

常见地下水水质评价方法在日照市傅疃河下游地区的应用

袁杰¹, 杨鹏^{1*}, 魏同政¹, 康日斐¹, 丁伟²

(1. 山东省第八地质矿产勘查院, 山东日照 276826; 2. 日照市自然资源和规划局山海天旅游度假区分局, 山东日照 276826)

摘要 以日照市傅疃河下游地区多年地下水监测水质资料为基础, 选取了 17 个监测点的溶解性总固体、总硬度、硝酸根、亚硝酸根等共 17 个指标作为水质评价因子, 在评价过程中分别采用单因子评价法、传统及改进的内梅罗指数法、模糊数学法和改进的模糊数学法进行水质评价, 并对这几种方法的计算过程、计算结果进行了对比。结果表明: 这几种常用的评价方法均适用于地下水水质评价, 但各有优劣。单因子评价法计算过程最为简单, 根据评价结果可确定对水质影响较大的污染物, 可分析出水环境质量的大体情况。内梅罗指数法考虑了污染最严重的因子和均值, 改进的内梅罗指数法适用于了解水质的整个污染情况。模糊数学法通过权重和隶属度计算进行水质评价, 体现了其非线性关系。改进的模糊数学法计算过程最为复杂, 根据其评价结果可确定水质指数。结合研究区污染情况, 可确定模糊数学法评价结果更贴合实际情况。

关键词 傅疃河下游地区; 地下水水质评价; 单因子评价法; 模糊综合评价; 内梅罗指数法

中图分类号 X 824 **文献标识码** A

文章编号 0517-6611(2021)18-0195-05

doi: 10.3969/j.issn.0517-6611.2021.18.048

开放科学(资源服务)标识码(OSID): 

Application of Common Groundwater Quality Evaluation Methods in the Lower Reaches of Futuan River in Rizhao City

YUAN Jie, YANG Peng, WEI Tong-zheng et al (The Eighth Institute of Geology and Mineral Exploration of Shandong Province, Rizhao, Shandong 276826)

Abstract Based on the monitoring data of groundwater quality in the lower reaches of Futuan River in Rizhao City for many years, a total of 17 indices including total dissolved solids, total hardness, nitrate and nitrite were selected as water quality evaluation factors. In the evaluation process, single factor evaluation method, traditional and improved Nemerow index method, fuzzy mathematics method and improved fuzzy mathematics method were used for water quality evaluation respectively. The calculation process and calculation results of several methods were compared. The research results showed that several commonly used evaluation methods were suitable for groundwater quality evaluation, but each method had its advantages and disadvantages. The calculation process of single factor evaluation method was the simplest. Its evaluation results could identify pollutants that had great impacts on water quality and analyze the general situation of effluent environmental quality. Nemerow index method took into account the most serious pollution factors and the average value, and the improved Nemerow index method was suitable for understanding the whole pollution situation of water quality. Through fuzzy mathematics method, water quality evaluation was made by calculating weight and membership degree, which reflected its non-linear relationship. The calculation process of the improved fuzzy mathematics method was the most complicated, and its evaluation result could determine the water quality index. According to the pollution situation in the study area, the fuzzy mathematics evaluation results were more consistent with the actual situation.

Key words Lower reaches of Futuan River; Quality evaluation of groundwater; Single factor evaluation method; Fuzzy comprehensive evaluation; Nemerow index method

当前我国的经济快速发展, 因为前期采取的是先开采后治理的模式, 导致很多地区地下水超采严重, 地下水位不断下降, 人为因素对地下水水环境的污染越来越严重^[1], 因此地下水水质评价对于改善地下水环境就尤为重要。目前, 常用的评价方法有单因子评价法^[2]、内梅罗指数法^[3]、改进的内梅罗指数法^[4-5]、模糊数学法^[6-9]、改进的模糊数学法^[10-11]、物元分析法^[12]、灰色系统评价法^[13-14]、人工神经网络模型^[15-16]、主成分分析法^[17]等。

然而, 地下水水质评价过程中会遇到比较模糊的问题, 在众多的地下水水质评价方法中, 实际应用时评价结果可能会出现偏差。笔者以日照市傅疃河下游地区为例, 采用单因子评价法、内梅罗指数法、改进的内梅罗指数法、模糊数学法和改进的模糊数学法进行地下水水质评价, 并对这几种评价方法所得结果进行比较, 最后提出对工作区地下水水质评价较合理的评价方法, 旨在为地下水环境的治理提供参考。

1 研究方法

1.1 单因子评价法 参照《地下水质量标准》(GB/T

作者简介 袁杰(1984—), 女, 山东聊城人, 高级工程师, 硕士, 从事水文地质、环境地质和地热地质研究。*通信作者, 高级工程师, 从事水文地质、环境地质和地热地质研究。

收稿日期 2021-01-21

14848—2017), 根据评价指标的限值范围确定每一个指标的质量类别, 在单指标评价的基础上, 将结果最差的类别确定为该组地下水质量综合评价结果, 并指出最差类别的指标^[18]。

1.2 内梅罗指数法 内梅罗指数法是目前应用较多的地下水水质评价方法之一, 其计算公式如下:

$$N = \sqrt{\frac{N_{\max}^2 + N_{\text{ave}}^2}{2}} \tag{1}$$

$$N_{\text{ave}} = \frac{1}{m} \sum_{j=1}^m N_j \tag{2}$$

式中, N 为评价因子综合指数, N_j 为评价因子单项指数。

内梅罗指数法考虑了最大污染因子, 但在实际应用中有某些重金属不容易去除, 会影响水的饮用, 因此对内梅罗指数法进行了改进。

按以下公式计算评价因子的权重值:

$$H_i = \frac{C_{\text{imax}}}{C_i} \tag{3}$$

$$V_i = \frac{H_i}{\sum_{i=1}^n H_i} \tag{4}$$

式中, H_i 为评价因子的相关性比值, V_i 为评价因子的权重, C_i 为评价标准的标准值, $C_{\max}$ 为所有评价因子标准值的最大浓度。

按照以下公式计算内梅罗指数:

$$N_j = \sqrt{\frac{\frac{(N_{\max}^2 + N_w)}{2} + N_{\text{ave}}^2}{2}} \quad (5)$$

式中, N_j 为评价因子的修正指数, N_w 为权重最大值所对应的评价因子指数。

通过对改进前后公式的对比可知,改进的内梅罗指数法综合考虑了所有评价因子的权重问题,在一定程度上削弱了最大值对计算结果的影响。

1.3 模糊数学法 模糊数学法是根据模糊数学理论的一种定量评价方法,通过模糊描述和隶属度来表示地下水各等级的隶属关系,利用评价因子的隶属度矩阵和对应的权重矩阵的复合运算得出最终隶属度,进而对研究区的水质进行评价。

1.3.1 确定隶属度。

当 $j=1$ 时,得出:

$$R_{ij} = \begin{cases} 1, C_i \leq s_{ij} \\ \frac{s_{ij+1} - C_i}{s_{ij+1} - s_{ij}}, s_{ij} < C_i \leq s_{ij+1} \\ 0, C_i > s_{ij+1} \end{cases} \quad (6)$$

当 $1 < j < 5$ 级时,得出:

$$R_{ij} = \begin{cases} 0, C_i \leq s_{ij-1} \\ \frac{C_i - s_{ij-1}}{s_{ij} - s_{ij-1}}, s_{ij-1} < C_i < s_{ij} \\ 1, C_i = s_{ij} \\ \frac{s_{ij+1} - C_i}{s_{ij+1} - s_{ij}}, s_{ij} < C_i \leq s_{ij+1} \\ 0, C_i > s_{ij+1} \end{cases} \quad (7)$$

当 $j=5$ 时,得出:

$$R_{ij} = \begin{cases} 0, C_i \leq s_{ij-1} \\ \frac{C_i - s_{ij-1}}{s_{ij} - s_{ij-1}}, s_{ij-1} < C_i \leq s_{ij}, i=1, 2, \dots, n, j=1, 2, \dots, n \\ 1, C_i > s_{ij} \end{cases} \quad (8)$$

式中, n 为污染因子数; j 为水质级别数; s_{ij} 为污染因子第 j 级的标准浓度; C_i 为某一样品一种污染因子 (x) 的浓度。

在此基础上,构建几种评价因子的隶属度矩阵:

$$S_{m \times n}^{(1)} = \begin{Bmatrix} R_{11}(x) & \cdots & R_{1m}(x) \\ \vdots & & \vdots \\ R_{n1}(x) & \cdots & R_{nm}(x) \end{Bmatrix} \quad (9)$$

1.3.2 确定因子的权重。根据评价因子对水质的贡献程度,确定评价因子的权重,进而得到权重矩阵 W_i :

$$R_i = \frac{C_i}{\sum_{j=1}^m s_{ij}} \quad (10)$$

$$W_i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^n R_i} \quad (11)$$

$$W_{1 \times n} = [W_{11}, W_{12}, \dots, W_{1n}], \text{ 其中 } \sum_{i=1}^n W_i = 1.$$

式中, R_i 为评价因子的相关性比值, W_i 为评价因子的权重值。

将权重矩阵乘以相关性比值,得到隶属度矩阵,其中最大隶属度所在等级代表着水样的整体级别,进而进行地下水安全评估。

1.3.3 隶属度的改进。根据隶属度,引进综合模糊综合评价指数 $Z(k)$,达到改进隶属度的目的:

$$Z(k) = \frac{\sum_{n=1}^5 n B_n^*}{\sum_{n=1}^5 B_n^*} \quad (12)$$

$$B_n^* = \frac{B_n(x) - B_n(x)_{\min}}{B_n(x)_{\max} - B_n(x)_{\min}} \quad (13)$$

式中, k 为水样编号; $B_n(x)$ 为 n 等级隶属度。

2 研究区概况

傅疃河为日照市最大的独流入海河流,发源于五莲县境内韩家窝洛子西北约 2 km 的大马鞍山,海拔 417.8 m,主河道长约 51.5 km,流域面积 1 066.4 km² [19],主要河流有崮河、大曲河、南湖河、三庄河等。区内主要出露地层为第四系,主要构造为日照断裂,断裂走向 40°~45°,倾向南东,倾角 70°~80°,规模较大,从研究区中部穿过。区内地下水类型主要为松散岩类孔隙水和基岩裂隙水。第四系松散岩类孔隙水补给方式主要为大气降水入渗补给、上游河谷地下水的侧向径流补给、河水入渗补给,基岩裂隙水以大气降水入渗补给为主 [20]。

傅疃河河流冲积形成的中下游河谷盆地区地下水是日照城区工业用水、生活用水和农业用水的重要供水水源 [20],因此对傅疃河地下水水质评价尤为重要。

3 水质监测数据及评价结果

3.1 水质监测数据 分析资料选取日照市地下水监测中傅疃河下游 17 个监测点 2018 年 10 月丰水期监测数据为基础,选取溶解性总固体、总硬度、Na⁺、Cl⁻、SO₄²⁻、NO₃⁻、NO₂⁻、NH₄⁺、氟化物、Fe、I⁻、Mn、Zn、As、化学需氧量 (COD)、挥发性酚类、氰化物,共 17 个指标 (表 1)。

由表 1 可知,傅疃河下游地区各监测点水质大部分化学组分含量中等 (Ⅲ类限值以内),可用于集中式生活饮用水,仅有部分监测点水样的 NO₃⁻、Cl⁻、COD 浓度偏高,水质总体情况较好。

3.2 评价结果 分别采用单因子评价法、内梅罗指数法及其改进方法、模糊数学法及其改进方法对傅疃河下游地区水质进行评价,得出分析结果 (表 2、图 1)。

根据单因子评价法原理计算结果可知,地下水水质Ⅱ类水 1 处,占 5.88%;Ⅲ类水 7 处,占 41.18%;Ⅳ类水 4 处,占 23.53%;Ⅴ类水 5 处,占 29.41%。

内梅罗指数法计算结果表明:区域内地下水水质集中在Ⅱ类和Ⅲ类水,其中Ⅰ类水 1 处,占 5.88%;Ⅱ类水 7 处,占 41.18%;Ⅲ类水 7 处,占 41.18%;Ⅴ类水 2 处,占 11.76%,未见

表 1 水质监测结果
Table 1 Water quality monitoring results

编号 No.	监测点 Monitoring sites	总硬度	溶解性总固体	Na ⁺	Cl ⁻	SO ₄ ²⁻	NO ₃ ⁻	NO ₂ ⁻	NH ₄ ⁺	氟化物 Fluoride
		Total hardness	Soluble total solids							
002	奎山	392.21	656.69	51.16	86.25	108.90	113.36	0	0.04	0.111
004	林业科技园	236.54	408.24	47.16	29.19	134.20	30.04	0	0.04	0.210
012	小代疃	355.41	595.22	36.23	29.10	87.04	221.59	0	0.04	0.389
014	将帅沟	496.63	732.99	69.88	163.41	112.30	59.39	0	0.04	0.001
016	大曲河	425.13	655.17	49.75	73.89	87.72	154.19	3.02	0.04	0.053
017	岭二头	355.87	537.15	38.96	74.27	158.10	72.11	0	0.04	0.137
018	牟家小庄	223.68	316.74	27.41	40.87	74.22	5.49	0	0.04	0.117
019	固河崖	245.44	389.97	30.19	43.57	67.98	54.64	0	0.04	0.094
020	后两河	315.34	486.75	34.61	38.08	138.70	62.17	0	0.04	0.203
021	青墩	493.59	851.06	98.36	254.16	109.60	108.97	5.7	0.04	0.339
023	大古镇	339.71	617.09	75.24	97.10	78.16	115.85	7.66	0	0.100
025	成家熬头	9.76	392.49	139.30	72.18	50.72	17.60	0	0	0.437
026	夹仓	246.67	600.87	69.47	101.52	112.20	151.01	4.83	0.08	0.510
027	蔡家滩	422.67	844.82	135.60	210.40	84.33	72.39	0	0.04	0.111
028	南树	213.12	324.80	29.40	43.67	73.08	20.39	0	0.04	0.281
029	高兴	242.58	454.32	37.48	35.34	95.38	88.28	0	0	0.638
030	侯家村	262.36	449.09	48.22	76.67	62.04	68.01	0	0.04	0.212

编号 No.	监测点 Monitoring sites	Fe	COD	I ⁻	Mn	Zn	As	挥发性酚类 Volatile phenols	氰化物 Cyanide	水质控制标准 Water quality control standard
002	奎山	0.006	2.13	0.018	0.002	0.003	0.001 0	0.001	0.001	Ⅲ
004	林业科技园	0.005	1.47	0.007	0.059	0.003	0.000 5	0.001	0.001	Ⅲ
012	小代疃	0.019	2.30	0.003	0.115	0.076	0.001 0	0.001	0.002	Ⅲ
014	将帅沟	0.003	1.86	0.040	0.005	0.003	0.001 0	0.001	0.001	Ⅲ
016	大曲河	0.005	2.23	0.012	0.057	0.037	0.000 5	0.001	0.001	Ⅲ
017	岭二头	0.002	1.62	0.003	0.005	0.003	0.001 0	0.001	0.001	Ⅲ
018	牟家小庄	0.012	1.76	0.006	0.003	0.003	0.000 5	0.001	0.001	Ⅲ
019	固河崖	0.005	1.84	0.005	0.004	0.003	0	0.001	0.002	Ⅲ
020	后两河	0.006	2.13	0.008	0.024	0.003	0.001 0	0.003	0.001	Ⅲ
021	青墩	0.001	2.13	0.005	0.038	0.008	0.001 0	0.001	0.001	Ⅲ
023	大古镇	0.010	3.66	0.005	0.002	0.008	0.001 0	<0.001	0.001	Ⅲ
025	成家熬头	0.011	1.54	0.009	0	0.003	0.004 0	0.003	<0.001	Ⅲ
026	夹仓	0.001	3.07	0.011	0.049	0.005	0.001 0	0.002	0.002	Ⅲ
027	蔡家滩	0	2.63	0.012	0.008	0.003	0.001 0	0.001	0.001	Ⅲ
028	南树	0.011	2.60	0.010	0.009	0.013	0.000 5	0.001	0.001	Ⅲ
029	高兴	0.004	2.40	0.008	0.011	0.022	0.000 5	0.001	0.002	Ⅲ
030	侯家村	0	2.00	0.013	0.009	0.019	0.000 5	0.001	0.001	Ⅲ

表 2 地下水水质评价结果汇总
Table 2 Summary of groundwater quality evaluation results

编号 No.	监测点 Monitoring sites	单因子评价法 Single factor evaluation method	内梅罗指数法 Nemerow index method	改进的内梅罗指数法 Improved Nemerow index method	模糊数学法 Fuzzy mathematics method	改进的模糊数学法 Improved fuzzy mathematics method
002	奎山	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	2.401 686 00
004	林业科技园	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	1.552 662 00
012	小代疃	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅴ	3.328 185 61
014	将帅沟	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	Ⅱ	2.247 630 00
016	大曲河	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅴ	3.107 944 89
017	岭二头	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	2.035 236 00
018	牟家小庄	Ⅱ	Ⅰ	Ⅰ	Ⅰ	1.276 352 00
019	固河崖	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	1.650 890 65
020	后两河	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅱ	2.139 993 00
021	青墩	Ⅴ	Ⅴ	Ⅲ	Ⅲ	2.688 769 00
023	大古镇	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	2.636 430 36
025	成家熬头	Ⅳ	Ⅳ	Ⅳ	Ⅰ	1.803 546 80
026	夹仓	Ⅴ	Ⅴ	Ⅳ	Ⅴ	2.944 525 53
027	蔡家滩	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	2.372 596 37
028	南树	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	1.495 140 00
029	高兴	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	1.928 429 00
030	侯家村	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅰ	1.739 595 23

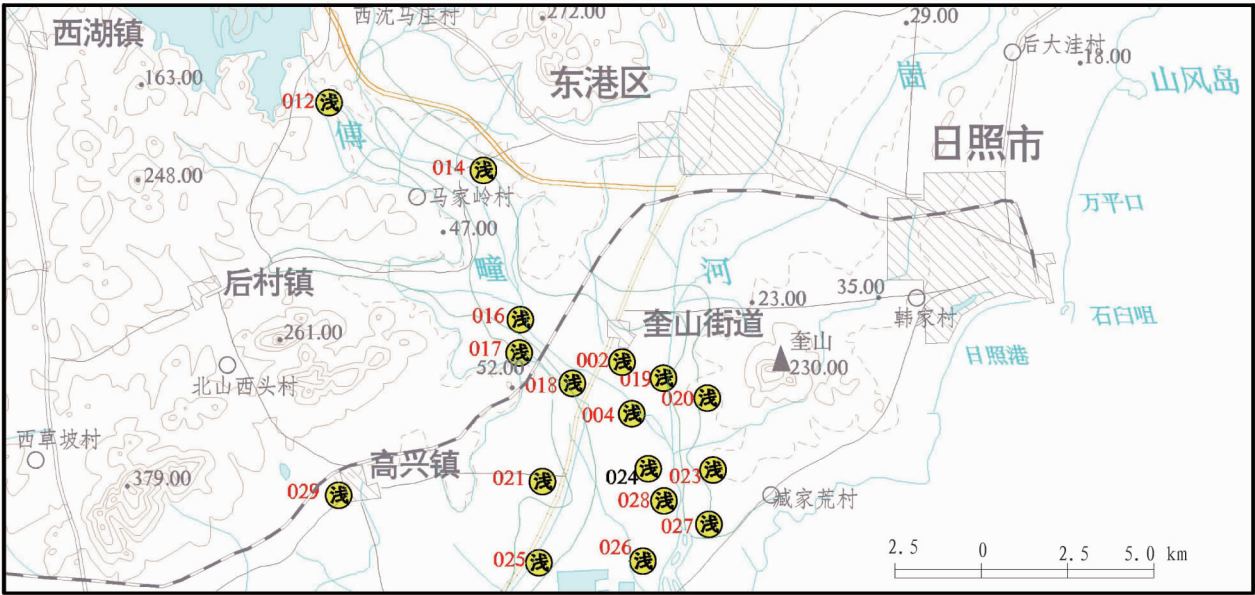


图1 傅疃河下游交通及监测点位置

Fig.1 Traffic and location of monitoring sites in the lower reaches of Futuan River

IV类水分布。水质整体处于优良水平,而改进的内梅罗指数法评价结果表明水质级别也集中在Ⅱ类和Ⅲ类水,占76.47%,未见V类水分布。内梅罗指数法及其改进方法评价结果表明水质类型一致的监测点占58.9%,不一致的监测点占41.1%,其水质级别总体上变好。比如奎山监测点 NO_3^- 浓度超标,为IV类,其对2种方法的评价结果产生了影响,内梅罗指数法评价结果为IV类,而改进的内梅罗指数法评价结果为Ⅱ类水,其在加权过程中削弱了最大值的影响,因此其结果也更加客观。

模糊数学法计算结果显示,Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅴ类水分布差别不大,而改进的模糊数学法水质类别集中在Ⅱ类和Ⅲ类,占比88.24%,评价结果相似度较高,但改进的模糊数学法可以给出精确的指数,这对于同一级别的水质类别可以更准确地进行对比。

从表2和图2、3可以看出,5种水质评价法均能反映地下水各监测点的水质变化,说明这几种方法在一定程度上均可用于地下水水质评估,但又各有优缺点。

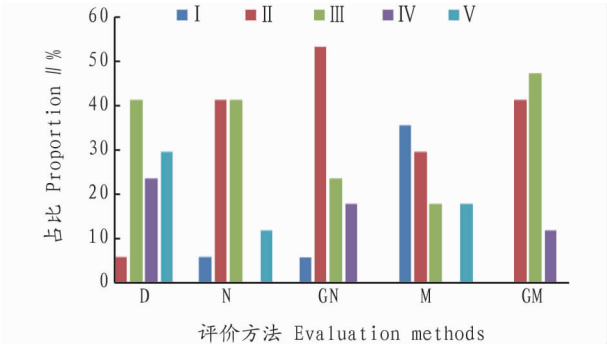
(1)单因子评价法更多地突出某一因子对水质污染的贡献,即使有一个指标为超V类标准,而其他指标均为Ⅰ类时,水质评价结果也为V类,因此单因子评价法适合用于确定主要污染物,评价方法相对来说是最简单的,但不能反映其地下水污染的整体状况。

(2)内梅罗指数法是综合考虑了最大污染因子和所有因子指数的平均值,未考虑各个因子的权重问题,涉及评价因子的降解情况,因此评价结果有失偏颇。

(3)改进的内梅罗指数法。改进的内梅罗指数法在内梅罗指数的基础上引进了评价因子的权重值,在一定程度上削弱了最大值对计算结果的影响,使其评价结果更加合理。

(4)模糊数学法。模糊数学法通过各因子之间的非线性关系来体现其模糊性,通过隶属度和权重关系来计算水质评

价,其结果不仅考虑了各因子的危害水平,而且考虑了各个因子之间的非线性关系,使评价结果趋于合理,但是因为在权重赋值过程中,人为的主观因素影响较大,使评价结果受到一定的影响。



注:D.单因子评价法;N.内梅罗指数法;GN.改进的内梅罗指数法;M.模糊数学法;GM.改进的模糊数学法

Note:D.Single factor evaluation method;N.Nemerow index method;GN.Improved Nemerow index method;M.Fuzzy mathematics method;GM.Improved fuzzy mathematics method

图2 5种评价方法对应的水质类别占比比较
Fig.2 Comparison of the proportions of water quality categories among five evaluation methods

(5)改进的模糊数学法。在模糊数学法的基础上,对隶属关系进行了改进,改进后评价的结果能准确给出地下水的水质指数,可以对同一级别的水质类别进行排序。

综合以上几种评价方法,从计算过程来看,单因子评价法的计算过程最简单、计算量最小,而改进的模糊数学法计算过程最复杂、计算量较大。虽然改进的模糊数学法能对同一级别的若干水样进行优劣对比,但结合傅疃河地区实际情况,模糊数学法评价结果与实际调查过程中的污染情况相一致。

4 结论

以日照市傅疃河流域下游地区各监测点水质评价为例,

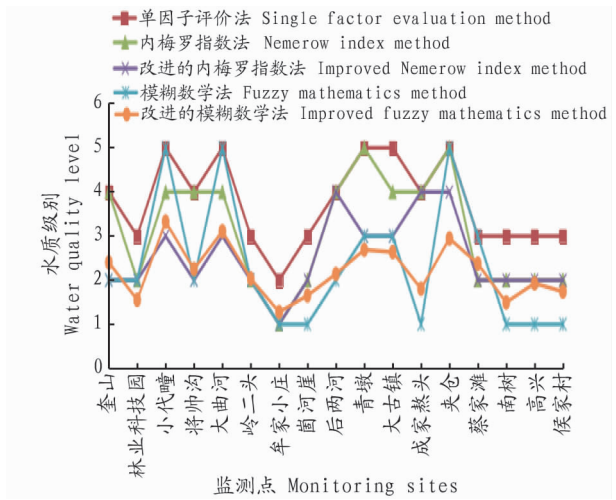


图 3 5 种水质评价方法评价结果对比

Fig.3 Comparison of the evaluation results among five water quality evaluation methods

分别采用单因子评价法、传统内梅罗指数法、改进的内梅罗指数法、模糊数学法和改进的模糊数学法进行了对比。结果表明:单因子评价法适用于确定对水质影响较大的污染物;内梅罗指数法因为考虑到最大污染物的影响,其在结果中可能使得结果偏高。改进的内梅罗指数法、模糊数学法和改进的模糊数学法都引用了权重值,在一定程度上保证了水质评价结果的可靠性和准确性。改进的内梅罗指数法适用于了解监测点的整体污染状况;模糊数学法通过隶属度来体现其非线性关系,使得结果更加合理。改进的模糊综合评价法在原有的基础上对结果从算法上进一步改进,使结果具有一定的连续性,可以将同种类别的水样细化对比,评出优劣。结合傅疃河下游地区实际调查结果可知,模糊数学法与其他 4 种评价方法相比,评价结果对研究区地下水水质的拟合度较高,

(上接第 186 页)

基础上,以当地推广品种云烟 87 为材料,结合当地生产和气候特点,研究了烟叶烘烤定色后期较适宜的温湿度条件,为各产区提供参考依据。

参考文献

[1] 杨建春,覃继春,吴先华,等.密集烘烤中不同温度和湿度调控对中部烟叶品质的影响[J].江西农业学报,2011,23(12):96-99.
[2] 王爱华,王松峰,腾春富,等.密集烘烤不同变筋温度对烟叶香气物质和评吸质量的影响[J].华北农学报,2012,27(S1):116-121.
[3] 许威,肖先仪,王建兵,等.定色前期湿球温度对烟叶特色及质量的影响[J].热带农业科学,2017,37(2):80-85.
[4] 许威,彭耀东,王建兵,等.定色后期湿球温度高低对烟叶质量的影响[J].农技服务,2016,33(12):14-15.
[5] 谢永辉,朱利全,刘启付,等.温湿度在烤烟烘烤中对烤烟品质影响研究进展[J].农业灾害研究,2013,3(9):60-63.
[6] 张保占,孟智勇,马浩波,等.密集烘烤定色阶段不同湿球温度对烤后烟叶品质的影响[J].河南农业科学,2012,41(1):56-61.
[7] 邓小华,曾中,谢鹏飞,等.密集烘烤关键温度点不同湿度控制烤烟主要

稳定性较好,最适宜傅疃河流域下游地区地下水水质评价。

参考文献

[1] 李扬,窦炳臣,陈振,等.地下水水质评价与预测方法综述[J].山东国土资源,2015,31(8):33-36.
[2] 郑琨,张蕾,薛晨亮.单因子指数法在水质评价中的应用研究[J].地下水,2018,40(5):79-80.
[3] 罗芳,伍国荣,王冲,等.内梅罗污染指数法和单因子评价法在水质评价中的应用[J].环境与可持续发展,2016,41(5):87-89.
[4] 杨磊磊,卢文喜,黄鹤,等.改进内梅罗污染指数法和模糊综合法在水质评价中的应用[J].水电能源科学,2012,30(6):41-44.
[5] 陈朋,王家鼎,袁亮,等.修正内梅罗指数法和模糊综合评价法在凤凰镇地下水水质评价中的应用[J].水土保持通报,2017,37(2):165-170.
[6] 付恩光,吴光伟,李同心.模糊数学在海(咸)水入侵水质评价中的应用:以寿光地区为例[J].山东国土资源,2017,33(7):66-70.
[7] 万金保,李媛媛.模糊综合评价法在鄱阳湖水质评价中的应用[J].上海环境科学,2007,24(5):215-218.
[8] 王艳秋,王辉,张震斌.模糊综合评价法在阜新水质评价中的应用[J].辽宁工学院学报,2006,26(1):4-6.
[9] 潘峰,付强,梁川.模糊综合评价在水环境质量综合评价中的应用研究[J].环境工程,2002,20(2):58-61.
[10] 傅金祥,陈洁,马兴冠,等.改良模糊综合评价法在水质评价中的应用[J].环境工程,2011,29(6):120-123.
[11] 杨鹏,计量,朱伟,等.沂源县地下水水质评价及成因分析[J].节水灌溉,2018(12):65-69.
[12] 蔡文,郭开仲,黄芸.物元分析与价值工程[J].广东工学院学报,1984,1(1):7-17.
[13] 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.
[14] 沃飞,陈效民,吴华山,等.灰色聚类法对太湖地区农村地下水水质的评价[J].安全与环境学报,2006,6(4):38-41.
[15] 宋国浩.人工神经网络在水质模拟与水质评价中的应用研究[D].重庆:重庆大学,2008.
[16] 倪深海,白玉慧.BP 神经网络模型在地下水水质评价中的应用[J].系统工程理论与实践,2000,20(8):124-127.
[17] 方红卫,孙世群,朱雨龙,等.主成分分析法在水质评价中的应用及分析[J].环境科学与管理,2009,34(12):152-154.
[18] 文冬光,孙继朝,何江涛,等.地下水质量标准:GB/T 14848—2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
[19] 王申.日照傅疃河流域修建地下水库的必要性与可行性初探[J].山东国土资源,2006,22(Z1):89-91.
[20] 张宇.日照市傅疃河下游地区地下水资源评价与研究[D].长春:吉林大学,2017.

化学成分的动态变化[J].中国农学通报,2013,29(6):213-216.
[8] 王彦亭,谢剑平,李志宏.中国烟草种植区划[M].北京:科学出版社,2010.
[9] 贺帆,王涛,樊士军,等.基于色度学的密集烘烤过程中烟叶主要化学成分变化模型研究[J].西北农林科技大学学报(自然科学版),2014,42(5):111-118.
[10] 冯小虎,李琰琰.抚州烤烟烟叶质量评价及比较分析[J].江西农业学报,2015,27(5):50-55.
[11] 丁根胜,张庆明,巴金莎,等.烟叶颜色色度学指标与烤烟品质的关系分析[J].中国烟草科学,2011,32(4):14-18.
[12] 张国超.不同烘烤温度和抑制剂对烤烟棕色化反应与质量的影响[D].北京:中国农业科学院,2013.
[13] 周翔,梁洪波,董建新,等.山东烟区烤烟化学成分含量变化及聚类分析[J].中国烟草科学,2009,30(6):13-17.
[14] 孙建锋,章新军,毕庆文,等.河南烤烟主产区烟叶化学成分的比较分析[J].郑州轻工业学院学报,2006,21(2):40-43.
[15] 张正杨,罗昭标,张福群.江西烤烟化学成分与感官评吸指标的相关性[J].贵州农业科学,2019,47(5):124-127.
[16] 曹玉杰,吴兴富,肖炳光,等.清香型产区烤烟品种经济性状环境稳定性[J].浙江大学学报(农业与生命科学版),2016,42(3):340-349.