

银川市主要入黄排水沟水质时空演变特征及污染分析

刘长风¹, 朱文飞^{1,2}, 高红杰^{1,2}, 靳方园², 高晓波³

(1. 沈阳化工大学环境科学与安全工程学院, 辽宁 沈阳 110142;
2. 中国环境科学研究院, 北京 100012; 3. 宁夏环境科学研究院, 甘肃 宁夏 750000)

摘要: 运用数理统计方法, 分析银川市6条主要入黄排水沟2013~2017年水环境质量特征, 解析时空差异、辨识污染源及关键污染因子。结果表明: 2013~2017年, 银川市6条主要入黄排水沟水质整体为劣V类且时空差异显著。其中, 四二千沟、灵武干沟与第二排水沟的污染主要来源于生活、农业与工业中的营养盐与石油类物质; 银新干沟污染主要来源于工业及农业中的好氧有机物、石油类与营养盐; 永二千沟污染主要来源于工业中的好氧有机物、石油类与表面活性剂; 永宁中干沟污染主要来源于农业及工业中的氨氮、石油类与表面活性剂污染。通过对银川市水质的时空演变特征的分析以及污染物来源的识别, 以期改善银川市水环境污染问题提供一定的理论依据。

关键词: 入黄排水沟; 水环境质量特征; 污染源; 银川

中图分类号: X522

文献标志码: A

DOI: 10.16803/j.cnki.issn.1004-6216.2019.04.017

The Spatial and Temporal Evolution Characteristics and Pollution Analysis of the Water Quality of Yellow River Drainage Channel in Yinchuan

LIU Changfeng¹, ZHU Wenfei^{1,2}, GAO Hongjie^{1,2}, JIN Fangyuan², GAO Xiaobo³

(1. School of Environmental Science and Safety Engineering, Shenyang University of Chemical Technology, Shenyang 110142;
2. Chinese Academy of Environmental Sciences, Beijing 100012;
3. Ningxia Academy of Environmental Sciences, Ningxia 750000)

Abstract: The mathematical and statistical methods were used to analyze the water environmental quality characteristics of six main Yellow River drainage ditches in Yinchuan from 2013 to 2017. The differences of time and space, identification of pollution sources and key pollution factors of the Yellow River drainage ditches in Yinchuan were analyzed in this study. The results show that the water quality of the six main drainage ditches in Yinchuan from 2013 to 2017 is inferior V with significant differences in time and space. The pollution of Sier Gangou, Lingwu Gangou and the second drainage ditch mainly comes from the pollution of nutrients and petroleum in municipal, agriculture and industry. The pollution of Yinxin Gangou mainly comes from the pollution of aerobic organic matter, petroleum and nutrients in industry and agriculture. The pollution of Yonger Gangou mainly comes from the pollution of aerobic organic matter, petroleum and surfactant in industry. The main sources of pollution in Yongning middle dry ditch are ammonia nitrogen, petroleum and surfactant pollution caused by agriculture and industry. By analyzing and identifying the temporal and spatial evolution characteristics of water quality and the source of pollutants in Yinchuan, this paper aims to provide a theoretical basis for improving the targeted solution of water environmental pollution in Yinchuan.

Keywords: Gutter of Inflow to the Yellow River; Water Environment Quality Characteristics; Pollution Source; Yinchuan;
CLC number: X522

黄河是银川市重要的地表水资源来源, 在银川市的社会经济建设中发挥着重要作用。随着银川市经济的飞速发展以及城市人口数量的快速膨胀, 对黄河的污染也愈来愈严重^[1]。河流水质评

收稿日期: 2019-03-26

基金项目: 自治区环保专项资金科研项目; 中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2017YSKY-006)

作者简介: 刘长风(1974-), 女, 硕士、副教授。研究方向: 环境与资源综合利用。E-mail: icruze@163.com

通信作者: 高红杰(1981-), 男, 博士、研究员。研究方向: 城市水生态修复技术。E-mail: gaohj@craes.org.cn

引用格式: 刘长风, 朱文飞, 高红杰, 等. 银川市主要入黄排水沟水质时空演变特征及污染分析[J]. 环境保护科学, 2019, 45(4): 87-94.

价作为水环境治理和水资源管理中的基础性工作,已成为人类科学地认识水环境、合理开发利用和保护水资源的重要途径^[2]。河流中污染物不仅受降水、水文、下垫面等自然因素的影响,同时还受生活污染、工业污染、农业面源污染等人为因素的影响^[3]。在获得长期、可靠的河流水质监测数据的基础上,研究其时空演变特征并分析与评价,解析其主要污染因子及动态变化^[4-7],能够有效的提供河流水环境动态信息、预防和控制河流污染,是评价河流水质的重要手段以及水环境管理决策的重要依据。

多元统计是通过对多成分进行有意义的数据缩减来适当的解释原有的信息,作为一种识别污染源和研究水质时空演变的有效工具,已在实践中得到广泛应用^[8-13]。多元统计能够优化参数变量,降低变量维度,提取关键因子,且不会丢失有用的信息。ALBERTO et al^[14]应用聚类分析(Cluster analysis, CA)、主成分分析(Principal components analysis, PCA)和判别分析(Discriminate analysis, DA)3种方法分别处理 Suquia 河水质监测数据,并比较不同结果,从而得出 Suquia 河水质的时空变化趋势;孙国红等^[15]首先应用 CA 将黄河水质样本分为 7 组,然后运用 DA 验证其结果的可靠性,从总体上评价了黄河流域干流水质状况。王刚等^[16]综合应用多种多元统计方法,揭示了西苕溪流域水质的时空变化特征,识别出不同时期水质差异,为流域内的水质监测与污染防治提供有意义的参考。

文章以银川市 6 条主要入黄排水沟为研究对象,应用多元统计分析方法,分析 2013~2017 年水质时空变化特征,解析各排水沟污染源,识别关键污染因子,为银川市水环境质量改善提供理论基础和依据。

1 研究区域概况

黄河流域银川段位于黄河上游流域($38^{\circ}3' \sim 38^{\circ}44'N$, $105^{\circ}53' \sim 106^{\circ}35'E$),东岸南起灵武市梧桐树乡,北至兴庆区月牙湖乡,全长 97 km;西岸南起永宁县,北至贺兰县立岗镇永乐村,全长 87 km。

地形开阔平坦,地面无切割现象,海拔在 1 106 ~ 1 112 m 之间,区域属温带大陆性干旱、半干旱气候,四季分明,春迟夏短,秋早冬长,昼夜温差大,年平均气温约为 $8.5^{\circ}C$;年平均降水量约为 200 mm。境内分布 6 条黄河一级支流:灵武干沟、永宁中干沟、永二干沟、第二排水沟、银新干沟和四二千沟,见图 1。随着经济社会快速发展,城镇化进程加快,导致大量污染物进入排干沟汇入黄河,水质持续恶化,生态系统破碎化。



图 1 银川市主要入黄排水沟监测断面示意图

2 数据与方法

2.1 数据

基于 2013~2017 年银川市 6 条主要入黄排水沟 24 项常规水质指标检测数据,结合实际情况,筛选温度(T)、pH、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD_{Cr})、五日生化需氧量(BOD_5)、氨氮(NH_3-N)、总磷(TP)、氟化物(Flu)、石油类(Pet)和阴离子表面活性剂(Aaa)10 个水质指标,进行多元统计分析。

2.2 研究方法

CA 根据变量自身的属性,运用数学方法按照某种相似性或差异性指标,定量的确定变量之间的亲疏程度,并且按照这种亲疏程度进行聚类,最后形成一个表示相似程度的谱系图。一般在水质评价中通过对监测时间和监测断面的地理位置进行聚类,分析流域水质的时空变化特征。PCA 处理技术是利用降维的思想,将具有一定相关性的众多变量通过线性变换转换成新的少数几个互不

相关的综合变量,主要目的是利用这些较少的综合变量来解释原变量提供的大部分信息,而这些新的综合变量就称为主成分。相关性分析、聚类分析和主成分分析由软件 spss 20.0 完成,绘图由软件 origin 2018 完成。

3 结果与讨论

3.1 时空变化特征分析

2013~2017 年银川市 6 条主要入黄排水沟

10 项指标的浓度变化见图 2 及它们的均值、标准差统计描述,见表 1。

由图 2 可见,时间尺度上 2013~2017 年银川市 6 条主要入黄排水沟水质总体较差,均为劣 V 类水平。各排水沟温度呈明显季节性变化,流域内年均水温为 16.10℃;pH 值平均为 7.87,银新干沟、灵武干沟和永二干沟在 2013 和 2016 年的 12 月 pH 偏高;DO 与水温呈负相关,每年的 12~3 月浓度较高,7~8 月浓度较低;BOD₅、COD_{Cr}指

表 1 2013~2017 年银川市 6 条入黄排水沟统计描述表

指标	四二千沟	银新干沟	灵武东沟	永二干沟	永宁中干沟	第二排水沟
<i>T</i> /℃	15.31±1.64	15.91±1.21	14.03±2.03	14.83±2.38	14.73±1.40	15.29±2.35
pH	7.96±0.17	7.66±0.20	8.01±0.21	8.01±0.10	7.77±0.20	7.93±0.18
DO/ <i>mg</i> · <i>L</i> ⁻¹	6.08±0.44	0.86±0.81	6.49±1.07	5.20±1.74	2.01±0.90	3.86±0.83
COD/ <i>mg</i> · <i>L</i> ⁻¹	25.38±3.53	93.42±12.49	25.78±2.77	83.14±45.61	96.24±31.72	33.93±3.23
BOD ₅ / <i>mg</i> · <i>L</i> ⁻¹	6.10±1.06	25.27±8.19	6.59±0.81	20.70±10.36	26.92±6.56	8.22±1.36
NH ₃ -N/ <i>mg</i> · <i>L</i> ⁻¹	5.63±2.08	20.78±2.45	6.04±2.14	13.52±5.65	5.48±1.32	7.04±1.52
Pet/ <i>mg</i> · <i>L</i> ⁻¹	0.02±0.01	0.04±0.02	0.02±0.01	0.03±0.01	0.05±0.02	0.03±0.01
TP/ <i>mg</i> · <i>L</i> ⁻¹	0.62±0.16	1.71±0.29	0.51±0.13	0.86±0.37	1.01±0.83	0.63±0.15
Flu/ <i>mg</i> · <i>L</i> ⁻¹	1.02±0.41	0.58±0.22	0.99±0.52	0.49±0.18	0.47±0.17	0.41±0.15
Aaa/ <i>mg</i> · <i>L</i> ⁻¹	0.11±0.06	0.37±0.10	0.12±0.04	0.23±0.13	0.30±0.11	0.30±0.19

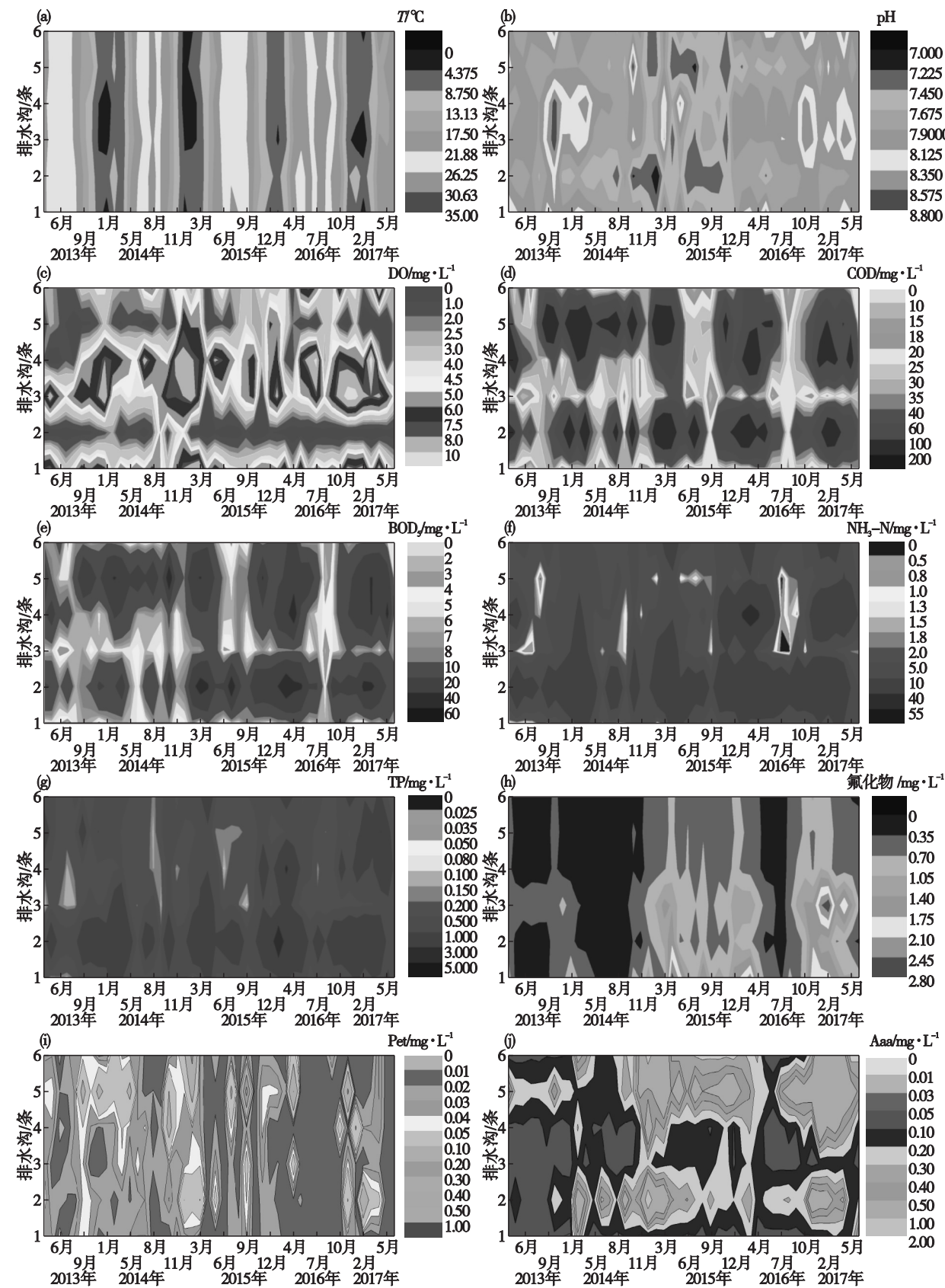
标污染较为严重,且浓度随季节变化明显,每年的 9 月份左右浓度较低;TP、NH₃-N 常年处于劣 V 类水平(在 2016 年 8 月永二干沟、永宁中干沟和第二排水沟的 NH₃-N 浓度较低,平均为 0.38 mg/L 达到了 II 类水平);Flu、Pet 与 Aaa 指标污染相对较轻,其中 Aaa 与 Flu 的浓度季节变化显著,四二千沟、银新干沟和灵武干沟的 Aaa 污染在 2015 年以后明显加重,而永二干沟、永宁中干沟与第二排水沟的情况与之相反。

由图 2 和表 1 可知,在空间尺度上,四二千沟、灵武干沟和第二排水沟水质相对较好,除 TP 和 NH₃-N 外,其他指标基本达标(2015 年 1~3 月第二排水沟 Pet 浓度 0.041 7 mg/L, Aaa 浓度 0.079 2 mg/L,2016 年 5 月第二排水沟 DO 浓度

0.4 mg/L, BOD₅ 浓度 26.2 mg/L,超出地表水 V 类标准),所有指标浓度均低于其他排水沟(图 2)。银新干沟的污染最为严重,NH₃-N、TP、DO 指标常年处于劣 V 类水平,BOD₅、COD_{Cr}等指标的浓度随季节的不同而有所变化,而且有污染有加剧的趋势。除 NH₃-N 外,永二干沟其他指标浓度整体上低于永宁中干沟(COD_{Cr}、BOD₅ 和 TP 在 2013 年和 2016 年 3 月相对较高)。

3.2 聚类分析

运用组间联接法,对银川市 6 条主要入黄排干与水质指标分别进行聚类,以欧式距离平方(SED)为度量标准,SED 值越小,聚类分析越显著。在样本聚类中,当 SED<4 时,6 条入黄排水沟分为 4 组,见图 3。



(1. 四二干沟; 2. 银新干沟; 3. 灵武干沟; 4. 永二干沟; 5. 永宁中干沟; 6. 第二排水沟)

图2 银川市6条入黄排水沟水质时空变化趋势图

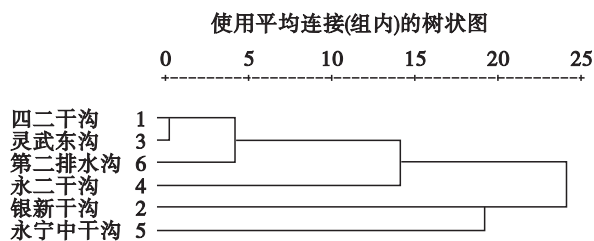


图 3 样本系统聚类树状图

第 1 组包括灵武干沟、四二千沟和第二排水沟,而第 2 组、3 组与 4 组仅包含一条沟,分别为银新干沟、永二千沟与永宁中干沟,表明第 1 组中灵武东沟、四二千沟与第二排水沟的水质特征相似,但它们与其余 3 条干沟之间水质特征差异显著;在水质指标聚类中,当 $SED < 6$ 时,水质指标分为 7 组,见图 4。

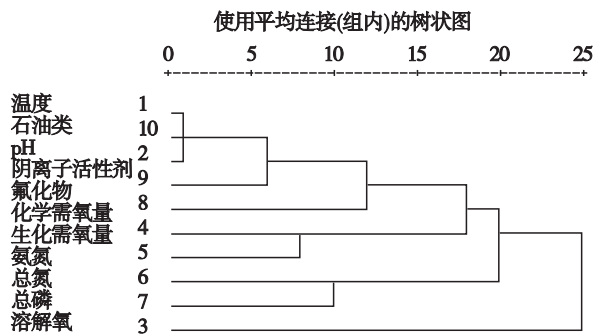


图 4 指标系统聚类树状图

第 1 组包括温度、石油类与 pH,而其它 6 组每组仅包含一个水质指标,表明第 1 组中温度、石油类与 pH 这 3 个指标在 6 条入黄排水沟中的特征相似,但它们与其他指标之间差异显著。

3.3 主成分分析

3.3.1 相关性 基于聚类分析,6 条排干沟的水质特征差异性较大,分别对每条干沟进行主成分分析。由于主成分分析法是以变量间存在较强相关性为前提条件的,因此首先对 2013 ~ 2015 年银川市 6 条入黄排水沟 10 项水质指标之间的相关性进行分析。

利用 person 相关系数来表示各水质指标之间的相关性,计算结果,见表 2。

由表 2 可知,各水质指标之间有较高的相关性。如指标 DO 与指标 COD、BOD₅ 的相关系数分别为 -0.73 ($P < 0.01$) 与 -0.76 ($P < 0.01$),指标 COD 与指标 BOD₅ 之间的相关系数为 0.95 ($P < 0.01$) 等,均具有统计学意义,因此满足进一步主成分分析的条件。

3.3.2 主成分结果 主成分分析会得到各入黄排水沟的第一和第二主成分的因子载荷及得分矩阵,见图 5。

表 2 各水质指标两两相关系数表

指标	Tem	pH	DO	COD	BOD ₅	NH ₃ - N	Pet	TP	Flu	Aaa
Tem	1									
pH	-0.08	1								
DO	-0.23	0.55	1							
COD	0.04	-0.29	-0.73	1						
BOD ₅	0.07	-0.29	-0.76	0.95	1					
NH ₃ - N	0.22	-0.28	-0.55	0.54	0.56	1				
Pet	0.01	-0.61	-0.49	0.48	0.49	0.07	1			
TP	0.20	-0.23	-0.70	0.66	0.72	0.73	0.15	1		
Flu	-0.24	0.18	0.44	-0.37	-0.28	-0.12	-0.33	-0.12	1	
Aaa	-0.31	-0.44	-0.59	0.49	0.55	0.48	0.35	0.52	-0.23	1

其中,因子载荷矩阵用于识别关键污染因子,因子得分矩阵表征样本水质状况的差异性^[17]。文章选取主成分中因子载荷绝对值 > 0.75 的指标作为关键污染因子。四二千沟(图 5A)的第一

和第二主成分解释了原有信息的 66.582%。第一主成分包括 4 个因子,分别为 Aaa、Tem、TP 与 NH₃ - N,方差贡献率为 37.050%,主要反映由生活污染及农业污染引起的营养盐等污染^[18]。其中,

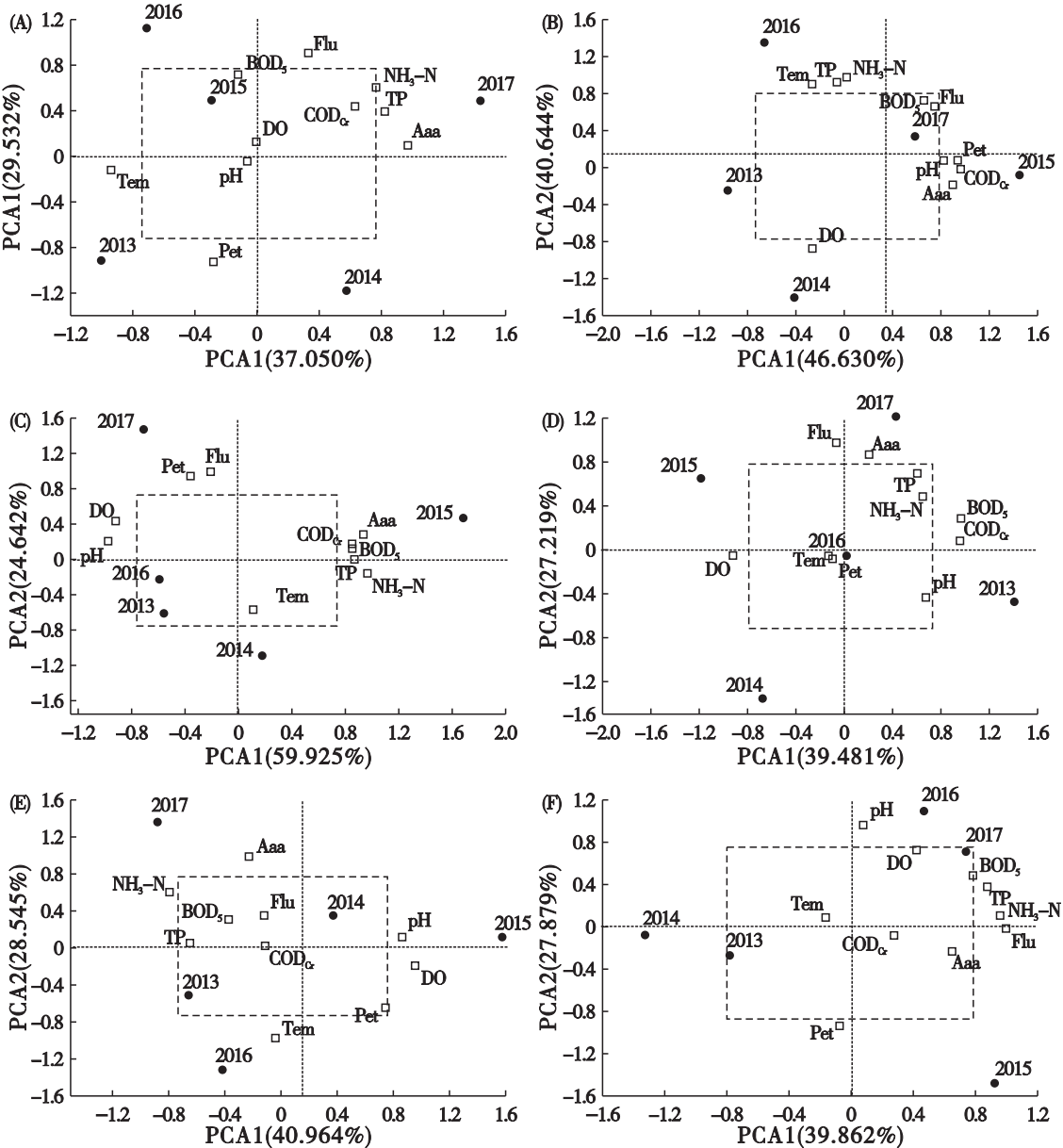


图 5 各排水沟因子载荷与样本得分图

Tem 与第一主成分呈显著负相关,表明随着温度的升高污染程度逐渐下降,其原因可能是随着温度的升高污染物在流入排水沟的过程中蒸发量递增,从而导致进入水体中污染物的量逐渐减少。第二主成分包括 2 个因子,分别为 Pet 与 Flu,方差贡献率为 29.532%,主要反映由工业污染引起的石油类与氟化物污染。其中,Pet 与第二主成分呈显著负相关,可能是由于在水中微生物的作用下石油类污染物得到了很好的降解;四二干沟的上半段接纳银川市污水处理厂出水和宝塔精细化工有限公司排水,下半段的主要来水为农田退水和

乡镇生活污水;由样本得分可知,2013 ~ 2017 年四二干沟的水质状况在第一和第二主成分的四个象限均有分布,表明 5 年间四二干沟的水质状况变化较大。其中,2015 年和 2016 年的水质状况变化最小,2013 年与 2017 年的水质状况变化最大。

银新干沟(图 5B)的第一和第二主成分解释了原有信息的 87.274%,第一主成分包括 4 个因子,分别为 COD_{Cr} 、Pet、Aaa 与 pH,方差贡献率为 46.630%,主要反映由工业污染引起的好氧有机物与石油类等污染。第二主成分包括 4 个因子,分别为 NH_3-N 、TP、Tem 与 DO,方差贡献率为

40.644%,主要反映由生活污染及农业污染引起的营养盐等污染,其中DO与第二主成分呈显著负相关,表明随着溶解氧浓度的升高污染程度逐渐下降,其原因是因为水体的污染程度与溶解氧的浓度成反比^[19];银新干沟上游河段主要接纳兴庆区、贺兰县生活污水和工业废水,以及少量农田退水。该区域因工业企业较多,其中绝大部分位于德胜工业园区内,因此工业废水所占比重大于生活污水所占比重。银新干沟下游段,主要来水为农田退水和乡镇生活污水;由样本得分可知,银新干沟的水质状况在2013年与2014年变化最小,2015年与2016年的水质状况变化最大。

灵武干沟(图5C)的第一和第二主成分解释了原有信息的84.567%,第一主成分包括7个因子,分别为pH、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、Aaa、DO、TP、 COD_{Cr} 与 BOD_5 ,方差贡献率为59.925%,主要反映由生活污染及农业污染引起的耗氧有机物与营养盐等污染。其中,pH和DO与第一主成分呈显著负相关。第二主成分包括2个因子,分别为Flu与Pet,方差贡献率为24.642%,主要反映由工业污染引起的石油类与氟化物污染;灵武干沟上游接纳河段两岸工业、生活废水,灵武市第一污水处理厂及多个工业园区污水排放口均在该区段,中下游段,主要来水为农田退水和乡镇生活污水;同时由样本得分可知,灵武干沟的水质状况在2013年和2016年最相似,2015年与2017年的水质状况变化最大。

永二干沟(图5D)的第一和第二主成分解释了原有信息的66.700%,第一主成分包括3个因子,分别为 BOD_5 、 COD_{Cr} 与DO,方差贡献率为39.481%,主要反映由工业污染引起的耗氧有机物污染。其中,DO与第一主成分呈显著负相关。第二主成分包括2个因子,分别为Flu与Aaa,方差贡献率为27.219%,主要反映了由工业污染引起的石油类物质与表面活性剂污染;永二干沟主要接纳永宁县望远工业园区废水及周围居民生活污水。由于望远工业园区内有宁夏启元药业、宁夏多维药业、北方乳业等企业,均属排污严重的企业。因此,造成永二干沟工业废水量远远大于生

活污水量;有样本得分可知,永二干沟的水质状况在2016~2017年间每年的水质状况变化都较大,其中2014年与2014年的水质状况变化最大。

永宁中干沟(图5E)的第一和第二主成分解释了原有信息的64.123%,第一主成分包括3个因子,分别为DO、pH与 $\text{NH}_3 - \text{N}$,方差贡献率为40.964%,主要反映由农业污染引起的氨氮污染及排水沟的理化性质。其中,DO与第一主成分呈显著负相关。第二主成分包括2个因子,分别为Flu与Aaa,方差贡献率为28.545%,主要反映了由工业污染引起的石油类物质与表面活性剂污染;永宁中干沟流经城市区段接纳两岸工业、生活废水,永宁县第一污水处理厂污水排放口,宁夏伊品生物科技股份有限公司、宁夏紫荆花纸业有限公司排放口均在该区段。中下游段,主要来水为农田退水和乡镇生活污水。由样本得分可知,永宁中干沟的水质变化较大,2013与2016年的水质状况相似,2015与2017年的水质状况变化最大。

第二排水沟(图5F)的第一和第二主成分解释了原有信息的67.741%,第一主成分包括4个因子,分别分Flu、 $\text{NH}_3 - \text{N}$ 、TP与 $\text{NH}_3 - \text{N}$,方差贡献率为39.862%,主要反映由生活污染及农业污染引起的耗氧有机物与营养盐等污染。第二主成分包括pH与Pet,方差贡献率为27.879%,主要反映的是水体的理化性质与工业污染,其中pH与第二主成分呈显著负相关;第二排水沟的源头来水主要是农田退水和乡镇生活污水。上游河段接纳两岸工业、生活废水,银川市第五污水处理厂污水排放口在该区段。中下游段主要来水为农田退水和乡镇生活污水;由样本得分可知,第二排水沟的水质变化较大,2016与2017年的水质状况最相似,2014与2015年的水质状况变化最大。

综上所述,2013~2017年银川市6条入黄排水沟中四二干沟、灵武干沟与第二排水沟污染主要来源于由生活、农业引起的营养盐污染以及工业引起的石油类污染;银新干沟污染主要来源于由工业引起的好氧有机物与石油类污染以及由生活及农业引起的营养盐污染;永二干沟污染主要来源于由工业引起的好氧有机物、石油类与表面

活性剂污染;永宁中干沟污染主要来源于由农业引起的氨氮污染以及由工业引起的石油类物质与表面活性剂污染。2013~2017 年 6 条排水沟的水质状况变化浮动较大。

4 结论

(1)2013~2017 年银川市 6 条主要入黄排水沟水质总体较差,均为劣 V 类水平,它们之间的水质空间差异显著。在样本聚类中,6 条入黄排水沟分为 4 组;在水质指标聚类中,水质指标分为 7 组。

(2)四二千沟、灵武干沟与第二排水沟污染主要来源于由生活、农业与工业污染引起的营养盐与石油类污染;银新干沟污染主要来源于由工业及农业引起的好氧有机物、石油类与营养盐污染;永二千沟污染主要来源于由工业引起的好氧有机物、石油类与表面活性剂污染;永宁中干沟污染主要来源于由农业及工业引起的氨氮、石油类与表面活性剂污染。2013~2017 年 6 条排水沟的水质状况变化浮动较大。

(3)基于银川市黄河流域的主要污染源特征,建议加强乡镇污水处理设施的管理,加快配套管网的建造,集中处理污水;提高污水处理技术,提升生活污水的处理率;合理优化农业布局,实现健康快速发展。

参考文献

[1]王殿芳,王敏欣,韩梅,等.黄河流域水污染现状分析及控制对策研究[J].环境保护科学,2003,29(2):28-31.
[2]张文,王莉.基于T-S模糊神经网络的颍河水质时空变化特征分析[J].环境科学与技术,2015,38(12):254-261.
[3]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(6):35-41.
[4]王志英,刘云,王建立,等.温榆河昌平段沉积物重金属影响因素分析及污染评价[J].环境科学研究,2013,26(8):838-843.
[5]杜麦,陈小威,王颖.基于多元统计分析的泸灞河水质污染特征研究[J].华北水利水电大学学报(自然科学版),2017,38(6):88-92.
[6]SINTGH K P, MALIK A, SINHA S. Water quality assessment and apportionment of pollution Sources of Gomti Rivor(India) using multivariate statistical techniques; a case study [J]. Analytical Chimica Acta, 2005, 538:355-374.
[7]房广梅,徐军,朱兰萍.基于多元统计分析的长江仪征段水质评价[J].江苏第二师范学院学报,2017,33(6):1-5.
[8]程学宁,汤云,卢毅敏.基于多元统计分析的闽江水质时空变化特征[J].水资源与水工程学报,2016,27(6):89-94.
[9]万蕾,张曼玉,陆晟.基于多元统计分析的奎河(徐州段)水质污染现状[J].徐州工程学院学报(自然科学版),2016,31(1):53-57.
[10]杨学福,王蕾,关建玲,等.基于多元统计分析的渭河西咸段水质评价[J].环境工程学报,2016,10(3):1560-1565.
[11]李东青,郭道宇,梁籍,等.密云水库水质空间变异的多元统计分析[J].湿地科学,2015,13(1):27-34.
[12]张铃松,刘廷良,孟凡生,等.松花江水质的多元统计分析[J].环境污染与防治,2013,35(9):28-34.
[13]张涛,李其军,梁藉,等.基于多元统计分析的北运河通州段水质研究[J].北京水务,2012(6):19-23.
[14]ALBERTO W D, DEL PILAR D M, VALERIA A M, et al. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality: A case study of the Suquia River Basin(Cordoba Argentina) [J]. Water Research, 2001, 35(12):2881-2894.
[15]孙国红,沈跃,徐应明,等.基于多元统计分析的黄河水质评价方法[J].农业环境科学学报,2011,30(6):1193-1199.
[16]王刚,李兆富,万荣荣,等.基于多元统计分析方法的西苕溪流域水质时空变化研究[J].农业环境科学学报,2015,34(9):1797-1803.
[17]荆红卫,张志刚,郭婧.北京北运河水系水质污染特征及污染源分析[J].中国环境科学,2013,33(2):319-327.
[18]SINGH K P, MALIK A, MOHAN D, et al. Multivariate statistical techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality of Gomti River (India) - a case study [J]. Water Research, 2004, 38(18):3980-3992.
[19]王艳红,王桂玲.基于主成分和地统计的太湖水质分析[J].环境科学与技术,2010,33(S2):547-550.