0.884**	0.835**	-0.958**	0.843**	0.863**
	600	0.880**	0.823**	-0.954**	0.842**	0.859**
	1500	0.862**	0.802**	-0.943**	0.840**	0.841**
耕地	100	0.899**	0.879**	-0.946**	0.883**	0.906**
	600	0.883**	0.845**	-0.943**	0.893**	0.891**
	1500	0.876**	0.805**	-0.958**	0.809**	0.842**
草地	100	0.229	0.316	-0.191	0.345	0.271
	600	0.169	0.218	-0.202	0.511	0.228
	1500	0.423	0.388	-0.514	0.538	0.376
林地	100	-0.918**	-0.893	0.958**	-0.883**	-0.932**
	600	-0.889**	-0.851**	0.948**	-0.897**	-0.898**
	1500	-0.879**	-0.808**	0.961**	-0.821**	-0.847**
未利用地	100	0.952**	0.919**	-0.988**	0.841**	0.957**
	600	0.053	0.071	-0.095	0.355	0.098
	1500	-0.263	-0.233	0.237	0.072	-0.217

注：* 表示在 0.05 水平显著相关；** 表示在 0.01 水平极显著相关。

泔河流域土地格局与水质之间的相关性表明,各种土地利用类型中,建设用地、耕地和林地都会对流域的水质造成影响,其中,建设用地和耕地是负面的影响,林地为正面的影响,即建设用地和耕地面积的增加,水质污染指数趋于加大,污染程度加大,而林地面积的增加,水质污染指数降低,污染程度降低。建设用地对水质的影响主要是由于建设用地上承载着高密度人口和社会经济活动,污染物排放强度较高,而城市化的加快发展使得不透水区和建设用地面积增加,道路、广场、屋面等不透水面的污染物会随着径流的冲刷进入湖泊或河流,导致水体中有机物和营养盐含量增加,水质下降。泔河流域内建设用地面积仅次于耕地和林地,区域内人口的迅速增长带来的城市化、房地产业、大学园区的快速扩张等等,都将导致流域内透水性地表面的减少,对泔河流域水质造成了一定的负面影响。耕地对水质的影响主要是由于耕地通过施肥随农田径流向河流输入大量污染物所致。据统计,泔河农药单位面积平均使用量为 0.348 kg,是陕西省单位面积平均使用量的近 2 倍。虽然泔河流域内耕地面积呈逐年减小的趋势,但仍然占泔河流域总面积的近 50%,且多分布于河流两岸附近,使得耕地中化肥及农药的流失成为影响泔河水水质面源污染的重要因素。林地是水体潜在污染物的“汇”。由于森林、林下植物和土壤具有削减暴雨径流、减少水土流失、吸附污染物等功能,可有效减少地表径流冲刷后带入河流的营养盐,对水质的改善具有良好的促进作用。

3.2.2 河流水质与土地利用相关性的尺度效应 如表 1 所示,在不同尺度下,各土地利用所占比例与水质相关性有一定差异,建设用地、耕地和林地均为就近影响,即离河流距离越近,影响程度越大,即 100 m 缓冲区内,影响增大,1 500 m 缓冲区范围内,影响减小,这与 Sliva, Osborne, Galbraith 等^[10-12]的研究结论一致。通过各种不同缓冲尺度对水质参数和土地利用比例进行建模,结果显示大多数水质参量的最佳模型出现在 100 m 的缓冲半径上,进一步表明河流近岸带的土地利用类型对其水质影响较大。未利用地对水质参数的影响程度随着缓冲距离的增大而减小,在 100 m 以内缓冲区对水质的负作用最大,到 300 m 以外则几乎无影响,对水质影响的尺度效应极其明显。草地在各个尺度上对水质影响均不明显,但总体表现为随着距离的增大,负作用有逐渐增强的趋势。总体来看,泔河近岸带附近 100 m 内土地利用是影响河流水质的关键区域,调查结果显示,由于 100 m 范围内河道附近受人类活动影响最严重,大量的生活垃圾、耕地施用的化肥农药等会在径流的作用下或直接

入河导致水体污染,同时,河岸带近域又能通过过滤、渗透、吸收、滞留、沉积等河岸带机械、化学和生物功能效应使进入地表和地下水的污染物毒性减弱及污染程度降低,因而是治理水体污染的重要屏障。

4 泔河流域非点源污染控制对策

(1) 合理规划泔河河道敏感带土地利用类型。在对泔河流域非点源污染的研究中,可以发现河道两侧地带的土地利用方式对河流水质有着比远离河道地带更为显著的影响,河道两侧被称作非点源污染的敏感带。林地具有较强的减水减沙效应,对河流水质的改善作用不可忽视,泔河流域的林地主要分布在上游地区,中下游河流两岸以耕地为主,林地分布很少,因此,应在泔河中下游河流沿岸开展植树造林、退耕还林等工作。研究表明,100 m 宽度以内的林地对水质的改善作用最明显,从削减非点源污染出发沿河建设林带的宽带在 100 m 以内较适宜。

(2) 监测与控制流域内农田造成的面源污染。耕地是泔河流域主要的土地利用类型,也是造成流域内水质非点源污染的关键因素,合理有效的农田治理是改善水质的关键。治理的主要措施包括控制农药化肥的施用量,加强土壤和化肥的化验和检测,避免在距河流近岸进行耕作;实施生态工程,如可在农田与水体之间适当地建立草地或林地过滤带;改进农田灌溉方式,可尝试喷灌、滴灌以及肥料与水相混合的灌溉技术;另外还可以大力推广各种类型的耕作法,减少流域内土壤侵蚀,使排入泔河的泥沙沉积物减少,从而减少化肥中 N 和 P 流入水体的量,防止河流水体富营养化。

(3) 合理规划城市用地,改善农村生活环境。基于水环境保护的目的,规划河流两侧城镇建设用地时,避免布置在 100 m 等近岸带以内,应尽量增大与河流之间的距离;减少流域内的不透水路路面,增加下渗;减少城镇及农村居民点的地表堆积物;注意道路清扫方式的改进和提高清扫效率,以保持城市地面的清洁;逐步实现雨污分流,在此基础上开展非点源污染的监测工作;同时对城市透水区域要加大绿地建设。对研究区实际调查发现,流域周围农村居民点垃圾随意堆放、畜禽量大且粪便任意倾倒的现象较普遍,特别是在夏季,区域内的降雨较频繁且强度较大,使得流域内的非点源污染输出量变大。因此,建议有关部门对区域内的农村垃圾进行集中处理,实行粪尿还田,并采取科学合理的畜禽养殖方式,对人、畜产生的污染物进行回收利用,形成良性循环,从而有效减少流域内非点源污染的输出量。

(4) 加强泔河上游旅游业的经营管理。泔河流域上游有着得天独厚的旅游资源,近年来,随着人民生活水平的提高,休闲度假风气日盛,上游地区凭借风光迥异的自然景观,很快成为了都市人们消夏避暑的好去处。而旅游活动产生的废弃物和当地居民日常生活垃圾已成为当地水源区主要的点污染源和非点污染源。尤其上游地区旅游景点和居民住宅区大都傍河而居,临河而建,对水体的污染更为直接,结果更为严重。因此,有关部门应加强对上游旅游业的经营和管理,对旅游设施和景点建设进行科学规划,并合理计算环境容量,避免因超过区域内的环境负荷引起的环境破坏和污染。同时,应注重宣传和教育,改变当地居民不良生活习惯和卫生习惯,加强上游水源区内的精神文明建设。

5 结论

研究区林地和耕地所占面积比重较大,其次是建设用地;各土地利用类型对水质有不同程度的影响,其中建设用地和耕地对水质具有显著负效应,林地对水质具有显著的正效应,即建设用地和耕地面积的增加,水质污染指数趋于增加,污染程度加剧,而林地面积的增加,水质污染指数降低,污染程度降低;在河流近域的带型缓冲作用区,河岸带附近 100 m 内土地利用是影响河流水质的关键区域。

[参 考 文 献]

- [1] Turner B L, Meyer W B, Skole D L. Global land use/land cover change: Towards an integrated program of study [J]. *AMBIO: A Journal of The Human Environment*, 1994, 23(1): 91-95.
- [2] Dennis L C, Peter J V, Keith L. Modeling nonpoint source pollutants in the Vadose zone with GIS [J]. *Environmental Science and Technology*, 1997, 31(2): 2157-2175.
- [3] 胥彦玲. 基于土地利用/覆被变化的陕西黑河流域非点源污染研究[D]. 陕西 西安:西安理工大学,2007.
- [4] 梅立永,赵智杰,黄钱,等. 小流域非点源污染模拟与仿真研究:以 HSPF 模型在西丽水库流域应用为例[J]. *农业环境科学学报*, 2007, 26(1): 64-70.
- [5] Li Siyue, Gu Sheng, Liu Wenzhi. Water quality in relation to land use and land cover in the upper Han River Basin, China [J]. *Journal of Hazardous Materials*, 2008, 165(1/3): 216-222.
- [6] 韩丽. 流域土地利用变化及水文效应研究[D]. 江苏 南京:河海大学,2007.
- [7] 柳玉梅,李丽娟,梁丽乔,等. 土地利用及其变化对洮儿河流域中上游地区非点源污染的影响[J]. *水土保持通报*, 2011, 31(1): 117-121.
- [8] 于术桐,黄贤金,程绪水,等. 流域土地利用变化的水质响应研究进展[J]. *中国人口·资源与环境*, 2011, 21(3): 422-426.
- [9] 刘贤赵,王巍,王学山,等. 基于缓冲区分析的城市化与地表水质关系研究:以烟台沿海区县为例[J]. *测绘科学*, 2008, 33(1): 163-166.
- [10] Sliva L, Williams D D. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality [J]. *Water Research*, 2001, 35(14): 3462-3472.
- [11] Osborne L L, Wiley M J. Empirical relationships between land use/cover and stream water quality in an agricultural watershed [J]. *Journal of Environmental Management*, 1988, 26(2): 9-27.
- [12] Galbraith L M, Burns C W. Linking land-use, water body type and water quality in southern New Zealand [J]. *Landscape Ecology*, 2007, 22(2): 231-241.