宁夏引黄灌区排水沟水环境质量及其影响因素

郑 灿[1], 杨子超[1], 邱小琮[2], 尹 亮[1], 李延林[1]

(1.宁夏大学 土木与水利工程学院, 宁夏 银川 750021; 2.宁夏大学 生命科学学院, 宁夏 银川 750021)

摘 要:[目的] 探明宁夏引黄灌区排水沟水环境质量及其影响因素,旨在为排水沟水体污染综合整治提供一定的理论依据。[方法] 搜集 2009—2015 年排水沟水环境因子指标和以地级市为单元的社会经济指标数据,选取高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、总磷、生化需氧量、挥发酚、氟化物、氰化物、硫化物作为水质综合污染指数的评价因子,采用相关分析法和灰关联法分析研究社会经济指标对排水沟水质的影响程度。[结果] 南干沟水质呈现逐年好转趋势,银新干沟水质和清水沟水质急剧恶化,其他排水沟的综合污染指数变化趋势较平稳,且水质总体状况较好;排水沟水质与社会经济指标的相关性和关联度都较高:中干沟与化肥使用量相关系数高达 0.998,南干沟与工业废水排放总量相关系数高达 0.983;永二干沟与农业耗水量的关联度高达 0.793 41,南干沟与工业废水排放总量的关联度高达 0.755 69。[结论] 排水沟的水质变化趋势受农业面源污染和工业废水的影响较大;以地级市为单位,综合污染指数与社会经济指标的相关性大小依次为吴忠市、银川市、中卫市、石嘴山市;相关分析与灰关联分析结果有较好的一致性,且运用二者结合分析了影响排水沟的最主要影响因子;总体上,农业生产对银川市和石嘴山市排水沟水质影响较大,工业生产对吴忠市和中卫市排水沟的影响较大,且农业生产导致的农业面源污染比工业生产产生的工业废水对排水沟水质状况影响程度大。

关键词:综合污染指数; 社会经济指标; 灰关联度; 引黄灌区

文献标识码:A **文章编号**:1000-288X(2018)06-0074-06 **中图分类号**:X832, X24

文献参数:郑灿, 杨子超, 邱小琮, 等.宁夏引黄灌区排水沟水环境质量及其影响因素[J].水土保持通报, 2018,38(6):74-79. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.06.012. Zheng Can, Yang Zichao, Qiu Xiaocong, et al. Water environmental quality of drainage ditches and their controls in Ningxia irrigation area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018,38(6):74-79.

Water Environmental Quality of Drainage Ditches and Their Controls in Ningxia Irrigation Area

ZHENG Can[1], YANG Zichao[1], QIU Xiaocong[2], YIN Liang[1], LI Yanlin[1]

(1. *School of Civil and Hydraulic Engineering, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia* 750021, *China*; 2. *College of Life Sciences, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia* 750021, *China*)

Abstract: [Objective] The water environment quality and its controls in drainage ditches from Ningxia Irrigation area were observed in order to provide theoretial reference for the comprehensive control of water pollution of drainage ditches. [Methods] We collected water environmental data of drainage ditch during 2009—2015 and prefectural socio-economic data. The permanganate index, chemical oxygen demand, ammonia nitrogen, total phosphorus, biochemical oxygen demand, volatile phenols, fluoride, cyanide, and sulfides were selected to evaluate the comprehensive water pollution. Correlation analysis and grey correlation analysis were used to analyze the impact of socio-economic indexes on the water quality. [Results] The water quality of Nangan ditch was gradually improved, while Yinxingan and Qingshui ditchs deteriorated rapidly, and others remained stable and sound. The water quality was highly related to socio-economic indexes. The correlation coefficient(r) was 0.998 for chemical fertilizers utilization with water quality in Zhonggan ditch, and 0.983 for total industrial effluent discharge in Nangan ditch; the correlation between Yongergan ditch and agricultural water consumption was as high as 0.793 41, the correlation degree between Nangan ditch and discharges of total

收稿日期:2018-05-26 **修回日期**:2018-07-11

资助项目:宁夏高等学校一流学科建设(水利工程)项目(NXYLXK2017A03)

第一作者:郑灿(1994—),女(汉族),河北省保定市人,硕士研究生,研究方向为水资源与水环境调控。E-mail:1831911344@qq.com。

通讯作者:邱小琮(1971—),男(汉族),浙江省湖州市人,博士,教授,主要从事水域生态学及水环境调控方面的教学与研究工作。E-mail:qxc7175@126.com。

industrial wastewater discharge was as high as 0.75 569, respectively. [Conclusion] The water quality of drainage ditches was greatly affected by agricultural non-point source pollution and industrial waste water. On the prefectural level, the order of correlations between the comprehensive pollution and socio-economic indexes was Wuzhong City, Yinchuan City, Zhongwei City and Shizuishan City. There is a good consistency between the results of correlation analysis and grey correlation analysis. The combination of the two analyses was performed to exploring the main controls for water quality. Generally, agricultural production was the dominant driver for water pollution in Yinchuan City and Shizuishan City, while industrial production was dominant in Wuzhong City and Zhongwei City. Moreover, agricultural non-point source pollution caused by agricultural production has a greater adverse effect on water quality than industrial wastewater produced by industrial production.

Keywords: comprehensive pollution index; socio-economic indicators; grey correlation degree; Yellow River irrigation area

宁夏引黄灌区是中国 4 大自流古老灌区之一,该区段引黄灌溉已有约 2 000 a 的历史[1]。在灌区内部,大小排水沟近 200 条,主要排水干沟有 32 条,每年排入黄河约 2.50×10^9 m^2 的水量[2]。宁夏引黄灌区各排水沟最初主要用于农田灌排水或降低浅层地下水位,但最近几年许多排水沟同时变成了排污沟,接纳了大量生活污水以及工农业废水,在汇入沟内污水量增加的同时,污染物的种类和浓度也逐渐增加[2-3]。由于排水沟地处引黄灌区,又是农田灌溉排水的主要输送廊道,同时也是农业非点源污染物运输和迁移主要途径,因此,农业面源污染也成为了影响排水沟的重要污染源[4]。宁夏引黄灌区主要排水沟的排水情况详见表 1。目前,刘国强等[2]对宁夏引黄灌区农田退水污染、农业生产污染源头和污染负荷结构及现状进行了分析;张爱平等[3]分析了黄河宁夏段监测断面和引黄灌区典型排水沟的水质情况;邱小琮等[5]分析了宁夏农业面源污染的主要影响因子;张学军等[6]对宁夏引黄灌区特定时期氮和磷的流失进行了研究。然而关于社会经济指标对引黄灌区排水沟影响程度还未进行深入研究。排水沟是城市地表水环境的重要组成,水质好坏直接影响着城市形象和黄河宁夏段水质,进行综合治理,势在必行[7]。本研究在搜集排水沟 2009—2015 年水环境因子指标基础上,运用综合污染指数、相关分析和灰关联法,以地级市为单位研究排水沟综合污染指数与社会经济指标之间的相关性以及影响水质的主要指标,旨在为排水沟水体污染综合整治提供一定的理论依据。

1　材料与方法

1.1　数据采集

按照引黄灌区排水沟在宁夏回族自治区的位置,分别收集中卫市、吴忠市、银川市、石嘴山市的各项社会经济指标的原始数据,数据来源于 2009—2015 年宁夏各类统计年鉴、水资源公报;水质评价因子数据取自《宁夏回族自治区环境状况公报》。由于四二干沟、银新干沟、灵武东沟、吴忠南干沟、吴忠清水沟、第 3 和 5 排水沟汇入黄河口、第 1 排水沟、第 4 排水沟、银川中干沟、银川永二干沟、吴忠罗家河为宁夏入黄 13 条重点排水沟,也能代表其他排水沟的特性,因此,选择这些主要的排水沟作为研究对象(表 1)。

表 1　宁夏引黄灌区主要排水沟的排水情况

所属地市	排水沟	年平均排水量/10^9 m^3
中卫市	第四排水沟	1.892
	第一排水沟	1.015
吴忠市	南干沟	0.600
	罗家河	0.412
	清水沟	1.566
银川市	灵武东沟	1.187
	中干沟	0.707
	永二干沟	0.528
	银新干沟	0.810
	四二干沟	0.974
石嘴山市	第三五排水沟汇入黄河口	2.892

注:排水结构为农耕退水、工业废水和城镇生活污水混合;排水特点为季节性排水,时间集中在 4 与 11 月份。

1.2　水环境因子数据选取和预处理

由于水质各个指标的类型和量纲不同,各个指标之间不具有可比性,因此在评价的时候要对水质评价的分级标准和待评价水质监测数据进行无量纲化处理[8]。本文采用极差变换方法[9]对数据进行无量纲化处理及消除数值数量级差别,再将原始数据进行处理。为了得出更为准确的综合污染指数,以便更好得进行相关性和灰关联分析,则选取高锰酸盐指数、化学需氧量、氨氮、生化需氧量、挥发酚、总磷、氟化物、氰化物、硫化物作为评价因子。

1.3　社会经济指标的选取

社会经济指标选择与水质密切相关的农业耗水量、农业人口、化肥使用量、农业总产值、林业产值、牧业产值、渔业产值、工业总产值、工业废水排放总量、城镇生活污水排放量作为影响排水沟水质的因素。

1.4　综合污染指数法

综合污染指数法是对各污染指标的相对污染指

数进行统计，得出代表水体污染程度的数值，来确定研究水体的污染程度[10]。求综合污染指数需要先对单项污染指数进行求解。

水质单项污染指数(p_{ij})计算方法为[11]：

$$P_{ij}=C_{ij}/S_{ij} \quad (1)$$

对于 pH 值，

$$P_{ij}=(C_{ij}-7.0)/(8.5-7.0) \quad (\text{pH}\geqslant 7.0) \quad (2)$$

或，$P_{ij}=(7.0-C_{ji})/(7.0-6.5)$ (pH≤7.0) (3)

当 $P_{ij}<1$ 时，表示水体未污染；当 $P_{ij}>1$ 时，表示水体污染。具体数值直接反映污染物超标程度[12]。

综合污染指数法的计算公式为：

$$p=\frac{1}{m}\sum_{i=1}^{m}p_i \quad (4)$$

综合污染指标评价分级详见表 2。

表 2 综合污染指标评价分级

p	级别	水质现状叙述
$p<0.8$	合格	多数项目未检出，个别检出也在标准内
$0.8\leqslant p\leqslant 1.0$	基本合格	个别项目检出值超标
$1.0<p\leqslant 2.0$	污染	相当一部分项目检出值超过标准
$p>2.0$	重污染	相当一部分项目检出值超过标准数倍或几十倍

1.5 相关分析

计算社会经济指标与排水沟综合污染指数之间的相关系数，并进行分析讨论。

1.6 灰关联法

灰关联法就是以各排水沟为母序列，影响因子为子序列，计算各排水沟与影响因子的关联度，根据关联度的大小确定影响因子的作用大小[13-14]。

1.7 数据处理

数据处理采用 DPS 统计软件进行。

2 结果与分析

2.1 宁夏引黄灌区主要排水沟水质状况

宁夏引黄灌区主要排水沟水质类别(2009—2015 主要的水质类别)及主要污染指标详见表 3。排水沟的水质类别主要以劣Ⅴ类为主，主要污染指标为氨氮、总磷、化学需氧量、生化需氧量等。由于第 1 排水沟和罗家河的治理效果突出，水质好转，水质类别分别为Ⅲ类和Ⅳ类，且罗家河的污染指标主要以氨氮为主。

表 3 宁夏引黄灌区主要排水沟的水质状况

所属地市	排水沟	水质类别	主要污染指标
中卫市	第 4 排水沟	劣Ⅴ类	氨氮、总磷
	第 1 排水沟	Ⅲ类	—
吴忠市	南干沟	劣Ⅴ类	氨氮、化学需氧量
	罗家河	Ⅳ类	氨氮
	清水沟	劣Ⅴ类	总磷、化学需氧量
银川市	灵武东沟	劣Ⅴ类	氨氮、总磷
	中干沟	劣Ⅴ类	总磷、生化需氧量
	永二干沟	劣Ⅴ类	氨氮、化学需氧量
	银新干沟	劣Ⅴ类	氨氮、生化需氧量
	四二干沟	劣Ⅴ类	氨氮、总磷
石嘴山市	第 3,5 排水沟汇入黄河口	劣Ⅴ类	氨氮、化学需氧量

2.2 水质综合污染指数

水质综合污染指数的高低直接反映水体质量的好坏，当综合污染指数越高，水质越差；综合污染指数越低，水质越好。从图 1 可以看出，吴忠南干沟水质总体上呈逐年转好趋势，2010—2011 年为好转的最快时期；吴忠清水沟水质总体上也呈好转趋势，仅在 2009—2010 年突然恶化，且在 2010 年达到污染最严重时期；银新干沟水质在 2009—2012 年呈稳步转好趋势，却在 2012—2013 年突然恶化，在 2013 年到达污染最严重时期，之后又呈转好趋势。其他排水沟水质变化趋势较平稳，没有明显的变化。

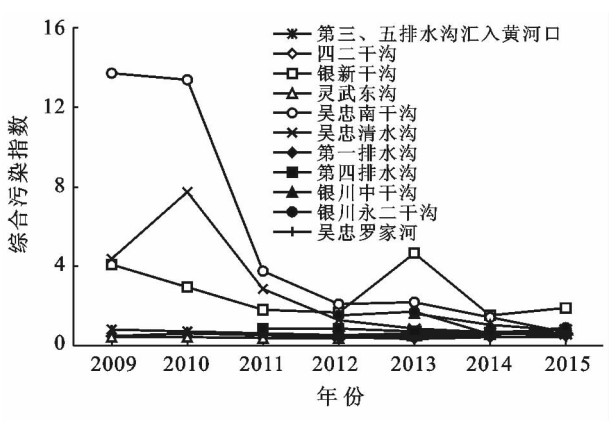


图 1 综合污染指数变化趋势

2.3 排水沟综合污染指数与社会经济指标的相关分析

2.3.1 银川市排水沟综合污染指数与社会经济指标的相关分析 由表 4 可以看出，四二干沟、银新干沟和永二干沟与社会经济指标之间相关关系不显著。灵武东沟与农业总产值和工业总产值之间呈极显著正相关；与牧业产值和渔业产值之间呈显著正相关；与农业耗水量之间呈显著负相关；与其他指标相关关系不显著。中干沟与化肥使用量、林业产值和工业废

水排放总量之间呈极显著正相关;与渔业产值和工业产值之间呈极显著负相关;与农业耗水量和城镇生活污水排放量之间呈显著正相关;与农业总产值之间呈显著负相关;其他指标相关关系不显著。

表 4　银川市的排水沟综合污染指数与其社会经济指标相关系数矩阵

相关系数	四二干沟	银新干沟	灵武东沟	中干沟	永二干沟
农业耗水量	−0.643	0.517	−0.773*	0.826*	−0.643
农业人口	0.029	0.496	−0.689	0.499	0.029
化肥使用量	−0.588	0.637	−0.291	0.998**	−0.588
农业总产值	0.677	−0.420	0.947**	−0.716*	0.677
林业产值	0.069	0.416	0.465	0.963**	0.069
牧业产值	0.529	−0.401	0.812*	−0.073	0.529
渔业产值	0.568	−0.464	0.813*	−0.990**	0.568
工业总产值	0.574	−0.408	0.891**	−0.999**	0.574
工业废水排放总量	−0.631	0.056	0.074	0.975**	−0.631
城镇生活污水排放量	−0.371	0.260	−0.290	0.816*	−0.371

注:*,** 分别表示显著相关和极显著相关。下同。

2.3.2　*吴忠市排水沟综合污染指数与社会经济指标的相关分析*　由表 5 可知,南干沟与工业废水排放总量之间呈极显著正相关;与农业总产值、林业产值、渔业产值、工业总产值之间呈极显著负相关;与其他指标相关关系不显著。清水沟与工业废水排放总量之间呈极显著正相关;与工业总产值之间呈极显著负相关;与农业总产值、林业产值和渔业产值之间呈显著负相关;与其他指标相关关系不显著。罗家河与农业耗水量之间呈极显著正相关;与其他指标相关关系不显著。

表 5　吴忠市的排水沟综合污染指数与其社会经济指标相关系数矩阵

相关系数	南干沟	清水沟	罗家河
农业耗水量	0.342	0.076	0.904**
农业人口	0.287	0.249	−0.553
化肥使用量	−0.415	−0.100	0.609
农业总产值	−0.921**	−0.787*	0.032
林业产值	−0.890**	−0.729*	−0.005
牧业产值	0.532	0.669	−0.153
渔业产值	−0.931**	−0.834*	0.153
工业总产值	−0.949**	−0.873**	−0.296
工业废水排放总量	0.983**	0.956**	0.214
城镇生活污水排放量	−0.485	−0.511	0.377

2.3.3　*中卫市排水沟综合污染指数与社会经济指标的相关分析*　由表 6 可知,第 1 排水沟与农业总产值之间呈极显著正相关;与工业总产值之间呈极显著负相关;与其他社会经济指标之间相关关系不显著。第 4 排水沟与农业人口、化肥使用量、林业产值、牧业产值、城镇生活污水排放量之间呈极显著负相关;与渔业产值之间呈显著相关。

表 6　中卫市的排水沟综合污染指数与其社会经济指标的相关系数矩阵

相关系数	第 1 排水沟	第 4 排水沟
农业耗水量	0.453	−0.686
农业人口	0.430	−0.917**
化肥使用量	0.503	−0.905**
农业总产值	0.862**	−0.203
林业产值	−0.069	−0.871**
牧业产值	0.056	−0.893**
渔业产值	0.639	0.802*
工业总产值	−0.851**	0.321
工业废水排放总量	0.453	−0.686
城镇生活污水排放量	0.430	−0.917**

2.3.4　*石嘴山市排水沟综合污染指数与社会经济指标的相关分析*　由表 7 可知,第 3,5 排水沟汇入黄河口综合污染指数与经济社会指标相关关系不显著。

表 7　石嘴山市的排水沟综合污染指数与其社会经济指标相关系数矩阵

相关系数	第 3,5 排水沟汇入黄河口
农业耗水量	−0.075
农业人口	0.497
化肥使用量	0.469
农业总产值	0.423
林业产值	0.497
牧业产值	0.489
渔业产值	0.666
工业总产值	−0.508
工业废水排放总量	−0.075
城镇生活污水排放量	0.497

2.4　排水沟综合污染指数与影响因子的灰关联分析

灰色关联法分析中,关联度越高,表明排水沟水质受社会经济指标的影响程度越高,以此来判定其主

要影响因子。

2.4.1 银川市排水沟综合污染指数与影响因子的灰关联分析 银川市的排水沟综合污染指数与影响因子的关联度和排列顺序详见表8。影响四二干沟水质主要影响因子依次为渔业产值、工业总产值等;影响银新干沟水质主要影响因子依次为农业耗水量、化肥使用量等;影响灵武东沟水质主要影响因子依次为渔业产值、农业总产值;影响永二干沟水质主要影响因子依次为农业耗水量、工业废水排放总量等。由于中干沟的数据过少,因此不能用DPS进行关联度的计算。

表8 银川市的排水沟综合污染指数与影响因子的关联度和排列顺序

影响因子	四二干沟	排序	银新干沟	排序	灵武东沟	排序	永二干沟	排序	中干沟	排序
农业耗水量	0.404 66	4	0.465 13	1	0.229 97	10	0.793 41	1	—	—
农业人口	0.296 86	9	0.266 35	4	0.323 85	6	0.269 66	6	—	—
化肥使用量	0.370 10	7	0.326 64	2	0.259 78	9	0.347 81	4	—	—
农业总产值	0.427 46	3	0.166 95	9	0.461 71	2	0.142 65	9	—	—
林业产值	0.273 66	10	0.254 36	5	0.319 20	7	0.397 89	3	—	—
牧业产值	0.380 61	5	0.171 88	8	0.448 75	4	0.203 48	7	—	—
渔业产值	0.437 20	1	0.162 89	10	0.546 83	1	0.131 82	10	—	—
工业总产值	0.431 05	2	0.179 63	7	0.450 48	3	0.147 20	8	—	—
工业废水排放总量	0.311 29	8	0.280 06	3	0.289 51	8	0.430 96	2	—	—
城镇生活污水排放量	0.370 38	6	0.218 40	6	0.359 91	5	0.320 48	5	—	—

2.4.2 吴忠市排水沟综合污染指数与影响因子的灰关联分析 吴忠市的排水沟综合污染指数与影响因子的关联度和排列顺序详见表9。由表9可知,影响吴忠南干沟和吴忠清水沟水质主要影响因子依次为工业废水排放总量、农业人口等;影响吴忠罗家河水质主要影响因子依次为农业人口、牧业产值等。

表9 吴忠市的排水沟综合污染指数与影响因子的关联度和排列顺序

影响因子	南干沟	排序	清水沟	排序	罗家河	排序
农业耗水量	0.319 33	4	0.406 97	4	0.353 03	4
农业人口	0.338 37	2	0.453 08	2	0.428 91	1
化肥使用量	0.216 25	10	0.272 32	6	0.275 41	6
农业总产值	0.230 83	8	0.240 17	8	0.304 20	5
林业产值	0.232 18	7	0.245 85	7	0.366 50	3
牧业产值	0.320 04	3	0.418 38	3	0.375 58	2
渔业产值	0.230 15	9	0.234 23	9	0.201 39	9
工业总产值	0.240 34	6	0.221 56	10	0.264 49	7
工业废水排放总量	0.755 69	1	0.619 24	1	0.205 56	8
城镇生活污水排放量	0.303 50	5	0.381 50	5	0.200 45	10

2.4.3 中卫市排水沟综合污染指数与影响因子的灰关联分析 中卫市的排水沟综合污染指数与影响因子的关联度和排列顺序详见表10。

表10 中卫市的排水沟综合污染指数与影响因子的关联度和排列顺序

影响因子	第1排水沟	排序	第4排水沟	排序
农业耗水量	0.379 75	4	0.393 78	3
农业人口	0.305 38	6	0.221 98	9
化肥使用量	0.140 17	9	0.234 06	7
农业总产值	0.180 27	7	0.243 86	8
林业产值	0.177 29	8	0.249 75	6
牧业产值	0.512 12	1	0.317 85	4
渔业产值	0.368 72	5	0.205 37	10
工业总产值	0.137 34	10	0.301 65	5
工业废水排放总量	0.499 32	2	0.466 91	1
城镇生活污水排放量	0.411 25	3	0.433 93	2

从表10可以看出,影响第1排水沟水质主要影响因子依次为牧业产值、工业废水排放总量等;影响第4排水沟水质主要影响因子依次为工业废水排放总、城镇生活污水排放量等。

2.4.4 石嘴山市排水沟综合污染指数与影响因子的灰关联分析 石嘴山市的排水沟综合污染指数与影响因子的关联度和排列顺序详见表11。由表11可知,影响第3,5排水沟汇入黄河口水质主要影响因子依次为农业耗水量、工业废水排放总量等。

3 讨论与结论

从综合污染指数、相关性及关联度分析结果来看,吴忠南干沟水质呈现逐年好转趋势,可能主要由于对造纸厂、包装厂等工厂的废水排放总量进行了控制,强化对企业主要污染物控制。银新干沟水质急剧

恶化,可能主要由于农田退水和化肥使用量急剧增加,大多数畜禽养殖固废和污水没有处理设施,大量营养物质和残留农药随农田退水进入排水沟。因此,控制因农业面源污染引起的排水污染对保障银新干沟水质有现实迫切性。由于造纸厂等工厂排入清水沟的工业废水增多,工业废水排放总量增加,导致吴忠清水沟水质急剧恶化。其他排水沟的综合污染指数变化趋势较平稳,且水质总体状况较好。总体上,排水沟的水质变化趋势受农业生产和工业生产的影响较大。

表 11　石嘴山市的排水沟综合污染指数与影响因子的关联度和排列顺序

影响因子	农业耗水量	农业人口	化肥使用量	农业总产值	林业产值	牧业产值	渔业产值	工业总产值	工业废水排放总量	城镇生活污水排放量
第 3,5 排水沟汇入黄河口	0.550 98	0.186 1	0.312 83	0.288 01	0.288 28	0.331 83	0.283 83	0.261 35	0.376 18	0.356 43
排序	1	10	5	7	6	4	8	9	2	3

在银川市排水沟中,中干沟较其他排水沟与社会经济指标相关性较高,其中与化肥使用量的相关系数高达 0.998。在吴忠市排水沟中,南干沟和清水沟与社会经济指标的相关性比罗家河较高。在中卫市排水沟中,第 4 排水沟与社会经济指标相关性较高。石嘴山市的排水沟与社会经济指标的相关性都普遍较低,与渔业产值的相关性最高,仅达到 0.666。以地级市为单位,综合污染指数与社会经济指标相关性大小排序依次为吴忠市、银川市、中卫市、石嘴山市。

原因解析上,根据分析结果来看,可能由于中干沟途经人口较密集区,接纳了银川市大量的工农业废水和生活污水;南干沟与第 4 排水沟分别沿途接纳了其所在地级市的大量的工业废水和生活污水。因此,这几个排水沟与所在地级市经济社会指标的相关性比其他排水沟较高。从区域的角度来看,银川市、吴忠市和中卫市污染物排放量较高,而石嘴山市人口较少,农业人口也较少,工业相对落后,因此,排水沟水质与经济社会指标相关性不高。

相关分析与灰关联分析结果有较好的一致性。在银川市排水沟中,四二干沟与渔业产值和工业总产值的关联度最高,同时相关性也较高;灵武东沟与农业总产值和渔业产值的关联度最高,相关系数也分别高达 0.947,0.813。在吴忠市排水沟中,南干沟和清水沟与工业废水排放总量的关联度分别高达 0.755 69 和 0.619 264,相关系数也分别高达 0.983,0.965;在中卫市排水沟中,第 4 排水沟与工业废水排放总量和城镇生活排放量的关联度最高,相关性也较高且为均反向相关。石嘴山市排水沟与经济社会指标的相关性都较小,关联度也较小,且相关系数与关联度联系也较小。总体上,各市的相关分析与灰关联分析结果之间一致性大小依次为吴忠市、中卫市、银川市、石嘴山市。

原因解析上,相关分析是对两者之间的相关联系做一个具体数值和相关方向的研究,而灰关联分析是通过一定方法清理系统中各因素间的主要关系,找出系统中最大的影响因素,二者之间相互联系、相辅相成。当关联度较高时,相关系数也较高。因此,以相关性为辅,关联度为主来确定各排水沟最主要的影响因子。

影响四二干沟的最主要影响因子为渔业产值和工业总产值;影响银新干沟的最主要影响因子为农业耗水量和化肥使用量;影响灵武东沟的最主要影响因子为农业总产值和渔业产值;影响永二干沟的最主要影响因子为农业耗水量和工业废水排放总量;影响吴忠南干沟和吴忠清水沟的最主要影响因子为工业废水排放总量和农业人口;影响吴忠罗家河的最主要影响因子为农业耗水量和农业人口;影响第一排水沟的最主要影响因子为工业废水排放总量和牧业产值;影响第 4 排水沟最主要影响因子为工业废水排放总量和城镇生活污水;影响第三、五排水沟汇入黄河口最主要影响因子为工业废水排放总量和农业耗水量;影响中干沟的最主要影响因子仅从相关性分析,则为化肥施用量、工业废水排放总量和林业产值。通过控制这些最主要的影响因子,对排水沟水环境治理具有现实的迫切性和长远战略意义。

根据分析结果,综合比较判断,总体上引黄灌区排水沟水质状况主要以劣Ⅴ类为主。各市的影响因素不一样,主要是因为各市排水沟主要承载的退水的类型及水量各不相同。银川市和石嘴山市的排水沟主要承载农田退水,主要污染物为氨氮、总磷等,因此,农业生产对银川市和石嘴山市排水沟水质影响较大;吴忠市和中卫市的排水沟主要承载工业退水,主要污染物为生化需氧量、氨氮等,因此,工业生产对吴忠市和中卫市排水沟的影响较大。总体上,农业生产导致的农业面源污染比工业生产产生的工业废水对排水沟水质状况影响程度大。由于条件所限没有对排水沟的污染来源进行深入分析,后续需要再加强研究。

(下转第 87 页)

organic matter content on soil productivity [J]. Soil Science Society of America Journal, 1994, 58(1): 185-193.

[20] Bao Yuying, Yan Wei. Arbuscular mycorrhizae and their structural types on common plants in grasslands of mid-western inner mongolia [J]. Chinese Biodiversity, 2004, 12(5): 501-508.

[21] 李博文.施肥对青藏高原高寒草甸球囊霉素土壤相关蛋白及其环境因子的影响[D].甘肃 兰州:兰州大学,2016.

[22] Wang Wenjie, Zhong Zhaoliang, Wang Qiong, et al. Glomalin contributed more to carbon, nutrients in deeper soils, and differently associated with climates and soil properties in vertical profiles [J]. Scientific Reports, 2017,7(1):1-13.

[23] Singh A K, Rai A, Pandey V, et al. Contribution of glomalin to dissolve organic carbon under different land uses and seasonality in dry tropics [J]. Journal of Environmental Management, 2017,192:142-149.

[24] Rumpel C, Kögel-Knabner I. Deep soil organic matter: A key but poorly understood component of terrestrial C cycle [J]. Plant & Soil, 2011,338(1/2):143-158.

[25] Rillig M C, Wright S F, Nichols K A, et al. Large contribution of arbuscular mycorrhizal fungi to soil carbon pools in tropical forest soils [J]. Plant & Soil, 2001,233(2):167-177.

[26] 张曼夏,季猛,李伟,等.土地利用方式对土壤团聚体稳定性及其结合有机碳的影响[J].应用与环境生物学报,2013,19(4):598-604.

[27] 黎宏祥,王彬,王玉杰,等.不同林分类型对土壤团聚体稳定性及有机碳特征的影响[J].北京林业大学学报,2016,38(5):84-91.

[28] Wright S F, Upadhyaya A. A survey of soils for aggregate stability and glomalin, a glycoprotein produced by hyphae of arbuscular mycorrhizal fungi [J]. Plant & Soil, 1998, 198(1):97-107.

[29] Franzluebbers A J, Wright S F, Stuedemann J A. Soil aggregation and glomalin under pastures in the Southern Piedmont USA [J]. Soil Science Society of America Journal, 2000,64(3):1018-1026.

[30] Oades J M. Soil organic matter and structural stability: mechanisms and implications for management [J]. Plant & Soil, 1984,76(1/3):319-337.

[31] Zhang Jing, Tang Xuli, He Xinhua, et al. Glomalin-related soil protein responses to elevated CO_2 and nitrogen addition in a subtropical forest: Potential consequences for soil carbon accumulation [J]. Soil Biology and Biochemistry, 2015,83:142-149.

(上接第 79 页)

[参 考 文 献]

[1] 张爱平,杨世琦,张庆忠,等.宁夏灌区农田退水污染形成原因及防治对策[J].中国生态农业学报,2008,16(4):1037-1042.

[2] 刘国强,杨世琦.宁夏引黄灌区农田退水污染现状分析[J].灌溉排水学报,2010,29(1):104-108.

[3] 张爱平,杨世琦,易军,等.宁夏引黄灌区水体污染现状及污染源解析[J].中国生态农业学报,2010,18(6):1295-1301.

[4] 胡宜刚,吴攀,赵洋,等.宁蒙引黄灌区农田排水沟渠水质特征[J].生态学杂志,2013,32(7):1730-1738.

[5] 邱小琮,王德全,尹娟,等.宁夏农业面源污染及其影响因子解析[J].水土保持学报,2012,26(5):190-194.

[6] 张学军,陈晓群,刘宏斌,等.宁夏引黄灌区稻田氮磷流失特征初探[J].生态环境学报,2010,19(5):1202-1209.

[7] 倪细炉,杨智,李志刚,等.银川平原主要湖泊湿地水环境现状调查与分析[J].环境工程,2012,30(S2):563-565.

[8] 李祚泳,丁晶,彭荔红.环境质量评价原理与方法[M].北京:化学工业出版社,2004.

[9] 章新,贺石磊,张雍照,等.水质评价的灰色关联分析方法研究[J].水资源与水工程学报,2010,21(5):117-119.

[10] 陆卫军,张涛.几种河流水质评价方法的比较分析[J].环境科学与管理,2009,34(6):174-176.

[11] 龚磊,卢文喜,辛欣,等.对应分析方法在白城市洮北区地下水水质评价中的应用[J].水资源保护,2011,27(1):38-41.

[12] 曾永,樊引琴,王丽伟,等.水质模糊综合评价法与单因子指数评价法比较[J].人民黄河,2007(2):45,65.

[13] 于洪涛,吴泽宁.灰色关联分析在南水北调中线澧河水质评价中的应用[J].水灌溉,2010(3):39-41,45.

[14] 吴雅琴.水质灰色关联评价方法[J].甘肃环境研究与监测,1998(3):25-28.