

南方山丘区水源地土地利用结构对河库水质的影响 ——以珊溪水库流域为例

陈丰禹¹, 王为木^{1,2}, 刘慧^{1,2}, 夏继红^{1,2}, 马飘¹

(1. 河海大学 农业工程学院, 江苏 南京 210098;

2. 河海大学 南方地区高效灌排与农业水土环境教育部重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: [目的] 探明珊溪水库流域土地利用结构与河库水质的相关性, 为南方山丘区土地开发利用和水源地保护提供依据。[方法] 在库区以及河流入库点设置 23 个监测断面, 于 2017 年 7 月及 2018 年 1 月进行实地取样监测, 利用 2016 年 TM 影像数据对研究区用地类型进行划分, 并通过 ArcGIS 水文、空间分析功能将整个流域分为 8 个子流域, 分析每个子流域土地利用结构。选取高锰酸盐指数(COD_{Mn})、总氮(TN)、总磷(TP)、溶解氧(DO)4 个水质指标分析其时空变化特征, 探讨子流域不同坡度下土地利用结构对河库水质的影响。[结果] 珊溪水库流域土地以林草地、耕地为主, 两者面积比例总和达到 80% 以上。枯水期河库水质整体优于丰水期。各水质指标与林草地比例呈现负相关, 而与耕地、建设用地呈正相关, 丰水期土地利用结构与水质相关性相比枯水期更为明显。河库水质与不同坡度土地利用类型的相关性有差异, 低坡度带(<15°)COD_{Mn}与耕地比例呈显著正相关; 中坡度带(15°~25°)TN, TP 与林草地比例呈显著负相关, TN 与耕地比例呈显著正相关。[结论] 库区水体质量良好。在流域尺度上林草地和耕地是影响水体污染物浓度的主要土地利用类型。丰水期耕地是氮磷元素的主要输出源, 林草地在一定程度上削减了氮磷元素的入河量, 具有一定的正效应。

关键词: 土地利用结构; 水质; 坡度; 水源地

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2019)02-0260-07

中图分类号: X171, X522

文献参数: 陈丰禹, 王为木, 刘慧, 等. 南方山丘区水源地土地利用结构对河库水质的影响[J]. 水土保持通报, 2019, 39(2):260-266. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2019.02.041; Chen Fengyu, Wang Weimu, Liu Hui, et al. Influence of land use structure on water quality of river and reservoir in water source land of southern hilly areas[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2019, 39(2):260-266.

Influence of Land Use Structure on Water Quality of River and Reservoir in Water Source Land of Southern Hilly Areas —Thaking Shanxi Reservoir Waterhed as a Case Study

Chen Fengyu¹, Wang Weimu^{1,2}, Liu Hui^{1,2}, Xia Jihong^{1,2}, Ma Piao¹

(1. College of Agricultural Engineering, Hohai University, Nanjing, Jiangsu 210098, China; 2. Key Laboratory of Efficient Irrigation-Drainage and Agricultural Soil-Water Environment in Southern China, Ministry of Education, Nanjing, Jiangsu 210098, China)

Abstract: [Objective] The purpose of this research is to explore the correlation between land use structure and water quality in Shanxi reservoir watershed, and to provide basis for land use development and water source protection in southern hilly areas. [Methods] The 23 monitoring sections were set up in the reservoir area and the inflow point of the river. Sampling and monitoring were carried out in July 2017 and January 2018. The land use types of the research area were classified by using the 2016 TM image data. The whole basin was divided into 8 sub-basins by the hydrology and spatial analysis functions of ArcGIS so as to analyze the land use structure of each sub-basin. Four water quality monitoring indexes such as permanganate index

收稿日期: 2018-10-24

修回日期: 2018-11-20

资助项目: 浙江省水利厅科技项目“浙江省水库型水源地生物监测技术研究; 重要饮用水源健康快速评判与实施方案研究”(20180611-0002); 国家重点研发计划项目“生态灾害对渔业生境和生物多样性的影响及其预测评估”(2018YFD0900805)

第一作者: 陈丰禹(1993—), 男(汉族), 四川省宜宾市人, 硕士研究生, 研究方向为农业水土环境。E-mail: 568312972@qq.com。

通讯作者: 王为木(1972—), 男(汉族), 山东省日照市人, 博士, 副教授, 硕士生导师, 主要从事水环境保护等方面的研究。E-mail: wangwm@hhu.edu.cn。

(COD_{Mn}), total nitrogen(TN), total phosphorus(TP) and dissolved oxygen(DO) were selected to analyze their spatial and temporal distribution characteristics and to explore the impact of land use structure on water quality in different slopes of the sub-basin. [Results] The land of Shanxi reservoir is mainly forest, grassland and arable land that accounts for the 80% of total basin area. The water quality of river banks in dry season is better than that in wet season. Each water quality index was negatively correlated with the proportion of forest and grassland, but positively correlated with cultivated land and construction land. The correlation between land use structure and water quality was more obvious in wet season than in dry season. The correlation between water quality and land use types on different slopes was different, COD_{Mn} in low slope zone(<15°) was positively correlated with the proportion of cultivated land, TN and TP in middle slope zone (<15°~25°) were negatively correlated with the proportion of forest and grassland, and TN was positively correlated with the proportion of cultivated land. [Conclusion] Most of the water quality in the reservoir area were good. The forest, grassland and cultivated land are the main land use types affecting the concentration of pollutants in water at watershed scale. Cultivated land is the main source of nitrogen and phosphorus output in wet season. Forest and grassland reduce the nitrogen and phosphorus into the rivers to a certain extent, which has a positive effect.

Keywords: land use structure; water quality; slope; water source

水资源作为人类生存生活的基础条件,在社会发展中的地位越来越重要。随着人口增长以及工、农业的快速发展,人类活动对水源地的干扰也越来越强^[1-2]。土地是承载人类生产生活活动的重要载体,不同土地利用类型通过改变地形地貌及地表径流特征而影响污染物的迁移转化过程,进而对河流、湖库水体带来不同影响^[3-4]。因此,土地利用结构与流域水质安全、生态健康之间的相关关系已成为环境、生态安全研究领域的热点问题之一。有研究表明,面源污染已取代点源污染成为水环境恶化的主要原因^[5-7],而面源污染负荷强度受土地利用方式的显著影响,因此流域土地利用结构与区域水体水质之间有较高的相关性^[8-10]。建设用地承载了高强度的人类活动,农业用地有大量的化肥和农药投入,这两类土地中的氮、磷、农药等污染物随地表径流进入水体,对水质起“源”的作用;林地和草地在一定程度上可以拦截、吸收部分污染物,对水质起“汇”的作用^[11-14]。通过人为调控土地利用类型,识别并重点整治污染物产生与流失的关键源区,可以达到控制面源污染,改善流域水质状况的目的^[15-17]。当前随着人类活动的加剧,土地利用/土地覆被的变化,加上农业生产农药化肥的使用,使得河流水体富营养化问题日趋严重,给生态环境、人类生产生活均造成了较大影响。随着社会的不断发展,人民对水源地水质要求也在日益提高,因此探讨水源地土地利用结构对水源地内水库水质影响,具有较大应用价值。本研究以我国东南浙江珊溪水库流域为例,通过实地水质监测,结合 GIS 空

间分析方法,划定不同子流域。分析流域内不同土地利用方式对水库水质影响,并探讨流域不同空间位置上土地利用类型对水库水质影响差异,其研究成果可为水源地水库流域土地利用与水质保护关系提供参考依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

珊溪水库位于浙江省南部温州境内飞云江干流中游(119°36′54″—120°04′37″E,27°26′38″—27°58′37″N),距温州市区 117 km,距文成县城 28 km。水库流域面积 1 545.85 km²,北及西北面以洞宫山脉之支脉与瓯江小溪流域为界,西面以仙霞岭与福建安溪交界,南面以雁荡山与敖江分界,主流发源于泰顺县与景宁县交界处的白云尖。珊溪水库流域位于新华夏系构造一级隆起带上,属山地河流地貌,河谷形态为宽谷。地势西高东低,上中游为中低山区,下游为低山丘陵及河谷平原。库区属江南丘陵山地红壤区,土壤主要是红壤、黄壤、紫色土、粗骨土、潮土和水稻土。库区气候湿润,年平均气温 19.6 ℃,年平均降水量为 1 876.9 mm,降水年内分配不均匀,其中 4—9 月雨量占全年的 74.7%。珊溪水库正常蓄水位 142 m,总库容 1.84×10⁹ m³,是温州市城市供水的主要水源,同时兼具灌溉、发电和防洪等功能。

1.2 研究方法

1.2.1 水样采集和分析 在研究区河库上共布设 23 个监测断面,其中 18,19,20,21,22,23 号属于入库河流与库区交界断面,水样监测数据代表该河流各

污染物平均入库浓度;其余断面位于珊溪水库库区。研究区子流域的划分及监测断面的布置如图 1 所示。每个断面布设左岸、右岸、岸中 3 个采集点,利用水质分析仪(Hydrolab DS5X)现场测定溶解氧(DO),利用 5 L 有机玻璃采水器采集水面下 0.5 m 处水样,装入 500 ml 洁净聚乙烯瓶,调节 $\text{pH}<2$ 并放于加冰保温箱中,速运回实验室,在 48 h 内完成指标测定。总氮(TN)采用碱性过硫酸钾消解—紫外分光光度法,总磷(TP)采用酸性过硫酸钾消解—钼酸铵分光光度法,高锰酸盐指数(COD_{Mn})采用酸性高锰酸钾氧化法。每个样品重复测定 3 次。

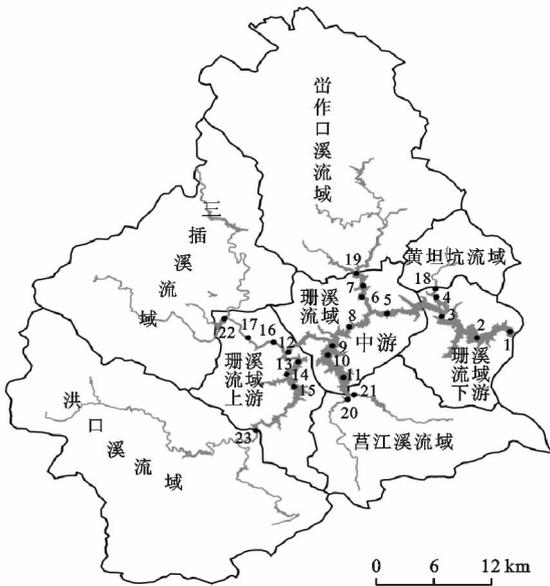


图 1 珊溪水库子流域划分及采样断面分布

1.2.2 土地利用结构及坡度提取 利用 2016 年 Landsat TM 卫星遥感影像图结合 ENVI4.8 遥感软平台,基于最大似然法监督分类提取地物信息。在满足分类精度条件下,利用实地调查结果进行人机交互解译。根据研究目标、遥感影像图精度等,结合《土地利用现状分类(GB/T21010-2017)》的规定,将研究区土地利用类型分为林草地、耕地、园地、建设用地、水域和未利用地 6 类。本研究在 ArcGIS 10.5 软件的 Hydrology 模块下提取河网水系,将水库集水区划分为 8 个子流域,分别为:洪口溪流域、莒江流域、三插溪流域、岙作口溪流域、黄坦坑流域、珊溪流域上游、珊溪流域中游、珊溪流域下游。利用 Spatial Analyst 模块进行坡度提取并重分类,得到 $0^{\circ}\sim 15^{\circ}$, $15^{\circ}\sim 25^{\circ}$, $>25^{\circ}$ 三种坡度等级,统计每种坡度等级的土地利用类型及面积。

1.2.3 土地利用类型与水质相关性分析 计算各个子流域不同土地利用类型面积所占此流域面积的百

分比,利用 SPSS19.0 软件计算 TN, TP, COD_{Mn} , DO 与不同坡度各类土地利用类型比例间的 Spearman 相关系数,以分析不同坡度下土地利用类型对水质状况的影响。

2 结果与分析

2.1 土地利用结构分析

珊溪水库流域子流域土地利用类型比例如图 2 所示。全流域范围内,林草地面积 $1\,090.69\text{ km}^2$,比例最大,为 70.56%;耕地面积 170.79 km^2 ,比例为 11.05%,仅次于林草地;其它 4 类型土地比例总和仅为 18.39%。各子流域中,洪口溪、三插溪、岙作口溪流域林草地面积比例均超过 70%,黄坦坑流域林草地面积比例最小,仅为 50.51%。在珊溪流域上、中、下子流域中,林草地面积比例顺序为:上游>中游>下游。泰顺县城位于洪口溪流域内;黄坦坑流域面积较小,且黄坦镇位于其中;莒江流域沿河岸一带居民人口较多,因此洪口溪、黄坦坑及莒江流域建设用地比例均超过 5%。

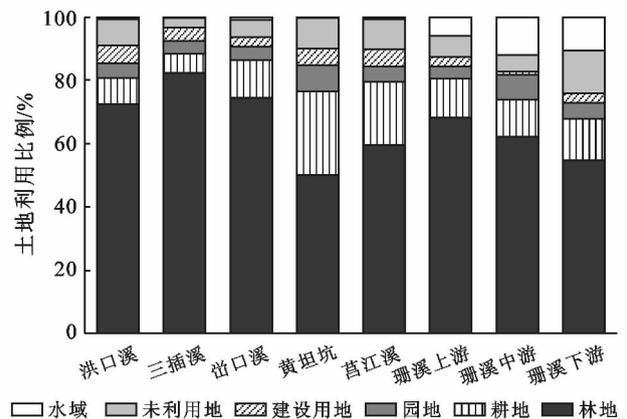


图 2 珊溪水库子流域土地利用类型比例

2.2 不同流域坡度分析

对各子流域 3 种坡度类型和不同土地利用类型进行叠加分析,结果详见表 1。三插溪流域中,坡度 $>25^{\circ}$ 的土地比例为 38.8%,多为林草地;洪口溪流域、黄坦坑流域、莒江流域及珊溪流域上、中、下游坡度 $>25^{\circ}$ 的土地比例都低于 25%;黄坦坑流域坡度 $>25^{\circ}$ 的土地比例仅为 6.97%,而坡度 $<15^{\circ}$ 的土地比例高达 62.8%,其中耕地、建设用地及园地比例总和为 46.8%。分析以上结果可知,珊溪水库流域各子流域的土地利用类型受坡度影响显著。林草地多分布于坡度较陡($>15^{\circ}$)地区,耕地与建设用地主要分布在坡度相对较低($<15^{\circ}$)的地区。

表 1 珊溪水库子流域不同坡度下土地利用类型比例

%

子流域	林草地			耕地			园地		
	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$
洪口溪	24.45	27.33	20.99	8.03	3.34	0.91	3.50	0.97	0.13
黄坦坑	26.21	19.15	5.15	13.24	5.12	1.11	11.98	2.80	0.34
莒江溪	17.70	22.74	19.58	8.62	4.52	1.69	5.35	2.64	0.76
三插溪	17.58	29.50	35.57	4.26	2.61	1.86	0.50	0.35	0.17
岙作口	16.48	27.17	29.08	6.05	4.36	1.86	1.13	0.74	0.20
珊溪上游	27.38	26.66	14.31	8.56	2.74	0.76	3.02	0.79	0.09
珊溪中游	20.29	25.96	16.16	6.75	3.83	0.93	4.80	2.34	0.66
珊溪下游	14.04	22.17	18.49	7.34	5.19	1.21	3.25	4.75	1.21

子流域	建设用地			未利用地			水域		
	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$
洪口溪	4.16	1.04	0.23	2.65	1.22	0.43	0.31	0.20	0.13
黄坦坑	4.20	0.73	0.09	6.92	2.37	0.27	0.25	0.06	0.01
莒江溪	5.27	3.32	1.54	4.01	1.24	0.37	0.54	0.14	0.04
三插溪	2.60	1.18	0.70	1.32	1.00	0.46	0.27	0.05	0.01
岙作口	3.36	2.20	1.22	2.37	2.06	0.86	0.39	0.25	0.24
珊溪上游	2.29	0.68	0.14	4.12	1.94	0.66	4.60	0.85	0.40
珊溪中游	0.21	0.76	0.21	3.77	1.15	0.15	7.29	3.32	1.44
珊溪下游	1.42	0.97	0.39	7.12	1.51	0.21	5.07	3.71	1.96

注: $\theta_{(1)}$ 坡度为 $<15^\circ$; $\theta_{(2)}$ 坡度为 $15^\circ\sim 25^\circ$; $\theta_{(3)}$ 坡度为 $>25^\circ$ 。下同。

2.3 珊溪水库流域水质时空分布特征

2.3.1 时间变化特征 珊溪水库流域水体重要水质指标统计特征如表 2 所示。COD_{Mn} 浓度变化范围在 1.08~6.98 mg/L 之间。丰水期浓度明显高于枯水期,丰水期 COD_{Mn} 平均浓度 5.86 mg/L,优于国家地表水Ⅲ类水环境质量标准,枯水期为 1.98 mg/L,优于Ⅰ类水标准。TN 浓度变化范围在 0.22~1.08 mg/L 之间。丰水期平均浓度为 0.68 mg/L,优于Ⅲ

类水标准,枯水期为 0.34 mg/L,优于Ⅱ类水标准。TP 浓度变化范围在 0.004~0.032 mg/L 之间,丰水期平均浓度为 0.016 mg/L,枯水期为 0.014 mg/L,均优于Ⅱ类水标准。DO 浓度在 6.34~8.98 mg/L 之间,丰水期平均值为 7.54 mg/L,枯水期为 7.96 mg/L,均优于Ⅰ类水标准。由上述结果可知,珊溪水库流域水体枯水期水质优于丰水期,其中 COD_{Mn} 和 TN 表现更为显著。

表 2 不同水情期珊溪水库流域水体重要水质指标统计特征

水质指标	样本数		最大值		最小值		平均值		中位数		标准差		变异系数 C_v	
	7月	1月	7月	1月	7月	1月	7月	1月	7月	1月	7月	1月	7月	1月
COD _{Mn} /(mg·L ⁻¹)	134	142	6.98	2.47	5.54	1.08	5.86	1.98	5.83	2.00	0.22	0.22	3.7%	11.0%
TN/(mg·L ⁻¹)	134	142	1.08	0.46	0.50	0.22	0.68	0.34	0.68	0.34	0.138	0.057	20.3%	16.5%
TP/(mg·L ⁻¹)	134	142	0.032	0.029	0.009	0.004	0.016	0.014	0.014	0.013	0.006	0.005	39.2%	34.3%
DO/(mg·L ⁻¹)	134	142	8.34	8.98	6.34	7.34	7.54	7.96	7.51	7.92	0.507	0.442	6.7%	5.6%

2.3.2 空间分布特征 珊溪水库流域河库水质存在显著的空间异质性(图 3)。COD_{Mn} 浓度在 13 号断面较高,其中丰水期高于Ⅳ类水标准,枯水期低于Ⅱ类水标准,可能与此断面靠近百丈镇,人类活动频繁有关。丰水期 TN 浓度在黄坦坑溪入库的 18 号断面最高,大于Ⅳ类水标准,枯水期在三插溪入库的 22 号断面最高,但仍小于Ⅱ类水标准。调研得知,黄坦坑流

域在库区实行移民之前,有大量的畜禽养殖场,至今仍有一部分放养畜禽。22 号断面靠近司前畲族镇,人为影响较为严重。TP 含量空间分布与 TN 相似,均表现为丰水期 18 号断面最高、枯水期 22 号断面最高的特征,两者均高于Ⅲ类水标准。DO 在靠近大坝的 1, 2 号断面处数值最低,高于Ⅱ类水标准,可能与水体流动性差、有机物增多、浮游生物大量繁殖有关。

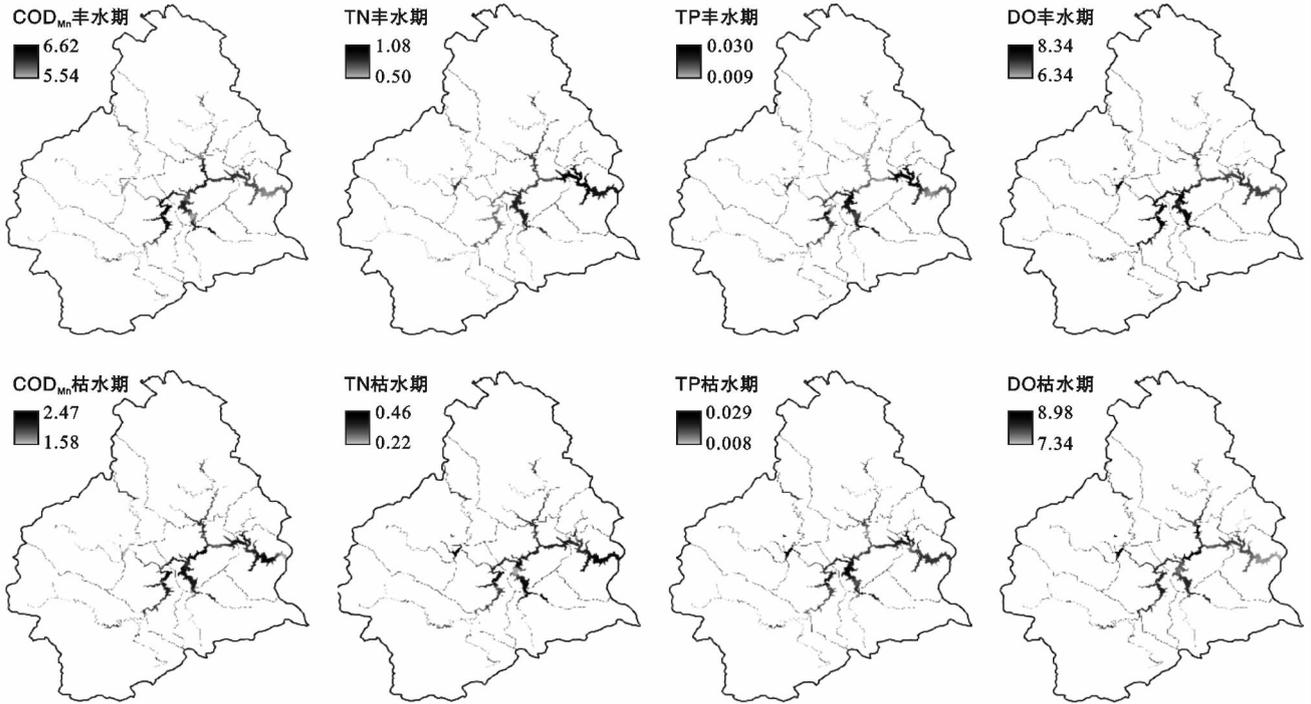


图 3 珊溪水库流域水体重要水质指标空间分布特征

2.4 河库水质与土地利用结构的相关性

珊溪水库流域河库各水质指标与土地利用类型相关系数详见表 3。由表 3 可以看出,在子流域尺度下,林草地面积比例与 TN, TP, COD_{Mn} 污染物浓度呈负相关关系,与 DO 浓度呈正相关关系;耕地、园地、未利用地、建设用地比例与 TN, TP, COD_{Mn} 污染物浓度呈正相关关系,与 DO 浓度呈负相关关系。上述关系表明,各种土地利用类型中,林草地对水质有正面影响,而耕地、园地、建设用地、未利用地呈负面影响。不同土地利用方式一般从两方面对水质造成影响。一方面土地利用类型的改变必然造成污染源类型及强度的改变,例如退耕还林可以减少水土流失,从而对水质提升有积极的作用。但无保护性开垦农田,建造房屋、工厂等却提高水体污染的风险;另一方面不同土地利用类型通过改变地表形态,影响污染物运移过程,从而使得氮磷元素、有机物等在流失过程中降解、吸收方式发生变化,导致最终入河量相应的增加或减少^[18]。林草地比例与 TN, TP, COD_{Mn} 浓度呈负显著相关,与 DO 呈显著正相关,表明林地比例越大,水体水质越好。丰水期相关性强于枯水期,且在坡度较高的地区(15°~25°, >25°)尤为明显。一方面这与子流域范围内林草地多分布于中高坡度地区的情况相符,另一方面也说明在夏季植物生长茂盛,对含有氮磷、有机污染物的地表径流有较强的拦截作用,林下植物、土壤可以减少雨水冲刷后带入水体中的营养盐,减少其入河负荷量,对水质提升有积极的正效应。

珊溪水库流域林地面多有深厚的枯落层,疏松的土壤结构有利于地表水下渗,并促进溶解性氮素随水渗透到更深层土壤,降低地表径流对可溶性氮的转运能力。欧阳等^[19]分析了密云水库上游流域,认为流域尺度内树林及林下植物在丰水期生长旺盛,对营养盐吸收量较大,也对强地表径流的拦截能力有所增加,因此丰水期与水质的相关性更强。森林、林下植被和草地对氮、磷等养分和盐分具有较强的吸收和过滤功能,可降低汇入河流的污染物质量浓度^[20]。

耕地与 TN, TP 两种污染物的相关性在不同水期存在一定差异。①丰水期。TN 与 15°~25°坡度的耕地比例呈显著正相关;②枯水期, TN, TP 与坡度 >25°的耕地比例呈显著正相关。这说明丰水期位于中等坡度的耕地是水体中氮磷的主要来源,而枯水期坡度 >25°的耕地是水体中氮磷元素的重要来源。丰水期流域内降雨丰富,地表径流作用强,坡度大的耕地更易发生水土流失;枯水期雨量少,只有在 >25°陡坡上的耕地才能产生较明显的地表侵蚀。因此,加强 >15°中高坡度带耕地的保护,采取适合丘陵区地形的水保措施是降低水体氮磷负荷量,提高区域水环境质量的有效途径。任坤等^[21]对珊溪水库的研究也得到相似结果。低坡度(<15°)的建设用地与 TP 在枯水期呈显著正相关,主要原因可能是居民排放的污水中有大量有机磷,进入河道后因为河流流动性差,污染物扩散分解速度慢导致,这与 22, 13 两个城镇点附近水体断面冬季 TP 含量较高的监测结果相吻合,

其它各水质指标与建设用地比例的相关性不强,这可能与流域范围内建设用地面积较小,村落分布较为分散有关。范志平等^[22]认为居民生活污水中含有大量

有机磷,排入河道后导致水体总磷含量较高。王鹏等^[23]认为城镇多为不透水地面,污水通过排水管网直接进入河道,成为 N,P 元素的重要来源。

表 3 珊溪水库流域土地利用结构与水体水质相关性

土地利用类型	水期	TN				TP			
		整	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$	整	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$
林草地	丰水期	-0.722*	-0.476	-0.723*	-0.095	-0.749*	-0.095	-0.747*	-0.452
	枯水期	-0.286	-0.167	-0.286	-0.024	-0.143	-0.333	-0.143	-0.214
耕地	丰水期	0.719*	0.048	0.810*	0.595	0.571	0.524	0.476	0.048
	枯水期	0.310	0.071	0.262	0.779*	0.119	0.190	0.617	0.738*
园地	丰水期	0.405	0.286	0.524	0.667	0.628	0.524	0.619	0.476
	枯水期	0.143	0.065	0.048	0.238	0.048	0.024	-0.048	0.310
未利用地	丰水期	0.524	0.357	0.500	0.286	0.548	0.619	0.190	0.452
	枯水期	0.214	0.048	0.310	0.095	0.006	0.143	0.048	0.024
建设用地	丰水期	0.190	0.286	0.217	0.143	0.018	0.333	0.143	0.413
	枯水期	0.333	0.357	0.214	0.167	0.262	0.767*	0.357	0.310
水域	丰水期	-0.262	-0.286	-0.137	-0.238	-0.357	-0.214	-0.333	-0.405
	枯水期	-0.616	-0.396	-0.627	-0.236	-0.548	-0.424	-0.751*	-0.343

土地利用类型	水期	COD _{Mn}				DO			
		整	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$	整	$\theta_{(1)}$	$\theta_{(2)}$	$\theta_{(3)}$
林草地	丰水期	-0.667	-0.524	-0.657	-0.735*	0.833*	0.167	0.833*	0.548
	枯水期	-0.548	-0.286	-0.548	-0.743*	0.835*	0.199	0.827*	0.524
耕地	丰水期	0.500	0.810*	0.333	0.185	-0.618	-0.310	-0.881**	-0.143
	枯水期	0.333	0.429	0.429	0.095	-0.762*	-0.468	-0.886**	-0.167
园地	丰水期	0.714*	0.693	0.548	0.238	-0.595	-0.476	-0.690	-0.619
	枯水期	0.347	0.286	0.238	0.048	-0.548	-0.429	-0.667	-0.524
未利用地	丰水期	0.571	0.667	0.333	0.310	-0.762*	-0.643	-0.714*	-0.229
	枯水期	0.595	0.429	0.857**	0.024	-0.881**	-0.714*	-0.867**	0.214
建设用地	丰水期	0.048	0.238	0.310	0.262	-0.095	0.017	-0.244	-0.238
	枯水期	0.048	0.006	0.141	0.143	-0.119	-0.214	-0.167	-0.148
水域	丰水期	0.167	0.310	0.143	0.024	-0.156	-0.119	-0.333	-0.167
	枯水期	0.119	0.024	0.238	0.071	-0.024	0.008	-0.214	-0.048

注: ** 在 0.01 水平(双侧)显著相关; * 在 0.05 水平(双侧)显著相关;“整”为不分坡度。

珊溪水库流域位于浙南低山丘陵区域,季节变化导致水质的变异也尤为重要。不同土地利用类型对污染物运移的影响差别巨大。耕地中氮素易在强降雨情况下流失,在没有林地草地拦截营养盐的情况下,河流自净作用不足以消解此部分氮素,极易造成水体中 TN 升高,而这种现象多发生在夏季丰水期。与本研究相反,黄金良等^[24]对九龙江流域的研究表明,耕地并不是一个预测水质下降的主导因子,这可能与研究区耕地比例不高,沿岸带林地减轻了水土流失,从而降低污染物入河量有关。水体、园地及未利用地未表现出与水质的显著相关性,这可能与这 3 种用地类型面积比例低,空间分布不均相关。陆君等^[25]对安徽黄山太平湖流域研究得出污染物的浓度与园地比例相关性不强的结论。园地主要分布在坡度较

高的区域,远离沿河流域,因此尽管种植过程中伴随农药化肥污染,但由于其面积比例与林草地相比十分微弱,对河流水质的影响程度不明显。地形因子在低山丘陵地带对水质有重要影响,坡度是影响地表径流和土壤侵蚀的重要因素,从土地利用对水质影响角度来分析,坡度大的地区汇流速度快,地表冲刷性更强,携带更多地表营养盐输入水体,使得中高坡度带(>15°)耕地对水质的负效应尤为突出。与本研究结果相似,张殷俊等^[26]在对巢湖流域研究后,得出在山区各类用地对水质的负面效应更明显的相近结论。虽然山区河流流速快,自净能力强,水质一般好于平原地区。但从土地利用对水质影响来分析,坡度大的山区汇流速度快,形成的地表径流对地表冲刷更强烈。因而更多地地表营养盐输入河流,使得土地利

用对河流水质的负效应更突出。

3 结论

(1) 珊溪水库流域内林草地占流域总面积比例最高,其次是耕地,两者比例总和超过 80%。林地多分布于中高坡度带地区,耕地多分布于中低坡度带。水质空间分布具有较大差异性,COD_{Mn}在上游部分较差,TN,TP 在黄坦坑流域以及三插溪流域水体中较差。

(2) 丰水期河库水质与土地利用结构的相关性较枯水期更明显。TN,TP 与林草地比例呈显著负相关、与耕地比例成显著正相关。丰水期耕地是氮磷元素的主要输出源,而林草地则在一定程度下削减了氮磷元素的入河量。

(3) 不同坡度下河库水质与土地利用类型的相关性存在显著差异。低坡度带(<15°)COD_{Mn}与耕地比例呈显著正相关;中坡度带(15°~25°)TN,TP,DO 与林草地、耕地比例呈显著负相关;高坡度带(>25°)TN,TP 与耕地比例有显著正相关。

[参 考 文 献]

- [1] Thomas A R C, Bond A J, Hiscock K M. A multi-criteria based review of models that predict environmental impacts of land use-change for perennial energy crops on water, carbon and nitrogen cycling[J]. *GCB Bioenergy*, 2013,5(3):227-242.
- [2] Dennis L C, Peter J V, Keith L. Modeling non-point source pollutants in the Vadose zone with GIS[J]. *Environmental Science and Technology*, 1997,31(2):2157-2175.
- [3] Bonacci O, Bonacci T. The influence of hydroelectrical development on the flow regime of the Karstic River Cetina[J]. *Hydrological Process*, 2003,17(1):147-161.
- [4] 于松延,徐宗学,武玮,等. 北洛河流域水质空间异质性及其对土地利用结构的响应[J]. *环境科学学报*, 2014,34(5):1309-1315.
- [5] 梁流涛,冯淑怡,曲福田. 农业面源污染形成机制:理论与实证[J]. *中国人口·资源与环境*, 2010,20(4):74-80.
- [6] 郝守宁,宗永臣,董飞. 基于 GIS 的尼洋河流域农业面源污染负荷分布特征[J]. *灌溉排水学报*, 2018,37(7):106-111.
- [7] Villamizar M L, Brown C D. Modelling triazines in the valley of the River Cauca, Colombia, using the annualized agricultural non-point source pollution model[J]. *Agricultural Water Management*, 2016,177(6):24-36.
- [8] Bu Hongmei, Mengwang, Zhangyuan, et al. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China [J]. *Ecological Indicators*, 2014,41(6):187-197.
- [9] Uriarte M, Yackulic C B, Lim Y, et al. Influence of

landuse on water quality in a tropical landscape: A multi-scale analysis [J]. *Landscape Ecology*, 2011,26(8):1151-1164.

- [10] 张广纳,邵景安,王金亮. 基于农业面源污染的三峡库区重庆段水质时空格局演变特征[J]. *自然资源学报*, 2015,30(11):1872-1884.
- [11] 孙金华,曹晓峰,黄艺,等. 滇池流域土地利用对入湖河流水质的影响[J]. *中国环境科学*, 2011,31(12):2052-2057.
- [12] 张福平,赵沙,周正朝,等. 洋河流域土地利用格局与水质变化的关系[J]. *水土保持通报*, 2014,34(4):308-312.
- [13] 曹芳芳,李雪,王东,等. 新安江流域土地利用结构对水质的影响[J]. *环境科学*, 2013,34(7):2582-2587.
- [14] 李艳利,徐宗学,李艳粉,等. 辽河流域水质状况及其对土地利用/覆被变化的响应[J]. *水土保持通报*, 2013,33(2):72-77.
- [15] Farida D, Javier B, Ahmed S. SWAT application in intensive irrigation systems: model modification, calibration and validation [J]. *Journal of Hydrology*, 2012,470/471(12):227-238.
- [16] 谭霞,王康,黄介生. 农业面源污染入河量特征污染物反演法研究[J]. *灌溉排水学报*, 2014,33(S1):224-227.
- [17] Xu Wen, Luo Jianzhong. Analysis on the status of agricultural non-point source pollution in Xinan River Basin [J]. *Meteorological and Environmental Research*, 2010,1(12):79-81.
- [18] 姜德娟,毕晓丽. 流域—河口—近海系统氮、磷营养盐输移研究综述[J]. *水科学进展*, 2010,21(3):421-429.
- [19] 欧洋,王晓燕,耿润哲. 密云水库上游流域不同尺度景观特征对水质的影响[J]. *环境科学学报*, 2012,32(5):1219-1226.
- [20] 刘旭拢,邓孺孺,秦雁,等. 东江流域地表水功能区水质对土地利用的响应[J]. *热带地理*, 2016,36(2):296-302.
- [21] 任坤,梅琨,朱慧敏,等. 基于 RUSLE 模型的珊溪水库流域土壤侵蚀定量估算[J]. *生态学杂志*, 2015,34(7):1950-1958.
- [22] 范志平,刘建治,赵悦,等. 蒲河水水质空间异质性特征及其对流域土地利用方式的响应[J]. *生态学杂志*, 2018,37(4):1144-1151.
- [23] 王鹏,齐述华,陈波. 赣江流域土地利用方式对河流水质的影响[J]. *生态学报*, 2015,35(13):4326-4337.
- [24] 黄金良,李青生,洪华生,等. 九龙江流域土地利用/景观格局:水质的初步关联分析[J]. *环境科学*, 2011,32(1):64-72.
- [25] 陆君,刘亚凤,黄洪辉,等. 黄山市太平湖流域土地利用结构与河流水质相关性分析[J]. *复旦学报:自然科学版*, 2014,53(6):731-736,746.
- [26] 张殷俊,陈爽,相景昌. 河流近域土地利用格局与水质相关性分析:以巢湖流域为例[J]. *长江流域资源与环境*, 2011,20(09):1054-1061.