

DOI: 10.16198/j.cnki.1009-640X.2015.05.009

胡雅杰, 马静, 黄国倩. 基于多种方法的太湖综合水质评价比较[J]. 水利水运工程学报, 2015(5): 67-74. (HU Ya-jie, MA Jing, HUANG Guo-qing. Comprehensive evaluation of water quality in Taihu Lake based on various methods[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(5): 67-74.)

基于多种方法的太湖综合水质评价比较

胡雅杰¹, 马 静¹, 黄国倩²

(1. 中国水利水电科学研究院, 北京 100038; 2. 南京水利科学研究院, 江苏 南京 210029)

摘要: 水污染是太湖主要的水环境问题之一, 准确合理地评价太湖水质状况对该地区水环境治理具有至关重要的作用。利用单因子水质标志指数法、综合水质标志指数法、改进的综合水质标志指数法及基于污染物权重的灰色关联分析法对 2004—2013 年典型断面的水质进行评价, 水质单项指标评价表明太湖东部及东南部污染较严重且主要污染物为 $\text{NH}_3\text{-N}$, 与该地区水体富营养化现状一致, 综合水质评价表明近年来太湖水质呈逐年转好的趋势; 对比研究结果表明, 综合水质标志指数和改进的综合水质标志指数更接近太湖水质的真实情况, 其中改进的综合水质标志指数法考虑了最差污染因子对综合水质的影响, 克服了单项指标算术平均带来的误差, 能真实反映流域的污染状况, 为水环境治理工作提供更可靠的依据。

关 键 词: 太湖; 水污染; 单因子水质标志指数法; 综合水质标志指数法; 灰色关联分析法

中图分类号: X824

文献标志码: A

文章编号: 1009-640X(2015)05-0067-08

综合评价水环境质量, 全面把握流域水环境污染特征是水环境治理的重要基础性工作^[1], 对构建流域水环境治理综合理论体系, 保障流域生态环境安全和社会经济发展具有重要的意义。目前, 常用的水质评价方法主要有单因子指数法、污染指数法、模糊综合指数法、神经网络法、灰色关联分析法等^[2-7], 上述方法虽在河流综合水质评价研究中得到广泛应用, 但不能判断水体是否黑臭、综合水质是否达到水功能区标准及水质单项指标超标个数等。为解决上述问题, 徐祖信^[8-9]在单因子水质标志指数法的基础上提出了综合水质标志指数法, 可直观合理地评价水体的综合水质, 但该指数的计算采取单因子水质标志指数的算术平均值, 弱化了最差单项水质指标对综合水质的影响。为体现最差因子的影响, 基于内梅罗指数的计算思想提出改进的综合水质标志指数法, 综合考虑单因子标志指数的平均值和最大值来计算综合水质标志指数, 以期对水体水质作出更客观合理的评价。

太湖流域位于我国东南沿海中部, 是我国人口密度最大、经济发展最快的地区之一。丰富的水资源为该区域社会经济发展提供了基础条件。然而经济及人口的快速增长和城市化进程的加速使该地区用水量激增, 废污水排放量增加, 造成水体污染及富营养化, 水域生态系统及功能受到破坏, 水污染治理已成为该地区的重点问题。作为沿湖城镇的重要水源地和数万公顷农田的灌溉水源, 太湖水污染成为流域社会经济发展的制约因素。因此, 合理评价太湖水质对水资源与水环境管理工作的准确定位具有十分重要的意义。陈润等^[2, 10-12]利用单因子评价法、改进的模糊综合评价法、内梅罗水污染指数法对太湖水质进行评价, 取得了一定的成果。为比较分析不同方法在太湖水质评价中的评价效果, 以国家地表水标准(GB 3838—2002)为基础, 采用单因子标志指数法、综合水质标志指数法、改进的综合水质标志指数法及基于污染物权重的灰色关

收稿日期: 2014-05-21

基金项目: 水利部公益性行业科研专项经费项目(201201073); 环境保护项目“水环境资产核算与资产负债表编制技术方法研究”

作者简介: 胡雅杰(1987—), 女, 河南商丘人, 博士研究生, 主要从事水资源管理、生态水文相关研究。

E-mail: huyj118@163.com

联分析法对太湖水质做出评价及对比分析,寻求更适合该地区水质评价的方法,为流域水资源与水环境治理提供科学依据。

1 数据与方法

1.1 数据

以国家环境保护部公布的全国主要流域重点断面水质自动监测数据为基础,以太湖为研究对象,选取的水质监测重点断面主要包括江苏无锡沙渚、宜兴兰山嘴、苏州西山,浙江湖州新塘港、嘉兴王江泾,上海青浦急水港,断面分布如图 1 所示,水质监测项目主要包括 DO、COD_{Mn}、NH₃-N,选取 2004—2013 年共 10 年的水质监测数据通过统计分析法计算得到水质单项指标的年均浓度,如表 1 所示。

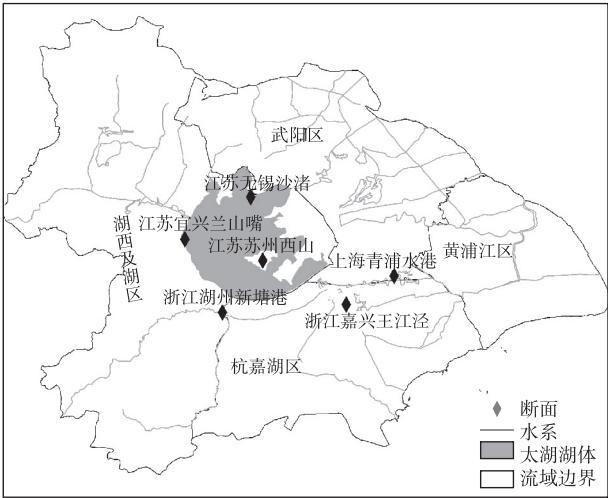


图 1 重点断面分布
Fig. 1 Distribution of the typical sections

表 1 太湖水质监测数据
Tab. 1 Monitoring data of water quality in Taihu Lake (mg · L⁻¹)

断面	指标	年份									
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
江苏无锡沙渚	DO	9.78	9.17	9.09	7.79	8.17	8.93	9.02	9.56	9.84	8.68
	COD _{Mn}	4.74	5.06	5.03	3.72	3.55	3.40	3.55	3.60	3.57	4.17
	NH ₃ -N	0.50	0.37	0.37	0.36	0.43	0.30	0.22	0.24	0.27	0.16
江苏苏州西山	DO	9.31	9.22	9.15	10.43	10.26	8.94	8.00	7.10	7.66	7.34
	COD _{Mn}	3.12	3.02	3.48	2.80	3.45	3.30	2.89	4.03	4.31	4.31
	NH ₃ -N	0.26	0.26	0.28	0.18	0.18	0.21	0.11	0.16	0.12	0.19
江苏宜兴兰山嘴	DO	8.10	8.57	8.60	7.86	7.07	7.48	7.95	7.80	7.81	8.06
	COD _{Mn}	3.91	3.99	4.39	5.83	5.37	5.27	5.41	4.05	4.33	7.00
	NH ₃ -N	0.83	0.79	0.85	0.76	0.83	0.61	0.53	0.84	0.40	0.30
上海青浦急水港	DO	5.51	5.74	6.33	6.75	6.32	6.60	6.84	6.88	5.46	6.83
	COD _{Mn}	5.23	5.81	5.31	5.37	4.65	4.47	4.56	3.99	4.46	3.93
	NH ₃ -N	4.74	3.96	3.57	2.95	2.40	2.15	1.69	1.80	1.46	0.90
浙江湖州新塘港	DO	8.08	7.72	7.20	8.58	10.45	8.98	9.02	9.17	9.61	8.46
	COD _{Mn}	5.17	4.59	4.81	4.75	4.41	3.93	3.97	4.59	4.47	4.64
	NH ₃ -N	0.41	0.48	0.42	0.42	0.48	0.37	0.32	0.43	0.43	0.23
浙江嘉兴王江泾	DO	2.75	2.61	4.60	2.91	4.26	4.09	3.67	4.46	3.41	3.44
	COD _{Mn}	7.10	7.60	7.65	8.30	7.66	5.38	6.02	6.17	6.46	6.47
	NH ₃ -N	1.90	1.84	1.84	1.50	1.18	1.15	1.42	1.62	1.51	1.35

1.2 研究方法

1.2.1 单因子水质标志指数法 单因子水质标志指数法是综合水质标志指数法的基础^[8],由一位整数、两位小数组成,即

$$q_i = a_1 \cdot a_2 a_3 \tag{1}$$

式中: q_i 为水质指标的单因子水质标志指数; a_1 为第 i 项水质指标的水质类别; a_2 为实测数据在 a_1 类水质区

间所处的位置; a_3 为水质类别劣于水功能区达标标准的差值。其中 a_2 的计算分两种情况,若 a_1 随水质指标浓度的增加而增加,则有:

$$a_2 = \frac{s - a_{1\downarrow}}{a_{1\uparrow} - a_{1\downarrow}} \quad (2)$$

若 a_1 随水质指标浓度的增加而减小,则:

$$a_2 = \frac{a_{1\uparrow} - s}{a_{1\uparrow} - a_{1\downarrow}} \quad (3)$$

式中: $a_{1\uparrow}$ 和 $a_{1\downarrow}$ 分别为 a_1 类水质的上限值和下限值。

1.2.2 综合水质标志指数法 综合水质标志指数法在单因子水质标志指数法的基础上,参考水质评价指标中劣于水功能区标准的水质指标个数和水质类别劣于水功能区达标标准的差值来综合评价水体的水质状况^[9],计算式为:

$$I_{\text{wq}} = x_1 \cdot x_2 x_3 x_4 \quad (4)$$

$$x_1 \cdot x_2 = \frac{q_1 + q_2 + \cdots + q_m}{m} \quad (5)$$

式中: I_{wq} 为综合水质标志指数; $x_1 \cdot x_2$ 通过单因子水质标志指数的平均值表示, $q_1, q_2, \cdots, q_m$ 为水质指标的单因子水质标志指数; x_3 为参加水质评价的单项水质指标劣于水功能区水质达标标准的指标个数; x_4 为综合水质类别劣于水功能区水质达标标准的差值。综合水质好于或达到水功能区水质达标标准,则 $x_4 = 0$;若水质类别劣于水功能区达标标准且 $x_2 \neq 0$,则 $x_4 = x_1 - g$;若 $x_2 = 0$,则 $x_4 = x_1 - g - 1$, g 为水功能区水质达标标准。因此,综合水质标志指数总体上包含两部分,即综合水质指数 $x_1 \cdot x_2$ 和标志码 x_3, x_4 。以 $I_{\text{wq}} = 5.422$ 为例,综合水质类别中 $x_1 \cdot x_2 x_3 x_4$ 的意义说明如表2。

表2 综合水质标志指数的意义说明

Tab.2 Significances of comprehensive water quality identification indexes

$I_{\text{wq}} = 5.422$			
$x_1 = 5$	$x_2 = 4$	$x_3 = 2$	$x_4 = 2$
综合水质类别为V类	综合水质在V类水中位于距下限值40%的位置	参与评价的指标中有2个指标劣于水功能区达标标准	综合水质劣于水功能区达标标准2个类别

1.2.3 改进的综合水质标志指数法 内梅罗指数是一种兼顾极值的计权型多因子环境质量指数,该方法特别考虑了污染最严重的因子,在加权过程中避免了权系数中主观因素的影响,计算式为:

$$f = \sqrt{\frac{f_{\max}^2 + f_{\text{ave}}^2}{2}} \quad (6)$$

式中: $f_{\max}$ 为单因子环境质量指数最大者; f_{ave} 为单因子环境质量指数平均值。

根据这一思想,以单因子水质标志指数为基础,对综合水质标志指数法进行改进^[13],其结构仍为 $I_{\text{wq}} = x_1 \cdot x_2 x_3 x_4$, x_3 和 x_4 的意义与综合水质标志指数法一致,但 $x_1 \cdot x_2$ 根据内梅罗指数计算式改进为:

$$x_1 \cdot x_2 = \sqrt{\frac{q_{\max}^2 + q_{\text{ave}}^2}{2}} \quad (7)$$

式中: $q_{\max}$ 为单因子水质标志指数中的最大值; q_{ave} 为单因子水质标志指数的平均值。

1.2.4 基于污染权重度的灰色关联分析法 灰色关联是实物或系统因子之间的不确定关联,通过序列曲线几何形状的相似程度来判断其联系是否紧密。在水质评价的应用中,水质实测值作为参考序列,水质分类标准作为比较序列,以国家地表水环境标准(GB 3838—2002)为依据。选取两者之间关联度最大值所对应的水质作为评价水体的水质。在计算过程中,为体现不同因子对断面水质的贡献,引入污染权重 w_i 。

设水质实测值 $S_i(k)$ ($k=1,2,\dots,n; i \geq 1$) 为参考数列,水质等级对应的浓度 $Q_j(k)$ ($j=1,2,\dots,m$) 为比较数列。在水质评价过程中,为消除量纲在比较分析中的影响,需对 $S_i(k)$ 和 $Q_j(k)$ 进行数据归一化处理。根据国家地表水环境质量标准 (GB 3838—2002),归一化变化公式分两种情况计算^[6]。若水质因子的等级随浓度的增加而增加,则认为 $S_i(k)$ 和 $Q_j(k)$ 为正相关关系,其归一化计算式如下:

$$Q_j'(k) = \frac{Q_{\max}(k) - Q_j(k)}{Q_{\max}(k) - Q_1(k)} \quad (8)$$

$$S_i'(k) = \begin{cases} 1 & S_i(k) \leq Q_1(k) \\ \frac{Q_{\max}(k) - S_i(k)}{Q_{\max}(k) - Q_1(k)} & Q_{\max}(k) > S_i(k) > Q_1(k) \\ 0 & S_i(k) \geq Q_{\max}(k) \end{cases} \quad (9)$$

若水质因子的等级随浓度的增加而减小,则认为 $S_i(k)$ 和 $Q_j(k)$ 为负相关关系,其归一化计算式如下:

$$Q_j'(k) = \frac{Q_j(k) - Q_{\max}(k)}{Q_1(k) - Q_{\max}(k)} \quad (10)$$

$$S_i'(k) = \begin{cases} 1 & S_i(k) \geq Q_1(k) \\ \frac{Q_{\max}(k) - S_i(k)}{Q_{\max}(k) - Q_1(k)} & Q_{\max}(k) < S_i(k) < Q_1(k) \\ 0 & S_i(k) \leq Q_{\max}(k) \end{cases} \quad (11)$$

式中: $Q_1(k)$ 为 I 类水质对应的指标浓度, $Q_{\max}(k)$ 为 V 类水质对应的指标浓度。选取归一化后数据 $S_i'(k)$ 中的任一样本向量,求取样本向量与比较数列 $Q_j'(k)$ 对应因子的绝对差值,如式 (12) 所示。

$$\delta_{ij}(k) = |Q_j'(k) - S_i'(k)| \quad (12)$$

找出矩阵中 $\delta_{\min}$ 和 $\delta_{\max}$, 计算关联系数如式 (13) 所示,其中 ρ 为分辨系数,通常取 0.5^[7]。

$$\lambda_{ij}(k) = \frac{\delta_{\min} + \rho\delta_{\max}}{\delta_{ij}(k) + \rho\delta_{\max}} \quad (13)$$

关联度 $k_j = \sum_{i=1}^n w_i \lambda_{ij}(k)$, 其中 w_i 为第 i 项污染物对断面污染的权重。取 $\max\{k_j\}$ 对应的比较数列的等级作为该评价断面的水质等级。

2 结果分析

2.1 太湖水质评价结果

2.1.1 水质单项指标评价结果 根据国家环境保护部公布的实测数据,利用式 (1)~(3) 单因子水质标志指数法对监测断面水质单项指标进行评价 (如图 2), 可直观快速地反映出各断面水质单项指标的污染状况。

对比可知,无锡沙渚、苏州西山、宜兴兰山嘴、湖州新塘港的水质单项指标污染状况类似,均存在 DO 水质标志指数最小、COD_{mn} 和 NH₃-N 水质标志指数明显大于 DO 的现象,但三项指标的类别均好于 IV 类,说明监测断面水质污染程度较轻,且以 COD_{mn} 和 NH₃-N 污染为主。相比之下,东部及东南部的青浦急水港和嘉兴王江泾水体污染较严重,其中青浦急水港 DO 和 COD_{mn} 的水质标志指数虽较小,但 NH₃-N 水质标志指数很大,是该断面的主要污染物,近年来 NH₃-N 污染得到了有效控制,截至 2013 年该指标类别好于 V 类;嘉兴王江泾三项指标的单因子水质标志指数均较大,说明该断面水体污染程度较严重。

总体来看,太湖青浦急水港和嘉兴王江泾主要污染物为 NH₃-N,其他断面的主要污染物为 COD_{mn} 和 NH₃-N,这与当地水体富营养化、藻类频发的状况一致。在今后的污染治理中仍需以解决该地区水体富营养化问题为导向进行水环境治理。

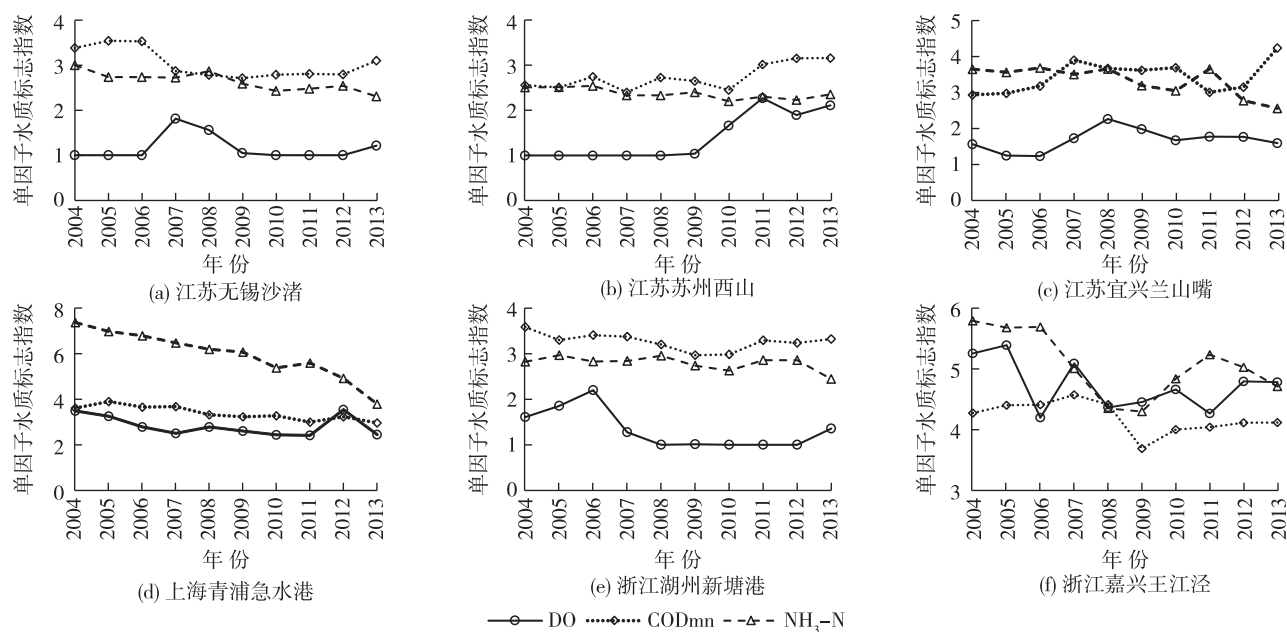


图2 太湖流域典型断面单因子水质指数

Fig. 2 Single-factor identification indexes of typical sections of Taihu Lake basin

2.1.2 水质综合评价结果 在水质单项指标评价结果的基础上,利用综合水质标志指数法、改进的综合水质标志指数法和灰色关联分析法对太湖的综合水质进行评价,结果如表3所示。总体来看,太湖水质呈逐年转好的趋势。其中无锡沙渚、苏州西山、宜兴兰山嘴和湖州新塘港的水质相对较好,2004—2013年水质类别基本好于Ⅲ类,且相对较稳定。青浦急水港和嘉兴王江泾的综合水质类别较差,劣于Ⅲ类,评价前期2004年的水质最差,水质类别甚至劣于Ⅴ类。从水质演化的角度来看,太湖各断面水质呈逐年转好的趋势,尤其青浦急水港的水质类别由2004年的Ⅴ类转为2013年的Ⅲ类,水质转好趋势明显,而嘉兴王江泾的水质虽有好转,但2013年水质为Ⅳ类,仍存在严重的水污染问题。

表3 基于多种方法的综合水质评价结果

Tab. 3 Evaluation results of comprehensive water quality

断面	评价方法	年份									
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
江苏无锡沙渚	灰色关联法	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
	综合指数	2.510	2.410	2.410	2.500	2.400	2.100	2.100	2.100	2.100	2.210
	改进的综合指数	2.910	3.010	3.010	2.600	2.600	2.400	2.400	2.400	2.400	2.610
江苏苏州西山	灰色关联法	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
	综合指数	2.000	2.000	2.100	1.900	2.000	2.000	2.100	2.510	2.410	2.510
	改进的综合指数	2.300	2.200	2.400	2.100	2.300	2.300	2.200	2.710	2.810	2.810
江苏宜兴兰山嘴	灰色关联法	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅲ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
	综合指数	2.710	2.610	2.720	3.120	3.220	3.010	2.820	2.820	2.610	2.810
	改进的综合指数	3.210	3.110	3.220	3.520	3.420	3.310	3.220	3.220	2.810	3.610
上海青浦急水港	灰色关联法	Ⅴ	Ⅳ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ	Ⅲ
	综合指数	4.831	4.731	4.421	4.221	4.121	4.021	3.720	3.720	3.920	3.110
	改进的综合指数	6.233	5.932	5.722	5.422	5.222	5.122	4.621	4.721	4.421	3.410
浙江湖州新塘港	灰色关联法	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ	Ⅱ
	综合指数	2.710	2.710	2.810	2.510	2.410	2.200	2.200	2.410	2.410	2.410
	改进的综合指数	3.110	3.010	3.110	2.910	2.810	2.600	2.600	2.810	2.810	2.810

(续表)

断 面	评价方法	年 份									
		2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013
浙江嘉兴王江泾	灰色关联法	V	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV	IV
	综合指数	5.132	5.232	4.831	4.931	4.431	4.131	4.531	4.531	4.631	4.531
	改进的综合指数	5.432	5.432	5.232	4.931	4.531	4.331	4.631	4.831	4.831	4.631

2.2 结果对比分析

几种水质评价的计算依据存在差异。综合水质标志指数法以单因子水质标志指数的算术平均值为计算依据,改进的综合水质标志指数法以单因子水质标志指数的算术平均值及最大值为计算依据,灰色关联分析法以归一化处理后的实测水质数据与国家地表水环境标准的关联度为计算依据,得到的评价结果在水环境治理中的指导意义存在一定程度的差异,结果对比如表3和图3所示,3种计算方法的评价结果趋势一致。其中综合水质标志指数法和改进的综合标志指数法可得到具体的水质类别数值,与灰色关联分析法相比,前两者不仅可得到水质类别,更进一步得到水质类别所处的位置和超标程度及超标污染物的个数,如2004年嘉兴王江泾的综合水质标志指数为5.132,表示该断面的水质类别为V类,综合水质在V类水中位于距下限值10%的位置,其中3项水质指标劣于水功能区达标标准,综合水质劣于水功能区达标水质2个类别,相比之下,评价结果更为详细,对水环境治理工作的指导意义更明显。

对比结果可知,改进的综合水质标志指数大于综合水质标志指数,这是由于前者充分考虑了水质单项指标中最差单因子水质标志指数对综合水质的影响,突出了水质最差因子的限制作用,如2004年上海青浦断面,根据实测数据资料, $\text{NH}_3\text{-N}$ 的单因子水质标志指数高达

7.37,属于严重超标,在充分考虑了最大单因子标志指数后,改进的综合水质标志指数评价结果为6.229,水质类别劣于V类,明显大于综合水质标志指数4.831,较真实地反映了青浦断面的污染状况。

总体来看,综合水质标志指数法和灰色关联分析法结果指向类别低的水质,因此对于存在某项水质指标严重超标的情况时,改进的综合水质标志指数克服了单项指标算术平均带来的误差,更能真实地反映水质状况。

3 结 语

基于单因子水质标志指数法的水质单项指标评价中,2004—2013年太湖地区水质差异性较大,东部及东南部的上海青浦和浙江嘉兴污染较严重,而江苏省内3个断面及浙江湖州水质较好,流域内主要污染物为 $\text{NH}_3\text{-N}$ 。在水质综合评价中,3种水质综合评价方法均能在一定程度上反映太湖流域的水质状况,其中综合水质标志指数法和灰色关联分析法结果指向类别低的水质,而改进的综合水质标志指数法突出了最差限制因子,综合考虑最差单因子水质标志指数对水体综合水质的影响,在一定程度上减小了单因子指数算术平均

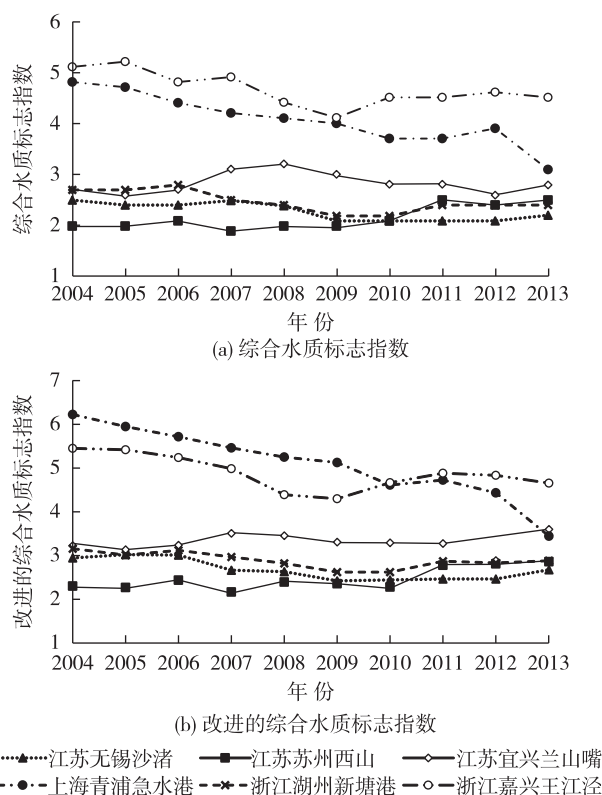


图3 水质标识指数评价结果对比

Fig. 3 Comparisons between two water quality identification indexes

造成的评价误差,其结果指向类别高的水质,因此存在水质单项指标严重超标情况时,改进的综合水质标志指数法更能真实地反映水质状况,为水环境治理工作提供更真实可靠的依据。但综合水质的评价结果中尚不能清晰明确地给出流域内各断面最主要的污染物,因此在水环境治理过程中应全面考虑水质单项指标污染评价及综合水质污染评价,为确定评价水体的主要污染物,更进一步有重点有针对性地指导流域水污染治理提供依据。

在综合水质评价过程中,单项水质指标作为计算的数据基础,参与计算的指标通过算术平均及最差限制因子对评价结果产生影响,因此水质指标个数及数值监测数据的时间尺度均会对评价结果产生影响,理论上水质指标个数越多越能真实反映水体水质类别,监测数据时间尺度越小越能接近评价阶段的水质变化过程,因此在评价研究中应根据实测数据及评价目的合理选择参与评价的指标个数及时间尺度,为更好地指导水污染治理提供更准确的理论依据。

参 考 文 献:

- [1] 戴润泉,臧小平,邱光胜. 三峡水库蓄水前库区水质状况研究[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(2): 124-127. (DAI Run-quan, ZANG Xiao-ping, QIU Guang-sheng. Water quality in the Three Gorges reservoir before impoundment[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(2): 124-127. (in Chinese))
- [2] 陈润,钱磊,申金玉,等. 2007 年水危机后太湖水质评价[J]. 水电能源科学, 2012, 30(2): 32-34. (CHEN Run, QIAN Lei, SHEN Jin-yu, et al. Water quality assessment of Taihu Lake after water crisis in 2007[J]. Water Resources and Power, 2012, 30(2): 32-34. (in Chinese))
- [3] 陈咏淑,吴甫成,吕焕哲,等. 近 20 年来湘江水质变化分析[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(5): 508-512. (CHEN Yong-shu, WU Fu-cheng, LV Huan-zhe, et al. Analysis of the water quality changes in the Xiangjiang River from 1981 to 2000 [J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2004, 13(5): 508-512. (in Chinese))
- [4] 朱雷,陈威. 模糊综合指数法在水质评价中的应用[J]. 武汉理工大学学报, 2001, 23(8): 61-65. (ZHU Lei, CHEN Wei. Fuzzy complex index in water quality assessment of municipalities[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2001, 23(8): 61-65. (in Chinese))
- [5] 刘坤,刘贤赵,李希国,等. 模糊概率神经网络模型在水质评价中的应用[J]. 水文, 2007, 27(1): 36-39. (LIU Kun, LIU Xian-zhao, LI Xi-guo, et al. Fuzzy probabilistic neural network water quality evaluation model and its application[J]. Journal of China Hydrology, 2007, 27(1): 36-39. (in Chinese))
- [6] 王平,王云峰. 综合权重的灰色关联分析法在河流水质评价中的应用[J]. 水资源保护, 2013, 29(5): 52-54. (WANG Ping, WANG Yun-feng. River water quality evaluation based on grey incidence analysis of comprehensive weight[J]. Water Resources Protection, 2013, 29(5): 52-54. (in Chinese))
- [7] 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. (ZHANG Xin, HE Shi-lei, ZHANG Yong-zhao, et al. Study on grey relational analysis method for water quality assessment[J]. Journal of Water Resources and Water Engineering, 2010, 21(5): 117-119. (in Chinese))
- [8] 徐祖信. 我国河流单因子水质标志指数评价方法研究[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2005, 33(3): 321-325. (XU Zu-xin. Single factor water quality identification index for environmental quality assessment of surface water[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 33(3): 321-325. (in Chinese))
- [9] 徐祖信. 我国河流综合水质标志指数评价方法研究[J]. 同济大学学报:自然科学版, 2005, 33(4): 482-488. (XU Zu-xin. Comprehensive water quality identification index for environmental quality assessment of surface water[J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 2005, 33(4): 482-488. (in Chinese))
- [10] 陆铭锋,徐彬,杨旭昌. 太湖水质评价计算方法及近年来水质变化分析[J]. 水资源保护, 2008, 24(5): 30-33. (LU Ming-feng, XU Bin, YANG Xu-chang. Evaluation method for water quality of Taihu Lake and its variation in recent years[J]. Water Resources Protection, 2008, 24(5): 30-33. (in Chinese))
- [11] 朱引弟,陈星,孟祥永. 基于改进模糊综合评价法的太湖水质评价[J]. 水电能源科学, 2013, 31(9): 42-44. (ZHU Yin-di, CHEN Xing, MENG Xiang-yong. Water quality evaluation of Taihu Lake based on improved fuzzy comprehensive evaluation method[J]. Water Resources and Power, 2013, 31(9): 42-44. (in Chinese))
- [12] 徐彬,林灿尧,毛新伟. 内梅罗水污染指数法在太湖水质评价中的适用性分析[J]. 水资源保护, 2014, 30(2): 38-40.

- (XU Bin, LIN Can-yao, MAO Xin-wei. Analysis of applicability of nemerow pollution index to evaluation of water quality of Taihu Lake [J]. Water Resources Protection, 2014, 30(2): 38-40. (in Chinese))
- [13] 曲直, 房春生, 王德龙, 等. 改进综合水质标志指数法在长春河流水质评价中的应用[J]. 安徽农业科学, 2012, 40(17): 9436-9438. (QU Zhi, FANG Chun-sheng, WANG De-long, et al. Application of improved comprehensive water quality identification index for water quality assessment on Changchun Rivers[J]. Journal of Anhui Agriculture Science, 2012, 40(17): 9436-9438. (in Chinese))

Comprehensive evaluation of water quality in Taihu Lake based on various methods

HU Ya-jie¹, MA Jing¹, HUANG Guo-qing²

(1. China Institute of Water Resources and Hydropower Research, Beijing 100038, China; 2. Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China)

Abstract: Water pollution is one of the important problems of water environment in Taihu Lake basin. To evaluate the water quality of the watershed exactly and reasonably is vital to grasp the characteristic of water pollution and water environmental management. Single-factor identification index was used to evaluate the pollution status of a single element of typical sections. The original and the improved methods of comprehensive identification index and grey incidence analysis based on pollutant weight were used to evaluate the integrated water quality from 2004 to 2013. The analysis results show that the water pollution of east and southeast in Taihu Lake basin was more serious and the main pollutant was $\text{NH}_3\text{-N}$, which was in accordance with the situation of eutrophication, so the leading management was to reduce the water eutrophication. There were some differences among the results of different water quality evaluation methods, which could reflect the water quality in Taihu Lake basin. The results of comprehensive water quality identification index and grey incidence analysis preferred the lower quality, and those of the improved comprehensive water quality identification index combined with the influence of the worst pollutant preferred the integrated water quality to overcome the error caused by the algebraic average of a single index in order to reflect the pollution of watershed veritably.

Key words: Taihu Lake basin; water pollution; single-factor identification index; comprehensive identification index; grey incidence analysis