

基于 RAGA – PPCE 模型的滨州市流域水质综合评价

郭宁 (滨州学院建筑工程学院, 山东滨州 256600)

摘要 以山东省滨州市重点流域水质为例, 采用 RAGA – PPCE 模型对水质进行综合评价。选取对水体影响较大的 pH、化学需氧量 (COD)、总磷 (TP)、总氮 (TN)、氨氮 (NH₃ – N)、溶解氧 (DO) 6 项水质评价因子, 构造水质综合评价分级标准。结果表明: RAGA – PPCE 模型水质评价结果与模糊综合评价结果基本相同; RAGA – PPCE 模型评价结果客观、合理, 能够有效应用于水质综合评价。

关键词 RAGA – PPCE 模型; 水质评价; 投影寻踪

中图分类号 S181; X52 **文献标识码** A **文章编号** 0517 – 6611(2017)07 – 0053 – 03

Comprehensive Evaluation of Water Quality in Binzhou Basin Based on RAGA – PPCE Model

GUO Ning (School of Civil Engineering, Binzhou University, Binzhou, Shandong 256600)

Abstract Taking key river water quality in Binzhou City of Shandong Province as an example, comprehensive evaluation of water quality with RAGA-PPCE model was conducted. Selecting 6 water quality evaluation factors including pH, dissolved oxygen, total phosphorus, total nitrogen, ammonia nitrogen, dissolved oxygen, comprehensive evaluation of water quality classification standard was constructed. The results showed that RAGA-PPCE model water quality evaluation results and fuzzy comprehensive evaluation results are basically the same. The evaluation result of RAGA-PPCE model was objective and reasonable, and it can be applied to comprehensive evaluation of water quality.

Key words RAGA – PPCE model; Water quality evaluation; Projection pursuit

在城市生态水系建设中, 实施严格的水资源管理及水体污染监测都离不开评价水质状况。现今的评价方法有神经网络方法^[1]、模糊综合层次分析方法^[2]、单因素分析法^[3]、灰色关联分析法^[4]、主成分分析法^[5]、综合水质标识指数法^[6]、综合污染指数模型^[7]、Topsis 算法^[8], 这些算法都已在实际水质评价中运用并得到很好的效果。投影寻踪法 (PP)^[9]属于直接由样本数据驱动的探索性数据分析方法, 它把高维数据通过某种组合投影到低维子空间上进行聚类, 通过分析低维空间数据点的变化特征来研究高维数据结构特征。聚类就是按照一定的规则或者标准将对象聚为一个个集合, 所得到的分布是聚类前未确知的。它以类内具有较大密集度 (高内聚) 而类间具有相对大的散开度 (低耦合) 为目标, 寻找一维投影方向, 并根据每个样本相应的综合投影值对样本进行综合评价分析。基于实数编码的加速遗传算法求解模型 (RAGA – PPCE) 将标准遗传算法改为实数编码的形式, 采用加速循环的方式使求解速度加快^[10]。然而, 目前采用该方法对整个流域水系水质的评价却鲜见报道。笔者以滨州市主要河流水质 (杏花河、徒骇河、孝妇河、漳卫新河 4 个断面) 为对象, 采用 RAGA – PPCE 找出最佳投影方向, 构造水质综合评价分级标准, 以期为我国河流水质评价提供科学依据。

1 RAGA – PPCE 模型的建立

1.1 RAGA – PPCE 算法 首先构造指标函数^[11–12], 即把 N 维数据变成 $a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$, 为投影方向的一维投影值 z_i :

$$z_i = \sum_{j=1}^n a_j \times x_{ij}$$

然后根据 $\{z_i/i=1, 2, \dots, n\}$ 的一维散布图进行分类, 其中, a 为单位长度向量。投影函数可构造为:

$$Q(a) = \sigma_z \times \rho_z$$

式中, σ_z 为投影值 z_i 的标准差, ρ_z 为投影值 z_i 的密度^[13–14]。

1.2 加速遗传算法求解投影寻踪模型的步骤 RAGA 的求解步骤^[15]: ①采用二进制编码。②初始化群体。③适度评价, 目标值是 0 的情况, 定义适应度函数。④产生第 1 子代群体。⑤杂交产生第 2 代子群。⑥变异产生第 3 代子群。⑦继续迭代, 重复进行演化。⑧加速循环。选出优秀个体对应变化区间重新迭代, 如此循环。

2 应用实例

2.1 数据来源 滨州市主要水系有黄河水系、小清河水系和海河水系。水系内人口稠密, 经济发达, 流域内河流众多, 水系发育, 小清河水系有孝妇河、杏花河、小清河, 海河水系有徒骇河、马颊河、漳卫星河等。滨州市多年平均水资源总量为 30.67 亿 m³, 过境河流水资源量 11.95 亿 m³。流域面积 5 788 km²。人均水资源占有量 267 m³, 属于人均水资源量小于 500 m³ 的水危机地区。笔者选取小清河水系和海河水系为研究对象, 选取影响较大的氨氮 (NH₃ – N)、总磷 (TP)、总氮 (TN)、化学需氧量 (COD)、溶解氧 (DO)、pH 作为水质综合评价因子。

2.2 样本生成及参数设置

2.2.1 样本生成。选取孝妇河断面袁家桥 (长山) (1#)、马颊河断面李辛桥 (大店) (2#)、漳卫新河断面小泊头桥 (3#)、徒骇河断面申桥 (4#) 作为采样断面, 每条河流断面取 173 组水质数据集, 用于求取 RAGA – PPCE 模型最佳投影方向 a 。

2.2.2 参数设置。RAGA – PPCE 算法参数设置为最大迭代次数 $T=200$, 种群规模 $N=50$ ^[16–17]。

2.3 构造水质评价分级标准及结果 根据地表水环境质量国家标准 (GB 3838—2002) 及地表水水域环境功能和保护目标, 按功能高低依次划分为 I~V 类水, 所选指标对应的各类水环境质量标准见表 1。

作者简介 郭宁 (1982—), 女, 山东兖州人, 讲师, 硕士, 从事水资源及区域经济地理研究。

收稿日期 2016 – 11 – 15

表 1 选取指标对应地表水环境质量标准
Table 1 Criteria for surface water quality of each index

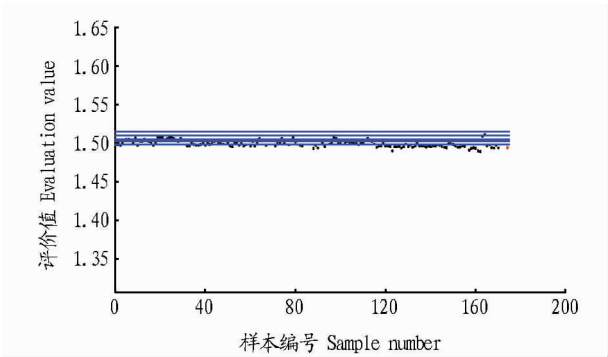
级别 Grade	pH	DO mg/L	TP g/kg	TN g/kg	COD mg/L	NH ₃ - N mg/L	评价值 Evaluation value
I	6	≥7.5	≤0.02	≤0.20	≤15.00	≤0.15	1.497 8
II	6	≥6.0	≤0.10	≤0.50	≤15.00	≤0.50	1.502 2
III	7	≥5.0	≤0.20	≤1.00	≤20.00	≤1.00	1.506 6
IV	8	≥3.0	≤0.30	≤1.50	≤30.00	≤1.50	1.511 9
V	9	≥2.0	≤0.40	≤2.00	≤40.00	≤2.00	1.515 5

由表 2 可知,孝妇河袁家桥(长山)断面 V 类水质以上占 60.08%,马颊河李辛桥(大店)断面 V 类水质以上占 68.74%,漳卫新河小泊头桥断面 V 类水质以上占 44.49%,徒骇河申桥断面 V 类水质占 95.08%,前 3 个断面的水质都没有 I 和 II 类。徒骇河申桥断面水质最好,漳卫新河小泊头桥断面水质最差。 $a = (0.045\ 0, 0.215\ 4, 0.299\ 6, 0.884\ 0, 0.124\ 1, 0.255\ 0)$ 为最佳投影方向。

表 2 各水源水质类别数量及比例
Table 2 Quantity and percentage of water quality categories

断面序号 Section No.	I		II		III		IV		V		劣V	
	数量 Number 个	比例 Proportion %	数量 Number 个	比例 Proportion %	数量 Number 个	比例 Proportion %	数量 Number 个	比例 Proportion %	数量 Number 个	比例 Proportion %	数量 Number 个	比例 Proportion %
1#	0	0	0	0	17	9.80	29	16.76	58	33.52	69	39.88
2#	0	0	0	0	12	6.90	32	18.49	75	43.35	52	30.05
3#	0	0	0	0	14	8.09	26	15.02	37	21.38	94	54.33
4#	15	8.67	52	30.05	30	17.30	33	19.07	36	20.80	7	4.00

图 1~4 是河流水质评价指标分布情况,图中 5 条直线是 5 类划分标准(从上而下分别是 I、II、III、IV、V),可以看到水质的分类并非固定不变,而是呈动态变化的,数据跨过夏、冬两季,随着冬季到来河水流量减小,水质变差,从图中可以明显看出,随着时间的推移水质越来越差。4 个断面的水质都是冬季最差。

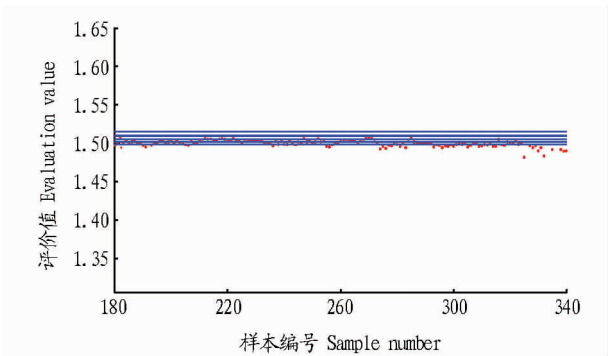


注:采样时间是 2016 年 7 月 2 日至 2016 年 12 月 15 日
Note:Sampling time was from July 2,2016 to December 15,2016

图 1 孝妇河袁家桥(长山)断面水质评价

Fig. 1 Water quality evaluation of Yuanjia Bridge of Xiaofu River(Changshan) section

2.4 评价结果 用 MATLAB 软件计算出投影值,见表 3(由于篇幅关系每个断面从 173 个中任选出 10 个指标)。由表 1 可知,RAGA-PPCE 模型水质评价结果与模糊综合法结果相同。从最佳投影方向来看,各评价指标均为正值,且相差不大,说明各指标投影方向一致,对于水质评价等级的影响相



注:采样时间是 2016 年 7 月 2 日至 2016 年 12 月 15 日
Note:Sampling time was from July 2,2016 to December 15,2016

图 2 马颊河李辛桥(大店)断面水质评价

Fig.2 Water quality evaluation of Lixin Bridge of Majia River (Dadian) section

同。通过定量计算,得到以下评价:4 条河在 173 个数据水质均有波动,但 1#、2#、3#均未达到过 I、II 类水标准,最高等级是 III 类水,且各水质之间差异较为明显。4#水质在 173 个数据内的两极分化比较明显,水质波动范围较大,总体水质最好;漳卫新河小泊头桥断面水质有 54% 处于 V 类水以下,3#达到劣 V 类水质次数最多,相比于其他河水其水质条件最差。

3 小结

该结果表明,RAGA-PPCE 模型评价结果客观、合理,能够有效应用于水质综合评价。利用 RAGA-PPCE 模型计算最佳投影方向 a,不但提高了该模型的评价精度,而且为模型最佳投影方向 a 的选取提供了一种新的途径和方法。

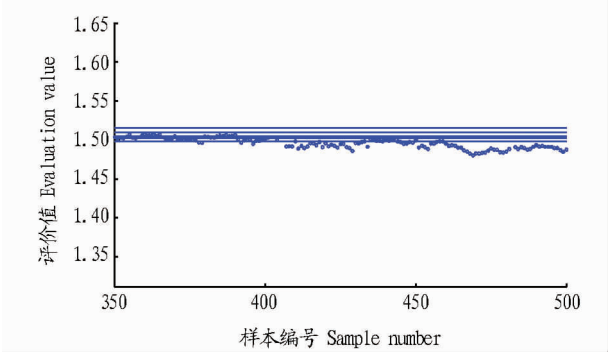


图 3 漳卫新河小泊头桥断面水质评价

Fig.3 Water quality evaluation of Xiaobotou Bridge of Zhangweixin River section

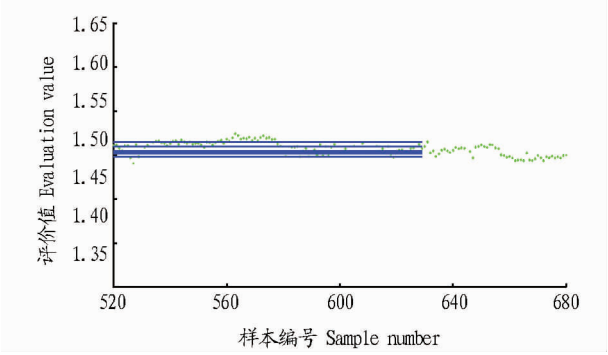


图 4 徒骇河申桥断面水质评价

Fig.4 Water quality evaluation of Shen Bridge of Tuhai River section

表 3 各断面水质评价因子监测值

Table 3 Monitoring values of water quality evaluation factors in each section

断面 Section	序号 No.	化学需氧量 Chemical oxygen demand mg/L	NH ₃ - N mg/L	pH	DO mg/L	TN g/kg	TP g/kg	投影值 Projection value	评价等级 Evaluation grade	模糊综合评 价方法评价等级 of fuzzy comprehensive evaluation method
1#	1	20.30	1.80	8.50	5.59	4.958	6.616	1.498 5	劣V	劣V
	2	22.20	1.34	8.43	4.44	2.123	6.544	1.497 8	V	V
	3	16.40	0.96	8.44	3.68	1.969	6.625	1.500 1	IV	IV
	4	15.40	0.93	8.43	3.66	1.762	5.875	1.503 4	III	III
	5	16.20	0.86	8.46	4.09	1.711	5.965	1.505 2	III	III
	6	15.70	0.72	8.66	5.75	1.969	4.868	1.505 0	IV	IV
	7	16.70	0.70	8.51	3.50	1.505	3.895	1.502 9	V	V
	8	17.00	0.74	8.76	6.18	3.721	4.989	1.500 9	III	III
	9	18.70	0.78	8.61	3.96	6.092	4.510	1.506 9	劣V	劣V
	10	20.10	0.82	8.52	2.69	3.257	4.690	1.497 8	IV	IV
2#	1	52.60	2.35	8.33	2.94	4.950	8.391	1.502 6	IV	IV
	2	52.60	2.35	8.33	2.94	2.120	7.704	1.502 6	III	III
	3	52.60	2.35	8.33	2.94	1.960	7.804	1.505 1	III	III
	4	50.40	2.43	8.36	3.23	1.760	8.147	1.504 7	IV	IV
	5	45.90	4.13	8.35	2.47	1.710	7.737	1.502 9	V	V
	6	44.20	3.02	8.27	2.93	1.960	6.288	1.501 8	劣V	劣V
	7	39.90	3.25	8.30	3.59	1.500	0.591	1.498 0	V	V
	8	41.40	3.41	8.26	3.29	3.720	0.477	1.501 0	III	III
	9	31.70	2.92	8.14	2.86	6.090	0.616	1.507 4	III	III
	10	32.00	2.33	8.35	5.77	3.250	6.312	1.507 1	III	III
3#	1	27.00	0.15	8.30	2.22	4.288	8.412	1.507 2	IV	IV
	2	26.20	0.13	8.30	2.23	4.701	8.568	1.504 0	III	III
	3	26.40	0.12	8.31	2.30	2.587	9.568	1.505 9	III	III
	4	27.50	0.17	8.34	2.56	5.422	8.351	1.507 5	III	III
	5	31.80	0.11	8.33	2.53	3.618	6.649	1.507 1	IV	IV
	6	25.90	0.12	8.33	2.69	4.494	3.865	1.506 1	IV	IV
	7	25.10	0.10	8.33	3.08	2.690	4.363	1.503 8	III	III
	8	24.80	0.09	8.37	3.64	3.567	3.582	1.503 8	劣V	劣V
	9	20.80	0.08	8.39	3.79	3.412	2.356	1.502 5	劣V	劣V
	10	21.80	0.08	8.44	4.76	2.948	3.347	1.506 4	V	V
4#	1	32.60	2.69	8.03	0.56	4.288	6.586	1.503 9	V	V
	2	37.60	2.79	8.00	0.80	4.701	5.884	1.497 1	劣V	劣V
	3	39.10	2.65	8.00	1.31	2.587	5.984	1.496 9	劣V	劣V
	4	48.90	2.91	8.04	0.53	5.422	6.060	1.501 3	劣V	劣V
	5	48.20	3.21	8.01	0.40	3.618	7.071	1.498 7	V	V
	6	47.90	2.81	7.99	0.42	4.494	6.065	1.497 7	V	V
	7	47.10	4.65	7.95	2.06	2.690	2.509	1.497 3	V	V
	8	39.80	4.86	8.05	2.50	3.567	4.504	1.498 4	V	V
	9	34.80	4.08	7.94	2.07	3.412	0.952	1.499 9	V	V
	10	30.40	2.93	7.98	3.30	2.948	0.331	1.497 7	V	V

参考文献

[1] 赵小勇,付强,邢贞相,等. 投影寻踪模型的改进及其在生态农业建设综合评价中的应用[J]. 农业工程学报,2006,22(5):222-225.

[2] 谭永明,孙秀玲. 基于加速遗传算法与投影寻踪的水质评价模型[J]. 水电能源科学,2008,26(6):42-44.

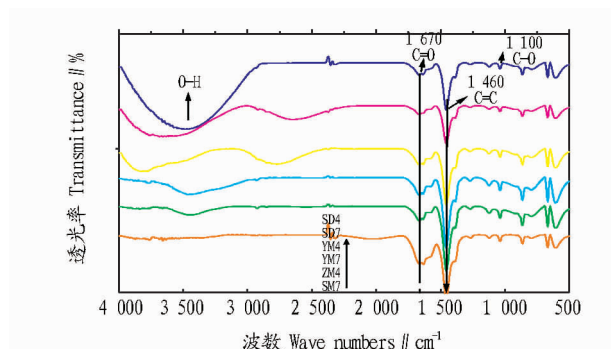
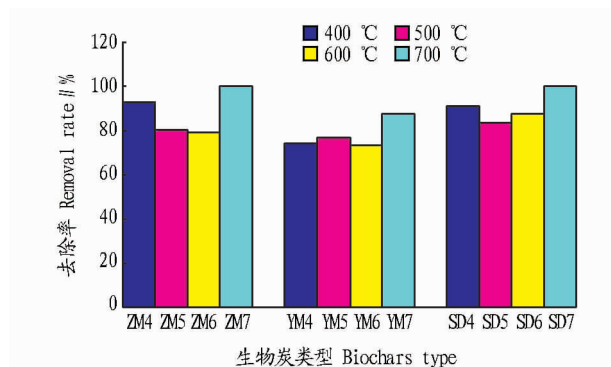


图2 不同秸秆生物炭的红外光谱

Fig.2 IR spectra of different straw materials biochars

对较差,对 Cu^{2+} 的去除率为 73.2% ~ 87.6%。

图3 不同热解温度下不同秸秆生物炭对 Cu^{2+} 的去除率Fig.3 Removal rate of Cu^{2+} on different straw materials biochars at different pyrolysis temperature

生物炭吸附重金属的机制比较复杂,大体有 4 种作用,即 pH 作用、离子交换、螯合作用和吸附作用^[11],生物炭对重金属离子主要依靠表面吸附作用,生物炭具有较大的比表面积和较高的表面能,有结合重金属离子的强烈倾向。结合上述生物炭的结构表征数据可知,高温热解时 SD7 和 ZM7 的比表面积相对较大,4 种吸附作用同时存在,且以吸附作用为主,故对 Cu^{2+} 去除效率较高;而其他生物炭比表面积较小,对 Cu^{2+} 去除效率主要为 pH 作用、离子交换、螯合作用 3 种作

用,相对吸附效率降低。

3 结论

以玉米、芝麻、水稻秸秆为原料在 400 ~ 700 °C 下热解炭化制备生物炭,对比考察了不同原料种类和不同热解温度下对生物炭结构性能的影响,结果表明,生物炭的 pH 呈碱性,且随炭化温度的升高而增大,比表面积也随炭化温度的升高而升高。在上述 3 类生物炭中,水稻、芝麻秸秆生物炭对 Cu^{2+} 的去除效率整体高于玉米生物炭,均保持在 80% 以上,其中比表面积和孔径结构相对发达的 SD7 和 ZM7 对 Cu^{2+} 的去除效率高达 100%,其生物炭对 Cu^{2+} 的去除作用主要是以吸附作用为主。

参考文献

- [1] JIANG J, XU R K. Application of crop straw derived biochars to Cu(II) contaminated ultisol: Evaluating role of alkali and organic functional groups in Cu(II) immobilization [J]. *Bioresource technology*, 2013, 133: 537 - 545.
- [2] MANYÀ J J. Pyrolysis for biochar purposes: A review to establish current knowledge gaps and research needs [J]. *Environmental science & technology*, 2012, 46(15): 7939 - 7954.
- [3] LIU Z, ZHANG F S. Removal of lead from water using biochars prepared from hydrothermal liquefaction of biomass [J]. *Journal of hazardous materials*, 2009, 167(1/2/3): 933 - 939.
- [4] CANTRELL K B, HUNT P G, UCHIMIYA M, et al. Impact of pyrolysis temperature and manure source on physicochemical characteristics of biochar [J]. *Bioresource technology*, 2012, 107(2): 419 - 428.
- [5] SUN K, RO K, GUO M, et al. Sorption of bisphenol A, 17 α -ethinyl estradiol and phenanthrene on thermally and hydrothermally produced biochars [J]. *Bioresource technology*, 2011, 102(10): 5757 - 5763.
- [6] AL-WABEL M L, AL-OMRAN A, EL-NAGGAR A H, et al. Pyrolysis temperature induced changes in characteristics and chemical composition of biochar produced from conocarpus wastes [J]. *Bioresource technology*, 2013, 131(3): 374 - 379.
- [7] TANG X C, CHEN J L. Cu^{2+} adsorption characteristic of biochar and its influential factor [J]. *Journal of Anhui Agri Sci*, 2014, 42(5): 1467 - 1470.
- [8] 卢信, 罗佳, 高岩, 等. 畜禽养殖废水中抗生素和重金属的污染效应及其修复研究进展 [J]. *江苏农业学报* 2014(3): 671 - 681.
- [9] 唐丽荣, 黄彪, 廖益强, 等. 纤维素热解反应研究进展 [J]. *广州化工*, 2009, 37(9): 8 - 10.
- [10] 周丹丹, 吴文卫, 赵婧, 等. 花生壳和松木屑制备的生物炭对 Cu^{2+} 的吸附研究 [J]. *生态环境学报*, 2016, 25(3): 523 - 530.
- [11] 林雪原, 荆延德, 巩晨, 等. 生物炭吸附重金属的研究进展 [J]. *环境污染与防治*, 2014, 36(5): 83 - 87.

(上接第 55 页)

- [3] 王洪梅, 卢文喜, 辛光, 等. 灰色聚类法在地表水水质评价中的应用 [J]. *节水灌溉*, 2007(5): 20 - 22.
- [4] 王艳琼, 白秀琴. 基于 BP 神经网络模型的水质评价及预测 [J]. *武汉工业学院学报*, 2007, 26(1): 64 - 67.
- [5] 陈兴, 程吉林, 刘芳. BP 神经网络用于水质评价的参数确定 [J]. *水利与建筑工程学报*, 2007, 5(1): 12 - 15.
- [6] 曾永, 樊引琴, 王丽伟, 等. 水质模糊综合评价法与单因子指数评价法比较 [J]. *人民黄河*, 2007, 29(2): 45.
- [7] 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.
- [8] 徐健, 吴玮, 黄天寅, 等. 改进的模糊综合评价法在同里古镇水质评价中的应用 [J]. *河海大学学报(自然科学版)*, 2014, 42(2): 143 - 149.
- [9] 徐兵兵, 张妙仙, 王肖肖. 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*, 2011, 31(9): 2066 - 2072.
- [10] 申剑, 史淑娟, 周扬, 等. 基于改进灰色关联分析法的丹江口流域地表

水环境质量评价 [J]. *中国环境监测*, 2014, 30(5): 41 - 46.

- [11] 卢文喜, 祝廷成. 应用人工神经网络评价长春南湖水的营养状态 [J]. *地理科学*, 1999, 19(5): 462 - 465.
- [12] 张欣莉, 丁晶, 李祚泳, 等. 投影寻踪新算法在水质评价模型中的应用 [J]. *中国环境科学*, 2000, 20(2): 187 - 189.
- [13] 付新峰, 谷晓伟, 刘晓岩, 等. 乌梁素海生态功能定位初步分析 [J]. *人民黄河*, 2008, 30(10): 61 - 62.
- [14] 管延海, 李强, 柴成繁. 模糊数学方法在天津市地下水水质评价中的应用 [J]. *地下水*, 2008, 30(2): 27 - 28.
- [15] 周惠成, 董四辉. 基于投影寻踪的水质评价模型 [J]. *水文*, 2005, 25(4): 14 - 17.
- [16] 汪明武, 金菊良, 李丽. 基于实码加速遗传算法的投影寻踪方法在砂土液化势评价中的应用 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2004, 23(4): 643.
- [17] 杨晓华, 杨志峰, 郇建强. 水质综合评价的遗传投影寻踪插值模型 [J]. *环境工程*, 2004, 22(3): 69 - 71.