

广元市土地利用类型及社会经济因子对河流水质的影响

张萍¹, 张倚铭², 唐娅¹, 郑清¹, 权秋梅¹, 黎云祥^{1*}

(1. 西华师范大学环境科学与工程学院, 四川南充 637009; 2. 四川化工职业技术学院制药与环境工程系, 四川泸州 646099)

摘要 [目的]探究一定流域范围内土地利用类型及社会经济因子对河流水质的影响情况。[方法]使用2012—2015年广元市嘉陵江、白龙江和南河的水质监测数据,选取5个分析指标,利用单因子指数与土地利用数据和社会经济数据进行回归分析,探讨土地利用类型与经济数据对河流水质的影响倾向,选取最优模型进行情景预测。[结果]①广元市2012—2015年区域河流水质较好,期间河流水质根据回归模型模拟结果与实际无显著差异,回归模型能够基本反映出广元市河流水质的实际变化趋势。② COD_{Mn} 、 BOD_5 、 NH_4^+-N 的影响因子均包括年末实有耕地,且都呈负相关; COD_{Cr} 与人口密度呈现负相关;TP与草地面积呈负相关; BOD_5 影响因子除了年末实有耕地面积外还有农业设施用地面积,并且与农业设施用地面积呈正相关。③土地利用类型对 COD_{Mn} 、 BOD_5 、 NH_4^+-N 、TP均有影响, COD_{Cr} 受到社会经济因子的影响,其中土地利用类型变化对河流水质影响作用比社会经济因子更显著。④增加年末实有耕地面积、减少农业设施用地面积、增加人口密度的情况下能使水质更好。[结论]在考量河流水质的影响因子时应当综合考虑土地利用类型和社会经济因子。

关键词 嘉陵江(广元段);土地利用类型;社会经济因子;单因子指数法

中图分类号 X522

文献标识码 A

文章编号 0517-6611(2020)20-0052-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2020.20.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



Influence of Land Use Types and Socioeconomic Factors on River Water Quality in Guangyuan City

ZHANG Ping¹, ZHANG Yi-ming², TANG Ya¹ et al (1. College of Environmental Science and Engineering, China West Normal University, Nanchong, Sichuan 637009; 2. Department of Pharmaceutical and Environmental Engineering, Sichuan Vocational College of Chemical Industry, Luzhou, Sichuan 646009)

Abstract [Objective] To explore the impact of land use types and socio-economic factors on river water quality in a certain watershed. [Method] Using the water quality monitoring data of Jialing River, Bailong River and Nanhe River in Guangyuan City from 2012 to 2015, five analysis indexes were selected, and regression analysis was carried out with single factor index, land use data and socio-economic data to explore the impact tendency of land use type and economic data on river water quality, and the optimal model was selected for scenario prediction. [Result] ①The regional river water quality in Guangyuan City was good from 2012 to 2015. During the period, the water quality of the river was not significantly different from the actual results according to the regression model. The regression model could basically reflect the actual change trend of river water quality in Guangyuan City. ②The impact factors of COD_{Mn} , BOD_5 and NH_4^+-N include cultivated land at the end of the year, and they were negatively correlated. COD_{Cr} was negatively correlated with population density, TP was negatively correlated with grassland area, and BOD_5 influence factor was positively correlated with agricultural facility area besides cultivated land area at the end of the year. ③Land use types had an impact on COD_{Mn} , BOD_5 , NH_4^+-N and TP, and COD_{Cr} was affected by socio-economic factors. The impact of land use types on river water quality was more significant than that of socio-economic factors. ④The water quality can be improved by increasing the area of cultivated land at the end of the year, reducing the area of agricultural facilities and increasing the population density. [Conclusion] Land use types and socio-economic factors should be considered comprehensively when exploring the influencing factors of river water quality.

Key words Jialing River (Guangyuan Section); Land use type; Socio-economic factor; Single factor index method

生态与经济的协调对促进社会进步、经济发展和生态稳定有重要意义^[1]。有研究表明,水质情况与社会经济数据具有紧密联系,如TN、 COD_{Mn} 与流域人口、人均GDP密切相关^[2];水体富营养化程度与滇池流域人口、昆明市GDP密切相关^[3];地区GDP和人口与水质指标具有相关性^[4]。除此之外,相关研究表明土地利用情况对河流水质具有重要影响^[5-8]。如耕地、园地与 COD_{Mn} 呈明显正相关;水质的变化受经济、人口因素和土地利用类型面积比例的影响^[9-10];土地利用类型及社会经济因素对水体污染物浓度有影响^[11-12]。

嘉陵江是长江支流中流域面积最大的支流,经陕西省、甘肃省、四川省、重庆市注入长江。其以四川省广元市昭化区以上为上游,昭化至重庆市合川区为中游,合川至重庆河口为下游。嘉陵江流域有重要的航运、供水、生态功能^[13]。该研究区域为嘉陵江广元段,是广元市生产和生活集中水源,还具有重要的生态屏障战略意义,对人类生产生活具有

重要作用。嘉陵江流域覆盖面广,广元段处嘉陵江流域的中上游,因此其水质优劣对中下游城市的生产和生活具有重大影响。

该研究通过嘉陵江、南河和白龙江3个流域的综合分析,利用单因子指数与土地利用类型及社会经济数据相关性分析,探究土地利用类型及其社会经济数据对水体污染物浓度的影响。利用单因子指数与土地利用类型和社会经济数据进行回归分析,综合分析土地利用类型和社会经济数据与河流水质的关系,建立模型进行情景分析,进一步结合现状研究水质变化,为广元境内嘉陵江水质管理提供科学依据和数据支撑。

1 研究区域

广元市位于四川省北部(31°31'~32°56'N, 104°36'~106°45'E),境内河流属长江水系,有嘉陵江、白龙江、清水河、东河、木门河等75条河流。属亚热带湿润季风气候,南部低山,冬冷夏热;北部中山区冬寒夏凉,秋季降温迅速。年平均气温16.1℃,7月平均气温26.1℃,1月平均气温4.9℃。年降雨量800~1 000 mm,日照时数1 300~1 400 h,

基金项目 西华师范大学教学改革项目(403619)。

作者简介 张萍(1997—),女,四川西昌人,硕士研究生,研究方向:环境生态学。*通信作者,教授,从事环境生态学方面研究。

收稿日期 2020-01-21;修回日期 2020-02-24

无霜期 220~260 d,四季分明。

研究区域选取广元市境内嘉陵江、白龙江和南河。其中,嘉陵江为广元境内的河流主干,自北向南流经广元市区;白龙江属于嘉陵江的一级支流,是嘉陵江上游的最大支流,

自北向南流经广元,并在广元市西侧的昭化镇汇入嘉陵江;南河是广元的母亲河,广元市城区内的四分之三用水来源于南河,南河从广元市东南侧流经广元市区,最后在天成大桥西侧汇入嘉陵江^[14]。研究区域地图见图 1。

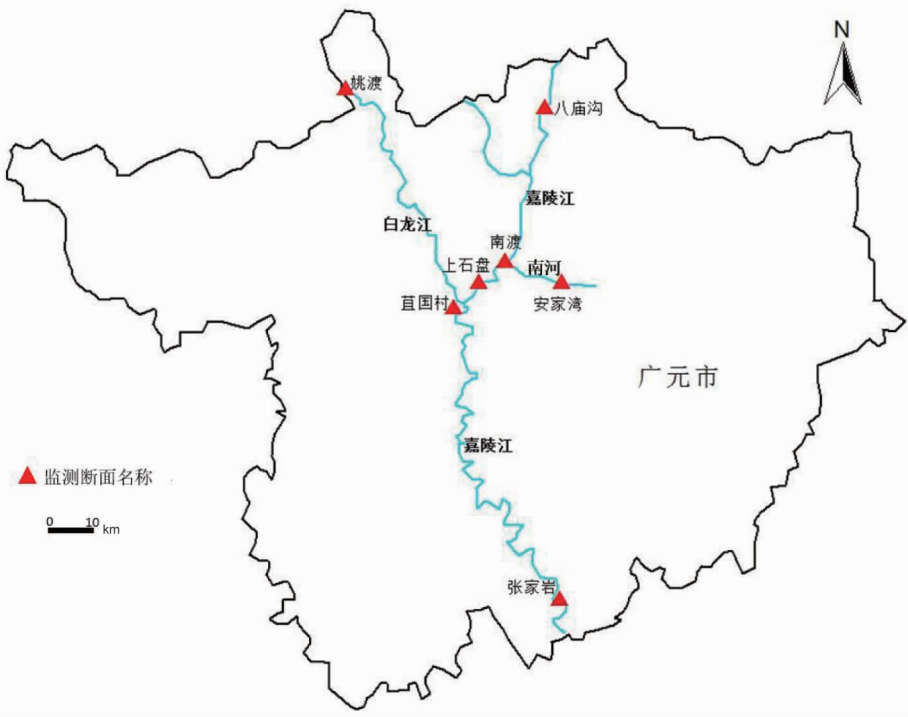


图 1 研究区域地图

Fig.1 Study area map

2 数据来源和研究方法

2.1 数据来源

2.1.1 土地利用数据和社会经济数据来源。选取广元市 2012—2015 的土地利用类型和社会经济数据,数据来源于《四川统计年鉴》(2013—2016)和《广元统计年鉴》(2013—2016)(表 1)。土地利用类型数据包括:年末实有耕地面积(X_1, hm^2)、园地面积(X_2, hm^2)、林地面积(X_3, hm^2)、草地面积

(X_4, hm^2)和农业设施用地面积(X_5, hm^2)。为反映广元市的社会经济平均水平,选取了 6 个均值变量型数据代表社会经济因子,其中包括:人口密度($X_6, \text{人}/\text{km}^2$)、人均 GDP($X_7, \text{元}/\text{人}$)、第一产业国有总值占比($X_8, \%$)、第二产业国有总值占比($X_9, \%$)、第三产业国有总值占比($X_{10}, \%$)和工业占比($X_{11}, \%$)。

表 1 广元市 2012—2015 土地利用类型和社会经济数据

Table 1 Land use types and socio-economic data of Guangyuan City from 2012 to 2015

年份 Year	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
2012	168 809	47 150	961 114	2 576	2 215	158	18 672	19.6	47.0	33.4	40.5
2013	168 772	50 336	961 777	2 576	2 180	156	20 443	18.2	48.1	33.7	41.5
2014	169 070	52 162	965 568	2 623	3 356	158	22 117	16.9	47.7	35.4	40.8
2015	168 898	53 217	965 367	2 623	3 493	161	23 263	16.5	47.2	36.3	40.4

2.1.2 水质数据来源。水质采样时间为 2012—2015 年 1—12 月每月月初,采样频率为每月 1 次。在各个监测点位通过人工采样的方式进行采样,分别在嘉陵江流域的八庙沟、上石盘、张家岩 3 个断面设置采样点进行监测,选取南河的安家湾和南渡 2 个断面,白龙江在苴国村和桃渡 2 个河流断面设置采样点监测。八庙沟、张家岩、南渡、苴国村、桃渡为国控断面,安家湾、上石盘为省控断面。监测项目包括 pH、DO、 COD_{Mn} 、 COD_{Cr} 、 BOD_5 、 NH_4^+-N 、TN、TP,除 pH 为无量纲外,其

他指标单位均为 mg/L 。

2.2 研究方法

2.2.1 单因子指数法。根据文献[10—12]结合广元市 2012—2015 年的监测数据现状,选取 COD_{Mn} 、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 NH_4^+-N 、TP 作为评价指标,单因子指数是无量纲指数,污染因子选定后对每一个因子进行单独评价,各项指标监测与分析评价依据《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)。单因子指数法是将评价水质指标与评价标准进行比较,其计算公

式为^[15-16]:

$$P_i = \frac{C_i}{S_i} \tag{1}$$

式中, C_i 为第*i*种水质指标的实测污染物浓度,mg/L; S_i 为第*i*种指标的评价标准浓度值,mg/L; P_i 为第*i*种水质指标的单因子指数,无量纲。超过Ⅲ类水质标准的指标为断面污染指标(广元市生态环境局),因此 S_i 采用Ⅲ类地表水标准限值。水质污染等级划分标准为: $P_i < 1$,清洁; $1 \leq P_i < 2$,轻污染; $2 \leq P_i < 3$,污染; $3 \leq P_i < 5$,重污染; $P_i > 5$,严重污染。

2.2.2 逐步回归分析。逐步回归分析是建立在多元线性回归分析基础上的,是指运用回归分析原理依据双检验原则,逐步引入和剔除自变量而建立最优回归方程的优选方法。

以广元市土地利用类型和社会经济数据为自变量,以河流的水质指标为因变量。将水质数据进行 $\ln(P_i)$ 转化后,运用IBM SPSS Statistics 23.0进行逐步回归分析,排除不显著变量。用指数模型来表征这一关系为^[17]:

$$\ln(P_i) = \ln\alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \cdots + \beta_{11} X_{11} \tag{2}$$

式中, $\ln\alpha$ 为常量, $X_1 \sim X_{11}$ 分别为年末实有耕地面积、园地面积、林地面积、草地面积、农业设施用地面积、人口密度、人均GDP、第一产业占比、第二产业占比、第三产业占比和工业占比, $X_1 \sim X_5$ 为土地利用类型数据, $X_6 \sim X_{11}$ 为社会经济数据; $\beta_1 \sim \beta_{11}$ 分别表示各影响因子与水质指标之间的相关系数。相关系数为负,则表明影响因子越大,污染物浓度越低;反之,相关系数为正,则表明影响因子越小,污染物浓度越低。

2.3 情景分析 情景分析的作用在于充分了解目前已知情况的基础上,对未来的数据进行合理的预测,从而为政策决策提供一定的理论基础。根据自变量与因变量进行回归分析得到的显著模型,根据不同的发展方向设置不同的情景,

并用所设置情景进行水质预测,通过改变土地利用类型和社会经济数据得到一系列不同的情景,比较不同的情景模式中水质数据的变化情况。

3 结果与分析

3.1 单因子指数分析 广元市嘉陵江流域2012—2015年水质指标 P_i 值计算如表2所示,根据计算结果可知2012—2015年广元市嘉陵江流域各分析污染物单因子指标均 < 1 ,对照水质污染等级划分标准,这4年期间研究区域水质清洁。并且能够满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅲ类标准要求,表明区域河流水质较好。

表2 广元市嘉陵江流域2012—2015年水质指标 P_i 值计算结果
Table 2 Calculation results of P_i value of the water quality index of Jialing River basin in Guangyuan City from 2012 to 2015

年份 Year	COD _{Mn}	BOD ₅	COD _{Cr}	NH ₄ ⁺ -N	TP
2012	0.321 7	0.263 3	0.450 0	0.258 0	0.323 0
2013	0.302 5	0.305 0	0.483 5	0.275 0	0.315 0
2014	0.150 0	0.110 0	0.466 5	0.160 0	0.140 0
2015	0.210 0	0.255 0	0.416 5	0.200 0	0.150 0

3.2 回归分析 将水质指标与土地利用类型和社会经济数据进行逐步回归分析,回归分析结果显示,COD_{Mn}与年末实有耕地面积呈负相关;BOD₅与年末实有耕地面积呈负相关,与农业设施用地面积呈正相关;COD_{Cr}与人口密度呈负相关;NH₄⁺-N与年末实有耕地面积呈负相关,TP与草地面积呈负相关(表3)。研究结果表明,年末实有耕地面积、草地面积、农业设施用地面积和人口密度均对河流水质具有显著影响,说明土地利用类型和社会经济数据跟河流水质相关。

表3 水质指标与土地利用类型和社会经济数据回归分析结果
Table 3 Results of regression analysis of water quality index, land use types and socio-economic data

水质指标 Water quality index	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	常量 Constant	R^2	P
COD _{Mn}	-0.002 587											435.526	0.941 0	0.030
BOD ₅	-0.004 634				0.000 302							780.292	0.999 8	0.012
COD _{Cr}						-0.030 063						3.967	0.944 0	0.028
NH ₄ ⁺ -N	-0.001 841											309.347	0.967 0	0.017
TP				-0.016 787								42.100	0.996 0	0.020

通过 R^2 可知,5个模型的拟合效果均较好,其中BOD₅拟合效果最好($R^2 = 0.999\ 8$),其次为TP($R^2 = 0.996$)>NH₄⁺-N($R^2 = 0.967$)>COD_{Cr}($R^2 = 0.944$)>COD_{Mn}($R^2 = 0.941$)。

根据回归分析结果得出水质指标预测的最优模型(表4),结合2012—2015年土地利用类型和社会经济数据进行单因子指数数值模拟,将模拟结果与表2进行对比结果如图2所示。由图2可看出,2012—2015年水质情况的模拟结果与实际无显著差异,单一的水质指标只在某个特定的因变量变化时才能产生响应,但是结果显示通过回归分析的模型对水质进行预测基本能反映水质的实际变化趋势。

表4 逐步回归模型
Table 4 Stepwise regression model

水质指标 Water quality index	公式 Formula
COD _{Mn}	$P_i = \exp(435.526 - 0.002\ 587 * X_1)$
BOD ₅	$P_i = \exp(780.292 - 0.004\ 634 * X_1 + 0.000\ 302 * X_5)$
COD _{Cr}	$P_i = \exp(3.967 - 0.030\ 063 * X_6)$
NH ₄ ⁺ -N	$P_i = \exp(309.347 - 0.001\ 841 * X_1)$
TP	$P_i = \exp(42.100 - 0.016\ 787 * X_4)$

3.3 情景分析 根据回归分析结果,选取年末实有耕地面积、草地面积、农业设施用地面积和人口密度作为影响因子

代表,为了更好的说明土地利用类型及社会经济因子对河流水质污染物浓度产生的影响,改变其中部分影响因子设置一系列不同情景,将情景模拟结果与 2015 年的数据进行对比。

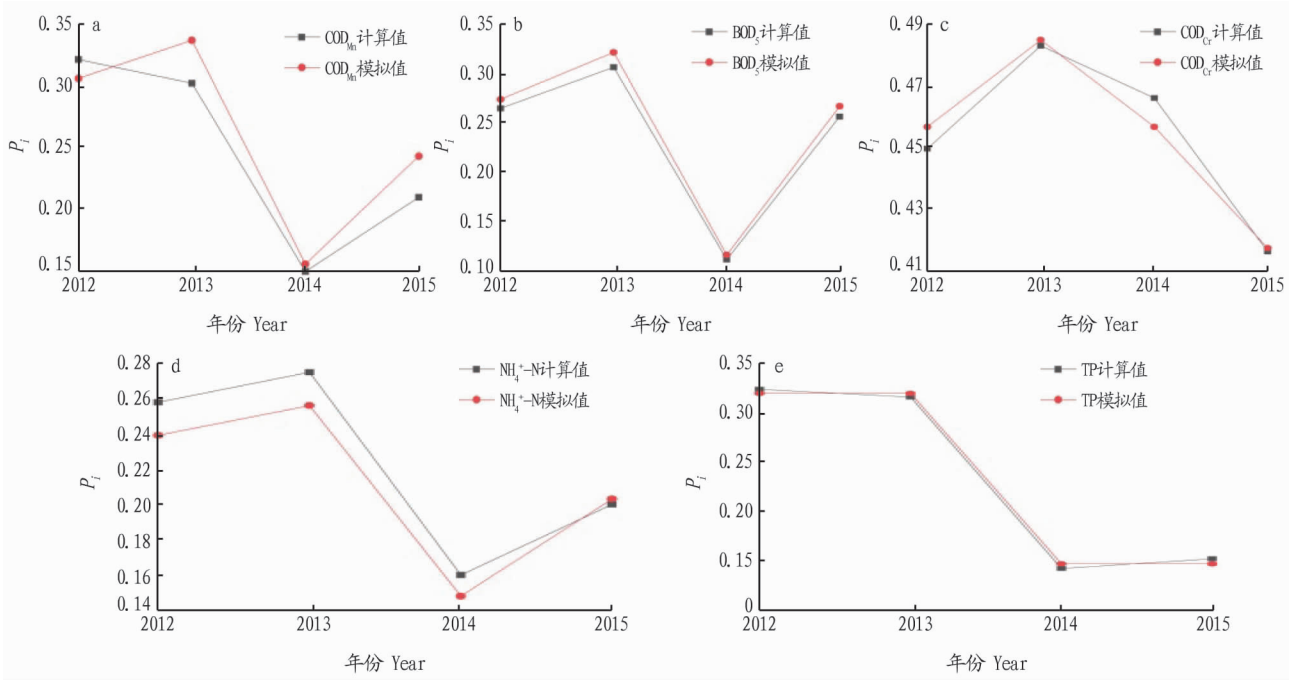


图 2 单因子指数计算值与模拟值对比

Fig.2 Comparison between calulated value and simulated value of single factor index

根据 2012—2015 年广元市土地利用类型和社会经济数据的变化范围进行情景设置,其中人口密度随年末实有耕地面积有相应变动^[18]。

情景设置如表 5 所示:情景 1 增加年末实有耕地面积(X_1),减少农业设施用地面积(X_5),增加人口密度(X_6);情景 2 减少年末实有耕地面积(X_1),减少农业设施用地面积(X_5),减少人口密度(X_6);情景 3 增加草地面积(X_4),减少农业设施用地面积(X_5);情景 4 减少草地面积(X_4),增加农业设施用地面积(X_5);情景 5 和情景 6 同时改变年末实有耕地面积(X_1)、草地面积(X_4)、农业设施用地面积(X_5)以及人

口密度(X_6)。

将广元市土地利用类型和社会经济数据设置一系列不同的情景,结果见表 6。情景 1 中 COD_{Mn} 、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 预测值均变小,水质指数有明显降低的趋势,水质变好,而与之相比情景 2 结果相反, COD_{Mn} 、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 预测值均变大,水质变差。情景 3 中 BOD_5 升高,TP 降低,情景 4 情况相反。情景 5 中 TP 变高, COD_{Mn} 、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 预测值均降低,与之相反,情景 6 中 TP 降低, COD_{Mn} 、 BOD_5 、 COD_{Cr} 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 预测值均变高。结果表明,土地利用类型和社会经济数据的变化对河流水质有一定影响。

表 5 广元市河流水质影响因子情景设置

Table 5 Scenario setting of river water quality impact factors in Guangyuan City

情景 Circumstances	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}
现状 Current situation	168 898	53 217	965 367	2 623	3 493	161	23 263	16.5	47.2	36.3	40.4
1	169 098	53 117	965 267	2 623	3 493	162	23 263	16.5	47.2	36.3	40.4
2	168 698	53 317	965 467	2 623	3 493	160	23 263	16.5	47.2	36.3	40.4
3	168 898	53 317	965 367	2 723	3 393	161	23 263	16.5	47.2	36.3	40.4
4	168 898	53 217	965 367	2 523	3 593	161	23 263	16.5	47.2	36.3	40.4
5	169 098	53 217	965 367	2 523	3 393	162	23 263	16.5	47.2	36.3	40.4
6	168 698	53 217	965 367	2 723	3 593	160	23 263	16.5	47.2	36.3	40.4

4 结论

(1) 根据单因子指数法分析可知,广元市 2012—2015 年河流水质能够满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅲ类标准要求,表明区域河流水质较好。结合回归分析模拟结果显示,2012—2015 年水质情况的模拟结果与实际无显著差异。表明回归模型能基本反映广元市河流水质的实际变化趋势。

(2) 回归分析显示,广元市 2012—2015 年的年末实有耕地面积、草地面积、农业设施用地面积和人口密度均对河流水质具有显著影响; COD_{Mn} 、 BOD_5 、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 3 个水质指标的影响因子均包括年末实有耕地,且都呈负相关; COD_{Cr} 与人口密度呈负相关;TP 与草地面积呈负相关; BOD_5 影响因子除了影响年末实有耕地面积外还影响农业设施用地面积,并且与农业设施用地面积呈正相关。

表 6 广元市情景设置河流水质预测结果

Table 6 River water quality prediction results of scenario setting in Guangyuan City

情景 Circumstances	COD _{Mn}	BOD ₅	COD _{Cr}	NH ₄ ⁺ -N	TP
现状 Current situation	0.210 0	0.255 0	0.416 5	0.200 0	0.150 0
模拟值 Analog value	0.243 4	0.265 4	0.417 6	0.203 1	0.144 8
1	0.145 0	0.103 8	0.405 1	0.140 5	0.144 8
2	0.408 1	0.715 4	0.430 2	0.293 5	0.144 8
3	0.243 4	0.272 5	0.417 6	0.203 1	0.027 0
4	0.243 4	0.272 5	0.417 6	0.203 1	0.776 0
5	0.145 0	0.103 8	0.405 1	0.140 5	0.776 0
6	0.408 1	0.715 4	0.430 2	0.293 5	0.027 0

(3)就广元市而言,年末实有耕地面积的变化对 COD_{Mn}、BOD₅、NH₄⁺-N 均有影响,土地利用类型对 COD_{Mn}、BOD₅、NH₄⁺-N、TP 均有影响,COD_{Cr}受到社会经济因子的影响。其土地利用类型变化对河流水质影响作用比社会经济因子更加显著。

(4)情景分析结果显示,在情景 1 的结果中水质最好,表明增加年末实有耕地面积、减少农业设施用地面积、增加人口密度的情况下能使水质更好。该结论具有重大意义;可为广元市的河流水质污染防治提供可靠数据;可为广元市的相关发展战略提供一定参考;还可为对四川省其他地区的河流水质污染防治提供参考。

(5)在分析水质变化影响因子时,不应只考虑土地利用类型或者社会经济因子,应综合考虑土地利用类型和社会经济因子对水质指标的共同作用。合理的控制土地利用类型和社会经济数据能够有效改善河流水质状况。

参考文献

[1] 郭小红,王钺,刘琼,等.秦巴山区生态经济系统协调度评价:以四川省广元市为例[J].国土资源科技管理,2016,33(4):31-36.

[2] 欧阳志宏,郭怀成,王婉晶,等.1982—2012 年滇池水质变化及社会经济对水质的影响[J].中国环境监测,2015,31(2):68-73.

[3] 潘珉,高路.滇池流域社会经济发展对滇池水质变化的影响[J].中国工程科学,2010,12(6):117-122.

[4] ZHAO T F, WANG Q Q, TANG X X, et al. Effects of social and economic development of regions surrounding Chao Lake on water quality change of Chao Lake [J]. Agricultural science & technology, 2015, 16(12): 2866-2869.

[5] 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.

[6] 孙金华,曹晓峰,黄艺.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.

[7] 宋述军,周万村.岷江流域土地利用结构对地表水水质的影响[J].长江流域资源与环境,2008,17(5):712-715.

[8] 官宝红,李君,曾爱斌,等.杭州市城市土地利用对河流水质的影响[J].资源科学,2008,30(6):857-863.

[9] 岳隼,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):359-364.

[10] 杨泽栋,秦治恒,白中科,等.土地利用变化与社会经济因素对湖南典型水库水质变化的影响[J].农业环境科学学报,2018,37(10):2270-2277.

[11] 王娇,马克明,张育新,等.土地利用类型及其社会经济特征对河流水质的影响[J].环境科学学报,2012,32(1):57-65.

[12] 王琼,王善祥,范志平,等.土地利用方式和社会经济对大伙房水库上游河流水质空间异质性的影响[J].生态科学,2018,37(2):153-161.

[13] 乔梁.嘉陵江流域四川广元段污染综合治理研究[D].成都:西南交通大学,2016.

[14] 王明明,史丙新,马超,等.嘉陵江广元段第四纪地层与地貌特征研究[J].四川地震,2017(3):19-24.

[15] 杜娟娟,李荣峰.基于单因子指数法的沁河水质评价与分析[J].山西水利科技,2015(4):62-64.

[16] 罗孝芹,张强,陈丽影,等.基于单因子指数法的贵阳市南明河上游区综合水质评价[J].地下水,2016,38(1):80-82.

[17] BASNYAT P, TEETER L D, FLYNN K M, et al. Relationships between landscape characteristics and nonpoint source pollution inputs to coastal estuaries [J]. Environmental management, 1999, 23(4): 539-549.

[18] 陈磊,陈宇阳,陈文宽,等.四川盆周山区农业产业时空特征及影响因素分析:以广元市为例[J].广东农业科学,2016,43(5):186-192.

(上接第 46 页)

[18] 白文钦,胡明瑜,王春萍,等.氮素在植物中的利用综述[J].江苏农业科学,2020,48(4):1-11.

[19] 武东玲,宋正熊,王辉,等.不同氮素水平对宜阳烟区豫烟 6 号烤烟生长发育和烟叶质量的影响[J].现代农业科技,2020(5):8,10.

[20] 王玮.水生和陆生植物对污水中污染物的净化功能及其机理[D].南宁:广西大学,2019.

[21] 王玉彬.四种湿地植物生长特性与污水净化效果研究[D].广州:华南师范大学,2007.

[22] 孙桂平,杨帆,王婷芳,等.扬州城区常用园林植物物候期调查[J].中国建设信息,2011(9):84-85.

[23] 吕绪方.花后叶面喷施氮磷钾对小麦灌浆特性及籽粒品质的影响[D].杨凌:西北农林科技大学,2019.

[24] 戴良香,张智猛,张冠初,等.氮肥用量对花生氮素吸收与分配的影响[J].核农学报,2020,34(2):370-375.

[25] 王衍安,龚维红.植物与植物生理[M].北京:高等教育出版社,2009.

[26] 中华人民共和国卫生部,中国国家标准化管理委员会.《生活饮用水卫生标准》释义:GB 5749—2006[M].北京:中国标准出版社,2007.