

珠溪河流域土地利用变化对面源磷污染的影响研究

张磊^{1,2}, 俞莹³, 秦伍根^{1,2}, 章茹^{1,2}

(1. 南昌大学 资源环境与化工学院, 南昌 330031;

2. 南昌大学 鄱阳湖环境与资源利用教育部重点实验室, 南昌 330029;

3. 江西省农业生态与资源保护站, 南昌 330046)

摘要:探讨土地利用类型变化对磷、泥沙负荷以及截留能力的影响,为制定珠溪河流域面源磷污染治理措施提供重要支撑,也为鄱阳湖流域磷污染精准防治提供科学依据。基于 2010 年和 2018 年土地利用数据,采用 SWAT 模型对珠溪河流域面源磷负荷、泥沙负荷以及径流进行了模拟研究,并结合水文水质实测数据对模型的模拟结果进行评价。结果表明:相关系数 R^2 和 Nash-Sutcliffe 模型效率系数 E_{NS} 均满足 SWAT 模型在研究区的适用要求;泥沙与总磷的负荷强度与耕地、建设用地的覆盖率呈正相关,与林地、草地的覆盖率呈负相关,且总磷负荷强度与泥沙负荷强度有较高的重合性;2010 年、2018 年土地利用数据的总磷、泥沙年均入河系数分别为 0.535、0.736 和 0.558、0.752,2 个时期的泥沙与总磷入河系数中北部大于南部。控制农业生产和农村生活的污染物排放是减少面源污染的重要措施,进行退耕还林或退耕还草能有效截留污染物质以及起到防沙固土的作用。

关键词:土地利用;SWAT 模型;面源磷污染;珠溪河流域

中图分类号:X522 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2021)02-0008-08

土地利用方式随着人类社会活动和自然条件的改变而发生着变化,并且直接对水文循环以及物质迁移产生影响,直接决定了土地下垫面的性质和地表景观的结构(吴琳娜等,2014)。河流水体的水质变化与土地利用方式的改变息息相关(张洁等,2020;于术桐等,2011)。农业种植、畜禽水产养殖和农村生活所产生的污染物质负载于不同土地利用类型(程磊等,2009),通过不同的地表负荷机制以面源污染方式进入水体(刘钦普,2017),尤其磷(主要分为有机磷和矿物质磷)的入河量是引起水体富营养化的关键指标。

近年来,土地利用方式变化对面源负荷的影响逐渐被关注。Zhang 等(2013)、Wang 等(2018)利用 CLUE-S 和 SWAT 模型耦合模拟分别得出密云水库、香溪河流域不同土地利用结构对面源负荷有显著的影响;毕直磊等(2020)对丹江流域设置情景模拟,当坡度大于 15° 和 25° 的耕地转换为林地时将大量减少氮磷的流失;东阳(2018)采用流域分布式

面源模型 IMPULSE 分析滇池流域非点源污染特征,认为农业结构及农村人口的变化均使入湖非点源污染负荷增加,而以城镇用地扩张为主要特征的土地利用变化减少了入湖非点源污染负荷;程红光等(2006)利用情景分析模型,得出黄河源头地区黑河流域在不同土地利用类型下,吸附态氮的入河系数比溶解态氮的入河系数小;Saleh & Arnold (2000)利用 SWAT 模型对美国德克萨斯州中北部的 Upper North Bosque River 流域进行了营养物的变化模拟。近年来,相关研究侧重于流域面源负荷的空间分布,但采用长时间序列数据分析城镇化带来流域土地利用方式的改变从而讨论土地利用结构对面源污染中磷的影响并不多见。

鄱阳湖磷污染问题突出,总磷超标程度逐渐增强,且主要来源于农业与城镇生活源(杨中文等,2020)。珠溪河发源于江西省上饶市万年县,最终流入鄱阳湖。2010 年以来,万年县草地与耕地大面积转化为建设用地,径流截留能力逐渐下降,面源污染日渐严重,水质呈恶化趋势。本文以万年县珠溪河流域作为研究区域,基于 2010 年、2018 年 2 个时期的土地利用类型,利用 SWAT 模型进行模拟分析,探讨 2010-2018 年期间的土地利用类型变化对磷污染负荷及对磷、泥沙截留能力的影响,为制定珠溪河流域面源磷污染治理措施提供重要支撑,也为鄱阳湖流域磷污染精准防治提供科学依据。

收稿日期:2020-09-27

基金项目:国家重点研发计划(2016YFC0401500);江西省科技计划项目(20171BBG70080)。

作者简介:张磊,1994 年生,男,硕士研究生,主要研究方向为农业面源污染治理。E-mail:zhangleincu@163.com

通信作者:章茹,教授,主要研究方向为面源污染治理技术。E-mail:Zhangru33@163.com

1 材料与方法

1.1 研究区概况

珠溪河发源于江西省上饶市万年县裴梅镇的百丈岭和东坞岭,自南向北流经裴梅、上坊、陈营、珠田等乡镇,在乐平洄田渡村西南 1 km 的 2 县交界处与大源水汇合,经乐平扎礼乡从嵩山流入乐安河,最终流入鄱阳湖。珠溪河流域(图 1)总面积 428.58 km²,在万年县境内面积为 419.58 km²,主河长 38 km,其中主要的支流 67 条,多年平均径流量 13.5 m³/s。

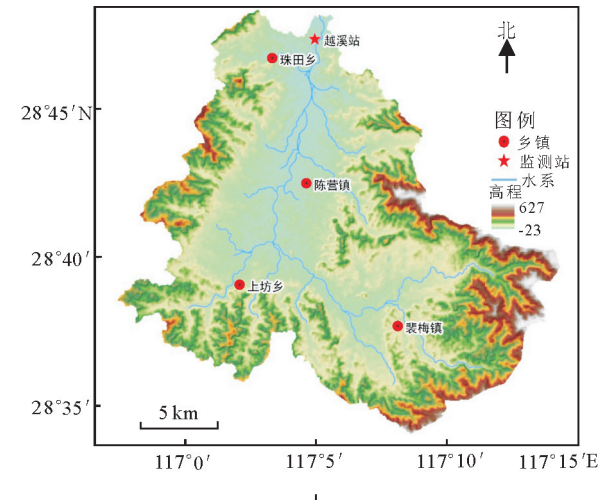


图 1 珠溪河流域
Fig.1 Image of Zhuxi River basin

1.2 数据资料

数字高程数据(DEM)来自于地理空间数据云(www.gscloud.cn),空间分辨率为 30 m;土地利用数据来自于 2010 和 2018 年的 Landsat 影像通过 ArcGIS 和 ERDASIMAGINE 9.3 进行人工解译而得到;土壤数据来自全国第二次土壤普查,比例为 1:100 万;气象数据来自万年气象站以及 CMADS V1.1 数据集(洪梅和林豪栋,2020),主要包括最高/最低气温、日降水量、日平均风速等;水文及水质监测数据来自于珠溪河下游的越溪断面监测站。

1.3 研究方法

1.3.1 SWAT 模型 SWAT(Soil and Water Assessment Tool)是一个流域连续分布式水文模型,适用于模拟水量与氮磷的迁移,可以预测不同土地利用、土壤类型以及管理模式对水文、水质和泥沙的输出影响。SWAT 模型作为基于物理机制的流域连续分布式水文模型的代表(刘庄等,2015;Anand et al,2018),不仅可以模拟流域面源负荷空间分布特征,还能结合不同结构分析方法来筛选控制面源

污染的最佳管理措施。SWAT 模型基于数字高程数据生成的水系将流域划分若干个子流域,在子流域基础上结合土壤类型、土地利用和坡度进一步生成水文相应单元(HRU),HRU 被假定在子流域具有统一的水文行为,目前利用 SWAT 模型将研究区域划分为 33 个子流域、203 个水文响应单元。

1.3.2 模型评价 采用 SWAT-CUP 软件对 SWAT 模型进行参数的校准与验证,模拟期 2009 - 2018 年(预热期 2009 年,校准期为 2010 - 2014 年,验证期为 2015 - 2018 年),并采用相关系数 R^2 和 E_{NS} 模拟效率系数评价模型的适用性, R^2 和 E_{NS} 计算方法如下:

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{mean})^2 (P_i - P_{mean})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{mean})^2 \sum_{i=1}^n (P_i - P_{mean})^2} \tag{1}$$

$$E_{NS} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i - Q_{mean})^2} \tag{2}$$

式中: Q_i 、 Q_{mean} 分别为实测值和实测平均值, P_i 、 P_{mean} 分别为模拟值和模拟平均值。 R^2 和 E_{NS} 越接近 1,则表明模拟值越接近实测值。一般认为, $R^2 > 0.6$ 、 $E_{NS} > 0.5$,模拟效果满足要求(屈吉鸿等, 2015)。

1.3.3 入河系数 污染物入河系数是指在土壤侵蚀或降雨等冲刷的作用下累计在地表坡面的污染物负荷量与汇流在河道出口的污染负荷量的比值,它是体现污染物入河过程以及程度的重要参数,计算公式如下:

$$\lambda_y = \frac{L_{sub}}{S_{sub}} \tag{3}$$

式中: λ_y 为入河系数, L_{sub} 为子流域出口污染物的负荷量, S_{sub} 为子流域坡面产生污染物的负荷量。

1.3.4 入河系数克里金空间插值 通过 SWAT 模型的模拟输出结果能显示各子流域坡面产生的污染负荷量以及出口污染物负荷量,因此能进一步核算各子流域的入河系数,但整个流域污染物的入河情况并不能体现。为了能更好突出整个流域的污染物入河情况,借助 ArcGIS 软件的统计分析模块中 Kriging/CoKriging 的统计方法,对各子流域出口的入河系数进行空间 Kriging 插值,得到整个流域入河系数空间分布。该方法的前提是数据符合正态分布,若不符合,需进行数据转换处理,使数据符合正态分布。

1.3.5 数据分析及处理 初始数据采用 Excel 2016 软件整理,采用 Arcgis 软件进行数据可视化、入河系数克里金空间插值以相关及制图,采用 Spss 26 软件进行土地利用类型与 TP 入河系数的 Pearson 相关分析,采用 Origin 2017 软件制作图表。

2 结果与分析

2.1 土地利用结构变化

珠溪河土地利用结构如图 2,流域内主要分为耕地、林地、草地、水域、建设用地 5 种土地利用类型,主要以耕地、林地为主。2010、2018 年各土地利用面积变化如图 3,区域以城镇化为指导的发展战略和退耕还林工程对土地利用结构产生了一定的

影响,其中耕地、草地的面积比例有所降低,分别减少了 2.72%、3.06%,而林地、水域、建设用地分别增加了 1.84%、0.33%和 3.61%。

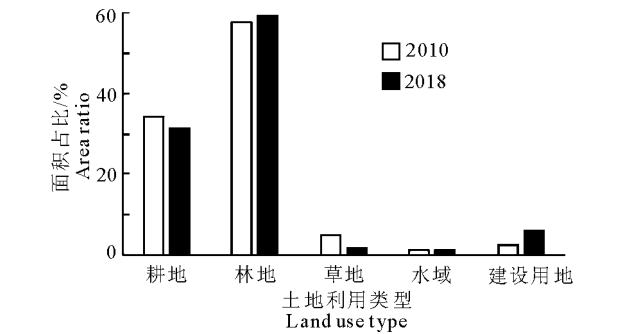


图 3 珠溪河流域 2010 年和 2018 年土地利用面积
Fig.3 Area of each land use type in Zhuxi River basin of 2010 and 2018

2010-2018 年流域内各土地类型转换如表 1 和图 4。转入面积最大的为林地,主要来源于耕地与草地,其中由耕地转入面积占总转入面积的 67.79%,主要体现在中部的 17 号子流域以及东南部 32 号子流域;草地转入面积占 28.9%,主要体现在东部的 12 号子流域以及东南部的 26 号子流域。转出面积最大的是耕地,主要转换为林地与建设用地,分别占 58.7%、36.8%,主要体现在中西部。净转入面积最大为建设用地,13.852 km²;净转出面积耕地与草地较大,分别为 10.386、11.380 km²。

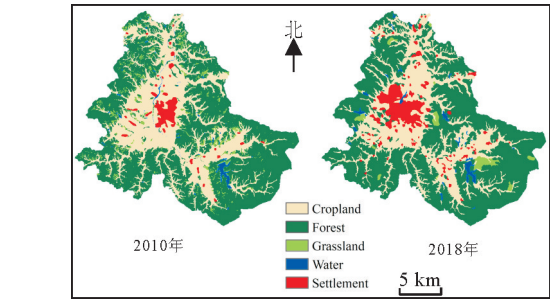


图 2 珠溪河流域 2010 年和 2018 年土地利用结构
Fig.2 Land use structure in Zhuxi River basin of 2010 and 2018

表 1 2010-2018 年珠溪河流域土地利用转移矩阵
Tab.1 Land use transfer matrix from 2010 to 2018 in Zhuxi River basin

土地利用类型		2010 年					
		耕地	林地	草地	建设用地	水域	转入面积
2018 年	耕地	92.081	18.245	6.092	2.702	1.113	28.153
	林地	22.635	194.194	9.661	0.259	0.838	33.392
	草地	0.660	5.430	0.438	0	0.073	6.163
	建设用地	14.189	1.381	1.111	6.887	0.149	16.830
	水域	1.055	1.435	0.679	0.017	1.965	3.186
转出面积		38.539	26.491	17.543	2.978	2.173	87.725
净转入		- 10.386	6.901	- 11.380	13.852	1.013	

2.2 模型的校准与验证

根据越溪站 2009-2018 年水文水质监测数据,利用 SWAT-CUP 的 SUFI2 算法对模型参数进行校准与验证,其中校正期用 2010 年土地利用数据,验证期用 2018 年土地利用数据。月径流量、月泥沙负荷量、月总磷负荷量模拟结果如图 5a、图 5b、图 5c。月径流在率定期和验证期的 R^2 分别为 0.94、0.91, E_{NS} 分别为 0.93、0.84;泥沙月负荷量在率定期与验证期的 R^2 分别为 0.82、0.79, E_{NS} 分别为 0.79、

0.73;总磷负荷量在率定期与验证期的 R^2 分别为 0.79、0.71, E_{NS} 分别为 0.72、0.62。虽然总磷模拟效果略差,但各项模拟结果均已达到适用要求。

2.3 面源磷负荷强度空间分布

基于 2010 年和 2018 年土地利用类型的各子流域多年平均磷(主要分为有机磷和矿物质磷)负荷强度空间分布见图 6。

2 种土地利用类型结构下均体现出年平均磷负

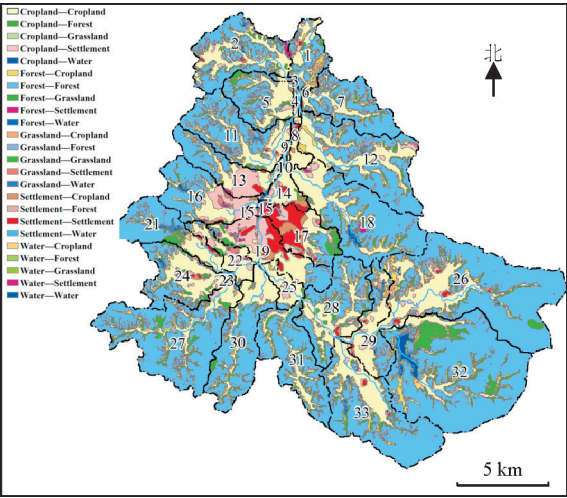


图4 珠溪河流域2010至2018年土地利用转换

Fig.4 Conversion of land use types from 2008 to 2018 in Zhuxi River basin

荷强度较高区域主要分布在中、东部的14、18号子流域,西南部的如25号子流域以及东南部的如26号子流域;较低的区域主要分布在北部的4、5、6号子流域以及中西部的15、16、21号子流域。主要差异体现在2010年土地利用结构下1号子流域磷负荷强度明显小于2018年土地利用结构,但在15、16号子流域得到相反的结果。在各子流域矿物质磷负荷强度都明显大于有机盐,说明泥沙的负荷强度是影响磷负荷强度的关键原因。

基于2010年和2018年土地利用类型的各子流域多年平均泥沙负荷强度空间分布见图7。

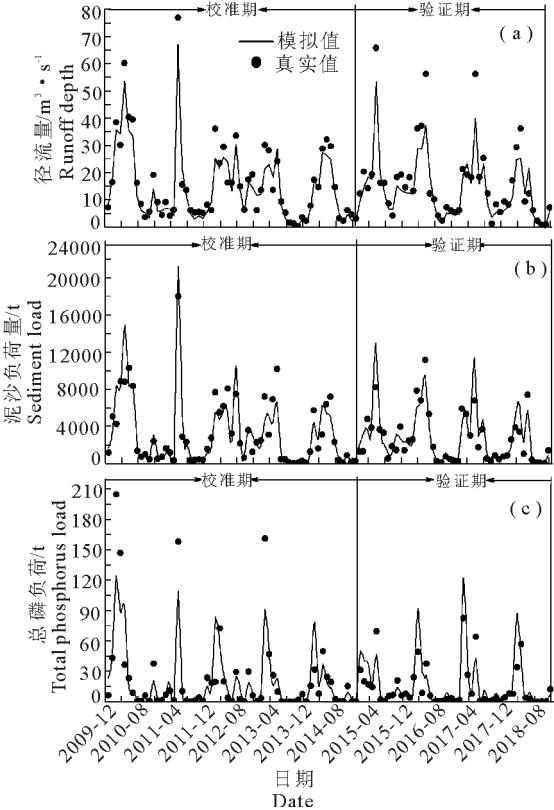


图5 珠溪河流域越溪站模拟结果

Fig.5 Simulation results at Yuexi Station in Zhuxi River basin

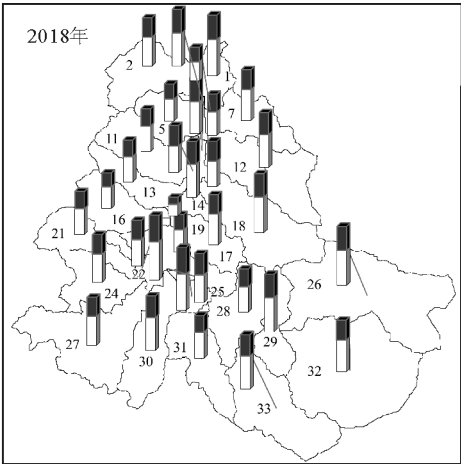
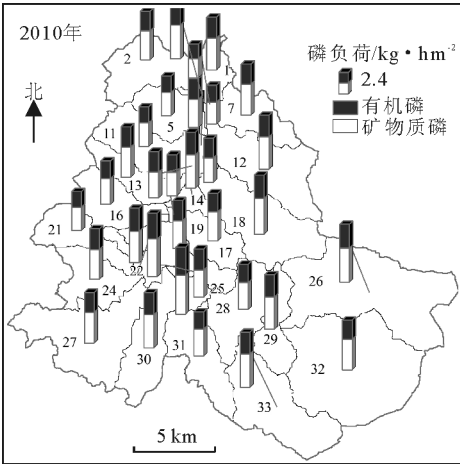


图6 2010-2018年多年平均磷负荷量空间分布

Fig.6 Spatial distribution of average annual phosphorus pollution load(2010-2018)

2种土地利用结构下泥沙负荷强度较高区域主要分布在东部的12、18号子流域和东南部的26、32号子流域。西部区域泥沙负荷强度呈现较弱的趋势。相比2010年,2018年北部的1号子流域和中部的17号子流域的泥沙负荷强度较高,但在北部的5号子流域和西部的16、19、21号子流域泥沙负荷

强度较弱。

对比不同土地利用结构总磷负荷强度和泥沙负荷强度的空间分布,总磷负荷强度与泥沙负荷强度有较高的重合性。2种土地利用结构总磷年负荷量和泥沙年负荷量计算结果见图8。

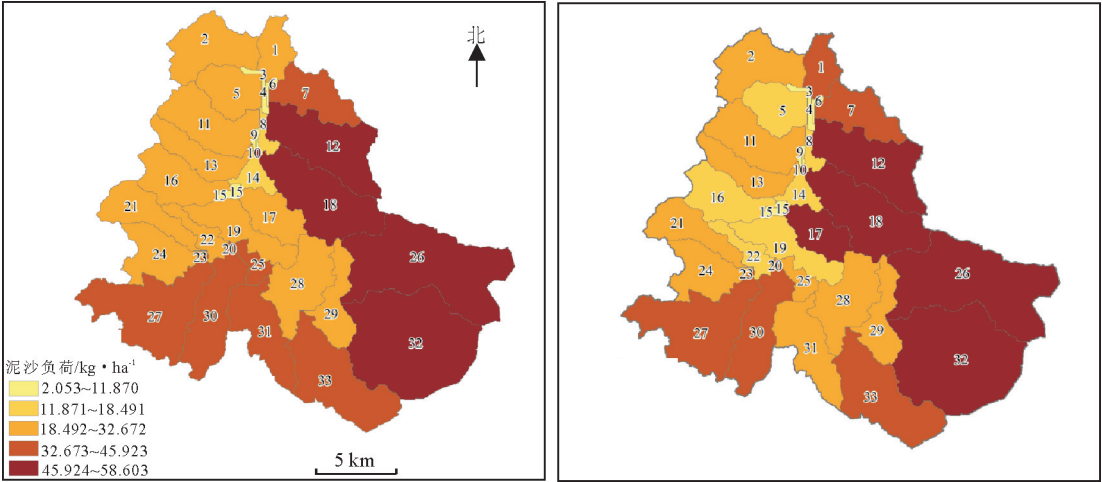


图 7 2010 - 2018 年多年平均泥沙负荷量空间分布

Fig.7 Spatial distribution dynamics of average sediment load(2010 - 2018)

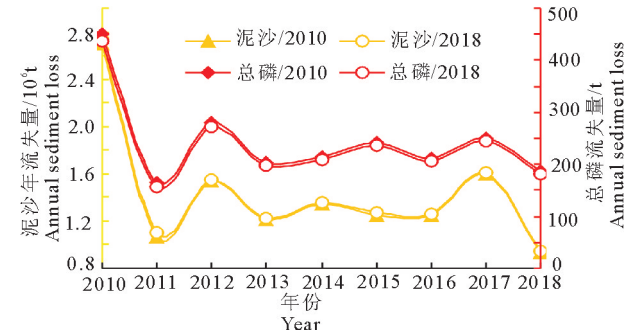


图 8 总磷、泥沙年负荷量

Fig.8 Annual load variation of total phosphorus and sediment during 2010 - 2018

总磷年负荷量与泥沙年负荷量变化趋势一致，峰值均在 2010 年、2012 年、2017 年，说明总磷负荷量受泥沙负荷量影响很大。

2.4 面源磷负荷入河系数

2.4.1 各子流域出口入河系数 各子流域出口总磷、泥沙的年均入河系数如图 9。珠溪河 33 个子流域的总磷、泥沙入河系数，2010 年分别为 0.535、0.736，2018 年分别为 0.558、0.752。2018 年入河系数略高于 2010 年，主要原因为 2018 年的建设用地面积远高于 2010 年，建设用地的不透水面会导致产流深度增大，建设用地面积越大，入河系数越高。

2.4.2 入河系数空间分布 用 SPSS 26 软件对各子流域出口总磷、泥沙的入河系数进行正态 K-S 检验，统计特征结果见表 2。K-S 值均大于 0.05，说明子流域出口的入河系数或转换结果符合正态分布，因此对总磷、泥沙进行空间插值结果是可靠的。利用 ArcGIS 空间插值结果如图 10。

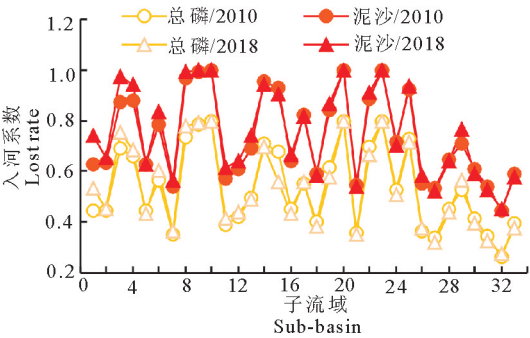


图 9 珠溪河流域各子流域总磷、泥沙入河系数

Fig.9 Total phosphorus and sediment export coefficients (loss rate) in each sub-basin of Zhuxi River basin

表 2 珠溪河流域入河系数统计特征

Tab.2 Statistical characteristics of loss rate in Zhuxi River basin

土地利用数据	指标	数据转换方式	K-S
2010 年	TP	lg 转换	0.139
	泥沙	lg 转换	0.052
2018 年	TP	无	0.063
	泥沙	无	0.106

2.4.3 土地利用类型与面源磷入河系数相关性 将 TP 入河系数与其对应的子流域不同土地占比作 Pearson 相关性分析，结果如表 3。基于 2010 年和 2018 年土地利用的磷入河系数与耕地、建设用地面积均呈正相关，与耕地面积相关性显著、与建设用地相关性不显著；林地、草地对磷入河系数呈负相关，与林地的相关性显著，与草地的相关性不显著。

3 讨论

研究表明，面源磷污染主要来源于农业生产与农村生活，产生的污染负荷量与耕地、建设用地的覆

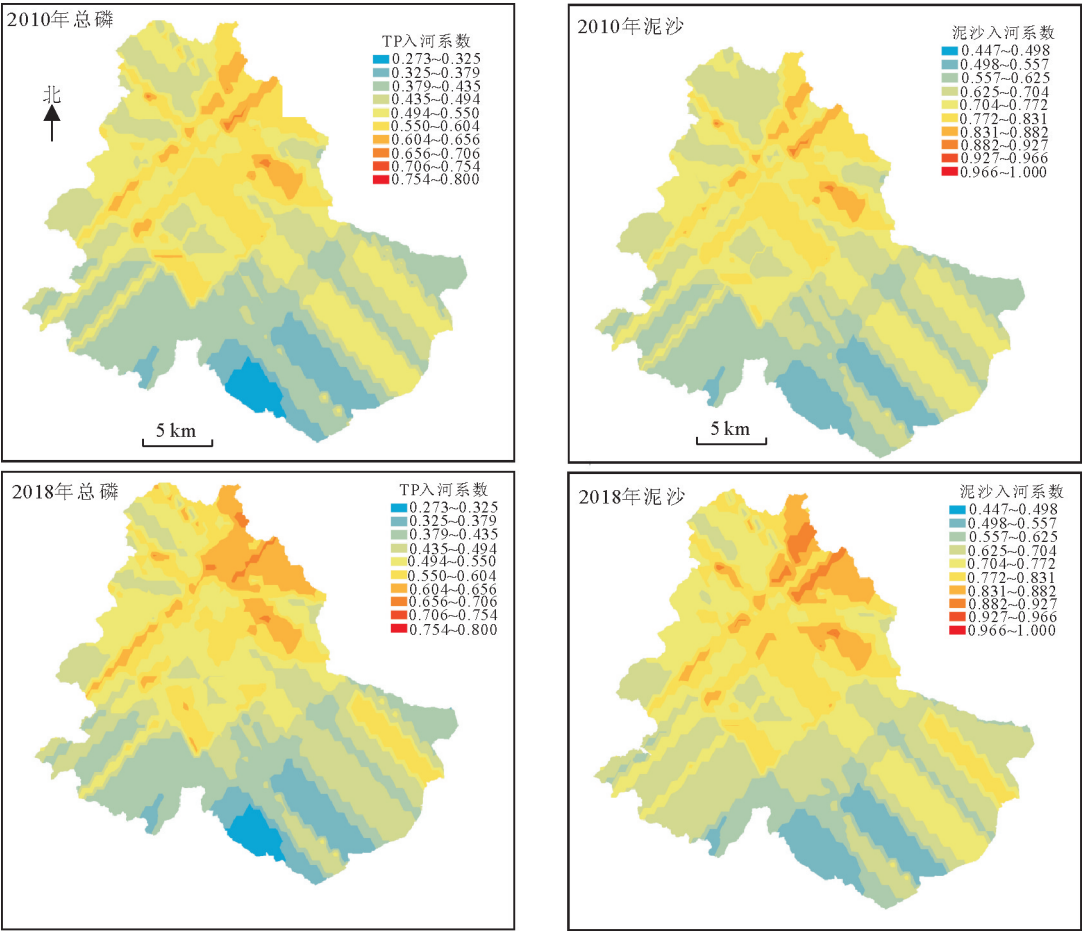


图 10 基于土地利用的入河系数分布

Fig.10 Spatial distribution of loss rate based on land use in 2010 and 2018

表 3 土地利用类型与 TP 入河系数的 Pearson 相关性

Tab.3 Pearson correlation analysis of land use type and TP loss rate

土地类型	2010 年	2018 年
耕地	0.971 **	0.914 **
林地	-0.987 **	-0.957 **
草地	-0.607 **	-0.308
建设用地	0.321	0.181

注: ** 表示在 0.01 水平(双侧)上极显著相关。

Note: ** denotes a significant correlation at the level of 0.01 (bilateral).

盖率呈正相关,与林地、草地的覆盖率呈负相关(宋兰兰等,2018)。本研究区域主要以耕地、林地、建设用地为主,在耕地、建设用地覆盖率较高的区域对应的总磷与泥沙负荷强度较高。2018 年土地利用结构下 1 号子流域的耕地、建设用地覆盖率比 2010 年高,主要是林地、草地转换为耕地与建设用地,导致污染物负荷强度增强。在中部的 15、16 号子流域,主要是耕地转换为建设用地,但污染物负荷强度减弱,说明耕地相比建设用地对污染物负荷强度的影响更大。因此,控制农业生产和农村生活的污染物

排放是减少面源污染的重要措施。

2 个时期的泥沙与总磷入河系数中北部大于南部,2010 年、2018 年中北部建设用地和耕地覆盖率远高于南部;总磷和泥沙的入河系数高度重合,流域磷负荷的载体主要为泥沙。2018 年东北部总磷与泥沙入河系数均高于 2010 年,2018 年中部的建设用地和北部的耕地覆盖率显著增加导致了以上差异。2010 年西南部虽然建设用地有所增加,但部分耕地转化为林地,故西南部入河系数仅略高于 2018 年。根据“汇-源”理论(贾玉雪等,2020),正向推动为“源”作用,逆向滞缓为“汇”作用。本研究,土地利用类型与面源磷入河系数相关性分析结果表明,耕地与建设用地起到“源”作用,而林地草地起到“汇”作用。综上,研究区域进行退耕还林或退耕还草能有效截留污染物质以及起到防沙固土的作用。

以相关系数 R^2 和 Nash-Sutcliffe 模型效率系数 E_{NS} 来衡量 SWAT 模型的拟合度,在率定期和验证期 R^2 均大于 0.7, E_{NS} 均大于 0.6,表明该模型适用于研究区。为了更好提高模型的模拟精度,今后

研究应该增加水库建设和生产需要等人为因素。研究中仅利用2010年和2018年2期土地利用数据,存在较多的不确定因素,利用多期土地利用数据对面源污染进行研究是今后的侧重点。

参考文献

- 毕直磊,张妍,张鑫,等,2020.土地利用和农业管理对丹江流域非点源氮污染的影响[J].水土保持学报,34(3):135-141.
- 程磊,徐宗学,罗睿,等,2009. SWAT 在干旱半干旱地区的应用——以窟野河流域为例[J].地理研究,28(1):65-73,275.
- 程红光,郝芳华,任希岩,等,2006.不同降雨条件下非点源污染氮负荷入河系数研究[J].环境科学学报,(3):392-397.
- 东阳,2018.降雨和土地利用对流域非点源污染的影响——以滇池流域为例[J].人民长江,49(14):24-33.
- 洪梅,林豪栋,2020. CMADS 降水数据在温带东亚季风气候区水库控制流域适用性——以潮白河、东洋河流域为例[J/OL]. 吉林大学学报(地球科学版).<https://doi.org/10.13278/j.cnki.jjuese.20190249>.
- 贾玉雪,帅红,韩龙飞,2020.基于“源-汇”理论的资江下游地区非点源污染风险区划[J/OL].应用生态学报.<https://doi.org/10.13287/j.1001-9332.202010.017>.
- 刘庄,晁建颖,张丽,等,2015.中国非点源污染负荷计算研究现状与存在问题[J].水科学进展,26(3):432-442.
- 刘钦普,2017.中国化肥面源污染环境风险时空变化[J].农业环境科学学报,36(7):1247-1253.
- 屈吉鸿,石红旺,李志岩,2015.基于 SWAT 模型的青龙河流域气候变化径流响应研究[J].水力发电学报,34(4):8-15.
- 宋兰兰,郝庆庆,王文海,2018.基于 SWAT 模型的复新河流域非点源污染研究[J].灌溉排水学报,37(4):94-98.
- 吴琳娜,杨胜天,刘晓燕,等,2014.1976 年以来北洛河流域土地利用变化对人类活动程度的响应[J].地理学报,69(1):54-63.
- 杨中文,张萌,郝彩莲,等,2020.基于源汇过程模拟的鄱阳湖流域总磷污染源解析[J/OL].环境科学研究.<https://doi.org/10.13198/j.issn.1001-6929.2020.09.11>.
- 于术桐,黄贤金,程绪水,等,2011.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,21(S1):422-426.
- 张洁,焦树林,赵宗权,等,2020.基于 GIS 的百花湖流域土地利用变化与水质响应[J].环境监测管理与技术,32(3):14-18.
- Anand J, Gosain A K, Khosa R, 2018. Prediction of land use changes based on land change modeler and attribution of changes in the water balance of Ganga basin to land use change using the SWAT model[J]. Science of the Total Environment, 644: 503-519.
- Zhang P, Liu Y, Pan Y, et al, 2013. Land use pattern optimization based on CLUE-S and SWAT models for agricultural non-point source pollution control[J]. Mathematical and Computer Modelling, 58(3,4):588-595.
- Wang Q, Liu R, Men C, et al, 2018. Application of genetic algorithm to land use optimization for non-point source pollution control based on CLUE-S and SWAT [J]. Journal of Hydrology, 560: 86-96.
- Saleh A, Arnold J G, 2000. Application of SWAT for the Upper North Bosque River Watershed[J]. Transactions of the ASAE, 43(5): 1077-1087.

(责任编辑 张俊友)

Impact of Land Use Change on Phosphorus Non-Point Source Pollution in Zhuxi River Basin

ZHANG Lei^{1,2}, YU Ying³, QIN Wu-gen^{1,2}, ZHANG Ru^{1,2}

(1.School of Resources Environment and Chemical Engineering,
Nanchang University, Nanchang 330031,P.R.China;
2.Key Laboratory of Poyang Lake Environment and Resource Utilization,
Ministry of Education, Nanchang 330029,P.R.China;
3.Jiangxi Agricultural Ecology and Resources Protection Station, Nanchang 330031,P.R.China)

Abstract: Water quality dynamics in a river is closely related to land use in the river's watershed. Pollutants resulting from agricultural planting, livestock and poultry culture, and rural domestic sewage enter the lake and streams in the form of non-point source pollution through different surface loading mechanisms. In recent years, the impact of land use change on non-point source pollution has received increased national and international attention. In this investigation, Zhuxi River of Wannian County in Jiangxi Province was selected for a case study on the impacts of land use change on phosphorus and sediment loading, and the interception capacity of the river basin. Based on land-use data in 2010 and 2018, the soil and water assessment tool (SWAT) model was used to simulate non-point source phosphorus pollution, sediment load and runoff in the Zhuxi River basin for the period 2010 – 2018. The simulation results were then evaluated using field measurements of hydrology and water quality. The aim of study was to provide a scientific basis for more precise targeting of control measures to reduce phosphorus pollution in Zhuxi River, as well as the formulation of non-point source phosphorus pollution control measures in the Poyang Lake basin. Correlation coefficients (R^2) and the Nash-Sutcliffe efficiency coefficient (E_{NS}) show that the SWAT model had high simulation accuracy in the Zhuxi River basin and the model was applicable. The load intensity of sediment and total phosphorus was positively correlated with coverage by farmland and settlement land, negatively correlated with coverage by forest and grassland, and the loading intensities of total phosphorus and sediment were highly correlated. The average annual loss rate of total phosphorus and sediment in 2010 and 2018 were, respectively, 0.535, 0.736 and 0.558, 0.752. The loss rate of sediment and total phosphorus in the two periods were higher in the northern and central areas than in the southern river basin. Controlling the discharge of pollutants from agricultural production and rural life is important for reducing non-point source pollution. Conversion of farmland to forest or grassland can effectively intercept pollutants and play a role in preventing sand and soil erosion.

Key words: land use; SWAT model; phosphorus non-point source pollution; Zhuxi River basin