

文章编号: 1004-8227(2010)06-0696-07

太湖出入湖河流水质多元统计分析

余 辉¹, 燕姝雯¹, 徐 军²

(1. 中国环境科学研究院湖泊生态环境创新基地, 北京 100012;

2. 中国科学院水生生物研究所东湖湖泊生态系统试验站, 湖北 武汉 430072)

摘 要: 应用多元统计方法分析了太湖 53 条出入湖河流出入湖断面的水质监测指标。系统聚类分析方法将出入湖河流分为污染程度由高到低的 3 类, 与太湖流域污染空间分布现状基本一致。因子分析表明: 就全部监测河流来说影响河流水质的主导因素是氮, 磷次之。I 类河流首先是氮污染为主导因素, 有机物污染次之; II 类河流是以氮污染为主导因素, 磷污染次之; III 类河流首先受到有机污染和磷污染控制, 其次受到氮污染的影响。

关键词: 太湖; 河流; 水质; 多元统计分析

文献标识码: A

河流水质受到人类活动和自然过程的共同影响^[1]。过度的人类活动是导致河流水质退化的重要因素^[2]。随着现代经济的迅速发展, 受工业和城市废水以及农田地表径流等人为因素的影响, 河流污染问题日益严重^[3]。因此, 确定影响河流水质的主要环境因素对受损河流生态系统的修复和河流生态系统的服务功能的维持至关重要^[4]。

太湖湖区共有 200 多条出入湖河流。由于太湖周边工业、农业以及旅游业的迅速发展, 太湖出入湖河流水质均有不同程度的恶化^[5]。据测算, 江苏省太湖流域 15 条主要入湖河流的污染负荷占江苏太湖入湖污染总负荷的 80% 以上。因此, 出入湖河流的水环境质量及其对太湖湖体水质的影响成为关注的焦点。

在应用多元统计分析方法探讨太湖水质方面, 已有学者采用主成分分析法和因子分析方法对太湖水体水质进行了分析并发现氮、磷是影响太湖水质的主导因素^[6~8]。但尚缺乏对环太湖出入湖河流的相关研究。由于不同水域的环太湖河流的水质状况和富营养化程度存在差异, 不同水域水质的主导影响因子也有所不同, 因此, 识别影响其水质的主要因子, 确定各个影响因子对指标的贡献率, 对客观评估环太湖出入湖河流水质现状, 河流的可持续管理以及区域的生态环境建设具有非常重要的意义。应用多元分析统计方法对纷乱复杂的数据指标进行分析, 找出其中关键的影响因素, 使我们更好的认识到

水生生态系统的现状, 提供一种有效地水资源管理工具, 有助于加速水污染问题的解决^[3, 9~13]。本研究按水质指标聚类分析将环太湖入湖河流分为三类, 针对这三类河流分别进行主成分分析, 找出了其主要影响因子, 以期对太湖富营养化的治理方案提供科学依据。

1 研究方法

1.1 研究区域

太湖流域位于东经 119°52′32″~120°36′10″、北纬 30°55′40″~31°32′58″, 是长江中下游 7 个湖泊集中区之一, 其流域面积为 3.6 万 km², 行政上跨苏、浙、皖、沪 3 省 1 市。流域水面面积为 5 551 km², 约占流域总面积的 15%, 其中河道面积 2 392 km²。随着社会经济的发展, 到 2007 年末, 全流域常住人口达到 3 600 万, 约占全国总人口的 3%^[14]。

由于太湖流域地形是西部为丘陵山地, 东部为平原, 河流水系基本自西向东倾斜。以太湖为中心, 西部为上游, 东部为下游。水系特点是上游为树枝状排列的河流, 下游则呈现为扇状排水系统。全区总河长为 12 000 km, 河网密度为 3.24 km/km², 平均每隔 600~800 m 就有 1 条河流, 另外还有大小湖泊 189 个, 总面积 3 159 km²。

按照上游来水水源, 可将上游水系分为笕溪水系、宜溧水系、洮漏水系以及武进港-直湖港水系。

收稿日期: 2010-03-18; 修回日期: 2010-04-15

基金项目: 国家水体污染控制与治理科技重大专项(2008ZX07101-001)和中央级公益性科研院所基本科研业务专项(2007KYYW29)

作者简介: 余 辉(1963~), 女, 湖南省沅江人, 副研究员, 主要从事湖泊环境研究。E-mail: yu hui@craes.org.cn

下游水系主要分长江排水系、黄浦江水系以及杭州湾南排水系, 各个水系在排泄太湖洪水的同时, 肩负着排泄太湖流域约 2/3 面积的平原区的暴雨径流^[15]。

1.2 样品采集

2008 年 10 月~ 2009 年 9 月对环太湖 53 条出入湖河流水质进行监测, 监测频次为每月 1 次。研究区内共设置采样断面 53 个(图 1), 其中无锡、常州地区 27 个(直湖港、武进港、汇水入湖口、太尉运河、漕桥河、百渎港、殷村港、烧香港、沙塘港、茭渎

港、新渎港、社渎港、官渎港、洪巷港、陈东港、大浦港、黄渎港、庙渎港、定化港、乌溪港、朱渎港、八房港、大港口、蠡河、壬子港、梁溪河、五里湖)、湖州地区 17 个(长丰港、夹浦河、合溪新港、长兴港、杨家浦港、小梅港、长兜港、吕浦港、苕光运河、金埭港、大钱港、罗渎、幻渎、濮渎、汤渎、吴渎、庙港)和苏州地区 9 个(太浦河、钱港、大浦河、三船路河、外苏州河、瓜泾口、寺前港、胥江、望虞河), 覆盖了太湖主要环湖河流。

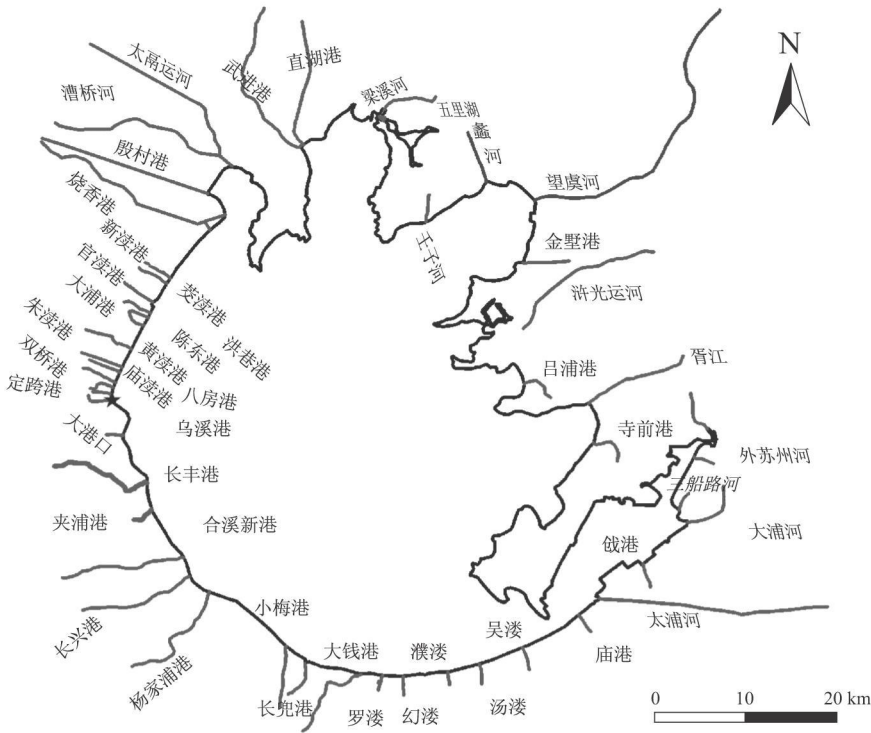


图 1 太湖出入湖河流采样点分布图

Fig.1 Sampling Sites in the Inflow and Outflow Rivers of Lake Taihu

1.3 监测指标

主要监测指标为水温(Water Temperature)、pH、氧化还原电位(ORP)、悬浮物(SS)、溶解氧(DO)、化学需氧量(COD_{Mn})、总氮(TN)、溶解性总氮(TSN)、硝酸盐氮(NO₃-N)、氨态氮(NH₄⁺-N)、总磷(TP)、溶解性总磷(TSP)、正磷酸盐(PO₄³⁻-P)、总碳(TC)、总有机碳(TOC)、叶绿素(Chla)。其中颗粒态氮(TPN) 由 TN 减去 DTN 得到, 颗粒态磷(TPP) 由 TP 减去 DTP 得到, 无机态磷由 TC 减去 TOC 得到。

1.4 测定方法

现场测定的指标包括水温、pH、氧化还原电位、溶解氧, 同时使用 pH < 2 的硫酸处理过的聚乙烯瓶在水下 30 cm 左右收集水样, 硫酸酸化至 pH < 2 低

温保存, 带回实验室分析。化学需氧量使用高锰酸盐法(GB11892-89); 总氮/ 溶解总氮使用碱性过硫酸钾消解紫外分光光度法(GB11894-89), 硝酸盐氮使用酚二磺酸分光光度法(GB7480-87); 氨态氮使用纳氏试剂分光光度法(GB7479-87); 总磷、溶解总磷使用钼酸铵分光光度法(GB11893-89); 磷酸盐使用磷钼蓝比色法(GB/T 8538-1995)^[16]; 叶绿素使用分光光度法(SL88-1994); 总碳、总有机碳使用非色散红外吸收法。

1.5 数据处理

采用系统聚类分析法分析水质的空间变化特征, 对原始数据使用 Z-score 方法进行变换, 消除量纲影响, 以 Euclidean 距离度量样本之间的距离, 运用 Ward 算法生成具有层次结构的聚类树。以上分

析方法均在 EXCEL2003 及 SPSS13.0 上实现。采用因子分析方法对所有监测河流样点以及聚类分析产生的每一类河流样点水质理化指标进行因子分析,首先对数据进行 KMO 检验和 Barlett 球形检验,检验结果合格后,进行因子分析,采用主成分法提取公因子。

2 结果与讨论

环太湖53条出入湖河流水质监测断面水质总体特征见表 1。根据 GB3838-2002 水质评价标准,研究期间出入湖水系的水质类别以 IV类和 V类为主,劣于 V类的河流占总出入湖水系的也相对较高,达到了 24%。水质劣 V类的河流均属于太湖西北入湖河流,表明入湖河流的污染问题依然严峻。太湖出湖河流水质明显好于入湖河流,总体水质以 II类为主。超标水质指标主要是 COD_{Mn} 、 NH_4^+-N 和 TP。大部分监测指标季节波动不大,SS 和 Chla 是波动较大两个指标,推测主要是由于 SS 受流量变化影响较大,而 Chla 受到浮游植物生长的季节变化的影响。

表 1 太湖出入湖河流水质总体特征
Tab.1 General Characteristics of Water Quality in Inflow and Outflow Rivers of Lake Taihu

	平均值	范围	标准偏差
Temp (℃)	18.58	7.56~ 28.00	2.17
DO (mg/L)	6.98	3.61~ 10.21	1.61
pH	7.29	3.43~ 7.86	0.60
SS (mg/L)	58.13	1.80~ 263.41	54.88
TN (mg/L)	4.12	0.72~ 9.90	1.87
TSN (mg/L)	3.19	0.68~ 6.50	1.41
PN (mg/L)	0.85	0.04~ 3.20	0.54
$NO_3^- - N$ (mg/L)	1.33	0.13~ 3.19	0.66
$NH_4^+ - N$ (mg/L)	1.46	0.13~ 9.55	1.35
S-org N (mg/L)	0.65	0.19~ 1.44	0.32
TP (mg/L)	0.18	0.06~ 0.48	0.10
TSP (mg/L)	0.07	0.02~ 0.26	0.05
PP (mg/L)	0.11	0.02~ 0.26	0.05
$PO_4^{3-} - P$ (mg/L)	0.05	0.02~ 0.20	0.04
COD_{Mn} (mg/L)	6.19	3.92~ 16.26	1.63
Chla (mg/L)	30.33	9.76~ 116.12	17.93
TOC (mg/L)	21.00	10.94~ 40.62	5.60
TC (mg/L)	40.38	24.24~ 56.35	5.29

2.1 出入湖河流聚类分析

环太湖入湖河流水质指标聚类分析将监测断面共分为 3 类(图 2)。

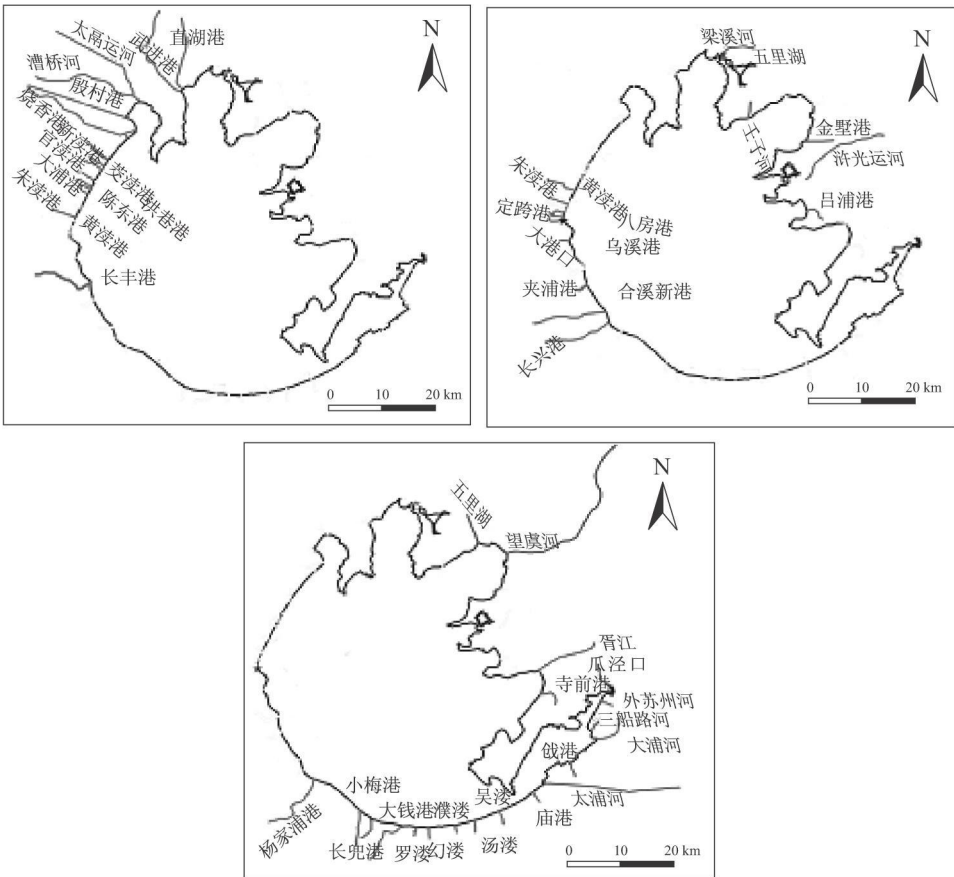


图 2 系统聚类所得三类河流分布示意图

Fig.2 Spatial Distribution of Three Group Rivers Based on Hierarchical Cluster Analysis

第一类包括直湖港、武进港、汇水入湖口、太鬲运河、漕桥河、百渎港、殷村港、烧香港、沙塘港、茭渎港、新渎港、社渎港、官渎港、洪巷港、陈东港、大浦港、庙渎港和长丰港。这一类河流主要分布在无锡南部地区和宜兴地区, 这些地区经济发达, 第二产业尤为发达, 是太湖流域工业分布密集的地区, 乡镇企业较多, 对水质的潜在影响较大^[19]。

第二类包括朱渎港、八房港、黄渎港、定化港、乌溪港、大港口、夹浦河、合溪新港、长兴港、吕浦港、浒光运河、金墅港、蠡河、壬子港和梁溪河。这一类河流主要分布在宜兴与湖州、苏州与无锡的交界地带, 水质较第一类好, 较第三类差。

第三类包括杨家浦港、小梅港、长兜港、大钱港、罗渎、幻渎、濮渎、汤渎、吴渎、庙港、太浦河、钱港、大浦河、三船路河、外苏州河、瓜泾口、寺前港、胥江、望虞河和五里湖。这一类河流主要分布在湖州以及苏州地区, 这些河流常年是以出湖为主, 且断面分布区域内植被覆盖率高^[20]。聚类谱系图见(图 3)。

2.2 河流主要水质因子分析

用因子分析方法分别对全部河流以及聚类后的每一类河流进行分析, 得到了主要水质影响因子, 结果如下。

2.2.1 全部环湖河流主要水质影响因子分析

对全部监测河流进行因子分析, KMO 检验值 0.643, 变量间的偏相关性强。Barlett 球形检验证明各变量间具有相关性。故可以使用因子分析方法对数据进行分析。因子分析结果提取了对水质影响大的 6 个公因子(F1/F2/F3/F4/F5/F6), F1 的方差贡献率 27.7%, 其中 TN、TSN、NO₃-N、NH₄⁺-N 所占的因子载荷大(表 2), 均与 F1 呈正相关关系, 其中尤以 TN、TSN 的因子载荷大。因此, F1 反映了水体氮的污染程度。F2 的方差贡献率为 18.8%, 其中 TP、TSP、PO₄³⁻-P 所占的因子载荷较大, 且与 F2 呈正相关关系, 反映了水体磷的污染水平。F1 与 F2 反映了环太湖河流中氮、磷含量水平。F3 的方差贡献率为 12.2%, 反映的是水体碳含量。总体来说, 整个太湖出入湖河流水质状态是以氮污染为主导因素, 磷污染程度仅次于氮污染。

2.2.2 对 3 类河流的主要水质影响因子分析

对 3 类地区分别进行因子分析, KMO 检验值均大于 0.6, 证明变量间的偏相关性强。Barlett 球形检验证明各变量间具有相关性。故可以使用因子分析方法对数据进行分析。提取公因子的方法本文采用主成分分析法。根据特征值大于 1 并且累计方

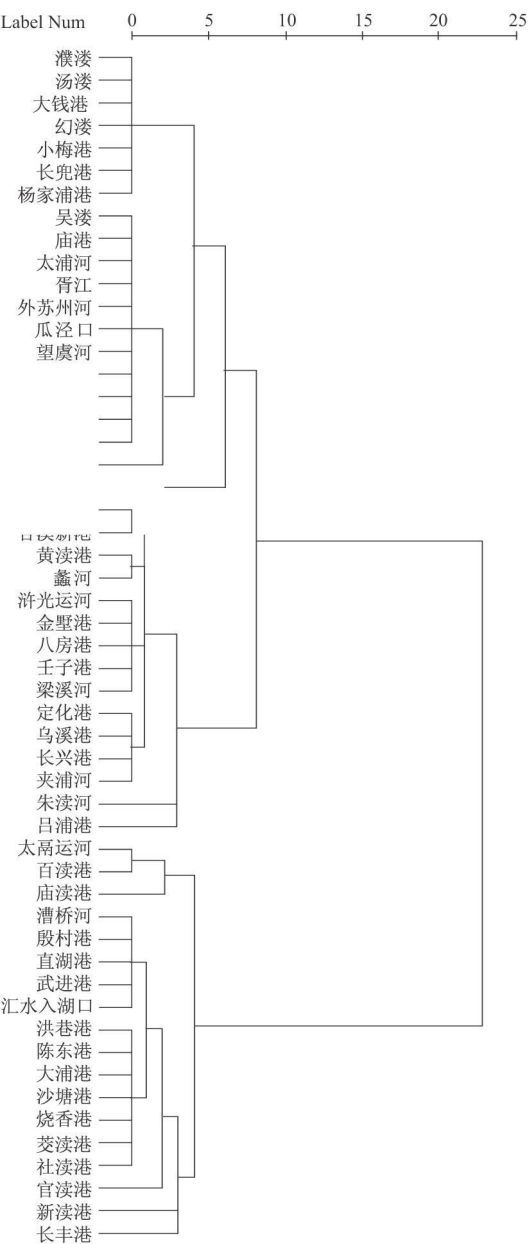


图 3 太湖流域不同河流水环境因子聚类分析

Fig. 3 Hierarchical Cluster Analysis of the Inflow and Outflow Rivers of Lake Taihu

差贡献率大于 75% 的原则, I、III 类水质指标提取了 6 个公因子(F1/F2/F3/F4/F5/F6), II 类水质指标提取了 5 个公因子(F1/F2/F3/F4/F5), 这些公因子对各个指标的解釋率大部分在 80% 以上, 旋转因子载荷矩阵结果分析如下。

(1) I 类河流

I 类河流中, F1 的方差贡献率为 25.6%, 其中 TSN、TN、NH₄⁺-N 所占的因子载荷较大, 均与 F1 呈正相关关系, 其中尤以 TSN、TN 的因子载荷大(表 3)。因此, 与总体河流污染状况相一致, F1 反映了水体氮的污染程度^[12]。F2 的方差贡献率为

17.4%,其中 TOC、TC、ORP 所占的因子载荷较大,且与 F2 呈正相关关系,尤以 TOC 因子载荷大,反映了水体的有机物质总量水平与水体的电学特征。F1 与 F2 反映了环太湖河流中氮、磷含量水平。F3 的方差贡献率为 12.7%,其中 TSP、TP 所占的因子载荷较大,均与 F3 呈正相关关系,反应水体磷含量水平。总体来说,I 类地区是以氮污染为主导因素,有机物质总量含量以及磷污染次之。

表 2 全体河流旋转因子载荷矩阵

Tab. 2 Rotated Component Matrix of All River

	因 子					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
ORP	- 0.10	- 0.05	0.52	- 0.04	0.74	- 0.08
Temp	- 0.15	- 0.04	- 0.24	- 0.72	- 0.23	0.35
DO	- 0.30	- 0.22	0.15	0.64	0.07	- 0.36
pH	- 0.26	- 0.13	0.16	- 0.03	- 0.83	- 0.06
SS	- 0.12	0.07	0.01	0.71	- 0.19	0.12
TN	0.94	0.22	- 0.07	- 0.08	0.01	0.08
TSN	0.96	0.19	- 0.05	- 0.03	0.09	0.02
NO ₃ ⁻ -N	0.83	- 0.05	- 0.03	0.07	0.18	- 0.26
NH ₄ ⁺ -N	0.79	0.32	0.02	- 0.03	- 0.01	0.22
TP	0.13	0.85	0.04	0.27	- 0.02	0.18
TSP	0.18	0.93	- 0.04	- 0.06	0.10	0.00
PO ₄ ³⁻ -P	0.19	0.85	- 0.01	- 0.02	0.02	- 0.09
TC	0.02	0.09	0.94	0.16	- 0.03	0.00
TOC	- 0.12	- 0.09	0.94	0.18	0.07	- 0.08
COD _{Mn}	0.16	0.24	0.21	0.66	0.06	0.35
Chla	0.00	0.00	- 0.07	0.00	0.02	0.86

表 3 I 类河流旋转因子载荷矩阵

Tab. 3 Rotated Component Matrix of Category I Rivers

I 类	因 子					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
TSN	0.95	- 0.06	0.09	0.14	0.04	- 0.03
TN	0.92	- 0.13	0.15	0.05	0.06	0.08
NH ₄ ⁺ -N	0.80	0.16	0.11	- 0.08	0.37	0.15
pH	- 0.64	- 0.11	- 0.37	- 0.07	0.25	0.18
NO ₃ ⁻ -N	0.61	- 0.07	0.01	0.51	- 0.43	- 0.05
TOC	- 0.12	0.90	- 0.18	0.17	- 0.08	0.03
TC	- 0.06	0.86	- 0.02	0.17	0.40	0.02
ORP	0.14	0.76	0.06	0.07	- 0.38	0.10
TSP	0.18	- 0.09	0.89	0.03	0.06	0.10
TP	0.14	- 0.01	0.88	- 0.10	0.15	0.12
PO ₄ ³⁻ -P	0.21	- 0.05	0.52	0.26	0.38	- 0.20
DO	- 0.07	0.13	0.08	0.83	- 0.16	0.04
Temp	- 0.26	- 0.34	- 0.11	- 0.75	- 0.05	- 0.22
Chla	- 0.07	- 0.04	0.10	- 0.58	- 0.16	0.16
IC	0.09	- 0.04	0.28	0.01	0.86	- 0.03
COD _{Mn}	0.06	0.25	0.27	0.06	0.04	0.81
SS	0.04	0.41	0.33	0.14	0.18	- 0.54

(2) II类河流

II 类河流中, F1 的方差贡献率为 24.0%,其中 TSN、TN、NO₃⁻-N、NH₄⁺-N 所占的因子载荷较大,与 F1 呈正相关关系,反映了水体氮的污染程度(表 4)。F2 的方差贡献率为 17.8%,其中 TP、PO₄³⁻-P、TSP 所占的因子载荷较大,且与 F2 呈正相关关系,代表了水体的含磷水平。F3 的方差贡献率为 15.3%,其中 TOC、TC 所占的因子载荷较大,均与 F3 呈正相关关系,代表了水体的有机物质含量水平。总体来说,II 类河流首先是氮污染为主导因素,磷污染次之。

表 4 II 类河流旋转因子载荷矩阵

Tab. 4 Rotated Component Matrix of Category II Rivers

II 类	因 子				
	F1	F2	F3	F4	F5
TSN	0.97	0.08	- 0.01	- 0.13	0.01
TN	0.96	0.08	- 0.01	- 0.05	0.08
NO ₃ ⁻ -N	0.80	- 0.06	- 0.07	- 0.30	- 0.24
NH ₄ ⁺ -N	0.77	0.21	0.11	0.12	0.31
TSP	0.07	0.98	0.00	- 0.02	0.04
PO ₄ ³⁻ -P	0.11	0.94	0.05	- 0.01	0.06
TP	0.06	0.93	0.15	0.07	- 0.01
TC	0.03	0.12	0.93	0.08	0.19
TOC	- 0.06	- 0.02	0.89	- 0.14	- 0.07
COD _{Mn}	0.18	0.28	0.61	0.33	- 0.28
Chla	- 0.17	0.15	0.08	0.73	- 0.05
pH	- 0.23	- 0.18	0.03	0.73	- 0.03
ORP	- 0.18	- 0.01	0.54	- 0.68	- 0.24
DO	- 0.10	- 0.15	0.33	0.09	- 0.72
Temp	- 0.38	- 0.07	- 0.25	0.17	0.57
SS	0.07	- 0.05	0.15	- 0.05	0.56
IC	0.17	0.28	0.29	0.39	0.50

(3) III类河流

III类河流中, F1 的方差贡献率为 24%,其中 COD_{Mn}、P、SS、Temp、DO 等所占的因子载荷较大,与 F1 呈正相关关系,代表了水体的有机物含量因子和含磷水平(表 5)。F2 的方差贡献率为 21.6%,其中 TSN、NO₃⁻-N、TN 所占的因子载荷较大,且均与 F2 呈正相关关系,代表了水体的含氮水平。F3 的方差贡献率为 13.3%,其中 TC、TOC 所占的因子载荷较大,均与 F3 呈正相关关系,代表了水体的有机物含量指标。F4 的方差贡献率为 10%,其中 PO₄³⁻-P、TSP 所占的因子载荷较大,与 F4 呈正相关关系,代表了溶解态磷含量因子。总体来说,III类地区首先受到有机污染和磷污染控制。推断 II 类河流污染物不同于其它类河流的原因有 3 种:(1) 3 类河流大部分时间是出湖的,代表了太湖水体水质。水

体中的磷来源可分为外源性磷和内源性磷。内源性磷主要是由底泥的释放造成的, 有研究表明, 通常情况下, 颗粒物的粒径越小, 对底泥中磷的吸附性能越强, 越不利于磷的释放; 溶解氧的降低有利于磷的释放; 温度与磷的释放量和释放速率有很大的关系。F1 中 COD_{Mn}、P、SS、Temp、DO 所占的因子载荷均较大, 与上述规律相符合^[21~23]。(2) 太湖湖体中生物对氮有一定的消耗、降解作用使出湖水质中氮含量降低, 不再成为主要影响因素。(3) III类河流主要集中在浙江地区, 本地区畜禽养殖业发达^[18], 而 COD_{Mn}、SS、DO、TP 等指标与畜禽养殖污染息息相关, 当河流入湖时, 这几类指标必然加大。

表 5 III类河流旋转因子载荷矩阵

Tab.5 Rotated Component Matrix of Category III Rivers

III类	因 子					
	F1	F2	F3	F4	F5	F6
COD _{Mn}	0.83	- 0.07	0.12	0.03	0.14	- 0.09
Temp	- 0.80	0.14	- 0.24	- 0.02	0.21	0.19
SS	0.77	0.18	0.00	- 0.05	0.21	0.16
DO	0.76	- 0.23	0.10	- 0.20	- 0.11	0.00
TP	0.76	0.08	0.19	0.17	0.26	0.17
TSN	- 0.04	0.95	0.04	0.23	0.03	- 0.06
NO ₃ -N	0.04	0.90	0.04	- 0.09	- 0.22	- 0.09
TN	- 0.12	0.89	0.01	0.18	0.14	0.11
TC	0.24	0.05	0.96	0.02	- 0.03	- 0.01
TOC	0.27	0.03	0.91	- 0.11	- 0.21	- 0.02
IC	- 0.01	0.07	0.58	0.43	0.55	0.03
TSP	- 0.22	0.17	0.11	0.87	- 0.02	0.01
PO ₄ ³⁻ -P	0.21	0.07	- 0.14	0.86	- 0.05	0.10
NH ₄ ⁺ -N	- 0.06	0.54	0.03	0.57	0.36	- 0.03
Chla	0.27	- 0.12	- 0.09	- 0.11	0.75	- 0.21
ORP	0.01	- 0.18	0.39	- 0.10	- 0.67	- 0.48
pH	0.03	- 0.08	0.01	0.06	- 0.07	0.94

上述对太湖整体出入湖河流水质以及 3 类河流水质因子分析结果表明, 太湖流域总体出入湖河流中主要污染物还是氮, 唯一有区别的地区是在出湖区, 污染是以有机污染和磷污染为主的。不同水域的环太湖河流的水质状况和富营养化程度存在差异, 不同水域水质的主导影响因子也有所不同。

3 结论

本文应用 2008 年 10 月~ 2009 年 9 月环太湖出入湖河流水质监测数据进行多元统计分析, 应用系统聚类分析将 53 条河流的监测断面共分为 3 类。这 3 类河流空间分布区域性明显, 显示了 3 种不同的污染水平。对所有监测河流进行因子分析结果显

示整个太湖出入湖河流水质状态是以氮污染为主导因素, 磷污染次之。对聚类后 3 类河流分别进行因子分析, 其结果表明, I 类河流首先是氮污染为主导因素, 有机物含量水平次之; II 类河流是以氮污染为主导因素, 磷污染次之; III 类河流主要受到有机污染和磷污染控制, 其次为氮污染。

参考文献:

[1] 王 坚. 影响河流水质的因素分析[J]. 山西煤炭管理干部学院学报, 2003, 16(3): 86~ 87.

[2] VAROL M, SEN B. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: a case study of Behrimaz Stream, Turkey [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2009, 159: 543~ 553.

[3] SINGH K P, MALIK A, SINHA S. Water quality assessment and apportionment of pollution source of Gomti River (India) using multivariate statistica techniques-A case study[J]. Analytica Chimica Acta, 2005, 538: 355~ 374.

[4] 李凤清, 叶 麟, 刘瑞秋, 等. 香溪河流域水体环境因子研究 [J]. 生态科学, 2007, 26(3): 199~ 207.

[5] ZHOU F, LIU Y, GU O H. Application of Multivariate Statistical Methods to Water Quality Assessment of the Watercourses in Northwestern New Territories, Hong Kong [J]. Environmental Monitoring and Assessment, 2007, 132: 1~ 13.

[6] 冯 健, 崔广柏, 张红举. 太湖水质指标主成分分析[J]. 水资源保护, 2004, 20(3): 49~ 50.

[7] 李一平, 逢 勇, 吕 俊. 太湖富营养化的因子驱动分析[J]. 河海大学学报, 2004, 32(6): 644~ 647.

[8] 张绪美, 董元华, 石彦哲. 聚类-因子分析在太湖水质参数评价中的应用[J]. 安全与环境学报, 2006, 6(6): 58~ 62.

[9] VEGA M, PARDO R, BARRADO E. Assessment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis[J]. Water Research, 1998, 32: 3581~ 3592.

[10] WUNDERLIN D A, DIAZ M P, AME M V. Pattern recognition techniques for the evaluation of spatial and temporal variations in water quality. A case study: Suquia river basin (Cordoba, Argentina) [J]. Water Research, 2002, 35: 2 881~ 2 894.

[11] REGHUNATH R, MURTHY T R S, RAGHAVAN B R. The utility of multivariate statistical techniques in hydrogeochemical studies: An example from Karnataka, India[J]. Water Research, 2002, 36: 2437~ 2 442.

[12] SIMEONOVA P, SIMEONOV V, Andreev G. Water quality study of the Struma River Basin, Bulgaria (1989~ 1998)[J]. Central European Journal of Chemistry, 2003, 1: 136~ 212.

[13] SHRESTHA S, KAZAMA F. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan[J]. Environmental Modelling & Software, 2007, 22: 464~ 475.

[14] 史 虹. 泰晤士河流域与太湖流域水污 染治理比较分析[J]. 水资源保护, 2009, 25(5) : 90~ 97.

[15] 秦伯强. 太湖水环境演化过程与机理[M]. 北京: 科学出版社, 2004.

[16] 黄祥飞, 陈伟 民, 蔡 启铭. 湖泊生态 调查观测与分析[M]. 北 京: 中国标准出版社, 2000.

[17] 江苏省统计局. 江苏统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.

[18] 浙江省统计局. 浙江统计年鉴[M]. 北京: 中国统计出版社, 2008.

[19] 万荣荣, 杨桂山. 太湖流域土地利用变化及其空间分异特征研 究[J]. 长江流域资源与环境, 2005, 14(3) : 298~ 303.

[20] 万咸涛, 雷 斌. 采用统计检验方法判断水质监测断面的代表 性[J]. 水利水电技术, 1991(8) : 19~ 24.

[21] 姜敬龙, 吴云 海. 底泥 磷释放的影响因素[J]. 环境科学与 管 理, 2008(6) : 43~ 46.

[22] 朱 健, 李捍东. 环境因子对底泥释放 COD、TN 和 TP 的研 究[J]. 水处理技术, 2009, 35(8) : 44~ 49.

[23] 金相灿, 王圣瑞, 赵海超, 等. 五里湖和贡湖不同粒径沉积物吸 附磷实验研究[J]. 环境科学研究, 2004, 17(Z1) : 6~ 10.

MULTIVARIATE STATISTICAL ANALYSIS OF WATER QUALITY IN THE INFLOW AND OUTFLOW RIVERS OF LAKE TAIHU

YU Hui¹, YAN Shu-wen¹, XU Jun²

(1. Research Center of Lake Environment, Chinese Academy of Environmental Science, Beijing 100012, China;

2. Donghu Experimental Station of Lake Ecosystems, Institute of Hydrobiology, Chinese Academy of Sciences, Wuhan 430072, China)

Abstract: In this study, multiple statistical methods were conducted to evaluate water quality in the inflow and outflow rivers of Lake Taihu, China. Hierachical cluster analysis indicated that the inflow and outflow rivers of Lake Taihu can be classified into three categories according to their water quality. Principal component analysis, which is used to identify the possible factors or/and sources that determine river water quality, indicated that water quality of these rivers was generally determined in nutrient order of nitrogen and phosphorus levels. Principal component analysis also indicated that water quality of Category I rivers was mainly determined in nutrient order of nitrogen and phosphorus, that water quality of Category II rivers was mainly determined in order of nitrogen and organic matter levels, and that water quality of Category III rivers was mainly determined in order of phosphorus, organic matter and nitrogen levels.

Key words: Lake Taihu; river; water quality; multivariate statistical analysis