

陕西省咸阳市涝池污染特征和水质现状

周富宇¹, 高照良^{1,2}, 张帅¹, 李永红^{1,2}, 孙贯芳¹, 娄永才¹, 艾建卫¹, 刘文博¹

(1.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100; 2.中国科学院

水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100)

摘要: [目的] 针对涝池近年来出现的水体富营养化现状, 明确涝池污染特征和水质现状, 为涝池水体净化研究和环境保护提供科学依据。[方法] 选取陕西省咸阳市 14 个具有代表性的涝池, 从涝池的面积、深度、蓄水状况、主体功能等方面出发, 测定其水体 PH、DO、TN、 NH_4^+-N 、 NO_3^--N 、TP、 $\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$ 的浓度, 应用标准指数法和综合污染指数法综合分析涝池水质状况。[结果] ①调查区域的涝池水体污染与涝池管护缺失导致的外源污染严重和乡村居民农业生产活动造成的农业面源污染有关。②大部分涝池水质处于严重污染状态, 无法满足农业用水及一般景观的用水标准, 其中, 磷类营养盐是水体污染的主要因子。[结论] 涝池水体污染具有农村生活污水的典型特点, 应根据水体污染特点有针对性地选择适宜乡村环境的治理方式。

关键词: 涝池; 水体; 污染特征; 水质评价; 陕西省咸阳市

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2022)05-0080-07

中图分类号: X524, X131.2

文献参数: 周富宇, 高照良, 张帅, 等. 陕西省咸阳市涝池污染特征和水质现状[J]. 水土保持通报, 2022, 42(5): 80-86. DOI: 10.13961/j.cnki.stbctb.2022.05.011; Zhou Fuyu, Gao Zhaoliang, Zhang Shuai, et al. Pollution characteristics and water quality status of water storage pond in Xianyang City of Shaanxi Province [J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2022, 42(5): 80-86.

Pollution Characteristics and Water Quality Status of Water Storage Pond in Xianyang City of Shaanxi Province

Zhou Fuyu¹, Gao Zhaoliang^{1,2}, Zhang Shuai¹,

Li Yonghong^{1,2}, Sun Guanfang¹, Lou Yongcai¹, Ai Jianwei¹, Liu Wenbo¹

(1. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A&F University, Yangling, Shaanxi

712100, China; 2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Science and Ministry of Water Resources, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: [Objective] In view of the current situation of water eutrophication in water storage ponds in recent years, the pollution characteristics and water quality status of water storage ponds were clarified in order to provide a scientific basis for water purification research and water environmental protection. [Methods] Measurements of pH value, dissolved oxygen (DO), total nitrogen (TN), ammonia nitrogen (NH_4^+-N), nitrate nitrogen (NO_3^--N), total phosphorus (TP), and phosphate radical ($\text{PO}_4^{3-}-\text{P}$) in 14 representative water storage ponds in Xianyang City of Shaanxi Province were determined from the perspective of area, depth, water storage status, and main function of water storage ponds. The water quality of water storage ponds was analyzed by a standard index method and a comprehensive pollution index method. [Results] ① The water pollution of the water storage pond in the survey area was related to the serious external pollution caused by the lack of management and protection of the water storage pond, and was related to the agricultural non-point source pollution caused by the agricultural production activities of rural residents. ② The water quality of most water storage ponds was seriously polluted, and did not meet the water standards for agricultural water and general landscape water. Phosphorus nutrients were the main factor which resulted

收稿日期: 2022-02-25

修回日期: 2022-04-09

资助项目: 国家重点研发计划项目“沟道径流消能抗冲技术研究”(2016YFC0501706-02)

第一作者: 周富宇(1997—), 男(汉族), 甘肃省白银市人, 硕士研究生, 研究方向为水土保持工程。Email: zfy10168@163.com。

通信作者: 高照良(1969—), 男(汉族), 河南省灵宝市人, 博士, 研究员, 博士生导师, 主要从事农业水土工程和荒漠化防治研究。Email: gzl@ms.iswc.ac.cn。

in water pollution. [Conclusion] The water pollution of water storage ponds has the typical characteristics of rural domestic sewage. Treatment methods suitable for the rural environment should be selected according to the characteristics of water pollution.

Keywords: water storage pond; water bodies; pollution characteristics; water quality evaluation; Xianyang City of Shaanxi Province

涝池是北方干旱地区为充分拦蓄降雨产生的地表径流而修筑的一种极具减流减沙和排涝蓄水效益的小型水土保持工程,在全面实施乡村振兴战略中具有重要地位。涝池不仅能够极大地削弱地表径流冲刷制止沟头前进,还能显著补给地下水涵养水源,在水资源缺乏的村庄更能为其提供难得的湿地生态景观^[1-2]。在涝池建设与修复工程中兼顾良好的生态效益和实用价值,是新时代陕西省建设美丽乡村人居环境赋予的新的要求。自“十三五”以来,陕西省高度重视关乎乡村生态文明建设的涝池修复整治工作,在一定程度上提高了涝池数量,其功能也得到一定修复。但是由于大部分涝池水位较浅、面积小,补充水源的途径匮乏导致水体自净能力差,再加上乡村缺乏污水处理设施和涝池后期养护等强有力的管理使得生活垃圾和污水等大量污染物质滤渗排入涝池,导致涝池水体黑臭的污染问题凸显,成为新时期实施美丽乡村战略的“绊脚石”^[3-4]。

近年来,一些学者注意到涝池污染问题并围绕涝池的设计、历史演变特征等展开了相关研究。孙晶等^[5],肖成洲等^[6],张帅^[7]研究表明,涝池水体氮磷元素的含量对于水质的影响很大,往往决定着水体功能是否满足相应的水质要求,再加上不同地理位置的污染源状况、居民生活习惯、水质现状等不同,其水体氮磷等污染物质组成及浓度都存在差异,若没有对涝池污染特征和水质现状有足够的认识,则难以采取针对性的涝池维护及富营养化水体治理措施^[8]。当前,针对河流、水库、湖泊水体污染以及城市受污染水体的水质评价已取得大量研究成果和广泛应用,但鲜有学者注意到农村生活污水的处理问题以及涝池水质状况的污染问题^[9],涉及涝池的建造形式、管护设施、水质状况方面几乎空白^[10]。由于涝池水质治理研究缺乏全面广泛的基础资料和较为成熟的治理理论,因地制宜地开展一系列卓有成效的涝池污染水体的污染现状和水质评价是极其迫切的^[11]。本研究实地走访调查了分布在陕西省咸阳市的 83 个涝池,并以调查结果为依据根据涝池的主体功能类型、平均占地面积、平均水深、平衡地理位置等从中选取 14 个涝池取样,测定了涝池水体的 pH 值、总氮、总磷、溶解氧、氨氮、硝氮等基本的水质指标,探究造成涝池水体污染的主要原因,以期对西北乡村地区的污染水体修复和水环境保护提供一定的科学依据。

1 材料与方法

1.1 调查区域概况

本研究所选 83 个涝池分布于咸阳市的武功县、礼泉县、泾阳县等 9 个县区。咸阳市位于关中地区中北部,属温带大陆性气候,地势西北高东南低呈阶梯状,四季分明,气候温和,光、热、水等资源丰富,平均气温 9~13.2 °C。境内河流均属黄河流域渭河水系,主要有渭河、泾河、沔河、漆水河等贯穿其中,构成天然水系的主要脉络,在水系连通方面发挥着重要作用。调查区域的宅院及道路基本为混凝土材质,因此降雨时雨水容易汇集,低洼地区极易形成径流,为乡村内涝的形成提供极大便利。为了拦蓄场院、道路漫流的雨水,当地居民一般将涝池建造在距离宅院或农田较近且有足够水源的低洼处。近年来,随着经济快速发展,乡村涝池水体由清到浊再到黑臭的污染问题凸显,不仅损害其景观功能,还持续恶化乡村水体生态环境质量,严重影响村民的身心健康。本研究从涝池的面积、深度、蓄水状况、主体功能等方面出发,选取分布在咸阳市各县区的 83 个涝池作为实地调查对象,涵盖了关中地区不同功能、不同结构的涝池。调查涝池共涉及 77 个村庄,涝池平均占地面积 1 605 m²,平均深度 3 m,蓄水平均深度 1.2 m,仅有 32.5% 的涝池长时间有蓄水。涝池主体功能以防洪排涝型为主,其中 62.7% 具有蓄水灌溉、生态湿地等多重主体功能。调查区域中除 35% 的涝池是土质护坡外,均采取了混凝土、浆砌石等类型的硬化处理,池底无防渗处理的占 11%,无沉砂池等净化措施的占 22%,涝池周边无绿化处理的占 18%。此外,有 86% 的涝池汇水来源为雨水或生活污水,64% 的涝池污染物来自生产生活垃圾、生活污水等。

1.2 水体采样点位布设及采集方法

本研究于 2020 年 7—8 月进行,基于对咸阳市 83 个涝池实地调查的数据,从地理位置分布、涝池功能、蓄水状况、涝池水质等多方面因素考虑从中选择 14 个涝池作为水体采样点,点样点位分布见图 1。水体取样方法参照《水质采样方案设计技术规定》HJ495-2009^[12]关于湖泊、水库监测垂线采样点布设的技术要求和方法,涝池应根据水面宽设置采样垂线数,采样垂线上的采样点数则根据具体涝池的水深而

定。前期野外调查的数据显示,走访涝池的水面宽均未超过 50 m,也未出现水深超过 5 m 的涝池,因此根据实际情况设置一条采样垂线且在水面下 0.5 m 处(水深不到 0.5 m 时在 1/2 水深处)水质分布较为均匀的点取样。在每个涝池采样点周围使用原水冲洗过的取样瓶取 3 个重复,共采集 300 ml 水样。水样采集完成后立即放入装有冰块的泡沫箱中低温保存,于 24 h 内快速运往实验室测定总氮、氨氮、硝氮等指标,以 3 个水样的指标均值代表该涝池的水质状况。

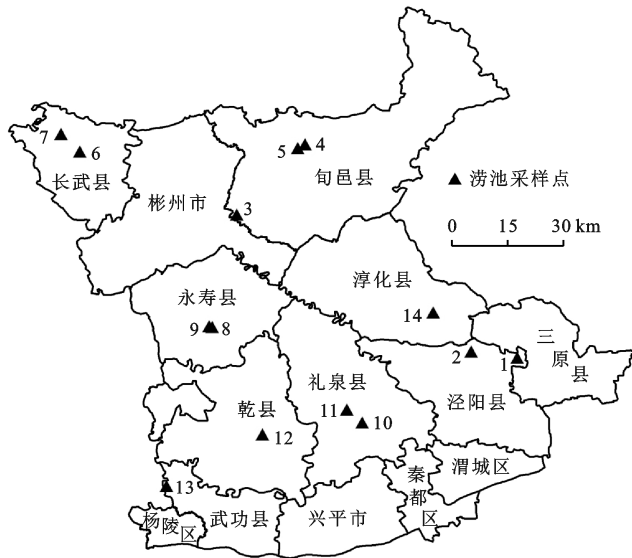


图 1 陕西省咸阳市涝池水体采样点位分布

1.3 水质指标测定与评价方法

本研究以《环境影响评价技术导则地表水环境》HJ2.3-2018^[13]规范的水质单因子标准指数法对调查区域的涝池水质评价,这种单因子评价方法可以避免由于主观意愿导致的指标权重问题。选取 pH 值、溶解氧(DO)、总氮(TN)、氨氮(NH₄⁺-N)、硝氮(NO₃⁻-N)、总磷(TP)、磷酸根(PO₄³⁻-P)共 7 项水质指标对涝池水质状况展开评价。以《地表水环境质量标准》GB3 838-2002^[14]中关于 V 类水(主要适用于农业用水区及一般景观水域)的标准作为评价水体污染物质是否超标的标准限值,其中硝酸根取 V 类水 TP 的标准值作为标准限值。水质评价因子的标准指数 $S_{i,j}$ 的计算公式为:

$$S_{i,j} = C_{i,j} / C_{s,i} \quad (1)$$

式中: $C_{i,j}$ 为水质评价因子 i 在 j 涝池的实测值; $C_{s,i}$ 为水质评价因子 i 的标准限值。 $S_{i,j} > 1$,该涝池的评价因子 j 数值高于标准限值,为污染水体, $S_{i,j}$ 值越大,水体污染程度越高; $S_{i,j} < 1$,则表明该涝池的评价因子 j 数值低于标准限值,水质良好,且 $S_{i,j}$ 值越小,则水质越好^[15]。

单一评价因子(即污染物)对涝池采集点全部污

染物的贡献率为:

$$K_{i,j} = \frac{S_{i,j}}{\sum_{i=1}^n S_{i,j}} \quad (2)$$

式中: $K_{i,j}$ 为第 i 种评价因子在第 j 个涝池全部污染物的贡献率; $S_{i,j}$ 为第 j 个涝池第 i 种评价因子的标准指数。

采用综合污染指数法^[16]对咸阳市周边涝池水质污染程度进行综合评价,计算公式为:

$$\bar{P} = \frac{1}{n} \sum_{i,j=1}^n S_{i,j} \quad (3)$$

式中: \bar{P} 表示平均污染指数; n 为参与评价的评价因子数量; $S_{i,j}$ 为第 i 种评价因子的标准指数,其中综合水质的分类标准为: $\bar{P} \leq 0.20$,清洁; $0.20 < \bar{P} \leq 0.40$,尚属清洁; $0.40 < \bar{P} \leq 0.70$,轻度污染; $0.70 < \bar{P} \leq 1.0$,中度污染; $1.0 < \bar{P} \leq 2.0$,重度污染; $2.0 < \bar{P}$,严重污染。

1.4 数据分析

运用 Excel 2019 对试验数据进行统计和计算,运用 SPSS 26 软件分析数据,运用 Origin 2021 和 ArcGIS 10.2 软件绘制图形。

2 结果与分析

2.1 涝池水体的污染物浓度特征分析

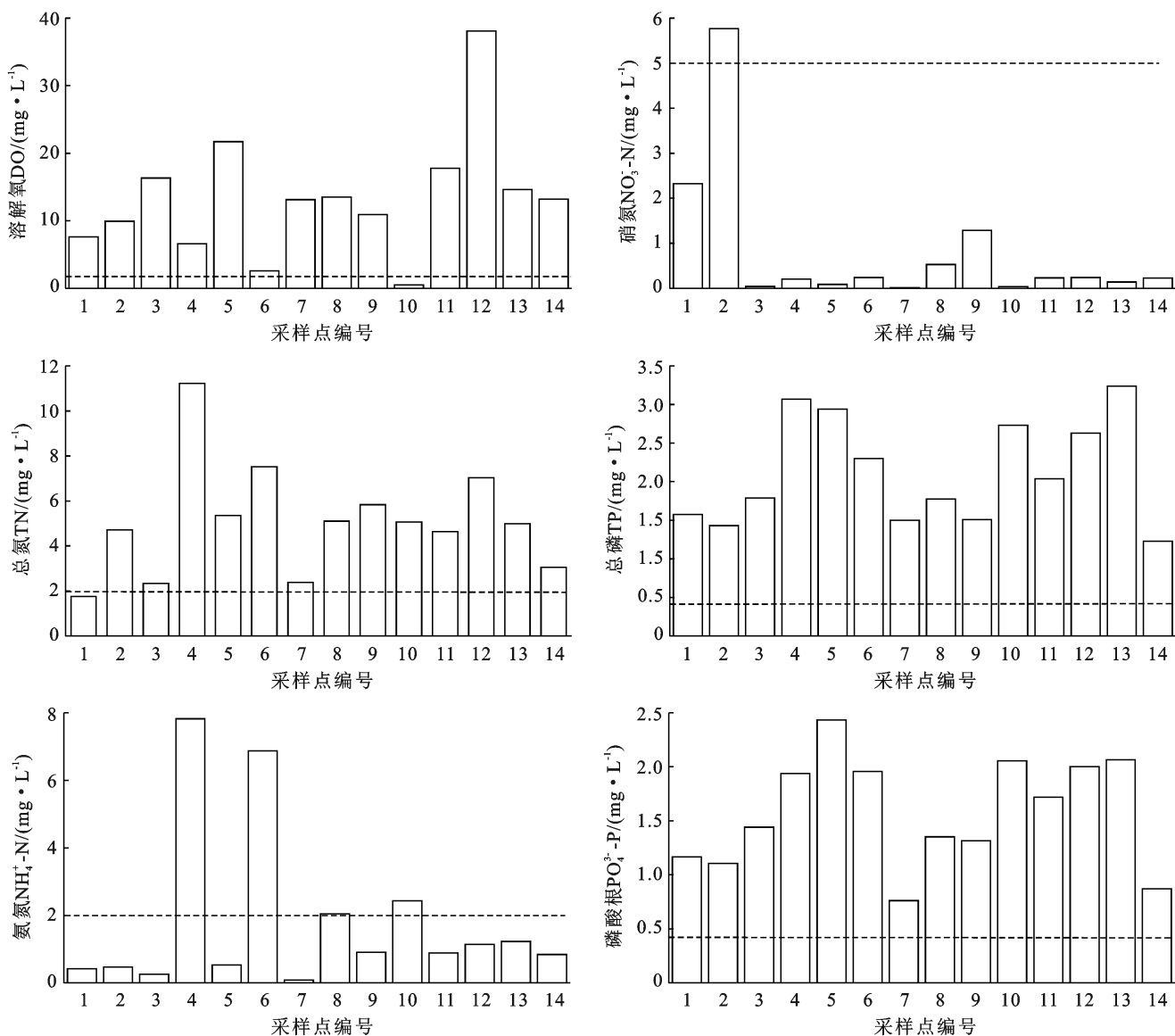
选取的 14 个采样涝池的水体污染物浓度测定的统计结果如图 2 所示。不同涝池的水质评价指标的大小存在较大差异。旬邑县早池村 1 号涝池的水体 pH 值最高,达 9.6;其次为旬邑县西头村涝池和永寿县瞿家村涝池;采样涝池的 pH 值平均值达 8.7,满足地表水环境质量标准 GB3838-2002 中规定的 V 类水 pH 值范围(6.0~9.0)。超过 43% 的涝池水体的 pH 值高于地表水 pH 值的标准限值(pH=9),水体表现出较强的碱性,这主要与当地的农田施用氮肥存在较大联系,施肥区域氮肥的流失将导致地表水体中的 NH₄⁺-N 含量增加,从而导致地表水 pH 值增高,此外,池中水生植物的光合作用对其也有一定影响^[17-18]。

就水体溶解氧 DO 浓度来说,采样涝池的 DO 含量在 0.5~38.1 mg/L 范围之内,各涝池的指标值存在较大差异,可能受涝池水温影响较大,还需进一步研究。乾县祥福村涝池水体的溶解氧含量远高于其他涝池,其浓度高达 38.1 mg/L,早池村 1 号涝池次之,为 21.7 mg/L,除礼泉县堡里村涝池的 DO 含量(0.5 mg/L)低于水质标准外,其余涝池都高于 V 类水水质标准。本研究发现各涝池 DO 浓度普遍较高,原因是涝池光热条件好且水体中 N、P 营养物质充足以至

于藻类迅速生长繁殖,水生植物光合作用强度高^[18]。

从测定结果来看,各涝池的氮磷含量超标严重,水体富营养化的典型特征显著。14 个采样涝池的平均 TN 浓度为 5.07 mg/L,有 13 个涝池(占总数 93%)的 TN 浓度高于标准限值,旬邑县旧杨村涝池氮污染最为严重,长武县罗峪涝池次之,TN 浓度分别达到 11.22 mg/L,7.52 mg/L,为标准限值的 5 倍以上。在实地调查中也发现,涝池水体或浑浊或发绿,水面漂浮有枯叶、垃圾等,观感性较差。泾阳县龙源村涝池水体的 TN 含量最低,为 1.76 mg/L,汇水来源为井水或自然降水,水体清澈。在 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 方面,旧杨村涝池的浓度仍为最高值(7.82 mg/L),罗峪涝池次之(6.87 mg/L),采样涝池的平均 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度为

1.87 mg/L,水质达标率为 91%。对涝池水体 TN 浓度和 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度进行相关性分析发现,两者相关程度极高($p < 0.001$),相关系数为 0.820。指标测定结果显示,各涝池的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 浓度差异极大,其浓度范围在 0.09~7.82 mg/L 不等,多数浓度较低,分析其原因:①采样涝池水体的平均 pH 值 > 8 ,水体氨氮作用明显;②大部分涝池水体 DO 远大于 2.0 mg/L,水体具备良好的硝化反应环境,水体中的氮元素主要以亚硝酸盐和硝酸盐的形式存在。而龙源村涝池和泾阳县天润池水体的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量呈现出显著的负相关现象,可能是因为相较于其他涝池水质良好,无明显污染源以至于碳氮比极低,几乎不发生反硝化作用^[19]。



注:①图中横虚线为Ⅴ类地表水评价因子标准限值。②横坐标数字代表不同涝池编号,其中1为泾阳县龙源村涝池;2为泾阳县天润池;3为旬邑县西头村涝池;4为旬邑县旧杨村涝池;5为旬邑县早池村1号涝池;6为长武县罗峪村涝池;7为长武县地掌村涝池;8为永寿县瞿家村涝池;9为永寿县祁家村涝池;10为礼泉县堡里村涝池;11为礼泉县肖东村涝池;12为乾县祥福村涝池;13为武功县腰子村涝池;14为淳化县秦庄村涝池。下同。

图 2 各采样点涝池水体污染物浓度测定统计结果

就水体总磷、磷酸根浓度来看,水体 TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的平均浓度分别为 2.1 mg/L 和 1.6 mg/L, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度占 TP 的 76%, 可见绝大部分磷元素以溶解性磷酸盐的形式存在于水体之中。可以明显看到, 采样涝池的 TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 浓度均远远高于 V 类水体标准 (0.4 mg/L), 武功县腰子村涝池水体的 TP 浓度高达 3.24 mg/L, 是国家标准的 8.1 倍, 最低值出现在淳化县秦庄村涝池, 为 1.23 mg/L, 达国家标准的 3.1 倍之高, 因此涝池水体 P 污染极其严重。实际调查结果显示, TN, TP 浓度较高的旧杨村涝池、早池村 1 号涝池以及腰子村涝池水体从感官上均有明显发臭、发绿和浑浊的“水华”。调查区涝池水体的 N, P 浓度均已达到藻类迅速生长繁殖的条件, 一旦水光热条件合适将导致水环境严重恶化, 威胁地下水环境和水体中水生生物的生命。

2.2 基于水质标准指数法的涝池水质评价

基于实地调查与采样涝池水体污染指标的测定结果, 由公式(1)计算得到 14 个采样涝池的水质评价指标的污染指数(表 1)。由表 1 可知, 所采样的 14 座涝池的水质均存在污染物超标的现象, TP 污染尤为严重, 其中腰子村涝池的 TP 污染指数高达 8.09。各涝池的 TP 平均污染指数达 5.31, 远大于标准值 1, 除此之外, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的污染指数也普遍显高, 各采样点平均值 3.96, 因此调查区域的涝池水体处在非常严重的 TP 污染状态。相较于 P 污染, TN 污染指数较低, 但也有 93% 的涝池处在污染状态, 其平均污染指数达 2.58, 水质指标同样超标严重。只有龙源村涝池的水质未超标, 与实地调查感官观察结果相符。就 $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 指标来说, 仅旧杨村涝池、罗峪村涝池等个别涝池水质不达标, 调查区域涝池的水质总体情况良好。

表 1 咸阳地区涝池水质测定结果及其水质指标污染指数

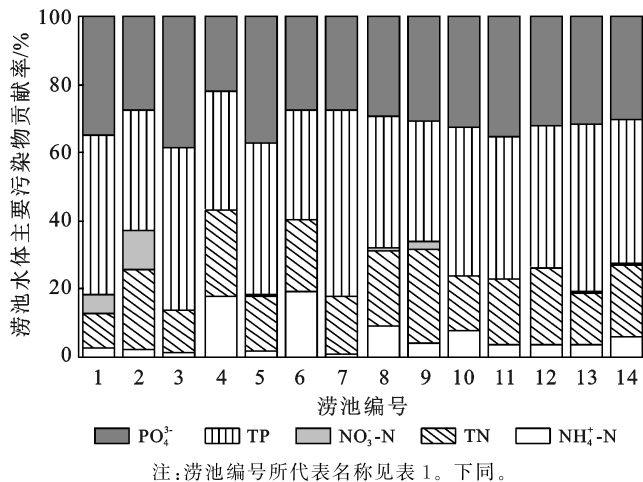
涝池名称(编号)	TN		$\text{NH}_4^+\text{-N}$		$\text{NO}_3^-\text{-N}$		TP		$\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$	
	测定值	$S_{i,j}$	测定值	$S_{i,j}$	测定值	$S_{i,j}$	测定值	$S_{i,j}$	测定值	$S_{i,j}$
龙源村涝池(1)	1.76	0.88	0.42	0.21	2.32	0.46	1.58	3.94	1.17	2.92
天润池(2)	4.71	2.35	0.47	0.24	5.77	1.15	1.43	3.58	1.11	2.77
西头村涝池(3)	2.34	1.17	0.25	0.13	0.04	0.01	1.79	4.48	1.44	3.61
旧杨村涝池(4)	11.22	5.61	7.82	3.91	0.21	0.04	3.07	7.67	1.94	4.85
早池 1 号涝池(5)	5.36	2.68	0.54	0.27	0.08	0.02	2.94	7.35	2.43	6.08
罗峪村涝池(6)	7.52	3.76	6.87	3.44	0.23	0.05	2.30	5.75	1.96	4.90
地掌村涝池(7)	2.38	1.19	0.09	0.04	0.01	0.00	1.50	3.75	0.76	1.91
瞿家村涝池(8)	5.10	2.55	2.05	1.02	0.52	0.10	1.78	4.44	1.35	3.38
祁家村涝池(9)	5.83	2.91	0.91	0.46	1.29	0.26	1.51	3.78	1.32	3.29
堡里村涝池(10)	5.07	2.54	2.43	1.21	0.03	0.01	2.73	6.83	2.06	5.14
肖东村涝池(11)	4.64	2.32	0.89	0.44	0.23	0.05	2.04	5.09	1.72	4.30
祥福村涝池(12)	7.04	3.52	1.14	0.57	0.24	0.05	2.63	6.57	2.00	5.00
腰子村涝池(13)	4.98	2.49	1.23	0.61	0.14	0.03	3.24	8.09	2.07	5.17
秦庄村涝池(14)	3.06	1.53	0.84	0.42	0.23	0.05	1.23	3.07	0.87	2.18

基于采样涝池的水质评价指标污染指数, 运用公式(2)—(3)计算得到各涝池水体主要污染物的贡献率(图 3), 得到各涝池水体平均污染指数(图 4)。由图 3—4 可以更加直观发现, TN, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 都是涝池水体污染的主要贡献因子, 其中 P 类污染尤为显著。涝池水体的各个污染物评价指标贡献率呈现出一定差异, 但总体来看 TP 均为污染贡献率最大的污染评价因子。TP 污染贡献率最大的长武县地掌村涝池指标值高达 54.4%, 现场实际观测中也发现该涝池具有明显的“水华”现象, 且池内存在部分垃圾, TP 污染贡献率最低的罗峪村涝池功指标值达 32.1%, 该涝池水体也存在发绿、存在生活垃圾的现象, 其汇水来

源同样为生活污水, 因此本研究认为 P 素污染严重与生活污水不加处理地排放存在一定关联。此外, 各涝池的 TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 污染贡献率分别在 40% 和 30% 左右浮动, TN 的平均污染贡献率达 19.3%, 位于第三位, 可见 N 类污染的程度同样不可小觑。

计算各涝池的平均污染指数发现, 涝池水体的平均污染指数 $\bar{P} = 2.58$ 。根据综合水质的分类标准水质状况 $\bar{P} > 2.0$ 已属严重污染状态, $1.0 < \bar{P} \leq 2.0$ 属重度污染状态, 由图 4 可知各取样涝池水质均处于重度污染状态或严重污染状态, 其中 71% 的涝池水质为严重污染状态。根据水质标准指数的评价结果可知, 调查区域的涝池水体总体来看无法满足农业用水

及一般景观的用水标准。个别涝池水体污染极其严重,如旧杨村涝池、罗峪村涝池、早池村 1 号涝池和腰子村涝池,已严重影响乡村涝池的水体环境质量,因此,全面推进乡村涝池水体修复工作、改善乡村人居环境迫在眉睫。



注:涝池编号所代表名称见表 1。下同。

图 3 各采样点涝池水体污染物

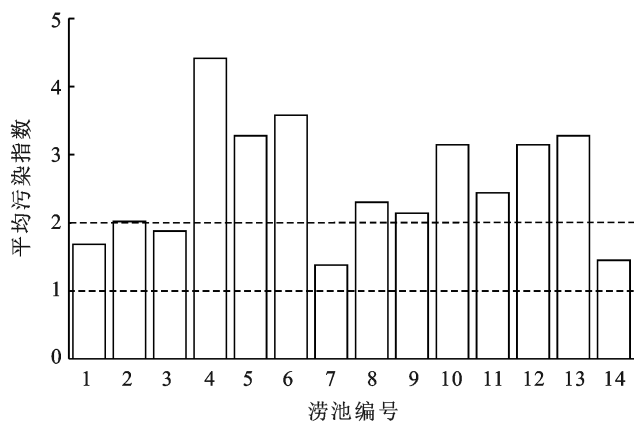


图 4 各采样点涝池水体平均污染指数

3 讨论

3.1 水体污染特征分析

野外走访调查中发现,调查区域的涝池均建有护坡,形式不一,以连锁砖、卵石、浆砌石护坡为主,土质护坡次之,多数涝池采用卵石与植树种草相结合的方式。89%的涝池池底设有防渗措施,78%的涝池具有沉砂池、格栅等拦污净化设施,63%的涝池管护状况良好。调查区域涝池基本都建造在农田或乡村居民住宅附近,涝池汇水下垫面为硬化道路,根据调查数据显示,86%的水体主要为降雨径流和居民生产生活污水汇入,且走访观察发现 64%的涝池污染物来源为生活垃圾和生活污水。

各涝池水体的氮磷营养盐浓度处于较高水平,但

相较于苏媛等^[8]对于关中地区涝池的水质分析结果,涝池水质的好转趋势显著。试验数据显示,其 TN, TP 平均污染贡献率分别高达 19.3% 和 42.1%,可能是因为涝池水位浅、面积小补水来源单一等因素导致涝池水体自净能力低,再加上外源污染物的侵入和管护缺失使得水体氮磷元素超标,这与刘韵琴^[20]的研究结果一致。结合走访调查结果,本研究认为乡村涝池水体的氮磷污染程度严重也源自化肥和农药过量使用导致的农业面源污染,如过量施用氮肥和磷肥等化肥物质造成水体富营养化。此外,乡村住宅区域存在一定数量散养的鸡、鸭等家禽,其粪便会在降雨时随地表径流冲刷进入水体。或因居民零散随意排放的生活污水沿街道、水沟漫流,或因涝池的进水口被生活垃圾等堵塞填埋,或因污水处理系统和排水管网不够完善,致使雨水冲刷大量的污染物质滤渗入涝池水体,造成了严重的面源污染^[10],在农田灌溉和雨季时节道路产生径流时尤为显著。另外,各涝池水体的氮磷污染严重可能与水体 pH 值偏高有关,许佟等^[21]研究发现,pH 值较高会促进沉积物中氮磷物质释放。

3.2 水质特征分析

采用水质标准指数法和综合污染指数法对涝池水体指标测定结果计算得知,乡村涝池水质普遍较差,均未达到《地表水环境质量标准》(GB3838-2002)中的 V 类水标准,水体富营养化程度较高。试验数据显示,TP, TN 是调查区域涝池水体的主要污染因子,与村庄农业灌溉方式和农业化肥的不当使用造成的面源污染以及居民生活污水排放有较大关联。除 TN, TP, PO₄³⁻-P 污染较为严重外, NH₄⁺-N, NO₃⁻-N 浓度超标的涝池仅有 4 座和 1 座,整体状况良好。从水体平均污染指数来看,水质属于严重污染状态的涝池有 9 座,重度污染 5 座,不同涝池的平均污染指数存在较大差异,其主要原因是汇水来源、污染物来源、蓄水量及管护情况不同所致。调查涝池中,旧杨村涝池和罗峪村涝池的平均污染指数明显较高,龙源村涝池、地掌村涝池和秦庄村涝池的平均污染指数相对较小。也有学者研究表明^[22-23],浅水湖泊水体更易富营养化,调查区域涝池水位在 0.5~2.5 m,属浅水型湖泊,受温度、pH 值、DO、微生物、水动力扰动等因素影响,致使池底沉积物中大量的营养物质释放和悬浮造成水体营养化严重。此外,水体 P 类污染程度极为显著使得水体浮游生物量增加,加上水中存在垃圾、枯叶等漂浮物造成水体透明度下降,感官水平不高,也是导致该地区涝池水质评价结果较差的主要因素。针对 P 素污染严重问题,应注意减少生活污水等污染来

源汇入水体,在涝池整治工程中可对当地居民进行教育引导,普及宣传水环境污染危害和生活污水如何排放等知识,如控制含磷洗衣粉等生活用品的使用,试行村干部责任制。在涝池修复整治过程中还需注意对池底防渗形式和质量把关,否则涝池营养化水体可能会对地下水水体质量产生影响,威胁乡村居民的用水安全。

4 结论

(1) 涝池水体感官现状与其净化设施、污染来源、汇水来源以及管护水平有一定关联,但与其护坡形式、防渗形式和材料相关性不明显,致使涝池水体氮磷污染严重,与涝池水体自净能力低,化肥和农药过量使用导致的农业面源污染,以及居民生活污水随意排放有关。

(2) 涝池水体 pH 值在 7.3~9.6 之间,偏碱性; DO 浓度在 V 类地表水标准下饱和, TN, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 平均浓度高达 5.07, 2.13, 1.58 mg/L; $\text{NH}_4^+\text{-N}$, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 指标污染程度较磷类物质明显偏轻,基本达到劣 V 类水质的农业和一般景观水体要求。

(3) 各涝池 TN, TP, $\text{PO}_4^{3-}\text{-P}$ 的平均污染指数达 2.54, 5.31, 3.96, 64% 的涝池水质为严重污染状态,无法满足农业用水及一般景观的用水标准,其中,磷类营养盐是水体污染的主要因子,贡献率达 74.8%。

[参 考 文 献]

- [1] 耿乃立.北方干旱区恢复完善农村涝池一举多得[J].中国水利,2017(14):40-42.
- [2] 贾劝宝.陇东的“渗坑”与“涝池”[J].水利天地,2010(2):28-29.
- [3] 孙慧波,赵霞.中国农村人居环境质量评价及差异化治理策略[J].西安交通大学学报(社会科学版),2019,39(5):105-113.
- [4] 于法稳,郝信波.农村人居环境整治的研究现状及展望[J].生态经济,2019,35(10):166-170.
- [5] 孙晶,肖程洲,柳宁,等.关中涝池底泥释放污染物分析[J].科学技术创新,2019(7):43-44.
- [6] 肖程洲,孙晶,柳宁,等.6种植物对关中涝池水体氨氮的吸收对比分析[J].科学技术创新,2019(9):36-37.
- [7] 张帅.关中地区涝池水质评价及其水体治理研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2021.
- [8] 苏媛,高小宝,张锐,等.关中地区农村典型涝池水体污染物特征及其水质现状调查与分析[J].水土保持通报,2020,40(1):256-261.
- [9] 谢林花,吴德礼,张亚雷.中国农村生活污水处理技术现状分析及评价[J].生态与农村环境学报,2018,34(10):865-870.
- [10] 杨雲舒.长武县人工湿地—涝池的演变特征研究[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2015.
- [11] Zhou Yun, Wang Linlin, Zhou Yanyan, et al. Eutrophication control strategies for highly anthropogenic influenced coastal waters [J]. Science of the Total Environment, 2020,705:135760.
- [12] 中华人民共和国环境保护部.HJ495—2009 水质采样方案设计技术规定[S].北京:中国环境科学出版社,2010.
- [13] 中华人民共和国生态环境部.HJ2.3—2018 环境影响评价技术导则:地表水环境[S].北京:中国环境科学出版社,2019.
- [14] 国家环境保护总局,国家质量监督检验检疫总局.GB3838—2002 地表水环境质量标准[S].北京:中国环境科学出版社,2002.
- [15] 吴江涛.延河流域水污染现状评价及管理建议[D].陕西杨凌:西北农林科技大学,2018.
- [16] 伍鹏,舒倩,罗小芳,等.湘西古丈烂泥田锰矿区地表水污染特征及风险评价[J].水土保持通报,2019,39(3):70-74.
- [17] 刘旭艳,张心昱,袁国富,等.近 10 年中国典型农田生态系统水体 pH 和矿化度变化特征[J].环境化学,2019,38(6):1214-1222.
- [18] 沈青.地表水中藻类代谢对 pH 和含氧量影响分析[J].环境科学与技术,2011,34(S2):261-262.
- [19] 夏星辉,杨腾,杨萌,等.中国江河氧化亚氮的排放及其影响因素[J].环境科学学报,2020,40(8):2679-2689.
- [20] 刘韵琴.再生水补给的城市景观水体富营养化和生态防治[J].中南林业科技大学学报(社会科学版),2013,7(3):30-35.
- [21] 许佟,高凡,郭家选,等.环境因子对沉积物氮磷释放潜力的模拟研究[J].北京农学院学报,2020,35(4):115-120.
- [22] Lu Jing, Bunn S E, Burford M A. Nutrient release and uptake by littoral macrophytes during water level fluctuations [J]. Science of the Total Environment, 2018, 622/623:29-40.
- [23] 秦伯强,高光,朱广伟,等.湖泊富营养化及其生态系统响应[J].科学通报,2013,58(10):855-864.