

Spatiotemporal Distribution Characteristics of Water Quality in Ya'an Section of Qingyi River Basin

Yufeng Xie

Chengdu Wisdom Technology Consulting Co., Ltd., Chengdu Sichuan
Email: 1361336405@qq.com

Received: Sep. 23rd, 2020; accepted: Oct. 6th, 2020; published: Oct. 13th, 2020

Abstract

This paper combines the water quality monitoring data of 7 sections in the Ya'an section of the Qingyi River basin in 2019, and uses the principal component analysis method based on SPSS20 and Origin2018 to realize the visual analysis of the temporal and spatial distribution characteristics of the water quality. The DO, COD_{Mn}, COD_{Cr}, BOD₅, NH₃-N, TN, and TP are selected as water quality evaluation indicators, and the comprehensive water quality labeling index method is used to evaluate water quality in different periods. The results show that the TN index has exceeded the standard severely, and it belongs to surface water category IV - V for many months throughout the year. The temporal and spatial distribution of water quality is significantly different. Combined with the characteristics of hydrology and meteorology and geographical location in the study area, the time distribution shows that each section is abundant. The water quality in the water period is better than the normal water period and the dry period. From the spatial distribution, the water quality of the Fenjiang, Longxi and Zhougong river tributaries is the worst. The water quality is mainly continuous nitrogen and phosphorus pollution. The water quality of the remaining sections can reach surface water III Class standards.

Keywords

Water Quality, Spatiotemporal Distribution, Water Quality Evaluation, Principal Component Analysis, Water Quality Identification Index Method

青衣江流域雅安段水质时空分布特征研究

谢裕锋

成都君智技术咨询有限责任公司, 四川 成都
Email: 1361336405@qq.com

作者简介: 谢裕锋, 男, 出生于 1993 年 4 月, 籍贯: 贵州遵义, 学历: 硕士研究生, 研究方向: 水资源利用与保护。

文章引用: 谢裕锋. 青衣江流域雅安段水质时空分布特征研究[J]. 水资源研究, 2020, 9(5): 523-532.
DOI: 10.12677/jwrr.2020.95056

收稿日期：2020年9月23日；录用日期：2020年10月6日；发布日期：2020年10月13日

摘要

本文结合青衣江流域雅安段2019年7个断面水质监测数据，运用基于SPSS20的主成分分析法和Origin2018实现了青衣江雅安段水质时空分布特征的可视化分析，选取DO、COD_{Mn}、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP为水质评价指标，运用综合水质标识指数法对水质进行分期评价。结果表明：青衣江流域雅安段TN指标超标严重，全年多月属于地表水IV~V类；水质的时空分布差异显著，结合研究区水文气象和地理位置的特点，从时间分布看各断面丰水期水质优于平水期和枯水期，从空间分布看青衣江雅安段的支流湔江、陇西河和周公河监测断面水质最差，以连续性氮磷污染为主，其余断面水质能达到地表水III类标准。

关键词

水质，时空分布，水质评价，主成分分析，水质标识指数法

Copyright © 2020 by author(s) and Wuhan University.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

河流是水进行迁移转化的主要途径，也是人类可利用淡水资源的主要载体[1]。随着社会经济的快速发展和城镇化进程的不断推进，流域水环境污染问题变得越发突出，特别是在经济发展速度快和人口密度大的区域，河流水环境日益恶化已成为影响流域水安全和区域水资源可持续利用的主要因素[2]。因此，对河流水质进行监测评价，研究其时空分布特征及演变规律，解析污染成因，能够为流域水环境污染治理和水资源的利用与保护提供动态理论依据。

雅安市地处长江经济带上游四川盆地西部边缘，是川西高原与成都平原的过渡带。青衣江流域贯穿整个雅安，地理位置在东经102°16'至103°43'、北纬29°24'至30°56'之间，是大渡河左岸最大的一级支流，主源为宝兴河，流域区内面积10,053 km²，境内流长184 km [3]，属亚热带湿润气候区，春季少雨干旱，盛夏暴雨洪涝，秋天阴雨连绵，冬季雨雪霜少。流域由于受特殊地理位置、地形作用的影响(南有东西走向的大相岭、峨眉山，北有邛崃山脉环绕，西有南北走向的夹金山，形成马蹄形地形)，构成了四川省著名的青衣江暴雨区。该区雨量非常充沛，流域多年平均降雨量达1776.7 mm。但在地区上变化较大，大致由西北向东南递增。流域内的气温与降雨在地区上的分布趋势较为一致，由西北向东南递增。域内多年平均气温大致介于14℃~18℃之间。最高气温出现在7、8月份，其多年平均气温约22℃~26℃，最低的1、2月份约4.6℃~8℃。极端最高气温36.6℃，极端最低气温-3.3℃。无霜期约300天。

雅安市随着国际化区域性生态城市建设和城镇化、工业化的不断推进，用水规模不断增加，对水资源质量的要求越来越高，水环境生态保护压力不断增大，近年来，青衣江雅安段支流水少、水浑、水脏问题逐渐明显。

本文以青衣江流域雅安段2019年7个监测断面的7项水质指标为研究对象，运用基于SPSS的主成分分析法(PCA)和综合水质标识指数法实现了研究区水质时空分布特征可视化分析以及水质综合评价，厘清了该区域水环境污染状况、主要污染因子时空演变规律，为该区制定合理有效的水资源开发利用规划和水环境污染防治措施提供了科学依据[4]-[9]。

2. 数据与方法

2.1. 数据来源

本文水质监测数据由雅安市环境中心站提供, 选取了 DO、COD_{Mn}、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 为水质评价指标。由于青衣江水期特征明显, 分水期进行了水质评价, 结合流域水文气象特征将水期划分为: 丰水期为 6、7、8、9 月, 平水期为 3、4、5、10 月, 枯水期为 1、2、11、12 月。

青衣江流域雅安段共布设了 7 个监测断面, 分别是青衣江雨城区上游的飞仙关镇(D₁)、多营镇(D₂)断面, 雨城区青衣江 3 条支流汇入点的濛江(D₃)、陇西河(D₄)和周公河(D₅)断面, 水中坝(D₆)和出境处的龟都府(D₇)两个国控监测断面, 青衣江流域图及雅安段监测断面布设如图 1、图 2 所示。

2.2. 研究方法

2.2.1. 主成分分析

利用主成分分析(PCA)降低数据维度的原理, 运用基于 SPSS 的 PCA 对流域水质监测数据进行主成分提取, 根据水质数据的特征向量计算出主成分得分情况, 结合 Origin 软件实现青衣江流域雅安段水质指标时空分布可视化分析。

主成分分析数学模型如下: 设 n 维原始水质监测样本数据矩阵 A

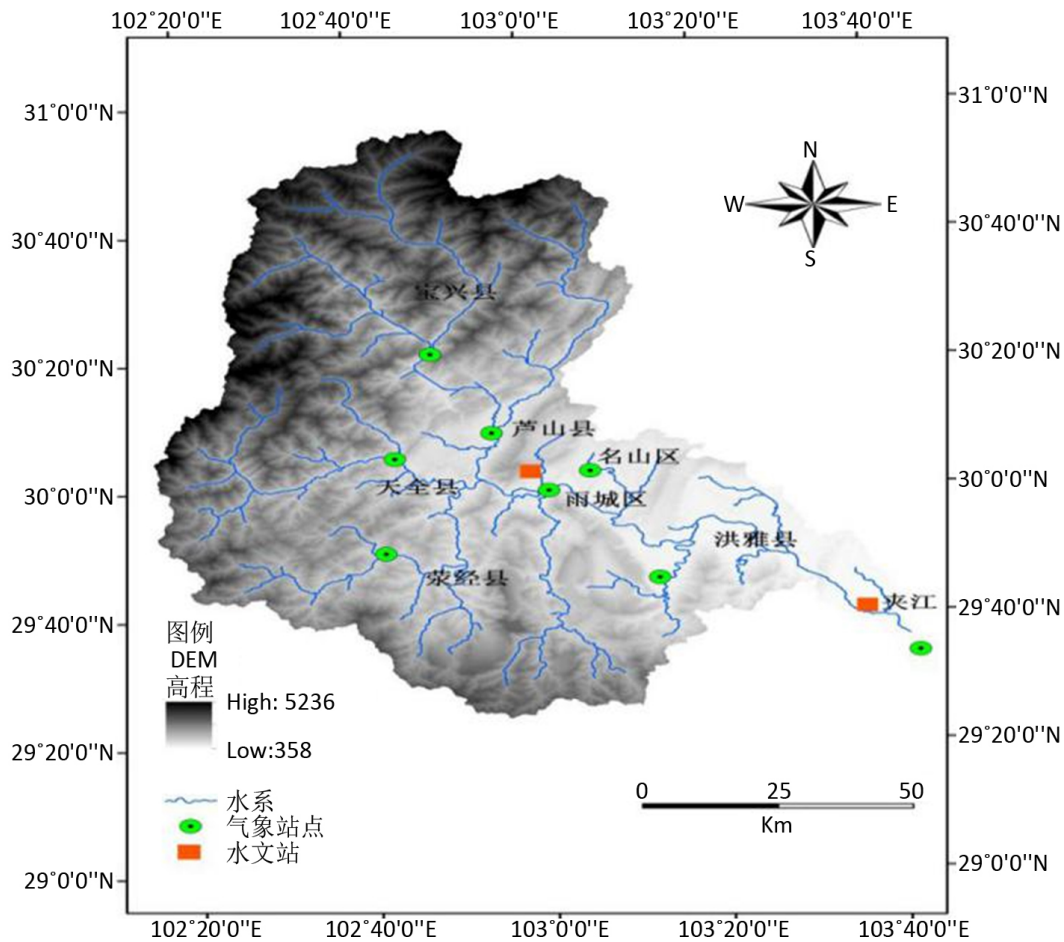


Figure 1. Qingyi river basin map

图 1. 青衣江流域图

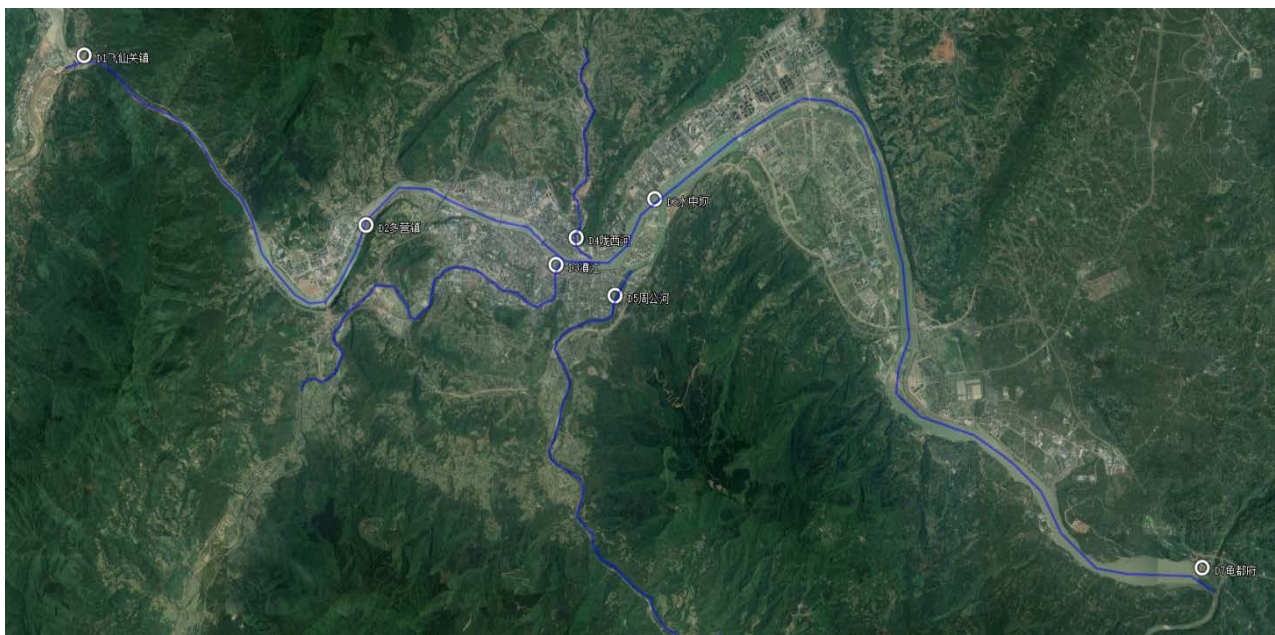


Figure 2. Arrangement of water quality monitoring section in Ya'an section of Qingyi river basin

图 2. 青衣江流域雅安段监测断面布置图

$$A = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} & L & A_{1n} \\ A_{21} & A_{22} & L & A_{2n} \\ & L & L & \\ A_{n1} & A_{n2} & L & A_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

矩阵 A 经标准化处理后, 即

$$A_{ij} = \frac{(X_{ij} - \bar{X}_j)}{S_j} \quad (2)$$

变量间的相关矩阵为 R , 得到特征方程: $Rb = \lambda b$ 。解特征方程将其特征根进行大小排列, $\lambda_1 > \lambda_2 > L > \lambda_n$ 。

$$\sum_{j=1}^m \lambda_j / \sum_{j=1}^n \lambda_j \geq 0.85 \quad (3)$$

确定一个 m 值, 使信息的利用率达 85% 以上, 选择前 m 个特征值对应的单位特征向量得到主成分计算式。

2.2.2. 综合水质标识指数法

单因子水质标识指数 P_i 由一位整数和小数点后两位有效数字组成, P_i 值计算式由水环境质量标准确定[10]。其中, 整数代表了水质标识的水质类别, 小数代表了监测数据在此类水质变化区间中所处的位置, 单因子水质标识指数计算表达式为:

$$P_i = \frac{K_i + (C_i - P_{i,K_iL})}{(P_{i,K_iL} - P_{i,K_iF})} \quad (4)$$

式中: K_i 表示第 i 项水质指标所处的水质类别, 取值为 1, 2, ..., 6; C_i 表示第 i 项指标的实测质量浓度, mg/L; P_{i,K_iL} 表示第 i 项水质指标第 K_i 类水区间质量浓度的上限值, mg/L; P_{i,K_iF} 表示第 i 项水质指标第 K_i 类水区间质量浓度的下限值, mg/L。

综合水质标识指数法是在单因子水质标识指数法的基础上对严重超标的水质指标进行加权处理, 本文取权重为 0.5, 其表达式为:

$$P = \frac{1}{2}(n-1) \sum P_i + P_{\max} \cdot \frac{(n-2)}{2(n-1)} \quad (5)$$

式中: P_{\max} 表示 n 项单项指标水质标识指数中的最大值。水质标识指数评价标准如表 1 所示。

Table 1. Evaluation criteria for water quality labeling index

表 1. 水质标识指数评价标准

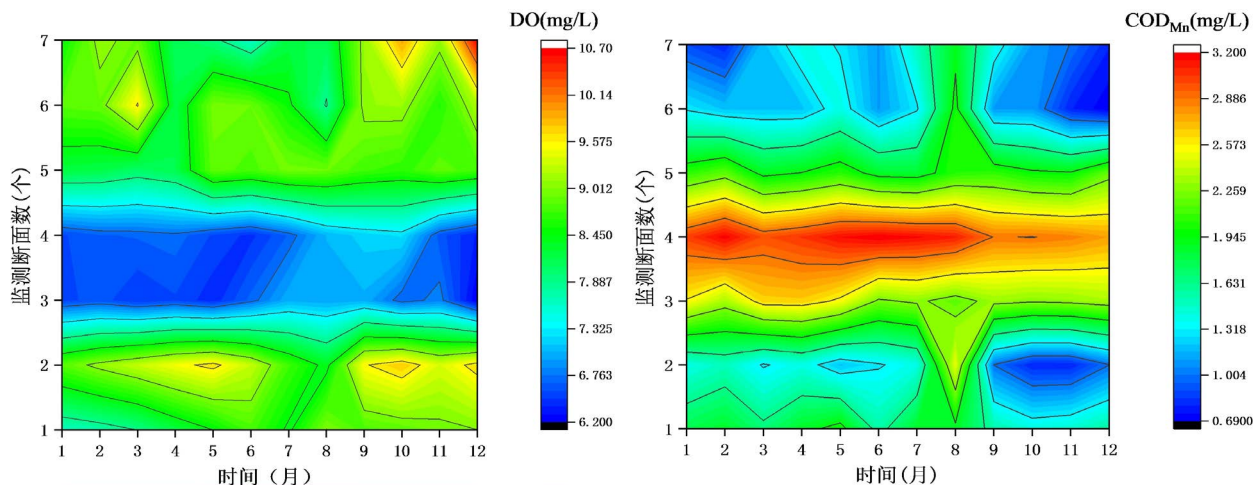
P 值	$1 \leq P \leq 2$	$2 < P \leq 3$	$3 < P \leq 4$	$4 < P \leq 5$	$5 < P \leq 6$	$P > 6$
水质类别	I	II	III	IV	V	劣 V

3. 结果分析

3.1. 时空分布特征

2019 年青衣江雅安干流段水质总体较好, 能达到地表水 III 类标准, 支流河段水质较差, 水质时空差异特征明显。水质时空变化特征如图 3 所示, 图中监测断面数 1~7 分别为 D₁ 飞仙关镇、D₂ 多营镇、D₃ 湔江、D₄ 陇西河、D₅ 周公河、D₆ 水中坝和 D₇ 龟都府。DO 指标年内变化丰水期和枯水期浓度值较高, 均满足地表水 II 类标准。COD_{Mn} 指标浓度年内变化大, 但均满足地表水 II 类标准, 各监测断面以枯水期浓度值较低, 丰、平水期浓度值较高。COD_{Cr} 丰水期指标浓度值较低, 各水期指标浓度均低于地表水 III 类限值。各断面 BOD₅ 指标丰水期浓度较其它水期偏高, 10 到 12 月浓度值最低。NH₃-N、TN、TP 3 项营养盐指标在枯水期时段浓度值较高, 丰水期指标浓度较低, 全年多月指标浓度均超地表水 III 类限值。

从空间结构上看, 2019 年青衣江雅安段各断面水质指标变化明显, DO 指标, 浓度值越大水质越好, COD_{Mn}、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 指标浓度值越低水质越好, 从图 3 可知, D₃、D₄ 断面指标浓度低于其他断面; COD_{Mn}、COD_{Cr}、BOD₅、NH₃-N、TN、TP 指标在 D₃、D₄ 断面浓度均高于其他断面。根据青衣江雅安段水功能区划, 该区水质应满足地表水 III 类要求, 在 7 个断面中 DO、COD_{Mn}、COD_{Cr} 能满足要求, D₄ 断面 6 月时 BOD₅ 浓度 4.86 mg/L, 超标 21.5%, D₄ 和 D₃ 断面 NH₃-N 指标浓度不能满足水功能区水质要求。D₄ 和 D₅ 断面 TN 指标超标 106%, 除 D₂、D₇ 全年多月 TN 指标能满足水功能区水质要求外, 其余断面 TN 指标均为超地表水 IV 类限值, 青衣江雅安城区河段 TN 指标污染较为严重。D₃ 和 D₄ 断面 TP 指标明显高于其他断面, D₃ 断面最大浓度值 0.32 mg/L 超标 60%, 其余断面均满足水功能区要求。



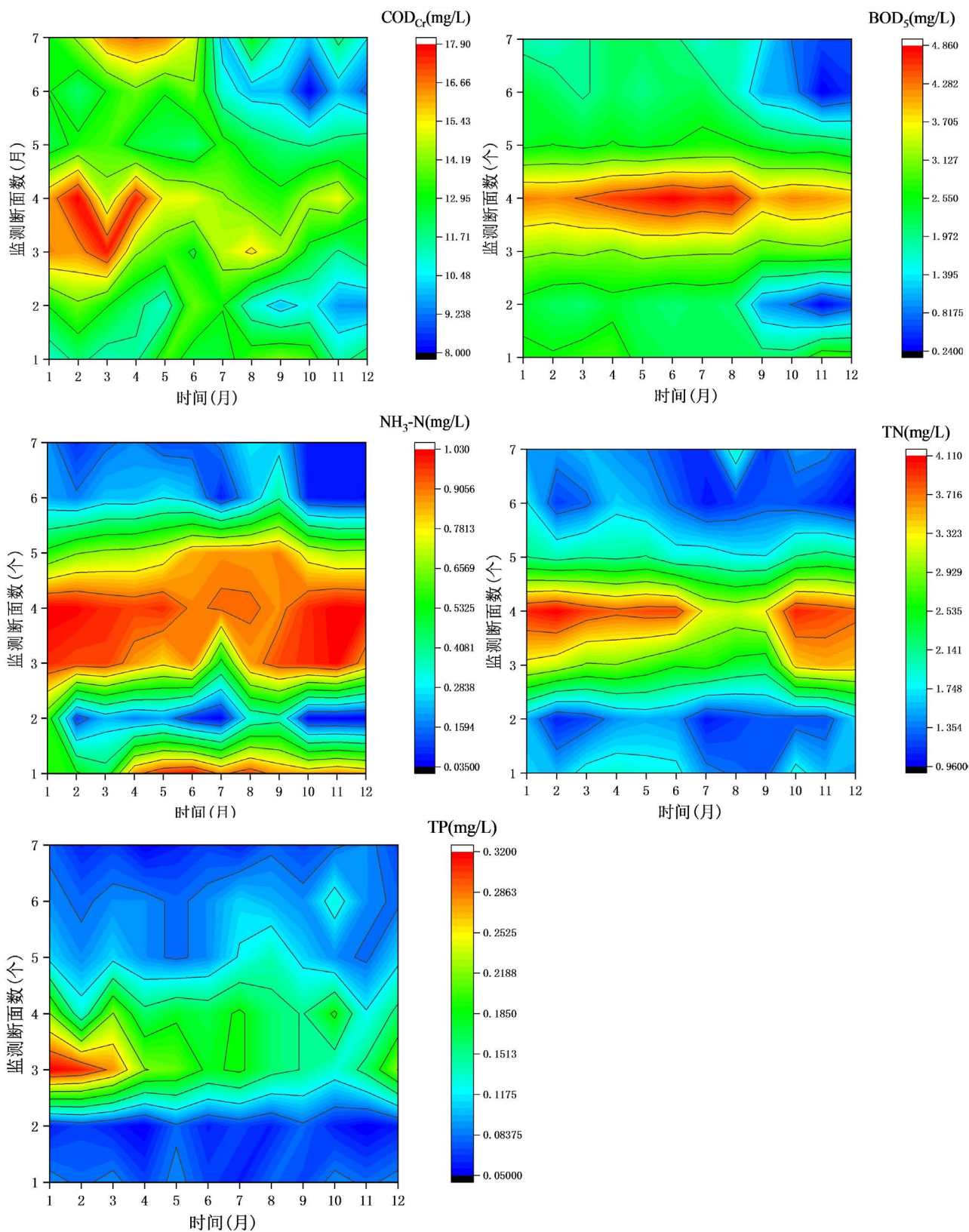


Figure 3. Spatial-temporal variations of water quality indices in Qingyi river basin
 图 3. 青衣江流域雅安段水质指标空间尺度变化趋势示意图

综上所述, 青衣江雅安段干流水质总体较好, 城区濘江、陇西河和周公河水质较差, 丰水期水质优于平水期和枯水期。

3.2. 污染因子识别

将青衣江流域雅安段 2019 年 7 个监测断面 7 项水质指标进行主成分分析, 对数据进行 KMO 和 Bartlett 球体检验, KMO 值一般为 0.6, 根据 Kaiser-Harris 准则建议保留大于 1 的主成分, 主成分相关系数大于 0.7 的指标和主成分显著相关[11], 以飞仙关镇监测断面为例, 结果如表 2 和表 3 所示。

Table 2. Correlation coefficient between water quality parameters

表 2. 水质参数间的相关系数

	DO	COD _{Mn}	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP
DO	1.000						
COD _{Mn}	-0.228	1.000					
COD _{Cr}	0.118	-0.366	1.000				
BOD ₅	-0.845	0.476	-0.203	1.000			
NH ₃ -N	0.185	0.140	0.308	-0.051	1.000		
TN	0.862	-0.287	0.155	-0.800	-0.014	1.000	
TP	-0.011	-0.785	0.713	-0.220	-0.031	0.194	1.000

Table 3. Results of principal component analysis of water quality monitoring indicators

表 3. 水质监测指标主成分分析结果

水质监测指标	主成分 1	主成分 2	主成分 3
DO	0.786	-0.567	0.111
COD _{Mn}	-0.682	-0.496	0.337
COD _{Cr}	0.510	0.614	0.430
BOD ₅	-0.880	0.341	0.066
NH ₃ -N	0.104	-0.025	0.940
TN	0.825	-0.432	-0.08
TP	0.579	0.783	-0.086
特征值	3.142	1.861	1.213
方差贡献率	44.887	26.591	17.331

注: 因子荷载值 > 0.7 显著相关, 因子荷载值 > 0.5 中等相关。

该断面提取的 3 个主成分方差累积贡献率为 88.81%, 7 个断面主成分平均贡献率 88.96%, 提取的主成分已解释了原始水质指标信息的 85%以上, 说明提取的主成分能够很好地反映青衣江流域雅安段水质信息。

第一主成分平均贡献率为 46.25%, 主要包括了 DO、BOD₅、COD_{Mn}、TN, 其中 DO、TN 和主成分呈显著正相关, COD_{Mn} 和 BOD₅ 与主成分呈显著负相关; 第二主成分平均贡献率为 24.45%, 主要包括了 COD_{Cr}、TP, 它们与主成分呈正相关; 第三主成分贡献率为 18.26%, 主要包括了氨氮, 与主成分呈显著正相关。

将各监测断面主成分分析结果的特征值带入主成分得分因子线性方程, 表达式如下:

$$Z_1 = 0.25x_1 - 0.217x_2 + 0.162x_3 - 0.280x_4 + 0.033x_5 + 0.262x_6 + 0.184x_7; \quad (6)$$

$$Z_2 = -0.305x_1 - 0.266x_2 + 0.330x_3 + 0.183x_4 - 0.013x_5 - 0.232x_6 + 0.421x_7; \tag{7}$$

$$Z_3 = 0.091x_1 + 0.278x_2 + 0.354x_3 + 0.054x_4 + 0.775x_5 - 0.066x_6 - 0.071x_7. \tag{8}$$

式中： Z_1 、 Z_2 、 Z_3 分别表示第一、二、三主成分； $x_1 \sim x_7$ 表示水质指标。主成分得分情况可以量化的对水环境质量进行描述，得分值越高，表明污染越严重，各断面得分情况如下图 4 所示。

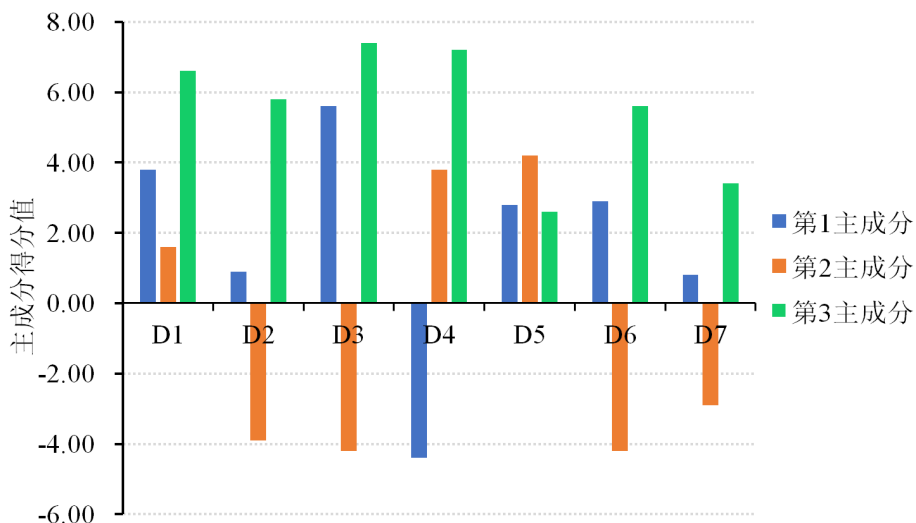


Figure 4. Monitoring section principal component score
图 4. 监测断面主成分得分

第一主成了解释了 TN、DO、BOD₅、COD_{Mn} 的污染状况，结合污染因子时空分布图 3 可知，7 个断面 DO、BOD₅、COD_{Mn} 指标实测浓度值都满足地表水 III 类标准，只有 TN 指标浓度严重超标，据此第一主成分得分说明各监测断面 TN 污染情况，从图 3 可知，除 D₂ 和 D₇ 得分值较低外，其余断面得分值较高，特别是 D₁、D₃、D₄ 断面。飞仙关镇、陇西河和湞江段 TN 值较高，主要是因为飞仙关镇是雅安主要的粮食产区和畜禽养殖的集中地，湞江和陇西河段上游有较多小型工厂和居民区，污水管网老化损坏严重。由于受农业面源污染和生活污水的影响所以 TN 指标浓度值较高。

3.3. 水质评价

青衣江流域雅安段 2019 年水质评价结果，见下表 4。

Table 4. Evaluation results of comprehensive water quality labeling index
表 4. 综合水质标识指数评价结果

时间	监测断面	单因子水质标识指数							P	综合评价结果
		DO	COD _{Mn}	COD _{Cr}	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP		
枯 水 期	D1	1.00	1.02	1.18	1.05	2.27	4.81	1.18	3.30	III
	D2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.13	3.66	1.13	2.54	II
	D3	2.83	2.02	1.00	1.02	2.49	6.81	4.87	4.55	IV
	D4	1.80	1.06	1.01	2.17	3.51	7.18	3.53	5.04	V
	D5	1.01	1.00	1.00	1.00	2.32	6.14	1.18	4.05	IV
	D6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.05	3.67	1.11	2.54	II
	D7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.04	3.65	1.11	2.53	II

Continued

平 水 期	D1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.49	4.81	1.18	3.30	III
	D2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.07	3.64	1.08	2.52	II
	D3	1.11	1.04	1.00	1.03	2.43	6.49	3.53	4.43	IV
	D4	1.15	1.09	1.02	2.24	2.47	6.60	1.16	4.42	IV
	D5	1.00	1.01	1.00	1.00	2.36	6.07	1.16	4.01	IV
	D6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	3.68	1.13	2.54	II
	D7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.06	3.70	1.13	2.55	II
丰 水 期	D1	1.00	1.00	1.00	1.00	2.44	3.58	1.13	2.58	II
	D2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	3.58	1.10	2.48	II
	D3	1.06	1.02	1.01	1.00	2.46	6.31	2.29	4.23	IV
	D4	1.05	1.07	1.05	2.12	2.44	6.62	2.26	4.49	IV
	D5	1.00	1.00	1.00	1.00	2.41	4.93	1.16	3.35	III
	D6	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	3.56	1.18	2.58	II
	D7	1.00	1.00	1.00	1.00	1.10	3.63	1.16	2.52	II

综合水质标识指数评价结果显示, 2019年青衣江雅安段除 D₃ (濛江)、D₄ (陇西河)、D₅ (周公河)断面水质不达标全年多月处于地表水 IV~V 类污染严重, 其余断面水质满足地表水 III 类标准。从各监测断面单因子水质标识指数 P 值大小可知, 枯水期条件下濛江、陇西河和周公河断面 TN 指标 P 值分别为 6.81、7.18、6.14 属劣 V 类污染严重, 飞仙关镇断面 TN 指标 P 值为 4.81 属 IV 类中度污染; 濛江断面 TP 指标 P 值 4.87 属中度污染。平水期时段濛江、陇西河和周公河断面 TN 指标 P 值有所下降, 但均处于地表水 V 类标准值之上。丰水期时段除周公河断面 TN 指标下降明显外, 其余断面变化不大, TP 指标各断面均能达到地表水 III 类标准, 其余指标均达到要求。

根据水质评价结果和水质指标时空分布特征可知, 青衣江雅安段以连续性氮污染为主, 主要是城区上游段飞仙关镇农业面源污染造成的 N 素迁移, 加上城区河段的累积, 导致了全区河段 TN 指标浓度较高。城区支流的周公河、濛江和陇西河由于受到上游水电站开发和截流导致了下游河段枯、平水期水量较小, 加之径流量受季节性降雨影响较大和河道沿岸生活污水的无序排放使得河道污染更加严重。

4. 结论

依据 2019 年青衣江雅安段 7 个断面的水质监测数据, 运用基于 SPSS20 和 Origin2018 对水质时空分布特征进行分析, 以综合水质标识指数法为水质评价模型, 分丰、平、枯水期进行水质综合评价。具体结论包括以下几个方面:

1) 2019 年青衣江流域雅安段 TN 指标超标严重, TN 指标浓度全年多月属于地表水 IV~V 类, 雨城区支流的濛江、陇西河监测断面 TN 指标超标最为严重。

2) 青衣江流域雅安段水质时空差异性显著, 干流水质总体较好, 城区濛江、陇西河和周公河水水质较差, 丰水期水质优于平水期和枯水期。各监测断面水质时间变化趋势从优到差的顺序为: 丰水期 > 平水期 > 枯水期; 空间结构上, 飞仙关镇、濛江和陇西河 TN 指标浓度较其他断面偏高, 濛江和陇西河断面枯水期时段 TP 指标浓度值较高, 其余指标变化不大。各监测断面水质从优到差的顺序为: 多营镇 > 龟都府 > 水中坝 > 飞仙关镇 > 周公河 > 陇西河 > 濛江。

3) 2019年青衣江流域雅安段综合水质标识指数评价结果,丰水期水质优于平水期和枯水期,湞江、陇西河和周公河断面全年多月综合水质标识指数P值为4.01~5.04,水质类别为地表水IV~V类,TN指标P值为4.93~7.18之间,属劣V类,严重污染。飞仙关镇水质类别为地表水III类,多营镇为II类,水中坝和龟都府为II类。

4) 青衣江流域雅安段主要以连续性氮污染为主,湞江和陇西河断面枯水期磷污染较为严重,加之各支流上游水电站开发和季节性降雨影响,导致雨城区支流水少、水浑和水脏的现象。建议加快完善城区污水管网设施建设和提高污水处理效率,建立健全流域水污染防治法规。

参考文献

- [1] 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.
YU Songyan, XU zongxue, WU Wei, et al. Spatial heterogeneity of water quality and its response to land use structure in Beiluo River basin. Journal of Environmental Science, 2014, 34(5): 1309-1315. (in Chinese)
- [2] 王浩,王建华.中国水资源与可持续发展[J].中国科学院院刊,2012,27(3):352-358.
WANG Hao, WANG Jianhua. Water resources and sustainable development in China. Journal of Chinese Academy of Sciences, 2012, 27(3): 352-358. (in Chinese)
- [3] 倪福全,邓玉.山丘区农村污水生物生态净化试验及水体生态修复研究[M].成都:西南交通大学出版社,2016:28-41.
NI Fuquan, DENG Yu. Study on biological ecological purification and water ecological restoration of rural sewage in hilly areas. Chengdu: Southwest Jiaotong University Press, 2016: 28-41. (in Chinese)
- [4] 朱琳,王雅南,韩美,等.武水河水质时空分布特征及污染成因的解析[J].环境科学学报,2018,38(6):2150-2156.
ZHU Lin, WANG Yanan, HAN Mei, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of water quality and analysis of pollution causes in Wushui River. Acta Environmental Sciences, 2018, 38(6): 2150-2156. (in Chinese)
- [5] 余明勇,徐圣杰,徐建华.长湖流域水质时空分布特征及影响因素[J].中国环境监测,2016,32(5):73-79.
YU Mingyong, XU Shengjie and XU Jianhua. Temporal and spatial distribution characteristics and impact factors of water quality in Changhu Basin. China Environmental Monitoring, 2016, 32(5): 73-79. (in Chinese)
- [6] 唐廉,胡晓辉,权冠中,等.潭江流域水质时空分布特征及其与土地利用的相关性分析[J].地球与环境,2018(4):364-372.
TANG Lian, HU Xiaohui, QUAN Guanzhong, et al. Temporal and spatial distribution characteristics of water quality and its correlation with land use in Tanjiang River Basin. Earth and Environment, 2018(4): 364-372. (in Chinese)
- [7] 龚清莲,刘颖,汤冰冰.长江宜宾段水质时空分布特性分析[J].环境科学与技术,2016,39(3):111-116.
GONG Qinglian, LIU Ying and TANG Bingbing. Analysis of temporal and spatial distribution characteristics of water quality in Yibin section of the Yangtze River. Environmental Science and Technology, 2016, 39(3): 111-116. (in Chinese)
- [8] 任俊霖,李浩,伍新木,等.基于主成分分析法的长江经济带省会城市水生态文明评价[J].长江流域资源与环境,2016,25(10):1537-1544.
REN Junlin, LI Hao, WU Xinmu, et al. Water ecological civilization evaluation of provincial capitals of Yangtze River Economic Belt based on principal component analysis. Resources and Environment of Yangtze River Basin, 2016, 25(10): 1537-1544. (in Chinese)
- [9] 谢森,何连生,田学达,等.巢湖水质时空分布模式研究[J].环境工程学报,2010,4(3):531-539.
XIE Sen, HE Liansheng, TIAN Xueda, et al. Study on temporal and spatial distribution pattern of water quality in Chaohu Lake. Journal of Environmental Engineering, 2010, 4(3): 531-539. (in Chinese)
- [10] 徐祖信.我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J].同济大学学报:自然科学版,2005,33(4):482-488.
XU Zuxin. Study on evaluation method of river comprehensive water quality identification index in China. Journal of Tongji University: Natural Science Edition, 2005, 33(4): 482-488. (in Chinese)
- [11] 毕建武,贾进章.基于SPSS的PCA-MRA回采工作面瓦斯涌出量预测[J].安全与环境学报,2014,14(5):54-57.
BI Jianwu, JIA Jinzhang. Gas emission prediction of PCA-MRA mining face based on SPSS. Journal of Safety and Environment, 2014, 14(5): 54-57. (in Chinese)