

DOI: 10. 20040/j. cnki. 1000-7709. 2023. 20220607

西安市渭河支流最小水质指数优选

徐新涵¹, 连炎清², 李晓科¹, 方焱¹, 王喆¹

(1. 西安地球环境创新研究院, 陕西 西安 710061; 2. 河海大学长江保护与绿色发展研究院, 江苏 南京 210098)

摘要: 分析影响渭河支流泾河、灞河、沔河和皂河水系的关键水质指标, 进而确定最小水质指数($W_{WQI_{min}}$), 对简化水质评价意义重大。为此, 在泾河、灞河、沔河和皂河4条河流共设30个采样点, 于2019年4、8、12月分别进行采样, 结合室内试验和数理统计的方法对泾河、灞河、沔河、皂河的15个水质指标进行分析, 发现沔河DO含量最高, 皂河和泾河交汇后的灞河段的EC、亚硝氮含量相比其他河流较高。此外, 基于15个水质指标应用水质指数(W_{WQI})对泾灞沔皂河水质的时空变化进行评价, 发现水质总体达中等以上水平($W_{WQI} \geq 51$), 4条河流中沔河水质更好, 而2019年春季的水质相比另外两个时期更好。同时, 应用逐步多元线性回归分析法和经验法确定出了最佳的最小水质指数($W_{WQI_{min}}$), 该 $W_{WQI_{min}}$ 包含DO、氨氮、 COD_{Mn} 、浊度、硝氮、 SO_4^{2-} 、EC共7个水质指标, 与基于15个水质指标得出的 W_{WQI} 相比的相对误差 P_{PE} 仅为4.78%, 确定性系数 R^2 则达到了0.95, 均方根误差 R_{RMSE} 仅为3.99。最后, 将 W_{WQI} 与最佳 $W_{WQI_{min}}$ 在泾河、灞河、沔河、皂河进行时空对比发现二者在时空分布上具有一致性。可见选出的最佳 $W_{WQI_{min}}$ 可较好地替代 W_{WQI} 对泾河、灞河、沔河、皂河附近流域进行省时、低成本、高效的水质评价。

关键词: 渭河支流; 水质指标; 水质指数(W_{WQI}); 最小水质指数($W_{WQI_{min}}$)

中图分类号: TV882.8; X824

文献标志码: A

文章编号: 1000-7709(2023)01-0063-05

1 引言

河流水质评价对明确水质状况、分析水质成因, 进而进行水质管理具有重要意义。水质指数法(W_{WQI})是用于水质综合评价的方法, 其值位于0~100, 其值越高表明水质越好^[1]。由于该方法公式简单、标准统一、易于推广, 因此 W_{WQI} 被广泛应用于河流、湖泊、地下水等水质评价和研究中^[2-3]。但由于通过 W_{WQI} 评价水质时一般需9~24个水质指标, 试验工作量大且成本高。对此, 选出影响综合水质的关键水质指标, 用关键水质指标得到的 $W_{WQI_{min}}$ 代替 W_{WQI} 进行水质评价则具有高效、低成本的优势。目前获取 $W_{WQI_{min}}$ 的方法主要有主成分分析、相关性分析、线性回归和经验法等^[3,4]。而 $W_{WQI_{min}}$ 在评价城市生活对水质的影响趋势^[1]、水产养殖对河流水质的影响^[5]及代替 W_{WQI} 综合评价水质中^[6]得到了一定的应用

和推广。泾河、灞河、沔河和皂河均发源于秦岭, 属渭河支流。这4条河流均位于西安市境内, 其水环境对城市的发展极其重要。但总体来看目前针对泾河、灞河、沔河、皂河流域综合水质的分析较少。对此, 本文应用 W_{WQI} 分析了西安泾河、灞河、沔河、皂河水质时空变化, 并基于统计分析和经验法得到了影响水质的关键指标, 进而确定出 $W_{WQI_{min}}$, 以期代替 W_{WQI} 实现高效、低成本的综合水质评价, 取得了较好的效果。

2 材料与方法

2.1 采样方案

在泾河、灞河、沔河和皂河4条支流上从上游到下游共选取30个采样点, 近似均匀分布, 采样点分布见图1。采样时间为2019年4、8、12月, 共计3次, 共监测15个水质指标, 分别为水温、pH值、DO、EC、浊度、氨氮、亚硝氮、硝氮、总磷、

收稿日期: 2022-03-29, **修回日期:** 2022-04-20

基金项目: 国家重点研发计划(2021YFC3201103); 中国科学院“西部之光”人才培养引进计划资助项目(2018); 陕西省重点研发计划项目(S2020-YF-GHZD-0061)

作者简介: 徐新涵(1994-), 女, 硕士研究生, 研究方向为水环境, E-mail: xuxinhan0720@163.com

通讯作者: 连炎清(1963-), 男, 博士、研究员, 研究方向为水文, E-mail: lianyq@ieecas.cn

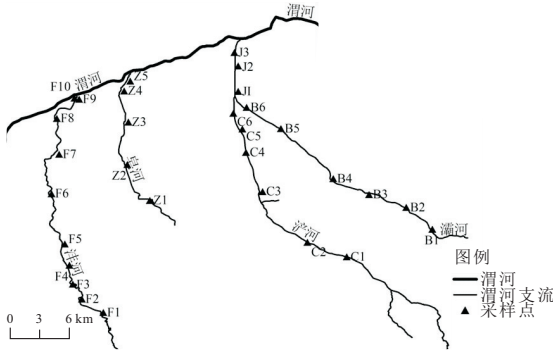


图 1 泾河、灞河、沔河、皂河采样点分布图

Fig. 1 Sampling points distribution map of the Chanhe, Bahe, Fenghe and Zaohe Rivers

硬度、 COD_{Mn} 、 SO_4^{2-} 、 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 、 Cl^- 。此外,于 2020 年 8 月在泾河、灞河进行了水质采样,用以验证 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 与 W_{WQI} 的相关性。每次采样时在现场用 YSI 多参数水质分析仪测定水体的水温、DO、浊度、EC、pH 值等基础指标,并用 3 个 250 mL 塑料瓶采水,分别用于在室内测定水样的硬度、 COD_{Mn} 、氮磷指标,用于测定 COD_{Mn} 、氮磷相关指标的水样需在现场分别加浓硫酸和浓硝酸调节至水样的 pH 值 ≤ 2 ;此外,用 1 L 塑料瓶采水,用于在室内测定水样的八大离子。采集完水样的塑料瓶放在装有冰袋的泡沫箱里储存,运回实验室放入冰箱冷藏,并在 1~2 周内尽快送样测定。

2.2 研究方法

2.2.1 水质指数法

应用水质指数法 (W_{WQI}) 综合评价渭河支流泾河、灞河、沔河和皂河水质情况, W_{WQI} 计算公式为:

表 1 各水质指标的相对比重 (P_i) 和标准因子值 (C_i)

Tab. 1 Relative specific gravity (P_i) and standard factor value (C_i) of each water quality indicator

水质指标	P_i	标准因子 (C_i)										
		100	90	80	70	60	50	40	30	20	10	0
水温	1	21/16	22/15	24/14	26/12	28/10	30/5	32/0	36/-2	40/-4	45/-6	>45/<-6
pH	1	7	7-8	7-8.5	7-9	6.5-7	6-9.5	5-10	4-11	3-12	2-13	1-14
EC	1	<750	<1 000	<1 250	<1 500	<2 000	<2 500	<3 000	<5 000	<8 000	$\leq 12 000$	>12 000
DO	4	≥ 7.5	>7.0	>6.5	>6.0	>5.0	>4.0	>3.5	>3.0	>2.0	≥ 1.0	<1.0
COD_{Mn}	3	<5	<10	<20	<30	<40	<50	<60	<80	<100	≤ 150	>150
BOD_5	3	<0.5	<2	<3	<4	<5	<6	<8	<10	<12	≤ 15	>15
浊度	2	<5	<10	<15	<20	<25	<30	<40	<60	<80	≤ 100	>100
氨氮	3	<0.01	<0.05	<0.10	<0.20	<0.30	<0.40	<0.50	<0.75	<1.00	≤ 1.25	>1.25
硬度	1	<25	<100	<200	<300	<400	<500	<600	<800	<1 000	$\leq 1 500$	>1 500
Ca^{2+}	1	<10	<50	<100	<150	<200	<300	<400	<500	<600	$\leq 1 000$	>1 000
Cl^-	1	<25	<50	<100	<150	<200	<300	<500	<700	<1 000	$\leq 1 500$	>1 500
SO_4^{2-}	2	<25	<50	<75	<100	<150	<250	<400	<600	<1 000	$\leq 1 500$	>1 500
Mg^{2+}	1	<10	<25	<50	<75	<100	<150	<200	<250	<300	≤ 500	<500
硝氮	2	<0.5	<2.0	<4.0	<6.0	<8.0	<10.0	<15.0	<20.0	<50.0	≤ 100.0	>100.0
亚硝氮	2	<0.005	<0.01	<0.03	<0.05	<0.10	<0.15	<0.20	<0.25	<0.50	≤ 1.00	>1.00
总磷	1	<0.2	<1.60	<3.20	<6.40	<9.60	<16.0	<32.0	<64.0	<96.0	≤ 160.0	>160.0
TDS	2	<100	<500	<750	<1 000	<1 500	<2 000	<3 000	<5 000	<10 000	$\leq 20 000$	>20 000

$$W_{\text{WQI}} = \sum_{i=1}^n C_i P_i / \sum_{i=1}^n P_i \quad (1)$$

式中, C_i 为各水质指标的标准因子值; P_i 为各水质指标的权重; n 为指标个数。

各计算参数见表 1^[1,4,7]。 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 的计算公式与 W_{WQI} 一致, 只不过采用的水质指标是根据多元线性回归与经验法选出来的部分水质指标。 W_{WQI} 分值的评价标准为在 91~100 为水质优秀, 71~90 为良好, 51~70 为中等, 26~50 为差, 0~25 为极差^[8]。 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 的评价指标有相对误差 P_{PE} 、均方根误差 R_{RMSE} 、 ΔW_{WQI} 、 ΔW_{WQI} 为 W_{WQI} 与 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 的差值, P_{PE} 、 R_{RMSE} 的计算公式分别为:

$$P_{\text{PE}} = \sum \left| \frac{W_{\text{WQI}_{\text{min}}}}{W_{\text{WQI}}} - 1 \right| \times 100/n \quad (2)$$

$$R_{\text{RSME}} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (W_{\text{WQI}} - W_{\text{WQI}_{\text{min}}})^2} \quad (3)$$

式中, $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 为用选出的部分指标计算的水质指数; n 为不同时期采样点个数。

2.2.2 SPSS 统计与分析

应用 SPSS 软件对水质指标数据进行统计分析, 基于逐步多元线性回归分析方法筛选出对 W_{WQI} 影响显著的水质指标, 作为 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 的计算变量。为避免受到各指标单位不同的影响, 且使数据满足正态分布和方差齐性检验, 本文将水质指标数据 x_i 转换成 $\lg(x_i + 1)$ 后进行回归分析, 该变换保证转换后的值为正数, 且缩小数据间绝对差异; 基于单因素方差分析—邓肯检验进行了水质指数时空分布差异性比较(表 1)。

3 结果与分析

3.1 水质指标数据统计分析

表 2 为 2019 年在泾河、灞河、沣河和皂河监测的 15 个水质指标的平均值与标准差。由表 2 可知,泾河交汇后灞河段河流的 EC、浊度、氨氮、亚硝氮的含量相比其他河流更高,平均值分别为 697.3 $\mu\text{s}/\text{cm}$ 、27.1 NTU、1.2 mg/L 、0.2 mg/L 。

表 2 各水质指标在泾河、灞河、沣河、皂河的平均值和标准差分布

Tab. 2 Mean and standard deviation of each water quality indicator in Chanhe, Bahe, Fenghe, and Zaohe Rivers

水质指标	泾河	灞河		沣河	皂河
		泾河交汇前	泾河交汇后		
水温/ $^{\circ}\text{C}$	18.5 \pm 10.9	18.6 \pm 9.1	19.7 \pm 8.5	19.4 \pm 9.0	22.9 \pm 6.5
pH	8.3 \pm 0.3b	8.3 \pm 0.2b	8.0 \pm 0.2ab	8.1 \pm 0.6b	7.7 \pm 0.4a
DO/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	6.1 \pm 2.7ab	5.0 \pm 1.5a	5.3 \pm 3.2a	7.9 \pm 2.7b	5.4 \pm 1.8a
EC/ $(\mu\text{s}\cdot\text{cm}^{-1})$	453.9 \pm 90.8a	444.1 \pm 86.2a	697.3 \pm 121.1b	424.8 \pm 244.7a	667.1 \pm 206.3b
浊度/NTU	12.8 \pm 8a	14.3 \pm 8.3a	27.1 \pm 12.8b	12.6 \pm 8.3a	7.4 \pm 8.2a
氨氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.8 \pm 0.5ab	0.4 \pm 0.4a	1.2 \pm 0.4b	0.5 \pm 1.2a	0.5 \pm 0.3a
亚硝氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.1 \pm 0.1ab	0.1 \pm 0.1a	0.2 \pm 0.1c	0.1 \pm 0.1a	0.2 \pm 0.1bc
硝氮/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	4.5 \pm 1.6	4.9 \pm 1.2	5.1 \pm 1.2	5.1 \pm 2.8	6.0 \pm 1.5
总磷/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	0.2 \pm 0.2	0.2 \pm 0.2	0.1 \pm 0.1	0.1 \pm 0.1	0.2 \pm 0.1
硬度/ $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	181.5 \pm 52.7ab	183.6 \pm 34.8ab	163.3 \pm 47.8a	166.3 \pm 61.9ab	207.3 \pm 37.3b
COD _{Mn} / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	4.7 \pm 1.5	5.4 \pm 4.1	6.3 \pm 2.6	4.5 \pm 1.5	5.8 \pm 0.8
SO ₄ ²⁻ / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	107.0 \pm 11.7a	132.0 \pm 29.8a	149.0 \pm 51.8a	214.2 \pm 85.8b	202.0 \pm 102.0b
Ca ²⁺ / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	69.2 \pm 15.0	76.1 \pm 14.2	70.2 \pm 8.8	64.8 \pm 23.3	74.3 \pm 12.9
Mg ²⁺ / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	14.0 \pm 3.0a	14.8 \pm 4.7ab	16.7 \pm 6.3ab	22.2 \pm 14.0bc	24.5 \pm 10.7c
Cl ⁻ / $(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	23.8 \pm 13.8a	23.1 \pm 14.0a	19.6 \pm 8.2a	54.1 \pm 51.9b	68.9 \pm 52.7b

注:a、b、c 为同一指标下不同河流的值存在显著差异性,字母越大,表征数值越大。

3.2 水质指数 W_{WQI} 的时空变化

图 2 为 2019 年不同时期及年均水质指数 W_{WQI} 在泾河、灞河、沣河、皂河的空间分布。由图 2 可知,2019 年泾河、灞河、沣河、皂河 W_{WQI} 变化范围为 53.1~87.3,平均值为 71.3,水质总体达中等以上水平($W_{\text{WQI}} \geq 51$),水质达良好以上($W_{\text{WQI}} \geq 71$)占比约为 47%。2019 年 4 月水质总

体情况要优于 8、12 月。已知 2019 年西安市区年均降水量为 593.0 mm,属于平水年,月降水量最大值分布在 9 月,为 163.7 mm,而 8 月降水量较低,且夏季受人类活动影响大,导致 8 月的河流污染明显。比较 2019 年不同河流 W_{WQI} 的年均值,发现沣河的水质指数平均值达到 75.6,水质状况相比其他 3 条河流更好一些;此外,泾河交汇前的灞河段水质普遍好于泾河交汇后的灞河段水质,可能是交汇后位于下游受人为活动影响大,且观察发现交汇后有一个生活污水排污口,存在点源污染,从而水质会相对差一些,这也与孙佳乐^[9]结论一致。分季节来看,2019 年 4 月,沣河、皂河的 W_{WQI} 平均值分别为 77.5、77.1,水质要好于泾河(72.7)、灞河(72.1);2019 年 8 月,沣河的综合水质状况要明显好于其他 3 条河流,其 W_{WQI} 平均值为 73.8;2019 年 12 月,皂河的综合水质相比其他 3 条河流更差一些,其 W_{WQI} 平均值仅为 65.0。

3.3 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 的确定

在评价 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 时则采用所有数据。此外根据经验对部分重要水质指标进行随机组合确定 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 。依照 P_{PE} 、 R^2 ,综合选定出 5 个 $W_{\text{WQI}_{\text{min}}}$ 模型进行进一步比较,具体结果见表 3,并用

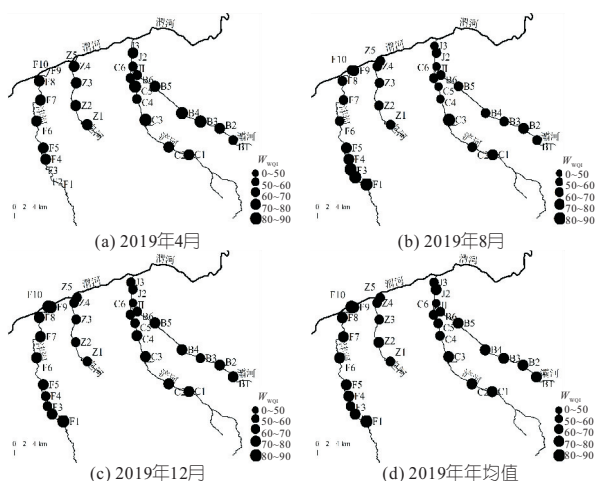


图 2 泾河、灞河、沣河、皂河不同季节 W_{WQI} 的空间分布
Fig. 2 Spatial distribution of W_{WQI} in different seasons of Chanhe, Bahe, Fenghe and Zaohe Rivers

表 3 依据评价指标 R^2, P_{PE} 选出的 5 个 $W_{WQI_{min}}$ 模型

Tab. 3 Five $W_{WQI_{min}}$ models selected according to the evaluation indexes R^2 and P_{PE}

$W_{WQI_{min}}$	包含参数	R^2	P	$P_{PE}/\%$
$W_{WQI_{min1}}$	DO, 氨氮, COD_{Mn} , 浊度, 亚硝氮, EC	0.91	<0.001	7.03
$W_{WQI_{min2}}$	DO, 氨氮, COD_{Mn} , 浊度, SO_4^{2-} , EC	0.90	<0.001	5.93
$W_{WQI_{min3}}$	DO, 氨氮, COD_{Mn} , 浊度, 亚硝氮, SO_4^{2-} , EC	0.93	<0.001	6.95
$W_{WQI_{min4}}$	DO, 氨氮, COD_{Mn} , 浊度, 硝氮, SO_4^{2-} , EC	0.90	<0.001	4.69
$W_{WQI_{min5}}$	DO, 氨氮, COD_{Mn} , 浊度, 亚硝氮, 硝氮, SO_4^{2-} , EC	0.93	<0.001	6.12

ΔW_{WQI} 对表 3 中选出的 5 个 $W_{WQI_{min}}$ 模型进行评价, 具体结果见图 3。

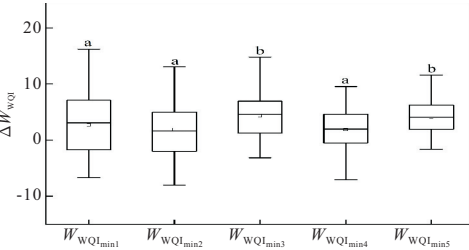


图 3 不同 $W_{WQI_{min}}$ 和 W_{WQI} 水质指数差值的分布
Fig. 3 Distribution of difference values of different $W_{WQI_{min}}$ and W_{WQI}

图 3 中, $W_{WQI_{min1}} \sim W_{WQI_{min5}}$ 分别表示 W_{WQI} 与选出的 5 个 $W_{WQI_{min}}$ 的差值分布。由图 3 可知, 第 1、2、4 个 $W_{WQI_{min}}$ 模型的 ΔW_{WQI} 无显著差异, 但显著小于第 3、5 个 $W_{WQI_{min}}$ 模型的 ΔW_{WQI} 。为进一步比较第 1、2、4 个 $W_{WQI_{min}}$ 模型与 W_{WQI} 的相关性, 图 4(a)~(c) 给出了基于 2019 年数据的 W_{WQI} 分别与 $W_{WQI_{min1}}$ 、 $W_{WQI_{min2}}$ 、 $W_{WQI_{min4}}$ 的线性相关图。由图 4(a)~(c) 可知, $W_{WQI_{min1}}$ 的线性相关性最高, R^2 达到了 0.97, 但 $W_{WQI_{min4}}$ 的 P_{PE} 、

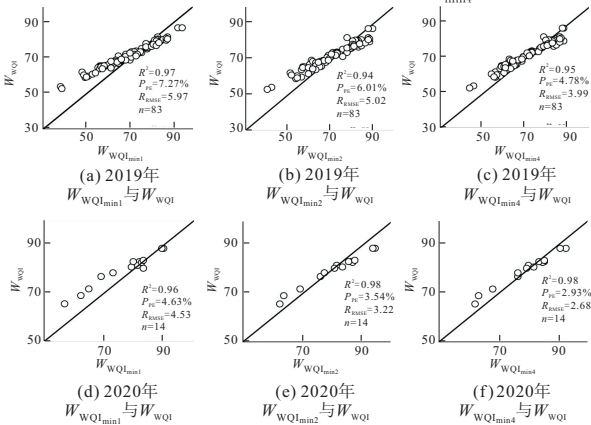


图 4 基于 2019、2020 年数据的 W_{WQI} 与 $W_{WQI_{min1}}$, $W_{WQI_{min2}}$, $W_{WQI_{min4}}$ 的线性相关图
Fig. 4 Linear correlation diagrams of W_{WQI} with $W_{WQI_{min1}}$, $W_{WQI_{min2}}$ and $W_{WQI_{min4}}$ based on 2019 and 2020 data

R_{RMSE} 值最小, 分别为 4.78%、3.99。此外, 用 2020 年 8 月份汾河、灞河的水质数据进行了验证, 结果见图 4(d)~(f)。由图 4(d)~(f) 可知, 3 个模型与 W_{WQI} 的相关性均很高, 其中 $W_{WQI_{min4}}$ 的 P_{PE} 、 R_{RMSE} 值仍最小, 分别为 2.93%、2.68。因此, 本文初步选取 $W_{WQI_{min4}}$ 作为最佳 $W_{WQI_{min}}$ 模型, 该模型包含的水质指标有 DO、氨氮、 COD_{Mn} 、浊度、硝氮、 SO_4^{2-} 、EC。

3.4 $W_{WQI_{min}}$ 的适用性分析

WU Z S 等^[2,3] 发现影响巢湖和太湖水质的关键水质指标为氨氮、 COD_{Mn} 、硝氮、DO、浊度; PESCE S F^[1] 评价城市水质的 $W_{WQI_{min}}$ 包含 DO、EC、浊度 3 个水质指标; KOCER M 等^[5] 发现河流关键水质指标为氨氮 (NH_4^+-N) 和 TON; WU T 等^[6] 发现影响异龙湖水质的主要水质指标为 DO、 COD_{Mn} 、EC、TN、Hg、Chla。可见 DO、 COD_{Mn} 、浊度及含氮指标对不同河流、湖泊综合水质的影响均起着较为关键的作用。

为进一步评价选出的最佳 $W_{WQI_{min}}$ ($W_{WQI_{min4}}$) 的适用性, 现从时间角度和空间角度分别对最佳 $W_{WQI_{min}}$ 与 W_{WQI} 进行了对比分析, 结果见图 5。由图 5(a)、(b) 可知, W_{WQI} 、 $W_{WQI_{min4}}$ 对区分时间尺度上水质的差异性具有一致性, 均表现为 2019 年 8 月的水质指数低于其他时期。由图 5(c)、(d) 可知, W_{WQI} 、 $W_{WQI_{min4}}$ 在空间分布上则完全一致, 均表现为沔河水质整体明显优于其他 3 条河流, 灞河、皂河的水质则稍差一些。综上所述, 最佳 $W_{WQI_{min}}$ 与 W_{WQI} 在评价汾河、灞河、沔河、皂河水质的时

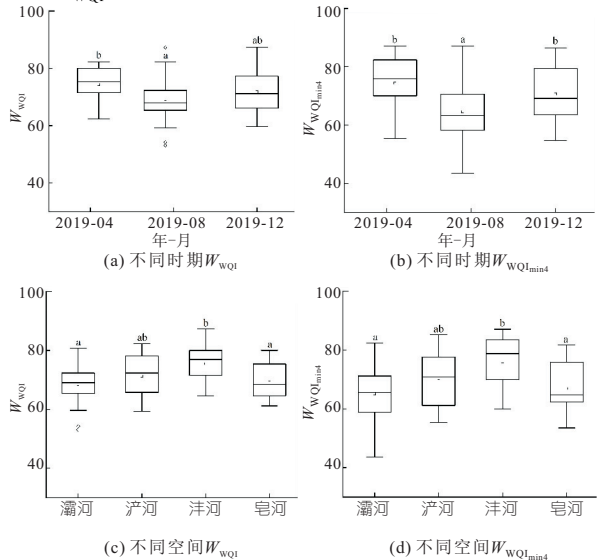


图 5 不同时期、空间下 W_{WQI} 与 $W_{WQI_{min4}}$ 的水质指数箱型分布图
Fig. 5 Box diagrams of W_{WQI} and $W_{WQI_{min4}}$ in temporal and spatial distribution

Fig. 5 Box diagrams of W_{WQI} and $W_{WQI_{min4}}$ in temporal and spatial distribution

空分布上表现出一致规律,可认为最佳 $W_{W_{QI_{min}}}$ 能够较好地代表 $W_{W_{QI}}$ 对西安泾河、灞河、沔河、皂河流域进行水质评价。

4 结论

本文优选的最佳 $W_{W_{QI_{min}}}$ 模型包含 DO、氨氮、COD_{Mn}、浊度、硝氮、SO₄²⁻、EC 共 7 个水质指标,能较好地代替 $W_{W_{QI}}$ 对西安泾河、灞河、沔河、皂河附近流域进行水质评价,该模型不仅大幅减少了试验工作量,且提高了水质综合评价效率。

参考文献:

- [1] PESCE S F, WUNDERLIN D A. Use of water quality indices to verify the impact of Córdoba city (Argentina) on Suquia River[J]. *Water research*, 2000, 34(11):2915-2926.
- [2] WU Z S, WANG X L, CHEN Y W, et al. Assessing river water quality using water quality index in Lake Taihu Basin, China[J]. *Science of the total environment*, 2018, 612:914-922.
- [3] WU Z S, LAI X J, LI K Y. Water quality assess-

ment of rivers in lake Chaohu Basin (China) using water quality index[J]. *Ecological indicators*, 2021, 121:107021.

- [4] PATRICK D, RICARDO F, ROBERTO U, et al. Evaluation of water quality in the Chillán River (Central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index [J]. *Environmental monitoring and assessment*, 2005, 110:301-322.
- [5] KOÇER M, SEVGILI H. Parameters selection for water quality index in the assessment of the environmental impacts of land-based Trout Farms[J]. *Ecological indicators*, 2014, 36:672-681.
- [6] WU T, WANG S R, SU B L, et al. Understanding the water quality change of the Yilong Lake based on comprehensive assessment methods[J]. *Ecological indicators*, 2021, 126(15):107714.
- [7] KANEL P R, LEE S, LEE Y S, et al. Application of water quality indices and dissolved oxygen as indicators for river water classification and urban impact assessment[J]. *Environmental monitoring and assessment*, 2007, 132:93-110.
- [8] JONNALAGADDS B, MHERE G. Water quality of the Odzi river in the eastern highlands of Zimbabwe [J]. *Water research*, 2001, 35(10):2371-2376.

Identifying Optimal Minimum Water Quality Index for Weihe River Tributaries in Xi'an City

XU Xin-han¹, LIAN Yan-qing², LI Xiao-ke¹, FANG Yan¹, WANG Zhe¹

(1. Xi'an Institute for Innovative Earth Environment Research, Xi'an 710061, China;

2. Yangtze Institute for Conservation and Development, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: To determine the key water quality indicators for influencing the Weihe River tributaries of Chanhe, Bahe, Fenghe and Zaohe Rivers and the minimum water quality index ($W_{W_{QI_{min}}}$) is of great significance for simplifying water quality evaluation. The research set up a total of 30 sampling points in the 4 rivers and collected water quality samples in April, August, and December 2019, respectively. Fifteen water quality indicators were analyzed by laboratory experiment and mathematical statistics. It was found that the content of DO in Fenghe River was obviously highest, and the contents of EC and nitrite in Zaohe River and the Bahe River reach after the convergence of Chanhe River were higher than other rivers. In addition, based on 15 water quality indicators, the water quality index ($W_{W_{QI}}$) was calculated to evaluate the temporal and spatial changes of water quality of the 4 rivers. This study shows that the water quality indices were generally above the medium level ($W_{W_{QI}} \geq 51$) in all four rivers, and the water quality of the Fenghe River was better among the four rivers. On time scale, the water quality in the spring of 2019 was better than the other two periods. Besides, step-wise multiple linear regression analysis and empirical method were used to determine the appropriate minimum water quality index ($W_{W_{QI_{min}}}$), which contains DO, ammonia nitrogen, COD_{Mn}, turbidity, nitrate nitrogen, SO₄²⁻, and EC. Compared with the $W_{W_{QI}}$ based on 15 water quality indicators, the relative error (P_{PE}) is only 4.78%, the linear correlation coefficient R^2 reaches 0.95, and the root mean square error (R_{RMSE}) is only 3.99. Finally, the spatial and temporal distribution of $W_{W_{QI}}$ and the appropriate $W_{W_{QI_{min}}}$ in the 4 rivers are consistent. Therefore, it can be considered that the selected appropriate $W_{W_{QI_{min}}}$ can be replaced of WQI, which is more efficient for time-saving, low-cost and high-efficiency water quality evaluation in the basin near the Chanhe, Bahe, Fenghe and Zaohe Rivers.

Key words: Weihe river tributaries; water quality indicators; water quality index ($W_{W_{QI}}$); minimum water quality index ($W_{W_{QI_{min}}}$)