

DOI: 10.3724/SP.J.1035.2010.00043

不同类型湖泊夏季浮游生物多元聚类分析

龚珞军^{1,2,3} 张仕萍¹ 熊邦喜¹ 刘定柱² 李金忠³ 曹军¹

(1. 华中农业大学水产学院, 武汉 430070; 2. 湖北省水产技术推广中心, 武汉 430060;
3. 湖北省水产科学研究所, 武汉 430071)

摘要: 为深入了解湖泊环境生态系统的文化规律, 为湖泊渔业和湖泊管理提供基础数据, 于2007年夏季测定了武汉市梁子湖、斧头湖、柴泊湖、南湖和野芷湖5个养殖湖泊的浮游生物的数量和生物量。利用SPSS软件, 对5个湖泊浮游植物6个门和浮游动物4个类的数量和生物量进行了主成分分析和因子分析。主成分分析和因子分析的结果是不相同的, 其原因是两种方法的差异所致。两种方法结合使用, 将有效地提高分析结果的准确度。分析结果表明, 影响5个湖浮游生物的第1至第6个主成分分别为枝角类桡足类数量和重量因子、轮虫数量重量和绿藻门数量因子、隐藻门数量和重量因子、原生动物数量和重量因子、蓝藻门数量因子、硅藻门数量和绿藻门重量因子。使用SPSS软件, 对5个湖泊13个点的浮游生物的数量和生物量予以了层次聚类法, 并将5个湖泊的13个点分为5类, 即梁子湖和斧头湖敞水区的3号和5号点为一类; 梁子湖和斧头湖围栏养殖区的1号和4号点, 以及梁子岛附近的2号点为一类; 柴泊湖的6、7、8号3个点为一类; 南湖原排污口附近的10号点为一类; 南湖与野芷湖的其他9、11、12和13号4个点为一类。经分析认为, 形成这个结果是由城市废水、生活污水和养殖生产所致。

关键词: 浮游动物; 浮游植物; 主成分分析; 因子分析; 聚类分析

中图分类号: Q145 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2010)01-0043-08

根据不同要求对湖泊从事分类, 并寻找影响这些水域的主要因素, 其目的是为政府决策和相关部门有效管理提供依据^[1-3]。从事上述工作的方法很多, 目前常用的有主成分分析(Principal Component Analysis, PCA)、因子分析(Factor Analysis, FA)和聚类分析(Cluster Analysis, CA)方法。蔡庆华对东湖浮游植物水华进行了聚类分析, 并分别提出了两个监测站水华预测模型^[1]。吕晋等对武汉市15个湖库理化和生物指标采用PCA, 将被评价水体分为4种类型, 为武汉市政府治理污染水体决策提供依据^[2]。龚珞军等对PCA在中国渔业上的应用作了分析, 并提出了一些存在问题和解决问题的办法^[3]。邬红娟等用PCA对武汉市湖泊浮游植物群落结构进行了研究, 为武汉市水环境治理与保护提供了建议^[4]。Lair N, et al.用PCA研究了法国湖泊18种轮虫的时空分

布后指出, 尽管轮虫较多地分布在沿岸带, 但季节性变化的影响比地域性的影响更为强烈^[5]。Yolanda Zalocar de Domitrovic用PCA方法研究了Paraná流域冲积平原三个湖泊浮游植物的演替后指出, 主要影响因子有激流和非激流两个, 其中裸藻纲的种类最多, 绿藻纲和隐藻纲的小型种类的个体数量在两种主要影响因子中都是最多的^[6]。Macek M, et al.对欧洲11个高原酸性湖泊浮游生物的种类和数量与酸度进行了比较研究。聚类分析表明, 这些湖泊被分为化学含量和气候影响两大类^[7]。Torres L E, et al.用PCA分析了9个高原湖泊的枝角类和桡足类后认为, 海拔高度和pH值是决定高原湖泊浮游动物多样性的主要因素^[8]。Gardner E M, et al.利用PCA技术对高原湖泊N、P与浮游植物关系分析结果表明, 第一、第二轴的负荷分别为34%和21%, 其

收稿日期: 2008-08-21, 修订日期: 2009-06-25

基金项目: 湖北省科技厅科技攻关项目(2004S4496); 湖北省人事厅高层次人才项目资助

作者简介: 龚珞军(1960—), 男, 汉族, 江西金溪人; 研究员; 主要从事湖泊渔业及生态研究。E-mail: gongluojun@sina.com

通讯作者: 熊邦喜, E-mail: bangxix8@mail.hzau.edu.cn

中绿藻门的 *Chlamydomonas* sp. 和 *Scenedesmus* sp. 两个种的数量在第二轴作用较大。被研究湖泊在夏季为磷限制性湖泊。因此, 增加氮的投入, 不能直接增加藻类的产量^[9]。为深入了解湖泊环境生态系统的文化规律, 为湖泊渔业和湖泊管理提供基础数据, 作者于 2007 年 7 月中旬, 对武汉市梁子湖、斧头湖、柴泊湖、南湖和野芷湖 5 个养殖湖泊的 13 个点的浮游生物状况进行了调查, 并进行了主成分分析、因子分析和层次聚类分析。

1 材料与方法

1.1 湖泊基本情况及采样点设置

梁子湖是地跨武汉市、鄂州市和大冶县的草型、通江湖泊, 面积 304.3 km^2 , 为湖北省第二大湖泊。斧头湖是地跨武汉市、咸宁市和嘉鱼县的草型、通江湖泊, 面积 114.7 km^2 , 为湖北省第三大湖泊。梁子湖和斧头湖水域面积辽阔, 水草茂密, 养殖方式主要有三种, 一是天然增殖方式; 二是投放人工培育的鲢、鳙等苗种, 人放天养; 三是采用围栏养殖, 主要养殖品种为草鱼、鲤、螃蟹等。养殖期间, 投放人工饲料及水草。2007 年, 梁子湖和斧头湖围栏养殖面积占总水面分别为 5% 和 10% 左右。此外, 梁

子湖还是一个旅游湖泊, 夏季为旅游高峰, 其中梁子岛是重要的旅游观光场所。岛上居民及观光者产生的生活污水, 未经处理就排入湖泊之中。本次采样的 1 号点, 设在梁子湖的围栏养殖区, 2 号点设在梁子岛附近, 3 号点设在水草较为茂盛的敞水区(图 1(a))。4 号点设在斧头湖的围栏养殖区, 5 号点设在敞水区(图 1(b))。

柴泊湖位于武汉市阳逻镇北, 是一个封闭型的藻型城郊湖泊, 面积 4.2 km^2 。柴泊湖周边建有发电厂、学校和居民住宅区, 生活污水直接排放入湖。该湖除利用生活污水养殖外, 还在湖中投放饲料、肥料及水草用于养殖。主要养殖对象为鲢、鳙、草鱼、鲤、鲫及螃蟹等。6、7、8 号点均设在养殖区内(图 1(c))。

南湖和野芷湖均位于武汉市洪山区, 两湖一堤之隔, 都是封闭型的藻型城郊湖泊, 面积分别为 5 km^2 和 2 km^2 。南湖和野芷湖沿湖学校、住宅楼林立。过去, 周边的生活污水直接排入湖中, 南湖经常出现“水华”和死鱼等现象。2006 年武汉市政府开展了南湖环境治理工程, 南湖水质状况已出现了好转。这两个湖的养殖方式均是利用湖泊中的浮游生物等自然资源, 主要养殖鲢、鳙和少量的鲤、鲫及

图 1 五个参试湖泊的形状及采样点设置示意图

Fig. 1 The diagrams of the shapes and sampling points of the five lakes

草鱼等。9、10、11、和 12、13 号点，分别设在南湖和野芷湖的养殖区内(图 1(d)和图 1(e))。

1.2 浮游生物测定方法

浮游生物的采样、计数和重量计算方法按《淡水浮游生物研究方法》执行^[10]，其中浮游植物的计数方法采用目镜视野法；重量为数量及湿重之积。浮游动物为计数法，重量计算采用体积法。

水样为各采样点 0—50 cm 的上层水, 采样水温为 27.5—31.4 °C。

1.3 主成分分析和因子分析^[11]

应用 SPSS12.0 软件对 5 个湖泊 13 个样点的浮游植物各门及浮游动物各类别的数量和重量进行主成分分析和因子分析。在主成分分析中，首先选定 8 个因子进行计算。根据结果确定主成分数量。以确定的主成分数量重新计算后，得到最终结果。在主成分分析结果的基础上建立四次方正交旋转阵，对因子进行分析。

1.4 聚类分析^[11]

将浮游植物各门及浮游动物各类别的数量和重量作为变量,运行 SPSS12.0 软件进行 Q 型系统聚类。选择欧氏距离(Euclidean distance)和组间连接法(Between-groups linkage),标准化采用 Z scores

方式。

2 结果

2.1 浮游生物测定结果

5个湖泊13个点的浮游动物各种类的数量和重量测定结果(表1)。各点的浮游植物数量和重量测定结果(表2、表3)。

2.2 主成分分析

运行 SPSS 得到主成分统计信息表(表 4)。从表 4 中可以看出, 第 1—6 个因子的特征根大于 1, 且 1—6 个因子的累计贡献率为 92.328%, 由此确定 1—6 个因子为主成分。

按 6 个主成分的方式, 重新计算, 得到因子负荷矩阵(表 5)。从表 5 中可以看出, 若按 0.7 为界划线, 第一主成分涉及的因素有枝角类数量(0.799)、枝角类重量(0.721)、桡足类数量(0.816)和桡足类重量 (0.809); 裸藻门重量 (-0.849) 和绿藻门重量 (-0.738)在负轴上。第二主成分轮虫重量(0.725); 甲藻门数量(-0.841)和甲藻门重量(-0.821) 在负轴上。第三主成分裸藻门数量(0.851)。第四主成分原生动物重量(-0.737) 在负轴上。第五主成分蓝藻门数量 (-0.707)在负轴上。第六主成分没有十分显著的项目。

表 1 浮游动物数量和生物量测定表(单位: 万个/升; 毫克/升)
 Tab. 1 Zooplankton quantity and biomass determination (Unit: 10000 ind / L; mg / L)

点号 Point	枝角类		桡足类		原生动物		轮虫	
	Cladocera		Copepoda		Protozoa		Rotifera	
	数量 Quantity	生物量 Biomass	数量 Quantity	生物量 Biomass	数量 Quantity	生物量 Biomass	数量 Quantity	生物量 Biomass
1	0.0058	1.142	0.00205	0.599	0.1650	0.0495	0.420	2.1717
2	0.0089	2.471	0.00292	0.806	0.2250	0.0675	0.210	1.3116
3	0.0103	2.605	0.00385	1.015	0.1950	0.0585	0.105	0.1926
4	0.0007	0.252	0.00018	0.052	0.2100	0.0630	0.132	0.7216
5	0.001	0.273	0.00047	0.137	0.0900	0.0270	0.078	0.4764
6	0.0062	1.278	0.00115	0.345	1.1400	0.3420	0.099	1.8796
7	0.0184	3.794	0.00751	2.253	0.6900	0.2070	0.333	4.1307
8	0.0084	2.203	0.00197	0.591	0.8550	0.2565	0.354	3.8578
9	0.0034	1.255	0.00002	0.006	0.2850	0.0855	0.570	5.1344
10	0.0022	0.812	0.00005	0.015	0.3450	0.1035	0.558	5.9504
11	0.0013	0.382	0.00002	0.006	0.4050	0.1215	0.555	6.3598
12	0.0043	1.238	0.00006	0.018	0.2550	0.0765	0.387	3.0401
13	0.0059	1.806	0.00023	0.069	0.4200	0.1260	0.573	3.7914

表 2 浮游植物数量测定表(单位: 万个/升)
Tab. 2 Phytoplankton quantity determination(Unit: 10000 ind/L)

点号 Point	蓝藻门 Cyanophyta	隐藻门 Cryptophyta	甲藻门 Dinophyta	硅藻门 Bacillariophyta	裸藻门 Euglenophyta	绿藻门 Chlorophyta
1	881.07	0	0	632.10	233.49	130.29
2	673.38	0	3.87	788.19	152.22	166.41
3	398.61	0	0	152.22	183.18	374.1
4	168.99	0	2.58	181.89	95.46	127.71
5	250.26	0	7.74	152.22	87.72	286.38
6	811.41	10.32	0	166.41	70.95	237.36
7	428.28	5.16	0	184.47	79.98	251.55
8	517.29	34.83	0	157.38	25.8	245.1
9	437.31	0	0	715.95	116.1	5163.87
10	525.03	0	0	13422.45	183.18	939.12
11	425.7	0	0	274.77	76.11	7521.99
12	481.17	77.4	0	264.45	47.73	1949.19
13	478.59	95.46	0	258	77.4	1573.8

表 3 浮游植物生物量测定表(单位: 毫克/升)
Tab. 3 Phytoplankton biomass determination(Unit: mg/L)

点号 Point	蓝藻门 Cyanophyta	隐藻门 Cryptophyta	甲藻门 Dinophyta	硅藻门 Bacillariophyta	裸藻门 Euglenophyta	绿藻门 Chlorophyta
1	16.8477	0	0	12.3807	3.6444	0.0715
2	7.7453	0	0.0697	12.659	2.0645	0.4307
3	18.8911	0	0	4.7455	4.0626	0.9191
4	5.1223	0	1.0449	6.8058	4.6775	0.2256
5	9.0634	0	3.1347	6.3509	4.2982	0.8458
6	12.1446	0.1733	0	4.571	3.4766	0.3149
7	2.4106	0.0867	0	4.6097	2.4951	0.4425
8	9.3159	0.5851	0	3.9696	1.2642	0.374
9	4.6315	0	0	16.5808	12.6789	2.9081
10	2.9705	0	0	10.7996	12.5713	11.0923
11	2.361	0	0	4.6612	8.4222	3.2452
12	3.173	1.3003	0	5.5377	5.7555	2.4808
13	2.3715	1.6037	0	5.0932	3.7926	3.5878

表 4 主成分统计信息表
Tab. 4 Principal components statistics information table

因子 Factor	特征根 Latent root	贡献率 Contribution rate (%)	累计贡献率 Accumulative contribution rate (%)
1	5.913	29.565	29.565
2	4.338	21.691	51.256
3	3.261	16.320	67.576
4	1.749	9.368	76.644
5	1.328	8.745	85.689
6	1.337	6.639	92.328
7	0.673	3.363	95.691
8

表 5 因子负荷矩阵表格中数据对齐
Tab. 5 Data alignment in factor loading matrix

因素 Items	1	2	3	4	5	6
枝角类数量 Cladocera quantity	0.799	0.447	0.212	0.209	0.253	0.017
枝角类重量 Cladocera biomass	0.721	0.447	0.194	0.313	0.238	0.020
桡足类数量 Copepoda quantity	0.816	0.222	0.333	0.132	0.381	-0.003
桡足类重量 Copepoda biomass	0.809	0.244	0.317	0.115	0.395	0.002
原生动物数量 Protozoan quantity	0.383	0.604	-0.207	-0.596	-0.169	0.153
原生动物重量 Protozoan biomass	0.409	0.492	-0.058	-0.737	-0.120	0.108
轮虫数量 Rotifera quantity	-0.641*	0.631	0.107	0.254	0.059	-0.166
轮虫重量 Rotifera biomass	-0.564	0.725	0.100	-0.144	0.250	-0.086
蓝藻门数量 Cyanophyta quantity	0.205	0.349	0.391	-0.041	-0.707	-0.023
蓝藻门重量 Cyanophyta biomass	0.495	-0.379	0.351	-0.026	-0.552	-0.077
隐藻门数量 Cryptophyta quantity	-0.093	0.400	-0.696	0.508	-0.236	0.152
隐藻门重量 Cryptophyta biomass	-0.093	0.400	-0.696	0.508	-0.236	0.152
甲藻门数量 Dinophyta quantity	0.052	-0.841	-0.169	-0.034	0.256	0.130
甲藻门重量 Dinophyta biomass	-0.039	-0.821	-0.292	-0.132	0.280	0.165
硅藻门数量 Bacillariophyta quantity	-0.523	0.164	0.478	-0.067	0.074	0.674
硅藻门重量 Bacillariophyta biomass	-0.397	-0.154	0.639	0.180	-0.109	-0.233
裸藻门数量 Euglenophyta quantity	-0.073	-0.270	0.851	0.310	-0.236	0.049
裸藻门重量 Euglenophyta biomass	-0.849	0.119	0.334	-0.136	0.169	-0.038
绿藻门数量 Chlorophyta quantity	-0.617	0.275	-0.069	-0.168	0.201	-0.629
绿藻门重量 Chlorophyta biomass	-0.738	0.300	0.256	0.041	0.128	0.503

*: 负值表示在负轴上 Negative values indicate that the values are in negative axis

2.3 因子分析

表 6 是旋转之后的因子负载矩阵。表 6 结果表明, 第一至第六主成分分别为枝角类数量(0.969)、枝角类重量(0.945)、桡足类数量(0.961)和桡足类重量(0.960); 轮虫数量(0.865)、轮虫重量(0.916)和绿藻门数量(0.823); 隐藻门数量(-0.986)和隐藻门重量(-0.986); 原生动物数量(0.924)和原生动物重量(0.929); 蓝藻门数量(0.888); 硅藻门数量(0.944)和绿藻门重量(0.810)。

2.4 聚类分析

图 2 为 Q 型聚类结果。从图中可以看出, 5 个湖的 13 个点被分为 5 大类, 即第一类为野芷湖的 12、13 号点和南湖的 9、11 号点; 第二类为梁子湖的 1、2 号点和斧头湖的 4 号点; 第三类为梁子湖的 3 号点和斧头湖的 5 号点; 第四类是柴泊湖的 7、8、6 号点; 第五类是南湖的 10 号点。

3 讨 论

3.1 主成分分析和因子分析

主成分分析和因子分析得到的结果有一些区

别。因子分析旋转后得到的第一主成分与主成分分析得到的第一主成分, 正轴的内容均相同, 但负载明显增加, 枝角类数量由 0.799 上升到 0.969, 重量由 0.721 上升到 0.945, 桡足类数量由 0.816 上升到 0.961, 重量由 0.809 上升到 0.960。此外, 主成分分析中负轴上的裸藻门重量(-0.849)和绿藻门重量(-0.738), 因子分析旋转后已不再是主成分。主成分分析中第二主成分中的轮虫数量, 因子分析旋转后, 负荷由 0.725 上升至 0.865, 其他在负轴上的主成分甲藻门数量(-0.841)和甲藻门重量(-0.821), 因子分析旋转后, 不再是主成分。另外, 因子分析旋转后, 主成分又增加了轮虫重量(0.916)和绿藻门数量(0.823)。在主成分分析中, 第三主成分是裸藻门数量(0.851), 在因子分析中, 旋转后得到第三主成分为负轴上的隐藻门数量(-0.986)和重量(-0.986), 裸藻门数量不再是主成分。主成分分析中的第四主成分是在负轴上的原生动物重量(-0.737), 而因子分析旋转后的第四主成分为原生动物数量(0.924)和重量(0.929), 原生动物重量的负载由-0.737 上升到 0.929。主成分分析和因子分析的第五主成分为蓝

表 6 旋转后因子负载矩阵
Tab. 6 Data alignment in rotated factor loading matrix

因素 Items	1	2	3	4	5	6
枝角类数量 Cladocera quantity	0.969	-0.060	-0.056	0.148	0.130	-0.073
枝角类重量 Cladocera biomass	0.945	-0.005	-0.142	0.067	0.142	-0.048
桡足类数量 Copepoda quantity	0.961	-0.158	0.180	0.064	0.003	-0.073
桡足类重量 Copepoda biomass	0.960	-0.139	0.173	0.090	-0.010	-0.068
原生动物数量 Protozoan quantity	0.206	0.062	-0.076	0.924	0.238	-0.001
原生动物重量 Protozoan biomass	0.201	0.023	-0.164	0.929	0.225	-0.009
轮虫数量 Rotifera quantity	-0.089	0.865	-0.242	-0.183	0.178	0.190
轮虫重量 Rotifera biomass	-0.034	0.916	-0.030	0.188	0.025	0.257
蓝藻门数量 Cyanophyta quantity	0.082	-0.050	0.024	0.136	0.888	0.035
蓝藻门重量 Cyanophyta biomass	0.065	-0.631	0.286	-0.103	0.536	-0.202
隐藻门数量 Cryptophyta quantity	-0.056	0.110	-0.986	0.038	0.024	-0.043
隐藻门重量 Cryptophyta biomass	-0.056	0.110	-0.986	0.038	0.024	-0.043
甲藻门数量 Dinophyta quantity	-0.234	-0.574	0.214	-0.237	-0.577	-0.055
甲藻门重量 Dinophyta biomass	-0.344	-0.528	0.175	-0.130	-0.662	-0.035
硅藻门数量 Bacillariophyta quantity	-0.141	0.217	0.160	-0.064	0.075	0.944
硅藻门重量 Bacillariophyta biomass	-0.160	0.238	0.410	-0.570	0.314	0.117
裸藻门数量 Euglenophyta quantity	0.080	-0.145	0.433	-0.642	0.483	0.309
裸藻门重量 Euglenophyta biomass	-0.435	0.655	0.296	-0.210	-0.043	0.380
绿藻门数量 Chlorophyta quantity	-0.337	0.823	0.134	-0.035	-0.109	-0.322
绿藻门重量 Chlorophyta biomass	-0.256	0.484	-0.050	0.108	-0.019	0.810

门数量和绿藻门重量因子。

从主成分和因子分析中浮游动物在 5 个湖泊的生态系统中占有较为重要的作用, 其中枝角类桡足类的数量和重量尤为突出。相对而言, 浮游植物的作用比浮游动物要小。

从上述结果可以明显看出, 主成分分析和因子分析的结果既有相同, 也有差别, 这是由其两种方法的不同所造成的。主成分分析主要是综合原始变量的信息, 它不考虑观察变量的度量误差, 直接用观察变量的某种线性组合来表示一个综合变量。而因子分析重在解释原始变量之间的关系, 对潜在的变量进行观察变量的度量误差校正, 同时进行因子旋转, 使潜在因子的实际意义更明确。在本研究中, 凡是主成分分析和因子分析结果相同的主成分, 其负荷全部有所增加。两种方法不相同的主成分, 原为主成分、旋转后消失的, 说明其原来包含有其他潜在的成分, 旋转后, 潜在因子分离, 使其不再是主成分。经旋转后出现的主成分, 说明经旋转后, 使潜在的主成分得以显现。此结果说平共处明旋转的明显效果, 更进一步证明其结果是可靠的^[11,12]。

图 2 参试湖泊 13 个采样点浮游生物聚类树状图

Fig. 2 Cluster dendrogram of plankton at thirteen sampling points

藻门数量, 但旋转后的负载则由-0.70上升到0.888。主成分分析中, 第六主成分没有体现出与某项浮游生物指标有特别的关联, 因子分析中, 经旋转, 第六主成分为硅藻门数量(0.944)和绿藻门重量(0.810)。

纵观上述结果认为, 第一至第六主成分因子, 分别为枝角类桡足类数量和重量因子; 轮虫数量重量和绿藻门数量因子; 隐藻门数量和重量因子; 原生动物数量和重量因子; 蓝藻门数量因子; 硅藻

3.2 Q型聚类分析

从浮游生物类别上将 5 个湖泊分为 5 类, 与实际情况较为吻合。

梁子湖和斧头湖是湖北省第二、第三大湖泊, 周边环境类似, 养殖条件相似, 水质状况相差不大。分别设在两个湖敞水区的 3 号和 5 号点, 聚类时被归为一类。而分别设在两个湖围栏养殖区的 1 号和 4 号点, 以及梁子岛附近的 2 号点, 由于受到围栏养殖或梁子岛生活污水的影响, 水质状况与敞水区的水质已有所不同, 从而导致浮游生物的群落结构发生改变。由于总体条件的相似性, 以及围栏养殖强度和城镇生活污水排放数量与整个湖泊水体比较而言, 其对水质, 进而对浮游生物的影响还不是很大, 因此 1 号、2 号和 4 号点被聚为一类。

由于柴泊湖与其他 4 个湖的养殖方式和周边条件有不同, 其水质状况也与其他 4 个湖泊不一样, 因此其浮游生物的群落结构及数量也不相同, 在聚类分析中, 其三个点被归为一类。

南湖和野芷湖除 10 号点外, 其他 9、11、12 和 13 号 4 个点在聚类时均归为一类。这是由于南湖与野芷湖一堤之隔, 长期受到周边居民区等排放的生活污水影响, 其养殖方式基本一致, 聚类时被归为一类。而南湖的 10 号点单独地成为一类, 这是由于 10 号点附近有一个排污口, 从而造成该点的浮游生物的种类和数量有其特殊性, 所以被单独地聚为一类。本研究给了我们一个提示, 南湖与野芷湖浮游生物状况较为相似, 而南湖已在从事湖泊环境整治, 因此建议有关部门也考虑对野芷湖从事相应的湖泊环境整治工作。

实践证明, 人类活动将对湖泊水体环境产生较大影响。Tokalioglu & Kartal 分析 Sultansazligi 湖水质指标后认为, 湖泊的污染来源于人类活动, 如交通、工农业生产^[13]。Petaloti C, et al. 对北希腊 Koroni 等 5 个湖泊 PCA 结果表明, 影响湖泊水质的因素是城市和工业的活动以及农业的废水^[14]。Huang B, et al. 用 PCA 研究了太湖湖水和底质后认为, 城市化已替代农业生产成为太湖 N 和 P 的主要污染源^[15]。Wang X L, et al. 对流入太湖的水质进行了分析, 确认太湖水质主要受城市污水及工业废水的影响^[16]。Li R Q, et al. 对云南 10 个湖泊 24 个指标进行了跟踪观测。分析结果表明, 这些湖泊的污染源主要有农业活动, 生活污水及工业生产三类^[17]。Pedrozo

Catarina da Silva 和 Rocha Odete 用 PCA 分析了 6 个湖泊的水质, 认为这些湖泊的水质与有机物污染直接相关^[18]。上述研究结果支持本研究的结论。

综上所述, 根据浮游生物的种类和数量, 可将 5 个湖泊的 13 个点分为 5 类。形成这个结果是由城市废水、生活污水和养殖生产所致。

参考文献:

- [1] Cai Q H, Multi varlate analysis of planktonic blooms in lake Donghu, Wuhan [J]. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1990, **14**(1): 22—31 [蔡庆华. 武汉东湖浮游植物水华的多元分析. 水生生物学报, 1990, **14**(1): 22—31]
- [2] Lü J, Wu H J, Lin J D, et al. Application of principal component and cluster analysis in the urban aquatic ecological region classification [J]. *Journal of Wuhan University (Natural Science Edition)*, 2005, **51**(4): 461—466 [吕晋, 邬红娟, 林济东, 等. 主成分及聚类分析在水生态系统区划中的应用. 武汉大学学报, 2005, **51**(4): 461—466]
- [3] Gong L J, Xiong B X, Zhou M, et al. Application of PCA in Fishery [J]. *Freshwater Fishery*, 2005, **z1**(Supplement): 52—54 [龚珞军, 熊邦喜, 周敏, 等. 主成分分析方法在渔业上的应用. 淡水渔业, 2005, **z1**(增刊): 52—54]
- [4] Wu H J, Ren J H, Lu Y Y. A community ordination of phytoplankton and ecological assessment of water quality of lakes in Wuhan [J]. *Journal of Lake Science*, 2007, **19**(1): 87—91 [邬红娟, 任江红, 卢媛媛. 武汉市浮游植物群落排序及水质生态评价. 湖泊科学, 2007, **19**(1): 87—91]
- [5] Lair N, Taleb H, ReyesMarchant P. Horizontal distribution of the rotifer plankton of Lake Aydat (France) [J]. *Aquatic Sciences*, 1996, **58**(3): 253—268
- [6] Yolanda Zalocar de Domitrovic. Effect of fluctuations in water level on phytoplankton development in three lakes of the Paraná river floodplain (Argentina) [J]. *Hydrobiologia*, 2003, **510**(1-3): 175—193
- [7] Macek M, Callieri C, Sunnek K, et al. Seasonal dynamics, composition and feeding patterns of ciliate assemblages in oligotrophic lakes covering a wide pH range [J]. *Archiv fur Hydrobiologie*, 2006, **166**(2): 261—287
- [8] Torres L E, Rylander K. Diversity and abundance of littoral cladocerans and copepods in nine Ecuadorian highland lakes [J]. *Revista de Biología tropical*, 2006, **54**(1): 131—137
- [9] Gardner E M, McKnight D M, Lewis W M, et al. Effects of nutrient enrichment on phytoplankton in an alpine lake, Colorado, USA [J]. *Arctic Antarctic and Alpine Research*, 2008, **40**(1): 55—64
- [10] Zhang Z S, Huang X F. Study Methods of Freshwater Plankton [M]. Beijing: Science Press. 1991, 333—344, 358—371[章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京:

科学出版社. 1991, 333—344, 358—371]

[11] Yu C H, SPSS and Statistic Analasis [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry. 2007 [宇传华. SPSS 与统计分析. 北京: 电子工业出版社. 2007]

[12] Li X R. Compare and application of principal component analysis, factor analysis and clustering analysis [J]. *Journal of Shandong Education Institute*, 2006, 6: 23—26 [李新蕊. 主成分分析、因子分析、聚类分析的比较与应用. 山东教育学院学报, 2006, 6: 23—26]

[13] Tokalioglu S, Kartal S. Chemometrical interpretation of lake waters after their chemical analysis by using aas, flame photometry and titrimetric techniques [J]. *International Journal of Environmental Analytical Chemistry*, 2002, 82(5): 291—305

[14] Petaloti C, Voutsas D, Samara C, et al. Nutrient dynamics in shallow lakes of northern Greece [J]. *Environmental Science and Pollution Research*, 2004, 11(1): 11—17

[15] Huang B, Zhao Y F, Shi X Z, et al. Source identification and spatial variability of nitrogen, phosphorus, and selected heavy metals in surface water and sediment in the riverine systems of a peri-urban interface [J]. *Journal of Environmental Science and Health*, 2007, 42(3a): 371—380

[16] Wang X L, Lu Y L, Han J Y, et al. Identification of anthropogenic influences on water quality of rivers in Taihu watershed [J]. *Journal of Environmental Sciences*, 2007, 19(4): 475—481

[17] Li R Q, Dong M, Zhao Y, et al. Assessment of water quality and identification of pollution sources of plateau lakes in Yunnan (China) [J]. *Journal of Environmental Quality*, 2007, 36(1): 291—297

[18] Pedrozo Catarina da Silva, Rocha Odete. Environmental quality evaluation of lakes in the Rio Grande do Sul coastal plain [J]. *Brazilian Archives of Biology and Technology*, 2007, 50(4): 673—685

STUDY ON PLANKTON OF DIFFERENT CATEGORIES OF LAKES IN SUMMER BY MEANS OF PRINCIPAL COMPONENT ANALYSIS, FACTOR ANALYSIS AND CLUSTER ANALYSIS

GONG Luo-Jun^{1,2,3}, ZHANG Shi-Ping¹, XIONG Bang-Xi¹, LIU Ding-Zhu², LI Jin-Zhong³ and CAO Jun¹

(1. *Fishery College of Huazhong Agricultural University, Wuhan 430070*; 2. *Hubei Provincial Fishery Technical Extension Center, Wuhan 430060*; 3. *Hubei Provincial Fishery Scientific Research Institute, Wuhan 430071*)

Abstract: In order to understand the change regularity of the lake ecosystem deeply and provide basic data for lake fishery and management, the author measured the plankton in five aquaculture lakes, Liangzi Lake, Futou Lake, Chaipo Lake, Nanhu Lake and Yezhi Lake respectively, in Wuhan in summer 2007. SPSS was used for principal component analysis and factor analysis of quantity and biomass of six phyla of phytoplankton and four species of zooplankton of five lakes. Two analysis results were different, which was attributed to the difference between two methods. The combination of the above methods would effectively improve the accuracy of analysis result. The result indicated that the first principal component of planktons of the 5 lakes was cladocera and copepod quantitative and gravimetric factors; the second was rotifer quantitative and gravimetric factors and chlorophyta quantitative factor; the third was cryptophyta quantitative and gravimetric factors; the fourth was protozoan quantitative and gravimetric factors; the fifth was cyanophyta quantitative factor; and the sixth was euglenophyta quantitative and chlorophyta gravimetric factors. In addition, SPSS was also used for hierarchical clustering of quantity and biomass of each phylum and species of plankton of the five lakes, and 13 points were divided into five categories, that is, Points 3 and 5 of open water zones of Liangzi Lake and Futou Lake belonged to one category; Points 1 and 4 of enclosed aquaculture zones of Liangzi Lake and Futou Lake and Point 2 near Liangzi Island belonged to one; Points 6, 7 and 8 of Chaipo Lake belonged to one; Point 10 near the sewage drainage outlet of Nanhu Lake belonged to one; and Points 9, 11, 12 and 13 of Nanhu Lake and Yezhi Lake belonged to one. According to the analysis, the above results are caused by urban wastewater, domestic wastewater and aquaculture production.

Key words: Phytoplankton; Zooplankton; CA; FA; Lake; PCA