

武汉市湖泊浮游植物群落排序及水质生态评价*

邬红娟, 任江红, 卢媛媛

(华中科技大学环境科学与工程学院, 武汉 430074)

摘要: 本文利用极点排序及聚类的多元分析方法, 对武汉市湖泊浮游植物群落结构进行了研究, 将排序结果与水质分类结果进行比较, 结果表明: 东湖和龙阳湖由于受到人为因素的干扰而使得其浮游植物群落的结构特征与其水质状况不太一致。然后再利用生态学的观点对结果进行分析解释, 并为武汉市水环境治理与保护提供了科学的生态保护措施。

关键词: 生物群落; 极点排序; 聚类分析; 富营养化

A community ordination of phytoplankton and ecological assessment of water quality of lakes in Wuhan

WU Hongjuan, REN Jianghong & LU Yuanyuan

(School of Environmental Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074, P. R. China)

Abstract: A multianalysis method-polar ordination and cluster was adopted to investigate the structure of phytoplankton of Wuhan lakes. By comparing the results of ordination and water quality classification, It was proved that the structural characteristics of the phytoplankton of Lake Donghu and Lake Longyang do not conform to their water quality status due to human disturbances. Hence, the ecological explain was accepted in the article and also some scientific ecological measures were ended to manage and protect the Wuhan's water environment.

Keywords: Biotic community; polar ordination; cluster analysis; eutrophication

武汉市地处长江与汉水交汇处, 素有“百湖之市”的美誉。但是, 近年来, 随着经济的发展, 人类活动的加剧, 湖泊水质污染现象严重, 湖泊数量迅速减少, 水体富营养化日益加剧, 严重破坏了湖泊生态系统。湖泊的水生生物群落和水的理化指标构成了湖泊生态系统, 并影响其功能; 而系统的能量流和物质循环也影响着水质。目前对水质的评价一般采用单因子评价、多因子综合评价以及聚类分析评价等^[1], 这些方法都只从水的理化指标进行考虑, 而忽略了湖泊中的水生生物。本文尝试运用排序的方法来对武汉市湖泊的浮游植物群落进行研究, 将排序结果与水质分类结果进行比较, 找出湖泊浮游植物群落结构特征与水质之间的相关性并作出生态学解释。

1 方法

1.1 湖泊的选择、样品采集及数据来源

根据武汉市湖泊面积、汇水区等因素综合考虑, 选择 13 个数据较全的湖泊进行调查分析, 包括东湖、南湖、汤逊湖、青山北湖、月湖、莲花湖、墨水湖、龙阳湖、南太子湖、三角湖、塔子湖、汉口北湖、竹叶海。

浮游植物样品分定性和定量两种, 定性样品分别用 25 号和 13 号筛绢网按常规网捞方法进行垂直拖网; 定量样品则采用离水面 0.5 m 处的表层水 1 L, 加 1% 的鲁哥氏碘液固定, 沉淀 24 h, 浓缩至 50 ml, 摇匀取 0.1 ml, 用浮游植物计数框计数个体数并换算生物量^[2-4]。各湖泊监测点的化学指标采用武汉市环保局环境监测中心提供的数据。

* 2006-03-01 收稿; 2006-07-06 收修改稿。邬红娟, 女, 1960 年生, 教授; E-mail: jeanrh@163.com.

1.2 排序方法

群落排序的方法很多,由于极点排序能人为地选择坐标轴,更能适合现实的非线性数据的情况,所以本文采用极点排序法来对湖泊浮游植物群落进行排序.

1.3 聚类方法

本文采用系统聚类法,并利用 spss 软件对浮游植物种类进行聚类. 在聚类分析中由于最近邻体法和最近邻体法具有空间压缩性和扩张性,因此选择系统默认的组间连接法,即类平均法. 相异性系数采用欧式距离系数.

2 结果

2.1 生物群落排序结果

对武汉市 13 个湖泊浮游植物种类及优势种进行排序,浮游植物种类以存在与否取二元数据. 当极点排序用于二元数据的群落排序时,相似性系数采用排除双 0 的二元数据匹配系数 Sørensen 系数^[5]. $S = 2A / (2A + B + C)$, 其中, S 为相似系数, A 为两样点间共有种量值之和, B 和 C 分别为两样点各自的量值之和. 由此得到样点间相似系数矩阵,并以 $I = 1 - S$ 求出相异性系数对应矩阵. 结果见表 1.

表 1 武汉市湖泊浮游植物群落相异性系数
Tab. 1 Difference coefficients of the phytoplankton of lakes in Wuhan

	月湖	莲花湖	墨水湖	南太子湖	龙阳湖	汉口北湖	汤逊湖	南湖	青山北湖	三角湖	东湖	竹叶海	塔子湖
月湖													
莲花湖	0.4940												
墨水湖	0.4545	0.5484											
南太子湖	0.5862	0.5435	0.5052										
龙阳湖	0.6316	0.5556	0.5349	0.5059									
汉口北湖	0.6203	0.5476	0.5281	0.5000	0.4286								
汤逊湖	0.7895	0.6296	0.6977	0.7412	0.8356	0.7143							
南湖	0.6436	0.6415	0.6396	0.7273	0.7172	0.6667	0.5758						
青山北湖	0.8286	0.7867	0.7500	0.8481	0.8235	0.7746	0.5882	0.6774					
三角湖	0.8000	0.6000	0.7000	0.6962	0.7059	0.6901	0.5882	0.5484	0.6452				
东湖	0.7097	0.8507	0.7222	0.8028	0.8667	0.7778	0.7667	0.7412	0.6667	0.7037			
竹叶海	0.7534	0.7949	0.7108	0.7805	0.8028	0.7568	0.5775	0.6250	0.5077	0.7231	0.6491		
塔子湖	0.7215	0.7143	0.6854	0.7727	0.7403	0.675	0.5844	0.5294	0.6338	0.6338	0.6825	0.6216	

根据相异性系数矩阵计算 x 轴、 y 轴的坐标值^[5,6].

X 排序轴的确定: 首先计算出各个湖泊的相异总值, 选择相异总值最大的湖泊 a 作为 x 的一个端点, 并确定其坐标 $x_a = 0$, 这里为东湖; 再找出与 a 相异性系数最大的定为 b , 由表 1 知 b 为龙阳湖; 用 a 和 b 的相异值标记坐标 $x_b = L(L$ 是 a, b 的相异值). 其他点的确定根据 $x = (L^2 + Da^2 - Db^2) / 2L$ 进行计算, 再按 $h = (Da^2 - x^2)$ 计算各样点对 x 轴的偏离值 h , 其中 Da, Db 是所求样点与 a, b 的相异值.

Y 排序轴的确定: 与 x 轴的确定相似, 只是端点的选择根据样点与 x 轴的偏离值 h 来确定. 取 h 值最大的作为端点 $a, y_a = 0$; 再选择与 a 相异性系数最大的作为 $b, y_b = L(L$ 是 a, b 的相异值). 其他点由公式 $y = (L^2 + Da^2 - Db^2) / 2L$ 计算而得. 结果如表 2 所示.

表2 武汉市湖泊的相异总值、对 x 轴的偏离值 h 、 x 和 y 轴的坐标
 Tab.2 The totals of difference coefficients、values of h deviating from x axis、
 Coordinate values of the plots on x and y axis

	x 坐标	h	y 坐标	相异总值
月湖	0.4938	0.5098	0.5521	8.0329
莲花湖	0.6128	0.5207	0.3703	7.7068
墨水湖	0.5692	0.4445	0.5379	7.4768
南太子湖	0.6575	0.4606	0.5934	8.0096
龙阳湖	0.8667	0	0.8356	8.1486
汉口北湖	0.6764	0.384	0.3132	7.6799
汤逊湖	0.3697	0.6717	0	8.0887
南湖	0.4535	0.5862	0.3084	7.7331
青山北湖	0.2585	0.5961	0.219	8.5305
三角湖	0.4316	0.5558	0.3267	8.0346
东湖	0	0	0.3201	8.9398
竹叶海	0.4046	0.5732	0.2317	8.3032
塔子湖	0.3859	0.5629	0.2942	7.9947

由表2中的坐标值作出武汉市湖泊浮游植物群落的排序图(图1)

对排序图进行检验^[5],用各湖泊间的排序间距和相异值计算它们之间的相关系数 r .

$$r = \frac{\sum DD' - \frac{1}{N} \sum D \sum D'}{\sqrt{\sum D^2 - \frac{1}{N} (\sum D^2)} \sqrt{\sum D'^2 - \frac{1}{N} (\sum D')^2}}$$

群落间的排序间距 D' 采用距离系数欧式距离 $D' = \sqrt{(dx)^2 + (dy)^2}$,其中 dx 为两群落在 x 轴上的坐标差, dy 为两群落在 y 轴上的坐标差; D 为两群落的相异值;经计算 $N = 78$. 由此计算 r 为 1.05,大于 0.9,说明排序后的湖泊间距离与原数据反映的相异性吻合较好.

2.2 群落聚类的结果

应用 spss11.0 统计软件对实验得到的湖泊浮游植物种类及优势种进行聚类分析,得到浮游植物群落聚类分析树形图(图2).

3 分析与讨论

3.1 各湖泊浮游植物群落的结构特征

由群落排序图可以看出当相异性系数为 0.6 时,月湖、莲花湖、墨水湖、三角湖、南太子湖、南湖、汉口北湖、竹叶海和塔子湖九个湖泊中的群落结构特征相似,绿藻占绝对优势. 其群落结构特征为:月湖有 5 门 29 属 41 种,其中小空星藻(*Coelastrum microporum* Näg.)和四尾栅藻(*Scenedesmus quadricauda* Bréb.)密度较多,栅藻为 β -中污带指示生物;莲花湖有 4 门 29 属 46 种,优势种为绿藻里的单角盘星藻(*Pediastrum simplex* Lemm.)、集星藻(*Actinastrum hantzschii* Lag.)、月芽藻(*Selenastrum bibraianum* Reinsch.)和链丝藻(*Horrmidium flaccidum* Br.);三角湖有 8 门 35 属 48 种,优势种也为单角盘星藻(*Pediastrum simplex* Lemm.);南太子湖有 7 门 27 属 37 种,其优势种仍为单角盘星藻(*Pediastrum simplex* Lemm.),且种类繁多;塔子湖有 4 门

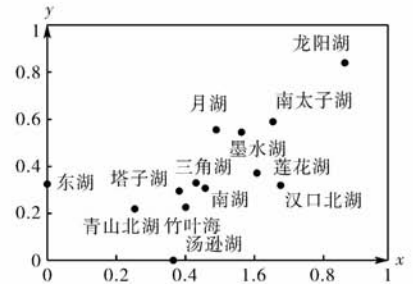


图1 武汉市湖泊浮游植物群落排序图
 Fig.1 Ordination of the plots of the phytoplankton of lakes in Wuhan

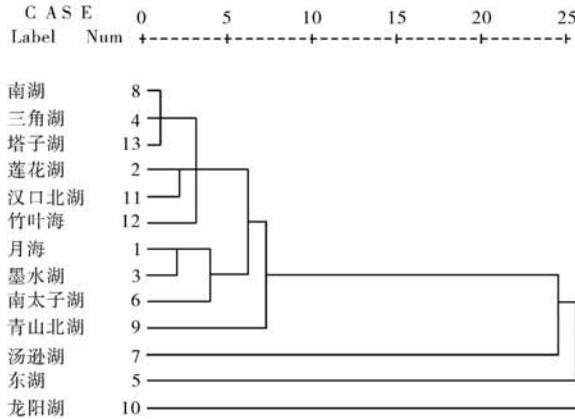


图2 武汉市湖泊浮游植物群落聚类分析图

Fig. 2 Plot of cluster analysis of the phytoplankton of lakes in Wuhan

31 属 40 种, 优势种为绿藻里的四尾栅藻 (*Scenedesmus quadricauda* Bréb.); 墨水湖有 6 门 32 属 55 种, 优势种为爪哇栅藻 (*Scenedesmus javaensis* Chod.); 竹叶海有 5 门 24 属 36 种, 优势种除链丝藻 (*Hormidium flaccidum* Br.) 外, 还有小颤藻 (*Oscillatoria tenuis* Ag.); 汉口北湖有 4 门 20 属 23 种, 是个人工湖, 底质全部硬质水泥化, 湖泊以绿藻为主, 占总藻数的 44.79%, 无明显优势种。

青山北湖、龙阳湖、东湖、汤逊湖单独成组, 其浮游植物群落结构特征分别为青山北湖有 7 门 25 属 30 种, 优势种为蓝藻里的小颤藻 (*Oscillatoria tenuis* Ag.); 龙阳湖有 7 门 23 属 34 种, 优势种为金藻里的圆筒锥囊藻 (*Dinobryon cylindricum* Imh.); 东湖有 5 门 37 属 42 种, 优势种为甲藻里的角甲藻 (*Ceratium hirundinella* Schr), 硅藻里的尖针杆藻 (*Synedra acus* Kütz.) 和绿藻里的单角盘星藻 (*Pediastrum simplex* Lemm.); 汤逊湖有 6 门 23 属 28 种, 以硅藻里的尖针杆藻为主^[7]。

3.2 群落排序与聚类结果比较分析

从武汉市湖泊浮游植物群落的排序与聚类图看出, 其结果是一致的. 选择不同的距离标准, 可以得到不同的分组, 距离相近的, 其浮游植物群落的结构也相似. 在群落聚类图中, 当 $6 < \lambda < 7$ 时, 13 个湖泊被分成了 5 组, 汤逊湖、东湖、龙阳湖和青山北湖分别各成一组, 南湖、三角湖、塔子湖、莲花湖、汉口北湖、竹叶海、月湖、墨水湖和南太子湖划为一组. 群落排序图上也能很好的反映这样一个结果. 浮游植物群落的聚类正好印证了排序的结果。

3.3 群落排序与水质分类比较分析

根据武汉市环保局环境监测中心提供的水质监测数据, 按照国家环境质量标准对武汉市湖泊的水质进行了单因子评价. 选取的 13 个湖泊中汤逊湖由于总氮 (TN) 超标而定为 IV 类水体; 其它的湖泊均为劣 V 类水体, 超标污染物主要是高锰酸盐指数 (COD_{Mn}), 五日生化需氧量 (BOD_5), 氨氮 (NH_3-N), 总磷 (TP), 总氮 (TN), 化学需氧量 (COD) 等。

从各湖泊浮游植物的群落排序结果可见, 青山北湖以蓝藻 (是形成“水华”的主要藻类) 为主, 蓝藻大量繁殖说明水体富营养化很严重; 而汤逊湖、龙阳湖和东湖这些湖泊其优势种都为 β -中污带指示种, 都在水质较好的环境里生活, 相对而言富营养化程度不高; 其它九个湖泊绿藻占绝对优势, 绿藻大部分是污水生物, 生长在有机物含量较高的水体中, 绿藻在湖泊中大量繁殖, 表示湖泊有机物含量较高, 水质较差, 富营养化程度较高^[7-9]。

根据上面的分析与讨论, 我们可以看出在群落结构分析中, 龙阳湖和东湖的优势种反应其湖泊水质较好, 而在水质分类结果中, 却都属于劣 V 类水体. 究其原因这是由于东湖进行了生物操纵^[10]: 人们在东湖大量的放养鲢、鳙鱼等滤食性鱼类, 使得导致水华发生的藻类 (主要是微囊藻) 减少, 在一定程度上有效控制了水华, 恢复了水体生态系统功能. 龙阳湖分析其原因是因为受到人工干预, 曾进行过底泥疏浚. 底泥是湖泊生态系统的基本要素, 各种来源的营养物质, 在湖泊中经一系列物理、化学及生化作用, 沉积于湖底, 形成

湖泊的内源污染.对底泥进行疏浚,在短期内能够改善水体水质,减少营养物质向水体中的释放;同时也使的水体中的浮游植物群落结构发生了很大的变化.

4 结论

(1)本文所采用的极点排序结果与聚类分析的结果基本上一致,表明用极点排序法对湖泊浮游植物群落进行分类是可行的.实践证明,在对湖泊浮游植物群落进行划分的研究中,极点排序法与聚类分析法相互补充、相互印证,能更好地揭示出群落之间的相互联系以及群落分布与环境之间的关系,从而获得较满意的效果.由文中还可以看出,一般的水质分类只是从理化指标来进行,而排序可以从生物的角度来进行分类,也更详细,两者结合更能说明生物与环境间的关系.

(2)通过对湖泊浮游植物群落的排序与水质分类情况的分析,可以得出湖泊的生物浮游植物群落结果在一定程度上能反应出湖泊水体的水质状况;另外除主要的环境因子外,人为干扰(底泥疏浚)、生物之间的关系(竞争、捕食)在很大程度上也影响着湖泊内浮游植物的群落的结构.

(3)由前面浮游植物群落排序中的藻类分析可以看出武汉市湖泊都不同程度的出现富营养化,除汤逊湖以寡污带指示种硅藻为主,并伴有一些的蓝藻、绿藻生存外,其他湖泊浮游藻类主要以蓝或绿藻为主,数量优势较强的种类基本上都是属于 α 或 β 中污性水体指示种,属于蓝、绿藻型富营养湖.

5 参考文献

- [1] 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.
- [2] 国家环境保护总局.水生生物监测手册.南京:东南大学出版社,1993:176-182.
- [3] 黄祥飞.湖泊生态调查观测与分析.北京:中国标准出版社,2000:77-79.
- [4] 章宗涉,黄祥飞.淡水浮游生物研究方法.北京:科学出版社,1991:1-414.
- [5] 赵志模,郭依泉.群落生态学原理与方法.重庆:科学技术文献出版社重庆分社,1990:233-237,194-205.
- [6] 许鸿川.福建海岛亚热带灌丛的极点排序.福建农业大学学报,2000,29(2):254-257.
- [7] 福迪 B.藻类学.上海:上海科学技术出版社,1980:370-400.
- [8] 谢强,梁锋,黄东群,卢一娇.桂林漓江流域藻类生态分布与水质的相关性研究.广西师范大学学报,2002,20(4):85-89.
- [9] 邬红娟,崔博,吕晋,张绍浩.武汉湖泊底栖动物群落结构及水质生态评价.华中科技大学学报,2005,33(10):96-98.
- [10] 谢平.鲢、鳙与藻类水华控制.北京:科学出版社,2003:98-109.