

徐兵兵,张妙仙,王肖肖. 2011. 改进的模糊层次分析法在南苕溪临安段水质评价中的应用[J]. 环境科学学报, 31(9):2066-2072

Xu B B, Zhang M X, Wang X X. 2011. Application of an improved fuzzy analytic hierarchy process in water quality evaluation of the South Tiaoxi River, Lin'an Section[J]. Acta Scientiae Circumstantiae, 31(9):2066-2072

改进的模糊层次分析法在南苕溪临安段水质评价中的应用

徐兵兵,张妙仙*,王肖肖

浙江农林大学环境与资源学院, 临安 311300

收稿日期:2010-11-08 修回日期:2010-12-11 录用日期:2011-01-17

摘要:南苕溪是太湖的源头水系,其水质状况对杭嘉湖平原居民饮用水安全和太湖流域的污染治理有重要意义. 为了了解南苕溪的水质状况,在临安段开展了 2 年的水质监测,分别在 2009 年 7 月、10 月和 2010 年 1 月、4 月采集了水样并进行水质评价. 同时,为了克服以往模糊层次分析法存在的低估污染的严重性及不能评价劣 V 类水质的缺点,建立了一个改进的模糊层次分析法来评价南苕溪临安段的水质,改进的模糊层次分析法以各级水质标准上、下限的中间值为限值,来计算隶属度. 最后,本研究选取 TN、TP、 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 、 COD_{Cr} 和 DO 为评价指标,用改进的模糊层次分析法,研究了南苕溪临安段水质时空变化规律. 结果表明, TN 是主要的污染物,它的权重达到 0.487;改进的模糊层次分析法可以得到 6 个隶属函数,更符合实际问题的要求.

关键词:模糊层次分析法;水质评价;南苕溪;时空变化;TN

文章编号:0253-2468(2011)09-2066-07 中图分类号:X824 文献标识码:A

Application of an improved fuzzy analytic hierarchy process in water quality evaluation of the South Tiaoxi River, Lin'an Section

XU Bingbing, ZHANG Miaoxian*, WANG Xiaoxiao

School of Environmental and Resource, Zhejiang Agriculture & Forestry University, Lin'an 311300

Received 8 November 2010; received in revised form 11 December 2010; accepted 17 January 2011

Abstract: The south Tiaoxi river is the headwater of Tai Lake. The watershed of the Tiaoxi river covers the Taihu Lake region including the Hang - Jia - Hu plain, therefore the water quality condition of this river basin has a direct effect on the health of residents in this region, and water pollution control of the headwater is of great importance in preventing Tai Lake from contamination. A two-year water monitoring project was carried out in the Lin'an section of the South Tiaoxi river to evaluate the water quality. Water samples were collected in July 2009, October 2009, January 2010 and April 2010. In the present study, an improved fuzzy analytic hierarchy process (FAHP) was established to meet the practical water quality situation and the severity of pollution up to the inferior V water quality was successfully estimated. The improved FAHP used the intermediate value of the upper and lower limits of water quality standards as a limited value to compute the degree of membership and six membership functions were obtained. In this study, TN, TP, $\text{NH}_4^+\text{-N}$, COD_{Cr} and DO were selected as the main contamination factors. The evaluation results showed that the major pollutant was nitrogen, with a weighted coefficient of 0.487.

Keywords: fuzzy analytic hierarchy process; water quality evaluation; south Tiaoxi river; temporal and spatial variation; total nitrogen

1 引言 (Introduction)

河流综合水质评价是水环境治理中的重要基础性工作,只有对水质监测数据进行合理评价,才能制定科学的整治规划方案,采取有效的防治措施,可以说河流综合水质评价的合理性会直接影响决策(徐祖信,2005a;2005b). 目前,常用的河流水质

评价方法较多,且各具优缺点(薛巧英,2004;李如忠,2005;陆卫军等,2009). 在水环境质量综合评价中,模糊评判法和层次分析法相结合的模糊层次分析法得到了广泛的应用(Meng *et al.*, 2009; Zhang *et al.*, 2009; Bhupinder *et al.*, 2008; 李莲芳等,2006; 苏德林等,1997). 模糊理论能很好地反映水环境质量级别的模糊性与连续性,层次分析法能够将评价者对

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大项目(No. 2008ZX07101-006-08)

Supported by the National Major Science and Technology Specific Projects on Water Pollution Control and Treatment (No. 2008ZX07101-006-08)

作者简介: 徐兵兵(1986—),男,E-mail:xubingbing-2008@163.com; * 通讯作者(责任作者),E-mail:zhangmx18@163.com

Biography: XU Bingbing (1986—), male, E-mail:xubingbing-2008@163.com; * Corresponding author, E-mail:zhangmx18@163.com

复杂系统的定性分析进行定量化处理(褚克坚, 2009),两者的结合很好地解决了隶属度与权重的问题.南苕溪不仅是杭嘉湖平原的重要饮用水源,而且是太湖的上游发源地.因此,选择合适的评价方法评价本流域的水质状况对居民健康及太湖污染防治具有重要意义.关于太湖上游水系水质评价的研究,已有文献主要集中在西苕河流域(于兴修等, 2003;梁涛等, 2003;李兆富等, 2005;李丽娇等, 2008;陈月等, 2008),有关南苕河流域水环境质量研究的报道较为少见.因此,本文利用 2009—2010 年间南苕河流域的水质监测数据,应用改进的模糊层次分析法研究南苕河流域水质的时空变化,以期为该流域水环境治理提供依据.

2 调查与分析方法 (Investigation and analysis)

2.1 监测断面设置

南苕溪为东苕溪主源,属长江水系,位于太湖流域的上游地区,发源于临目乡马尖岗(主峰海拔 1271.4 m),向南流经里畈水库,然后向东流经临安市城区,于青龙口汇锦溪后入青山水库,出水后向东流至余杭市余杭镇,全长 63 km,集水面积 720 km².87% 的水域分布于临安市境内,因此,临安市区成为南苕溪下游最大的城市点源.锦溪为南苕溪较大的支流,发源于玲珑镇化岭脚,经三眼桥至青龙口入青山水库,全长 25.5 km,集水面积 84.6 km².里畈水库、青山水库分别是临安市和杭嘉湖平原的重要饮用水源地.

课题组曾于 2009 年 10 月和 2010 年 4 月进行过 2 次水质普查,结果显示,南苕溪上游(里畈水库以上)和锦溪上游(徐坞村以上)总体水质较好,里畈水库除 TN 外,TP、COD_{Cr}、NH₄⁺-N 均属于 II 类水质;徐坞村除 TP 含量较高外, TN、COD_{Cr}、NH₄⁺-N 均属于 II 类水质.水质恶化现象主要出现在南苕溪和锦溪中下游河段,即临安市区河段.为此,本研究选择临安市区河段设置监测点,水质监测断面设置如图 1 所示.各采样点用 GPS 定位,经纬度数据列于表 1.其中,断面 1、2、3 设在南苕溪干流上,分别为临安市区的临西桥、临天桥、长桥;断面 4、5、6 设在锦溪上,分别为群利桥、兰锦桥、三眼桥;断面 7、8 设在青山湖水库,分别为青山湖大桥、青山湖水库大坝.

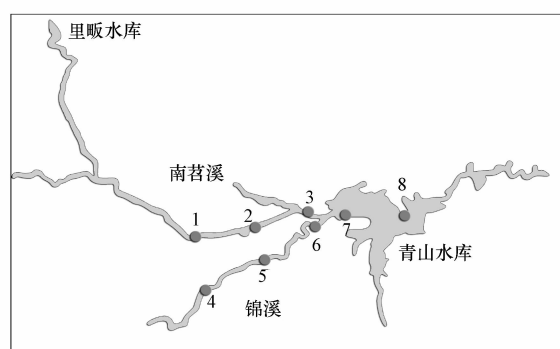


图 1 监测断面
Fig.1 Monitoring sections

表 1 采样点定位

Table 1 Sampling point positions

编号	采样点	经纬度	编号	采样点	经纬度
1	临西桥	30°14'05.35"N, 119°41'14.56"E	5	兰锦桥	30°13'11.94"N, 119°42'24.14"E
2	临天桥	30°14'20.86"N, 119°42'34.24"E	6	三眼桥	30°13'54.01"N, 119°43'59.00"E
3	长桥	30°14'43.71"N, 119°43'49.79"E	7	青山湖大桥	30°13'39.50"N, 119°46'02.93"E
4	群利桥	30°12'27.07"N, 119°40'56.81"E	8	青山湖大坝	30°14'49.38"N, 119°47'55.02"E

2.2 采样与分析方法

每个采样点采样 4 次,采样时间分别为 2009 年 7 月、10 月中旬,2010 年 1 月、4 月中旬.选取温度 (T)、pH 值、溶解氧 (DO)、化学需氧量 (COD_{Cr})、氨氮 (NH₄⁺-N)、总氮 (TN)、总磷 (TP) 7 个指标进行分析.在离水面 20~30 cm 处采集水样,装入聚乙烯桶内. DO、 T 、pH 采用 HORIBA 多功能水质测定仪野外实地测定,其余指标在实验室分析测定. TN 采用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法测定, TP 采用钼酸铵分光光度法测定, NH₄⁺-N 采用纳式试剂光度法测

定, COD_{Cr} 采用重铬酸钾法测定,具体测定方法参考《水和废水分析方法(第 4 版)》.

3 模糊层次分析方法 (Fuzzy analytic hierarchy process)

3.1 层次结构模型的建立

根据监测河段的水质状况及现有的监测数据,选择溶解氧 (DO)、化学需氧量 (COD_{Cr})、氨氮 (NH₄⁺-N)、总氮 (TN)、总磷 (TP) 为评价因子,构建评价因子集 U , 即 $U = \{ DO, COD_{Cr}, NH_4^+-N, TN, TP \}$.

TP}; 根据国家地表水环境质量标准 (GB3838—2002), 确定评价集 $S = \{ I、II、III、IV、V、劣 V \}$. 评价因子集 U 和评价标准集 S 列于表 2.

表 2 污染因子的等级标准

等级	TN	TP	NH ₄ ⁺ -N	COD _{Cr}	DO
I	≤0.2	≤0.02	≤0.15	≤15	≥7.5
II	0.2~0.5	0.02~0.1	0.15~0.5	≤15	6~7.5
III	0.5~1.0	0.1~0.2	0.5~1.0	15~20	5~6
IV	1.0~1.5	0.2~0.3	1.0~1.5	20~30	3~5
V	1.5~2.0	0.3~0.4	1.5~2.0	30~40	2~3
劣 V	>2.0	>0.4	>2.0	>40	<2

运用层次分析法来对水质进行综合评价, 以 1 年内南苕溪下游水环境质量为目标层, 以因子集 U 为准则层, 以评价集 S 为方案层, 建立层次结构模型, 结果如图 2 所示.

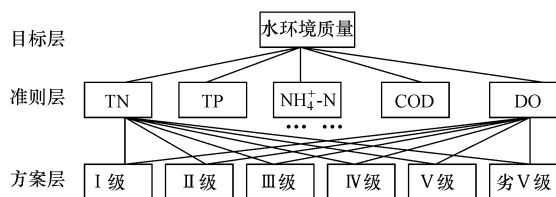


图 2 南苕溪水环境质量评价层次结构

Fig. 2 Hierarchical structure model of water quality in the South Tiaoxi river

3.2 模糊评价矩阵的建立

单因素评价矩阵 R 是由单因素的隶属度 r_{ij} 为行组成的矩阵. 矩阵 R 代表了每一个污染因子对每一级水体质量标准的隶属程度, 也可以把隶属度看成为污染物的浓度和环境质量标准的函数, 下标 i 和 j 分别表示评价因子和评价标准. 隶属度是通过隶属函数的计算来确定的, 隶属函数一般采用“降半梯形”的函数. 对于越小越优型指标 (除 DO 外), 其表达式如下所示:

I 级:

$$F(x) = \begin{cases} 1 & x \leq S_{i(j)} \\ \frac{S_{i(j+1)} - x}{S_{i(j+1)} - S_{i(j)}} & S_{i(j)} < x < S_{i(j+1)} \\ 0 & x \geq S_{i(j+1)} \end{cases}$$

II ~ (m - 1) 级:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x \leq S_{i(j-1)}, x \geq S_{i(j+1)} \\ \frac{x - S_{i(j-1)}}{S_{ij} - S_{i(j-1)}} & S_{i(j-1)} < x \leq S_{ij} \\ \frac{S_{i(j+1)} - x}{S_{i(j+1)} - S_{ij}} & S_{ij} < x < S_{i(j+1)} \end{cases}$$

m 级:

$$F(x) = \begin{cases} 0 & x \leq S_{i(j-1)} \\ \frac{x - S_{i(j-1)}}{S_{im} - S_{i(j-1)}} & S_{i(j-1)} < x < S_{im} \\ 1 & x \geq S_{im} \end{cases}$$

式中, $F(x)$ 为隶属函数, S_{ij} 为第 i ($i = 1, 2, \dots, n$) 个评价因子的第 j ($j = 1, 2, \dots, m$) 级水质标准值, x 为实测水质浓度. 对于 DO, 其基本表达式不变, 只需改变条件中符号的方向.

以往的研究中, S_{ij} 通过各等级 j 的上限值相对于评价因子 i 来确定 (表 2). 这样的评价标准集 S 为 { I、II、III、IV、V }, 但这样的评价集将比 V 类水质高的污染归为 V 类, 降低了污染的严重性. 尽管有学者提出应用指数法评价劣 V 类水质的方法 (王萍萍, 2008; 徐祖信, 2005a; 2005b), 但在模糊层次分析法中还没有划分出劣 V 类水质.

以 TN 为例, 假设其值为 $1.2 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 按以往的计算方法 (邓勃等, 1990), 其对 III 类水质的隶属度为 0.6, 而按照国家地表水质标准, III 类水质的范围在 $(0.5, 1.0] \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, 计算结果与国家地表水质标准相违背. 因此, 笔者认为这种方法是不合理的, 因而提出以水质标准上下限的中间值为 S_{ij} 界限计算隶属度. 这样做的好处有两点: 第一, 符合国家标准, 上面的假设值通过改进方法计算, 其对 IV 类水质的隶属度为 0.9, 在国家标准 IV 类水质范围内; 第二, 可以得到 6 个隶属函数, 克服了上文提到的不能评价劣 V 类水质的弊端. 以 TN 为例, 其水质级别区间分别为 $(0, 0.2]$ 、 $(0.2, 0.5]$ 、 $(0.5, 1]$ 、 $(1, 1.5]$ 、 $(1.5, 2]$, 其中间值则分别为 0.1、0.35、0.75、1.25、1.75, 变量 S_j 可分别取值 0.1、0.35、0.75、1.25、1.75、2. 改进前后的 TN 隶属函数区别如图 3 所示, 其中, $F(1) \sim F(6)$ 分别是针对各等级标准的隶属度值.

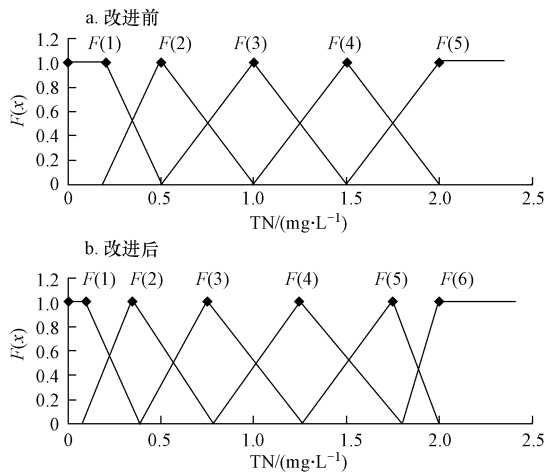


图 3 改进前后的 TN 隶属函数

Fig. 3 The difference of TN's membership functions between the former and the improved methods

将各监测断面的监测数据代入前面确定的隶属函数中,就可以计算其隶属度,建立每个断面的单因子模糊评价矩阵 R .

$$R = \begin{bmatrix} r_{11} & \cdots & r_{1m} \\ \vdots & & \vdots \\ r_{n1} & \cdots & r_{nm} \end{bmatrix}$$

$$c_{0i} = \frac{(0.2 - 0) \times 0.1 + (0.5 - 0.2) \times 0.35 + (1 - 0.5) \times 0.75 + (1.5 - 1) \times 1.25 + (2 - 1.5) \times 1.75}{(0.2 - 0) + (0.5 - 0.2) + (1 - 0.5) + (1.5 - 1) + (2 - 1.5)} = 1$$

表 3 各级水质标准的均值 c_{0i} 的结果

Table 3 Average water quality standard values c_{0i}

$c_{0,TN}$	$c_{0,TP}$	c_{0,NH_4^+-N}	$c_{0,COD_{Cr}}$	$c_{0,DO}$
1.0	0.2	1.0	20	3.48

构造标度为 d_i 的水环境评价指标相对重要性判断矩阵 D :

$$D = \begin{bmatrix} 1 & \frac{d_{TN}}{d_{TP}} & \frac{d_{TN}}{d_{NH_4^+-N}} & \frac{d_{TN}}{d_{COD_{Cr}}} & \frac{d_{TN}}{d_{DO}} \\ \frac{d_{TP}}{d_{TN}} & 1 & \frac{d_{TP}}{d_{NH_4^+-N}} & \frac{d_{TP}}{d_{COD_{Cr}}} & \frac{d_{TP}}{d_{DO}} \\ \frac{d_{NH_4^+-N}}{d_{TN}} & \frac{d_{NH_4^+-N}}{d_{TP}} & 1 & \frac{d_{NH_4^+-N}}{d_{COD_{Cr}}} & \frac{d_{NH_4^+-N}}{d_{DO}} \\ \frac{d_{COD_{Cr}}}{d_{TN}} & \frac{d_{COD_{Cr}}}{d_{TP}} & \frac{d_{COD_{Cr}}}{d_{NH_4^+-N}} & 1 & \frac{d_{COD_{Cr}}}{d_{DO}} \\ \frac{d_{DO}}{d_{TN}} & \frac{d_{DO}}{d_{TP}} & \frac{d_{DO}}{d_{NH_4^+-N}} & \frac{d_{DO}}{d_{COD_{Cr}}} & 1 \end{bmatrix}$$

运用方根法求出权系数(权重值),即令权系数

3.3 权重的确定

各因子的重要程度可用权重来衡量,而层次分析法是确定权重的有效方法.为了使各因子具有可比性,用单项污染指数法对数据进行处理(潘峰等,2003).对越小越优型指标,计算公式为: $d_i = c_i / c_{0i}$;对越大越优型指标,计算公式为: $d_i = c_{0i} / c_i$.其中, d_i 、 c_i 、 c_{0i} 分别为第 i 个评价指标的标度值、实测浓度 ($mg \cdot L^{-1}$)、各级浓度标准值的均值 ($mg \cdot L^{-1}$).

c_{0i} 通常有两种取值方法,一种是采用国家 III 类水质标准(朱雷等,2001),另一种是取 5 类标准值的算术平均值.由于各级水质标准值之间的变化幅度不同,本文采用上述两种方法显然是不合理的.马玉杰等(2009)针对这一问题提出了用聚类权法确定各指标在不同级别中的权重.笔者发现,隶属函数的各取值区间是各级标准值之差.因此,本文利用加权平均算法确定 c_{0i} ,以各等级水质标准的中间值和各级水质标准上下限的差值与总距离的比例为权重.以 TN 为例,其水质级别区间分别为 $(0, 0.2]$ 、 $(0.2, 0.5]$ 、 $(0.5, 1]$ 、 $(1, 1.5]$ 、 $(1.5, 2]$,则 c_{0i} 的计算如下式所示.其它指标均依照此方法进行计算,结果列于表 3.

$$\bar{a}_i = \left(\prod_{j=1}^n d_{ij} \right)^{1/n}, \text{得到特征向量 } \bar{a}_i = (\bar{a}_1, \bar{a}_2, \dots, \bar{a}_n)^T,$$

做归一化处理 $a_i = \bar{a}_i / \sum_{j=1}^n \bar{a}_j$,即为权系数集 $A = (a_1, a_2, \dots, a_5)^T$ (方燕等,2005).并使权系数值通过一致性检验,即一致性比例 $CR = \frac{CI}{RI} < 0.1$,其中,一致性指标 $CI = (\lambda_{max} - n) / (n - 1)$, RI (Random index) 为平均一致性指标,具体取值可参考文献(任珺等,2007).

3.4 综合评价

综合评价的结果由单因素权重矩阵 A 和模糊矩阵 R 复合运算得到,即综合评价集 B 表示为:

$$B = A \cdot R$$

常用的运算因子有 4 种,即取大取小法、相乘取大法、取小相加法、相乘相加法(张文鸽等,2004).取大取小型算子带有主观性,而且评价结果取决于主元素,损失信息量大.因此,本文采用相乘相加

法,用最大隶属度原则确定评价结果.

4 结果 (Results)

4.1 主要影响因子

对所有的监测值按水质指标取平均值,结果如表4所示.由表4可知,DO平均含量较高,达I类水质标准,TP、NH₄⁺-N满足III类水质标准,COD_{Cr}满足IV类水质标准,TN平均值为劣V类水质.对各水质指标年平均值进行单因子评价,单因子指数由大到小顺序为TN > COD_{Cr} > NH₄⁺-N > TP > DO,评价结果显示,南苕溪临安段水质属于劣V类.

表4 水质指标年内变化

水质指标	平均值(级别)	最大值	最小值
TN	3.36(劣V)	7.45	0.91
TP	0.16(III)	0.76	0.04
NH ₄ ⁺ -N	0.96(III)	3.14	0.03
COD _{Cr}	26.38(IV)	72.37	4.8
DO	7.55(I)	12.47	2.34

计算各污染因子的权重值并进行一致性检验,结果列于表5.由表5可知,各指标权重由大到小顺

序为TN > COD_{Cr} > NH₄⁺-N > TP > DO, TN所占权重最大,它在确定水质等级过程中起重要作用,结合隶属度函数,综合水质评价结果为劣V类.因此, TN是南苕溪主要污染物.

表5 各水质指标权重值及一致性检验

Table 5 Weighted factor coefficients and consistency check for each contaminant

指标	权重	一致性检验	
TN	0.487	λ _{max}	5.04
TP	0.116	CI	0.00996
NH ₄ ⁺ -N	0.139	RI	1.12
COD _{Cr}	0.191	CR	0.0089 (<0.1)
DO	0.067		

4.2 时间变化

评价数据为2009年7月到2010年4月共4次的监测数据,其中,4月份代表春季,7月份代表夏季,10月份代表秋季,1月份代表冬季.水质数据取各个监测断面的算术平均值,评价结果如表6所示.由表6可知,冬季污染最严重,隶属于劣V类水质.清洁程度由高到低依次为秋季 > 春季 > 夏季 > 冬季.

表6 南苕溪各季度的模糊综合评价结果

Table 6 Results of fuzzy comprehensive evaluation of various seasons in the South Tiaoxi river

季节	隶属度						级别
	I	II	III	IV	V	劣V	
春	0.112	0.171	0.223	0	0	0.494	劣V
夏	0.016	0.047	0.123	0.121	0.169	0.524	劣V
秋	0.060	0.008	0.010	0.491	0.065	0.366	IV
冬	0.048	0	0.128	0.234	0	0.589	劣V

4.3 空间变化

利用4次监测数据,选取临西桥、临天桥、长桥、

群利桥、兰锦桥、三眼桥、青山湖大桥、青山湖大坝8个监测断面进行综合评价,结果见表7.从表7可以

表7 南苕溪各断面的模糊综合评价结果

Table 7 Results of fuzzy comprehensive evaluation in every section of the South Tiaoxi river

地点	夏季		秋季		冬季		春季		水功能区
	B _{max}	级别	B _{max}	级别	B _{max}	级别	B _{max}	级别	
临西桥	0.376	劣V	0.380	I	0.788	劣V	0.381	V	II类水质集中式生活饮用
临天桥	0.428	劣V	0.870	劣V	0.712	劣V	0.638	劣V	水源一级保护区
长桥	0.672	劣V	0.570	劣V	0.639	劣V	0.737	劣V	IV类水质一般工业用水区
群利桥	0.717	劣V	0.829	劣V	0.526	劣V	0.435	IV	
兰锦桥	0.745	劣V	0.966	劣V	0.664	劣V	0.331	III	IV类水质工农业用水区
三眼桥	0.409	劣V	0.607	劣V	0.832	劣V	0.386	劣V	
青山湖大桥	0.734	劣V	0.455	III	0.635	劣V	0.623	劣V	III类水质一般渔类养殖区
青山湖大坝	0.899	劣V	0.341	V	0.720	劣V	0.560	劣V	II类水质多功能区

注:水功能区是根据《杭州市地面水环境保护功能区划分方案》中的功能区命名来划分的,各采样点落在哪个功能区内,其水质控制目标就以该功能区要求为准,各季节水功能区要求不变.

看出,夏、冬季各断面水质均为劣 V 类,污染严重,秋、春季部分断面水质较好,但大部分属于劣 V 类水质.仅临西桥在秋、春季,群利桥、兰锦桥在春季,青山湖大桥、青山湖大坝在秋季的水质满足水功能区要求.

考虑到各指标对水功能区达标率的影响,依次选择不同的评价指标组合重新评价,评价结果见表 8.从表 8 可以看出,5 个指标全考虑时水功能区达标率为 18.75%;当不考虑 TN 的影响时,水功能区达标率可达 56.25%;而依次不考虑 TP、 NH_4^+ -N、DO 的影响进行评价时,水功能区达标率均为 9.38%;当不考虑 COD_{Cr} 时,水功能区达标率仅为 3.13%.因此,TN 对水功能区达标率影响最大,其次为 TP、 NH_4^+ -N、DO,影响最小的为 COD_{Cr} .说明研究河段富营养化严重,有机污染并不严重.

表 8 不同评价指标水功能区达标率结果

Table 8 Frequency of meeting the standards of water functions for different evaluation indexes

评价指标	水功能区达标率
TN、TP、 NH_4^+ -N、 COD_{Cr} 、DO	18.75%
TP、 NH_4^+ -N、 COD_{Cr} 、DO	56.25%
TN、 NH_4^+ -N、 COD_{Cr} 、DO	9.38%
TN、TP、 COD_{Cr} 、DO	9.38%
TN、TP、 NH_4^+ -N、DO	3.13%
TN、TP、 NH_4^+ -N、 COD_{Cr}	9.38%

5 结论 (Conclusions)

1) 南苕溪水质溶解氧含量较高,平均为 $7.55 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,TN 平均为 $3.36 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$,TP 平均为 $0.16 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, NH_4^+ -N 平均为 $0.96 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$, COD_{Cr} 平均为 $26.38 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.TN 是使水质变坏的主要因子.

2) 本文在原有模糊层次分析法的基础上,针对以往模糊层次分析法存在低估污染的严重性及不能评价劣 V 类水质的缺点,重点对隶属度函数进行改进.结果发现,改进的模糊层次分析法以各级水质标准上、下限的中间值为限值 S_{ij} 来计算隶属度,可以得到 6 个隶属度函数,更符合实际研究问题的需要.

3) 运用改进的模糊层次分析法对南苕溪临安段 2009—2010 年的季度实测水质进行评价,结果表明,年内总体的水质状况以劣 V 类为主.秋季水质最清洁,春、夏次之,冬季污染最严重.各断面水功能区超标严重,总体达标率仅为 18.75%,属富营养

化河流.

责任作者简介:张妙仙(1962—),女,教授,主要从事富营养化与面源污染研究. E-mail:zhangmx18@163.com.

参考文献 (References):

- Bhupinder S, Sudhir D, Sandeep J, *et al.* 2008. Use of fuzzy synthetic evaluation for assessment of groundwater quality for drinking usage: a case study of southern Haryana, India[J]. *Environ Geol*, 54: 249-255
- 陈月,席北斗,何连生,等. 2008. QUAL2K 模拟在西苕溪干流梅溪段水质模拟中的应用[J]. *环境工程学报*, 2(7): 1000-1003
- Chen Y, Xi B D, He L S, *et al.* 2008. Application of QUAL2K model for prediction of water quality in West Xiaoxi[J]. *Chinese Journal of Environmental Engineering*, 2(7): 1000-1003 (in Chinese)
- 褚克坚,华祖林,田红. 2009. 一种改进的水环境质量模糊层次综合评价模型[J]. *中国科技论文在线*, 4(5): 379-386
- Chu K J, Hua Z L, Tian H. 2009. An improved FAHP comprehensive water quality assessment model[J]. *Sciencepaper Online*, 4(5): 379-386 (in Chinese)
- 邓勃,秦建候,李隆弟. 1990. 水环境质量模糊综合评价中的一些问题探讨[J]. *环境科学学报*, 10(2): 258-262
- Deng B, Qin J H, Li L D. 1990. Fuzzy comprehensive evaluation for water quality[J]. *Acta Scientiae Circumstantiae*, 10(2): 258-262 (in Chinese)
- 方燕,党志良. 2005. 基于层次分析法的渭河流域水环境质量综合评价[J]. *水资源与水工程学报*, 16(1): 45-48
- Fang Y, Dang Z L. 2005. Weihe river water environment quality assessment based on AHP[J]. *Journal of Water Resources & Water Engineering*, 16(1): 45-48 (in Chinese)
- 李莲芳,曾希柏,李国学,等. 2006. 利用模糊综合评判法评价潮白河流域水质[J]. *农业环境科学学报*, 25(2): 471-476
- Li L F, Zeng X B, Li G X, *et al.* 2006. Water quality assessment in chaobai river by fuzzy synthetic evaluation method[J]. *Journal of Agro-Environment Science*, 25(2): 471-476 (in Chinese)
- 李丽娇,薛丽娟,张奇. 2008. 基于 SWAT 的西苕溪流域降雨—径流关系及水量平衡分析[J]. *水土保持通报*, 28(5): 81-85
- Li L J, Xue L J, Zhang Q. 2008. SWAT-based rainfall-runoff relationship and water balance analysis in Xitiaoxi catchment[J]. *Bulletin of Soil and Water Conservation*, 28(5): 81-85 (in Chinese)
- 李如忠. 2005. 水质评价理论模式研究进展及趋势分析[J]. *合肥工业大学学报(自然科学版)*, 28(4): 369-373
- Li R Z. 2005. Progress and trend analysis of theoretical methodology of water quality assessment [J]. *Journal of Hefei University of Technology(Natural Science)*, 28(4): 369-373 (in Chinese)
- 李兆富,杨桂山,李恒鹏. 2005. 西苕溪典型小流域土地利用对氮素输出的影响[J]. *中国环境科学*, 25(6): 678-681
- Li Z F, Yang G S, Li H P. 2005. Influence of land use on nitrogen exports in Xitiaoxi typical sub-watersheds[J]. *China Environmental Science*, 25(6): 678-681 (in Chinese)

- 梁涛,王浩,章申,等. 2003. 西苕河流域不同土地类型下磷素随暴雨径流的迁移特征[J]. 环境科学, 24(2): 35-40
- Liang T, Wang H, Zhang S, *et al.* 2003. Characteristics of phosphorous losses in surface runoff and sediment under different land use in west Tiaoxi catchment[J]. Environmental Science, 24(2): 35-40 (in Chinese)
- 陆卫军,张涛. 2009. 几种河流水质评价方法的比较分析[J]. 环境科学与管理, 34(6): 174-176
- Lu W J, Zhang T. 2009. Comparison and analysis of several appraisal methods for river water quality [J]. Environmental Science and Management, 34(6): 174-176 (in Chinese)
- 马玉杰,郑西来,李永霞,等. 2009. 地下水质量模糊综合评价法的改进与应用[J]. 中国矿业大学学报, 38(5): 745-750
- Ma Y J, Zheng X L, Li Y X, *et al.* 2009. Improvement and application of fuzzy synthetic evaluation of groundwater quality [J]. Journal of China University of Mining & Technology, 38(5): 745-750 (in Chinese)
- Meng L H, Chen Y N, Li W H, *et al.* 2009. Fuzzy comprehensive evaluation model for water resources carrying capacity in Tarim river basin [J]. Chin Geogra Sci, 19(1): 89-95
- 潘峰,付强,梁川. 2003. 基于层次分析法的模糊综合评价在水环境质量评价中的应用[J]. 东北水利水电, 21(8): 22-24
- Pan F, Fu Q, Liang C. 2003. Application of fuzzy comprehensive evaluation based on AHP in quality evaluation of water environment [J]. Water Resources & Hydropower of Northeast China, 21(8): 22-24 (in Chinese)
- 任珺,陶玲,郭彦英. 2007. 国内外饮用水水质标准的综合评价[J]. 中国环境监测, 23(6): 20-24
- Ren J, Tao L, Guo Y Y. 2007. Comprehensive assessments on standards of drinking water quality [J]. Environmental Monitoring in China, 23(6): 20-24 (in Chinese)
- 苏德林,武斌,沈晋. 1997. 水环境质量评价中的层次分析法[J]. 哈尔滨工业大学学报, 29(5): 105-107
- Su D L, Wu B, Shen J. 1997. The AHP of water environment quality assessment [J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 29(5): 105-107 (in Chinese)
- 王萍萍. 2008. 泉州饮用水源地水质指数评价法应用[J]. 环境与可持续发展, (2): 48-51
- Wang P P. 2008. Application of water quality index in the surface water of Quanzhou [J]. Environment and Sustainable Development, (2): 48-51 (in Chinese)
- 徐祖信. 2005a. 我国河流单因子水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 33(3): 321-325
- Xu Z X. 2005a. Single factor water quality identification index for environmental quality assessment of surface water [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 33(3): 321-325 (in Chinese)
- 徐祖信. 2005b. 我国河流综合水质标识指数评价方法研究[J]. 同济大学学报(自然科学版), 33(4): 482-488
- Xu Z X. 2005b. Comprehensive water quality identification index for environmental quality assessment of surface water [J]. Journal of Tongji University (Natural Science), 33(4): 482-488 (in Chinese)
- 薛巧英. 2004. 水环境质量评价方法的比较分析[J]. 环境保护科学, 30(124): 64-67
- Xue Q Y. 2004. Comparison and analysis of the methods on water environment quality assessment [J]. Environmental Protection Science, 30(124): 64-67 (in Chinese)
- 于兴修,杨桂山,欧维新. 2003. 非点源污染对太湖上游西苕河流域水环境的影响[J]. 湖泊科学, 15(1): 49-55
- Yu X X, Yang G S, Ou W X. 2003. Impacts of non-point source pollution on the water environment of xitionxi watershed [J]. Journal of Lake Sciences, 15(1): 49-55 (in Chinese)
- 张文鸽,李会安,蔡大应. 2004. 水环境质量评价的模糊综合评判方法[J]. 华北水利水电学院学报, 25(4): 70-73
- Zhang W G, Li H A, Cai D Y. 2004. Water quality evaluation by fuzzy comprehensive judgment [J]. Journal of North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 25(4): 70-73 (in Chinese)
- Zhang Y, Fan C H, Diao Z, *et al.* 2009. Evaluation of water quality in Er-longshan reservoir by fuzzy model [J]. Interdiscip Sci Comput Life Sci, (1): 30-39
- 朱雷,陈威. 2001. 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, 23(8): 61-65
- Zhu L, Chen W. 2001. Fuzzy complex index in water quality assessment of municipalities [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 23(8): 61-65 (in Chinese)