

王伟,樊祥科,黄春贵,等. 基于长期定位监测数据的江苏主要湖泊渔业水质比较分析与综合评价[J]. 江苏农业科学,2015,43(4):371-374.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2015.04.131

基于长期定位监测数据的江苏主要湖泊渔业水质比较分析与综合评价

王伟¹,樊祥科²,黄春贵²,郑浩²,陈志军³,樊宝洪²,徐辰武¹

(1. 扬州大学农学院,江苏扬州 225009; 2. 江苏省渔业生态环境监测站,江苏南京 210036;

3. 中国农业科学院农业质量标准与检测技术研究所,北京 100081)

摘要:对 2001—2011 年(不含 2004 年)10 年间江苏省 5 个主要湖泊的渔业水质监测数据按系统分组资料进行方差分析,比较湖泊间各监测指标的差异显著性,并应用多指标综合评价法(TOPSIS 法)对 5 个湖泊水质进行综合评价。结果表明,除铜含量外,5 个湖泊间的水温、透明度、溶解氧等 14 个指标均存在极显著性差异;湖泊内站位间的透明度、总氮、总磷差异极显著;站位内年份间的 pH 值、化学需氧量、石油类、总磷、铅、镉、汞差异显著或极显著;渔业水质最好的是高宝邵伯湖,骆马湖水质与之相当,其后依次为洪泽湖、太湖、溧湖,5 个湖泊的水质由南向北越来越好,这与江苏南北工业经济发达程度呈高度的关联性。

关键词:江苏省;湖泊;渔业水质;综合比较;监测数据

中图分类号: X824 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2015)04-0371-04

湖泊是地表生态系统中人类赖以生存的自然单元之一,在供水、防洪、养殖、旅游、航运和维持生态平衡等方面发挥着巨大的作用。数十年来,随着我国人口的增加和工农业生产的发展,加之湖泊水资源过度开发,湖泊水资源短缺、水环境恶化和生态系统退化等问题日益凸显,已严重威胁到社会经济的可持续发展和人类健康^[1]。

江苏是我国淡水湖泊分布集中的省份之一,现有太湖、溧湖、洪泽湖、高宝邵伯湖和骆马湖 5 个省管湖泊,其中,太湖和洪泽湖是国内研究热点^[2-8]。多年来,江苏主管部门对这 5 个湖泊的增殖区、保护区、网围养殖区和进出湖河道等功能区开展了渔业环境监测,但对这 5 个湖泊大量的渔业水质监测数据还缺乏系统的分析。TOPSIS (technique for order preference by similarity to ideal solution)也叫逼近于理想解的技术,

是系统工程中有限方案多目标决策分析常用的一种决策方法,其核心思想是通过先定义决策问题的理想解与负理想解,然后比较评价方案与理想解和负理想解的距离远近,最后计算各个方案与理想解的相对贴近度,并进行方案的优劣排序。TOPSIS 法对数据分布及样本量、指标多少无严格限制,数学计算亦不复杂,既适用于少样本资料,也适用于多样本的大系统,已在医疗、经济、农业等领域得到广泛应用^[9-10]。目前,基于长期定位监测数据的江苏省主要湖泊渔业水质比较分析与综合评价尚未见相关文献报道。

利用系统分组资料方差分析方法,对江苏多年定位监测的 5 个湖泊渔业水质数据进行统计分析,鉴别湖泊间、湖泊内站位间和站位内年份间的差异显著性,并应用 TOPSIS 法对 5 个湖泊渔业水质进行评价,有助于进一步探讨渔业水质差异与湖泊流域周围经济发展水平之间的关系,不但可以为当地渔业生产服务,还可以为该地区行业发展政策的制定提供技术支撑。

1 材料与方法

1.1 数据来源

2001—2011 年(不含 2004 年)太湖、溧湖、洪泽湖、高宝邵伯湖、骆马湖这 5 个湖泊渔业水质的监测数据,由江苏省渔业

收稿日期:2014-09-11

基金项目:江苏省高校“青蓝工程”科技创新团队项目;江苏省作物学优势学科项目。

作者简介:王伟(1979—),女,山东泰安人,博士,主要从事试验统计学研究。E-mail:wangwei-2002@sohu.com。

通信作者:徐辰武,教授,博士生导师,主要从事试验统计学研究。E-mail:cwxu@yzu.edu.cn。

[5] 种云霄. 利用沉水植物治理水体富营养化[J]. 广州环境科学, 2005,20(3):41-43.

[6] 熊秉红,李伟. 我国苦草属(*Vallisneria* L.)植物的生态学研究[J]. 武汉植物学研究,2000,18(6):500-508.

[7] 黄丽萍,谢平. 水草新品种——伊乐藻[J]. 渔业致富指南, 2002(16):19-20.

[8] 马剑敏,贺锋,成水平,等. 武汉莲花湖水生植被重建的实践与启示[J]. 武汉植物学研究,2007,25(5):473-478.

[9] Kristensen P, Sondergaard M, Jeppesen E. Resuspension in a shallow

eutrophic lake[J]. Hydrobiologia, 1991, 228(1):101-109.

[10] Hamilton D P, Mitchell S F. An empirical model for sediment resuspension in shallow lakes[J]. Hydrobiologia, 1996, 317(3):209-220.

[11] 逢勇,颜润润,余钟波,等. 风浪作用下的底泥悬浮沉降及内源释放量研究[J]. 环境科学, 2008, 29(9):2456-2464.

[12] 张运林,秦伯强,陈伟民,等. 太湖水体中悬浮物研究[J]. 长江流域资源与环境, 2004, 13(3):266-271.

[13] 梁彦岭,刘伙泉. 草型湖泊资源,环境与渔业生态学管理(一)[M]. 北京:科学出版社,1995:227-235.

生态环境监测站提供,其中,太湖共监测 413 站次,溧湖共监测 183 站次,洪泽湖共监测 205 站次,高宝邵伯湖共监测 221 站次,骆马湖共监测 142 站次,总监测数据量达 13 537 个。

1.2 监测指标及测定方法

采用瞬时采样法采集表层水样,15 个监测指标分别为水温、透明度、pH 值、溶解氧、化学需氧量、高锰酸钾指数、石油类、氨态氮、总氮、总磷、铜、铅、镉、汞、砷。水温、透明度、pH 值、溶解氧为现场测定,其他项目由水样加入试剂固定处理后带回实验室进行分析。样品固定与分析按《水和废水监测分析方法》^[11]进行,评价标准依据 GB 11607—1989《渔业水质标准》、GB 3838—2002《地表水环境质量标准》执行。

1.3 统计分析方法

1.3.1 系统分组资料方差分析 以湖泊作为组、湖泊内监测站位作为组内亚组、站位内年份作为小亚组,进行 3 级系统分组资料方差分析,以比较各监测指标的差异显著性。

1.3.2 TOPSIS 法水质综合评价 主要分析步骤:建立同趋势化的原始数据矩阵,以消除不同指标不同纲量及其数量级差异对评价结果的影响;对同趋势化的原始数据矩阵进行归一化处理,建立归一化数据矩阵,其计算公式为: $u = (\bar{x} - x_{\min}) / (x_{\max} - x_{\min})$;根据归一化矩阵得到最优值向量 A^+ 和最劣值向量 A^- ;分别计算各方案的评价指标值与最优方案和最劣方案的距离 D_i^+ 和 D_i^- ,计算公式分别为: $D_i^+ = \sqrt{\sum (a_{ij\max} - a_{ij})^2}$ 和 $D_i^- = \sqrt{\sum (a_{ij\min} - a_{ij})^2}$;计算各评价指标与最优方案的接近程度,计算公式为: $C_i = D^- / (D^- + D^+)$, C_i 值越小,水质越好,反之,水质越差。

2 结果与分析

2.1 5 个湖泊水质的理化特征

水体透明度的大小,不仅影响水中浮游植物的光合作用,而且还能大致反映水中浮游植物的丰歉和水质的肥度,透明度越小,浮游生物量越多;反之,浮游生物量越少。水质 pH 值低于 6.5,可使水产动物血液中的 pH 值下降,削弱了其血

液载氧能力,造成水产动物患生理缺氧症;水质 pH 值过高,则可腐蚀鱼虾鳃部组织,影响鱼虾的呼吸功能。溶解氧是水污染状态的重要指标之一,当水中溶解氧消失时,厌氧细菌繁殖形成厌氧分解,可分解出甲烷、硫化氢、氨等有毒气体。化学需氧量是指以重铬酸钾作为氧化剂所消耗的量,而高锰酸盐指数是以高锰酸钾作为氧化剂所消耗的量,两者都是反映地表水体受有机污染物和还原性无机物污染程度的综合指标。石油类对鱼类等水生生物具有较强的毒性,可存于脂肪中在生物体内富集。水体中的氨态氮是各类型氮中危害影响最大的一种形态,是水体中的主要耗氧污染物,是水体受到污染的标志,氨态氮氧化分解可消耗水中的溶解氧,使水体发黑发臭。总氮是衡量水质的重要指标之一,总氮增加和磷过量均会使浮游植物繁殖茂盛,水体出现富营养化,破坏水体中的氧气平衡,导致水质恶化,同时,藻类等浮游植物的死亡将释放毒素,引起水体进一步受到污染。

由表 1 可见,5 个湖泊水温变化范围为 20.32~23.10℃,变异系数中等,在 0.19~0.34 之间;5 个湖泊中,骆马湖透明度最大,为 0.86 m,其次是高宝邵伯湖,为 0.62 m,溧湖透明度最小,为 0.36 m;监测年份内,5 个湖泊的 pH 值基本正常,变动不大,比较稳定,变异系数均较小,在 0.06~0.08 之间;5 个湖泊溶解氧变化范围为 7.86~9.26 mg/L,变异系数中等,在 0.24~0.30 之间;溧湖的化学需氧量和高锰酸盐指数均较大,分别为 36.43、6.46 mg/L,其变异系数分别为 0.28 和 0.27,高宝邵伯湖的高锰酸盐指数变异系数为 0.97,变异较大;洪泽湖的石油类含量相对最高,为 76.40 μg/L,变异系数相对最大,为 0.98;太湖的氨态氮含量相对最高,为 0.55 mg/L,变异系数相对最大,为 0.91;溧湖的总氮和总磷含量相对最大,分别为 3.18、0.18 mg/L,其变异系数分别为 0.51 和 0.88;铜、铅、镉、汞、砷均符合我国渔业水质标准,但相对变异均较大。

2.2 5 个湖泊水质指标的差异显著性比较

由表 2 可见,除铜含量外,5 个湖泊的水温、透明度、溶解氧等 14 个指标均存在极显著性差异,这可能是由这些湖泊被

表 1 2001—2011 年 5 个湖泊渔业水质指标基本统计值

湖泊	统计量	水温 (℃)	透明度 (m)	pH 值	溶解氧 (mg/L)	化学 需氧量 (mg/L)	高锰酸盐 指数 (mg/L)	石油类 (μg/L)	氨态氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	铜 (μg/L)	铅 (μg/L)	镉 (μg/L)	汞 (μg/L)	砷 (μg/L)
太湖	平均值	22.52	0.42	7.95	8.18	31.56	4.15	46.20	0.55	2.13	0.11	5.72	3.84	1.03	0.08	10.40
	标准差	6.31	0.31	0.56	1.96	11.99	1.49	42.50	0.50	1.62	0.11	5.49	3.15	0.75	0.07	9.67
	变异系数	0.28	0.73	0.07	0.24	0.38	0.36	0.92	0.91	0.76	0.98	0.96	0.82	0.73	0.91	0.93
溧湖	平均值	22.99	0.36	8.10	9.26	36.43	6.46	48.90	0.43	3.18	0.18	5.89	3.46	0.75	0.15	2.61
	标准差	4.83	0.26	0.49	2.69	10.20	1.74	42.05	0.37	1.62	0.16	5.12	3.01	0.67	0.14	1.75
	变异系数	0.21	0.71	0.06	0.29	0.28	0.27	0.86	0.87	0.51	0.88	0.87	0.87	0.89	0.96	0.67
洪泽湖	平均值	21.52	0.40	8.40	7.86	23.51	4.31	76.40	0.34	1.39	0.11	4.99	3.70	1.44	0.17	1.77
	标准差	5.81	0.27	0.59	2.28	5.64	1.51	74.87	0.19	1.13	0.11	4.84	3.40	1.38	0.15	1.04
	变异系数	0.27	0.68	0.07	0.29	0.24	0.35	0.98	0.56	0.81	0.99	0.97	0.92	0.96	0.87	0.59
高宝邵 伯湖	平均值	23.10	0.62	8.01	8.49	21.13	7.72	15.90	0.25	1.61	0.08	4.26	3.27	1.19	0.07	1.68
	标准差	4.39	0.48	0.64	2.55	12.89	7.49	12.88	0.18	1.19	0.08	3.79	3.04	1.09	0.02	0.76
	变异系数	0.19	0.78	0.08	0.30	0.61	0.97	0.81	0.70	0.74	0.95	0.89	0.93	0.92	0.34	0.45
骆马湖	平均值	20.32	0.86	8.43	8.37	22.02	3.56	43.70	0.23	1.60	0.05	3.73	8.54	0.23	0.19	1.15
	标准差	6.91	0.58	0.67	2.01	3.74	1.00	33.65	0.17	1.15	0.05	3.21	8.20	0.20	0.16	0.66
	变异系数	0.34	0.68	0.08	0.24	0.17	0.28	0.77	0.74	0.72	0.95	0.86	0.96	0.80	0.86	0.57

表 2 5 个湖泊主要水质指标的单因子方差分析

变异来源	水温			透明度			pH 值			溶解氧			化学需氧量		
	df	MS	F 值	df	MS	F 值	df	MS	F 值	df	MS	F 值	df	MS	F 值
湖泊间	4	156.08	24.9**	4	4.76	14.36**	4	11.07	22.66**	4	38.72	6.65**	4	6058.52	36.53**
湖泊内站位间	117	6.27	0.40	114	0.33	1.94**	115	0.49	1.06	116	5.82	1.28	100	165.86	0.87
站位内年份间	224	15.77	0.30	147	0.17	2.01**	302	0.46	1.95**	306	4.56	0.87	166	190.71	2.47**
误差	414	52.61		307	0.08		394	0.24		524	5.27		477	77.33	
总数	759			572			815			950			747		

变异来源	高锰酸盐指数			石油类			氨态氮			总氮			总磷		
	df	MS	F 值	df	MS	F 值	df	MS	F 值	df	MS	F 值	df	MS	F 值
湖泊间	4	291.23	4.12**	4	0.09	6.21**	4	3.01	23.88**	4	97.63	22.38**	4	0.41	10.71**
湖泊内站位间	113	70.65	19.53**	122	0.02	1.00	114	0.13	1.09	119	4.36	2.55**	119	0.04	2.00**
站位内年份间	169	3.62	0.14	356	0.02	2.00*	251	0.12	0.90	367	1.71	1.09	366	0.02	2.00**
误差	369	25.86		634	0.01		382	0.13		639	1.57		626	0.01	
总数	655			1116			751			1129			1115		

变异来源	铜			铅			镉			汞			砷		
	df	MS ($\times 10^{-4}$)	F 值	df	MS ($\times 10^{-5}$)	F 值	df	MS ($\times 10^{-6}$)	F 值	df	MS ($\times 10^{-8}$)	F 值	df	MS ($\times 10^{-4}$)	F 值
湖泊间	4	1.56	0.66	4	62.3	33.97**	4	32.9	8.92**	4	48.90	19.92**	4	37.00	5.25**
湖泊内站位间	113	2.38	0.96	110	1.84	0.32	108	3.69	0.41	114	2.46	0.77	113	7.04	0.56
站位内年份间	351	2.47	1.08	340	5.79	5.68**	328	8.94	1.19*	328	3.00	1.50**	328	12.60	1.14
误差	596	2.29		550	1.02		503	7.48		539	2.00		471	11.00	
总数	1064			1004			943			985			916		

利用的方式不同所致;湖泊内站位间的透明度、总氮、总磷存在极显著性差异,其他指标差异不显著;站位内年份间的 pH 值、化学需氧量、石油类、总磷、铅、镉和汞含量差异显著或极显著,这说明这些指标在年际间均不稳定。

由表 3 可见,高宝邵伯湖的水温最高,与骆马湖差异显著,但与溧湖、太湖、洪泽湖之间差异不显著;骆马湖的透明度最高,其次是高宝邵伯湖,溧湖、太湖、洪泽湖间水质的透明度差异不显著;5 个湖泊溶解氧均符合渔业水质标准,其中以溧湖最高,与其他湖泊差异显著;溧湖和太湖的化学需氧量浓度分别为 36.43、31.56 mg/L,为地表水环境质量标准Ⅴ类水质,两者差异显著,其他 3 个湖泊为Ⅳ类水质;从高锰酸盐指数看,高宝邵伯湖和溧湖为地表水环境质量标准Ⅳ类水质,两者之间差异不显著,其次是太湖和洪泽湖,达到地表水环境质量Ⅲ类标准,骆马湖达到Ⅱ类标准,与太湖和洪泽湖差异不显著;只有洪泽湖水质的石油类指标未达渔业水质标准,与其他

4 个湖泊差异显著,高宝邵伯湖石油类含量最低为,15.90 μg/L;太湖的氨态氮指标最高,为 0.55 mg/L,达地表水环境质量Ⅲ类标准,与达地表水环境质量Ⅱ类标准的其他 4 个湖泊差异显著;溧湖和太湖的总氮含量分别为 3.18、2.13 mg/L,均为地表水环境质量标准Ⅴ类水质,两者之间差异显著;5 个湖泊的总磷含量均不超过地表水环境质量标准Ⅴ类水质标准,溧湖的总磷含量最高,为 0.18 mg/L,与其他湖泊间差异显著,骆马湖最低,为 0.05 mg/L,达地表水环境质量Ⅲ类标准;5 个湖泊的铅、镉、汞和砷含量均符合渔业水质标准;骆马湖铅浓度最高,为 8.54 μg/L,与其他 4 个湖泊间差异显著;洪泽湖的镉含量最高,为 1.44 μg/L,与太湖、高宝邵伯湖差异不显著,与溧湖和骆马湖差异显著;骆马湖的汞含量最高,为 0.19 μg/L,与洪泽湖差异不显著;太湖的砷含量最高,为 10.40 μg/L,与其他 4 个湖泊差异显著。

表 3 5 个湖泊主要水质指标的多重比较

湖泊	水温 (℃)	透明度 (m)	pH 值	溶解氧 (mg/L)	化学需氧量 (mg/L)	高锰酸盐指数 (mg/L)	石油类 (μg/L)	氨态氮 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	铅 (μg/L)	镉 (μg/L)	汞 (μg/L)	砷 (μg/L)
太湖	22.52a	0.42c	7.95d	8.18bc	31.56b	4.15b	46.20b	0.55a	2.13b	0.11b	3.84b	1.03ab	0.08c	10.40a
溧湖	22.99a	0.36c	8.10c	9.26a	36.43a	6.46a	48.90b	0.43b	3.18a	0.18a	3.46b	0.75bc	0.15b	2.61b
洪泽湖	21.52ab	0.40c	8.40b	7.86c	23.51c	4.31b	76.40a	0.34c	1.39c	0.11b	3.70b	1.44a	0.17ab	1.77b
高宝邵伯湖	23.10a	0.62b	8.01cd	8.49b	21.13d	7.72a	15.90c	0.25d	1.61c	0.08c	3.27b	1.19ab	0.07c	1.68b
骆马湖	20.32b	0.86a	8.43a	8.37bc	22.02cd	3.56b	43.70b	0.23d	1.60c	0.05d	8.54a	0.23c	0.19a	1.15b

注:同列数据后不同小写字母表示在 0.05 水平上有显著性差异。

2.3 5 个湖泊水质的综合评价

由于水温和 pH 值不具有同趋势性,故选取透明度、溶解氧、化学需氧量等 13 个监测指标进行 TOPSIS 分析,由于透明度和溶解氧为高优指标,其他均为低优指标,因此,将透明度

和溶解氧取倒数,转化为低优指标。将同趋势化后的数据进行归一化处理,建立相应的归一化数据矩阵(表 4)。最优值向量和最劣值向量分别为: $A^+ = \min(0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0)$ 和 $A^- = \max(1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1,1)$ 。

表 4 5 个湖泊主要水质指标的归一化结果

湖泊	透明度	溶解氧	化学需氧量	高锰酸盐指数	石油类	氨态氮	总氮	总磷	铜	铅	镉	汞	砷
太湖	0.754	0.741	0.681	0.141	0.500	1.000	0.413	0.461	0.909	0.060	0.666	0.077	1.000
溇湖	1.000	0.000	1.000	0.697	0.544	0.625	1.000	1.000	1.000	0.000	0.500	0.641	0.161
洪泽湖	0.828	1.000	0.155	0.180	1.000	0.343	0.000	0.461	0.590	0.060	1.000	0.816	0.075
高宝邵伯湖	0.278	0.509	0.000	1.000	0.000	0.062	0.122	0.230	0.272	0.020	0.916	0.000	0.064
骆马湖	0.000	0.597	0.058	0.000	0.458	0.000	0.117	0.000	0.000	1.000	0.000	1.000	0.000

由表 5 可见,高宝邵伯湖的 C_i 值最小,为 0.345,溇湖的 C_i 值最大,为 0.582,这说明高宝邵伯湖渔业水质相对最好,溇湖渔业水质相对最差;骆马湖的 C_i 值为 0.347,与高宝邵伯湖的 C_i 值相差不多,这说明骆马湖和高宝邵伯湖的综合水质优劣相当;从 5 个湖泊的渔业水质优劣排序看,渔业水质最好的是高宝邵伯湖,其后依次是骆马湖、洪泽湖、太湖和溇湖,由南向北水质越来越好。

表 5 5 个湖泊水质评价结果

湖泊	D_i^+	D_i^-	C_i	排序
太湖	1.924	2.349	0.549	4
溇湖	1.876	2.619	0.582	5
洪泽湖	2.252	2.257	0.500	3
高宝邵伯湖	2.893	1.525	0.345	1
骆马湖	3.020	1.607	0.347	2

3 讨论

湖泊作为人类一种宝贵的自然资源,在国家社会经济可持续发展中起着重要的作用。然而,在全球气候环境变化和我国工业化、城镇化快速推进的背景下,我国湖泊被大量不合理开发,如盲目围垦取水、围网养殖、筑堤修坝、排污等,人类掠夺性的开采和开发已经对湖泊造成严重破坏。随着江苏省 5 个湖泊流域和周边地区人口增长和经济快速发展,湖泊总氮、总磷和重金属等污染物增加,湖泊水环境污染不断加重,入湖污染物的增加引起湖泊水环境质量下降^[12]。近几十年来,5 个湖泊均面临着湖泊萎缩与调蓄能力降低、水质下降与富营养化加重、生物多样性减少与生态退化等问题,并引发一系列生态与环境后果,严重影响流域居民日常生活和经济的可持续发展。由于各湖泊的利用方式及类型不同,造成江苏省这 5 个湖泊渔业水质有所差异,如何控制好不同利用方式对水体产生的影响,做到既很好地利用水体资源,又不破坏水生态系统,有待于进一步探讨。

对水环境进行质量评价,可以了解水质状况和不同水域水体的质量差别,既为水环境管理决策提供科学依据,同时也是进行水环境管理的重要手段之一。水体环境评价的方法有多种,如模糊聚类分析法、综合指标法、灰色系统法、因子分析法等^[13-16],这些方法各有优缺点,在评价同一区域或不同区域环境时均表现出不同的优劣程度。TOPSIS 法通过对数据指标同趋势化和归一化处理,消除了不同量纲的影响,能定量反映不同评价单元的优劣程度,对样本资料无特殊要求,使用灵活简便^[17],是一种较好的综合评价方法。本研究结果表明,5 个湖泊的渔业水质优劣排序,基本上是由南向北水质越来越好,这与江苏从南到北的工业经济发达程度呈高度关联

性,即工业经济发达程度越高,湖泊渔业水质可能相应越差。

以往的渔业水质监测数据,仅以简单的柱形图描述各监测指标是否超标,没有充分利用统计学分析方法进行统计分析。本研究首次采用系统分组资料方差分析方法处理长期定位监测的渔业水质监测数据,并应用 TOPSIS 法对江苏 5 个湖泊渔业水质 13 个指标进行差异比较,该方法简便、快捷,是评价水体质量较理想的综合评价方法,值得推广应用。

参考文献:

[1] 濮培民,王国祥,李正魁,等. 健康水生态系统的退化及其修复——理论、技术及应用[J]. 湖泊科学,2001,13(3):193-203.

[2] 成芳,凌去非,徐海军,等. 太湖水质现状与主要污染物分析[J]. 上海海洋大学学报,2010,19(1):105-110.

[3] 李波,濮培民,韩爱民. 洪泽湖水质的时空相关性分析[J]. 湖泊科学,2002,14(3):259-266.

[4] 高永年,高俊峰,陈炯烽,等. 太湖流域水生态功能三级分区[J]. 地理研究,2012,31(11):1941-1951.

[5] 袁和忠,沈吉,刘恩峰. 太湖重金属和营养盐污染特征分析[J]. 环境科学,2011,32(3):649-657.

[6] 刘瑞民,王学军,郑一,等. 太湖水质参数中小尺度空间结构特征[J]. 长江流域资源与环境,2002,11(1):32-35.

[7] 张少威,刘茂松,徐驰,等. 洪泽湖 7 条入湖河流的水质动态及其关联分析[J]. 南京林业大学学报:自然科学版,2012,36(4):36-40.

[8] 李波,濮培民. 淮河流域及洪泽湖水质的演变趋势分析[J]. 长江流域资源与环境,2003,12(1):67-73.

[9] 刘玉秀,徐少青. TOPSIS 法用于医院工作质量的多指标综合评价[J]. 中国卫生统计,1993,10(2):12-15.

[10] 雷战波,朱正威,王雷. 基于熵权夹角和 TOPSIS 的企业经济效益诊断模型[J]. 运筹与管理,2005,14(2):142-148.

[11] 国家环保局《水和废水监测分析方法》编委会. 水和废水监测分析方法[M]. 北京:中国环境科学出版社.

[12] 杨桂山,马荣华,张路,等. 中国湖泊现状及面临的重大问题与保护策略[J]. 湖泊科学,2010,22(6):799-810.

[13] 郭光武,王明祥,余跃生,等. 黔南地区水体环境单元的模糊聚类分析[J]. 现代预防医学,2008,35(24):4766-4768.

[14] 彭小金,张艳红,李辉辉. 模糊综合评价在地下水水质评价中的应用[J]. 水科学与工程技术,2008(6):46-48.

[15] 郑建青. 水环境质量评价的灰色局势决策法[J]. 科技与管理,2003,5(3):29-31.

[16] 杨威,卢文喜,李平,等. 因子分析法在伊通河水质评价中的应用[J]. 水土保持研究,2007,14(1):113-114.

[17] 张瑞棉,张铁源,韩志娟,等. TOPSIS 方法在地表水水质评价中的应用[J]. 东北水利水电,2006,24(7):51-53.