

江西省余江县水体营养状况分析

唐 涛 黎道丰 刘瑞秋 蔡庆华

(中国科学院水生生物研究所; 淡水生态与生物技术国家重点实验室, 武汉 430072)

摘要: 用营养状态指数法(TSI)对江西省红壤区余江县东塘、五湖、仙塘三个水库的水质状况进行综合评价,结果表明三个水体的水质状况均呈富营养态。在此基础上对三个水库的 10 项主要水化学指标进行主成分分析,表明亚硝态氮和氨氮对第一主成分的贡献最大, COD 为第二主成分的主要贡献者;而且三个水库的水质受水中有机物含量的影响最大,这一结果与当地的农业结构密切相关。

关键词: 红壤区; 营养状态指数法; 主成分分析; 富营养化

中图分类号: Q176 文献标识码: A 文章编号: 1000-3207(2002)04-0357-06

地处我国热带亚热带的红壤区水、热、土和生物等自然资源丰富,历来在农业和经济发展中起着重要作用。然而,随着经济的发展和人口的增加,该区的生态环境不断恶化,水土流失严重,土壤肥力不断衰竭,生物资源遭到极大破坏^[1]。随着近年来我国水体富营养化趋势的加剧,如何保持水质,维持水体生态系统功能的正常发挥成为水生态学的一个重要研究方向。东塘、五湖和仙塘水库是江西省余江县的三个水库,它们的主要功能是渔业生产和农业灌溉。本研究尝试对三个水体的水质现状进行综合评价,并就影响水质状况的主要因素进行分析,以期为该县水体利用与管理提供决策依据,同时探讨红壤区水体的生态特征。

1 研究方法

1.1 研究地点概况 江西省余江县地处亚热带红壤区,气候湿润,年平均气温 17.9℃,年光照时数 16792 h,年平均降水量 1993.3 mm,年蒸发量 1318 mm,年均无霜期长达 265 d,适于多种作物生长。本研究选取的三个水库均位于余江县境内,其中东塘水库较小,呈梯形,养殖水面约 4 hm²,平均水深 2.0 m 左右;五湖水库形状不规则,养殖水面达 400 hm²,正常库容 2100 万 km³,水深 1—7 m,水位落差达 2—3 m;仙塘水库又名洪湖水库,形状也不甚规则,可养殖水面约 100 hm²,正常库容 1190 万 km³,平均水深 6 m 左右。三水库四周均为平缓的丘岗地及红壤农田。

收稿日期: 2001-07-10; 修订日期: 2001-11-30

基金项目: 中国科学院鹰潭红壤生态系统开放研究试验站课题; 国家自然科学基金课题资助(30070153, 39670150)

作者简介: 唐 涛(1974—),男,云南楚雄人;在读博士生;参加工作的还有张水元、苏泽古、胡春英、潘文斌等同志,中科院南京土壤所宗海宏同志协助测试部分项目,特表谢意。

通讯作者: 蔡庆华, qhcai@ihb.ac.cn

1.2 采样及分析方法 依据各水库的形态特征及采样的可行性等特点,在东塘设五个样点,五湖设三个样点,仙塘设一个样点,分别于 1998 年 5 月、1999 年 5 月、9 月进行三次重复取样工作。水样取表层(水面下 0.5 m)和底层(距底 0.5 m)混合样,取样时记录水深、透明度、水温等物理指标,按标准法进行 $K^+ + Na^+$ 、 $PO_4^{3-}P$ 、 TP 、 NO_2^-N 、 NO_3^-N 、 NH_4^+N 、 TN 、 SiO_2 、 pH 、 COD 等水化学指标的测定工作,用丙酮萃取法测定藻类叶绿素 a 的含量。

1.3 水体营养状况评价方法 当前世界各国广泛采用的水体营养状况评价方法,可概括为六大类型^[2],其中营养状态指数(Trophic state index, TSI)法,即综合多项湖泊营养状态指标,并将其转换为营养状态指数而对湖泊营养状况进行连续分级的方法,由于可以对湖泊营养状况进行连续的数值化分级,为进一步的定量分析提供了坚实的基础,是淡水环境质量评价中的主要方法之一^[3,4]。TSI 法主要以水体透明度(Sd),藻类叶绿素 a 浓度(Chla)和水体总磷浓度(TP)为指标,有 Carlson 的 TSI 法^[5]和 Aizaki 修正的 TSI_m 法^[6],其中,TSI 法的基础是假定水中的悬浮物质全部为浮游植物,即湖水透明度主要受浮游植物丰度的影响,其 TSI 指数以透明度为基准。这一方法忽略了浮游植物以外的其他因子(如 水色、水中溶解物以及其他悬浮物质)对透明度的影响,因而具有一定的局限性,而 TSI_m 则是以叶绿素 a 浓度为基准,较好地解决了这一问题。对于 Carlson 指标中的三个因子,相对重要性可定义为, $Chla > Sd > TP$, 对应的权重分配为:

$$W(Chla) = 0.540, W(Sd) = 0.297, W(TP) = 0.163$$

将其与各 TSI 指数结合起来,便可得到水体营养状况的综合评价公式^[5-7]。TSI 计算结果为 0—100 间的数值,该方法的评价标准为: $TSI < 37$ 时为贫营养型; $37 \leq TSI \leq 54$ 时为中营养型; $TSI > 54$ 为富营养型。

富营养化是指湖泊等水体接纳过量的氮、磷等营养性物质,使藻类以及其他水生生物异常繁殖,水体透明度和溶解氧变化,造成水体水质恶化,加速水体老化,从而使水体生态系统和 水功能受到阻碍和破坏^[8]。既然外源营养物的输入是造成水体富营养化的主要原因,某一特定形态的营养盐对水体富营养化的贡献大小就成了遏制富营养化的理论依据。鉴于此,在对三水库水体状况评价的基础上,具体定量研究各种营养盐对水质的影响作用也是很有必要的,主成分分析(Principal component analysis, PCA)则是这一研究的有力数学工具。主成分分析又称主分量分析,是研究如何将多指标问题化为较少的新指标问题的一种方法,是排序分析中研究最充分、应用最广泛的一种方法^[9-11]。

2 结果

2.1 水体营养状况综合评价

表 1 以 1998 年为例,用 Carlson TSI 法评价了余江县三水库水质营养状况。结果表明,三个水体都呈明显的富营养化状态,其中东塘水库的富营养化最严重,其 TSI 值高达 69,远远超过富营养型下限。

表 1 江西省余江县三水体 1998 年营养状况综合评价结果

Tab. 1 The trophic state of three reservoirs in Yujiang County, Jiangxi Province(1998) .

水库名称 Names of reservoirs	样点 Sampling sites	Chla		Sl		TP		TSI	平均值 Average	营养状况 Trophic state
		μ g/L	TSI	m	TSI	mg/ L	TSI			
东塘 Dongtang Reservoir	1	40 729	67	0. 350	75	0. 090	69	70	69	富营养 Eutrophication
	2	40 866	67	0. 350	75	0. 070	65	69		
	3	33 165	65	0. 350	75	0. 070	65	68		
	4	31. 679	64	0. 350	75	0. 070	65	68		
	5	30 209	64	0. 350	75	0. 090	69	68		
五湖 Wuhu Reservoir	1	13 919	56	0. 700	65	0. 040	57	59	60	富营养 Eutrophication
	2	16 425	58	0. 700	65	0. 070	65	61		
	3	17. 134	58	0. 900	62	0. 070	65	60		
仙塘 Xiantang Reservoir	1	26 949	63	0. 950	61	0. 110	72	64	64	富营养 Eutrophication

2.2 水化学指标的主成分分析

研究中根据红壤区的特点及三个水库环境的实际情况, 选取 K⁺ + Na⁺、NO₂N、NO₃N、NH₄N、TN、PO₄P、TP、SiO₂、pH、COD 等 10 项指标, 对 1998 年 5 月和 1999 年 5 月的采样数据进行主成分分析, 结果如表 2、图 1 所示:

表 2 江西省余江县三水库 10 种水化学指标主成分分析结果

Tab. 2 Principal component analysis of 10 factors of three reservoirs in Yujiang County, Jiangxi Province.

主成分分析结果 Result of principal component analysis			因子负荷 Loadings of factors	
主成分 Principal component	方差百分数 Total variance(%)	累计百分数 Cumulative variance(%)	PCA1	PCA2
1	52. 382	52. 382	K ⁺ + Na ⁺ - 0. 840	0. 396
2	28. 367	80. 749	PO ₄ P 0. 865	0. 115
			TP 0. 770	0. 219
			NO ₂ N 0. 909	0. 292
			NO ₃ N 0. 547	0. 663
			NH ₄ N 0. 986	0. 067
			TN - 0. 0531	0. 766
			SiO ₂ - 0. 720	0. 587
			pH - 0. 674	0. 675
			COD 0. 343	0. 837

由表 2 可知, 前两个主成分的方差累计百分数已经超过 70%, 已经能满足研究的需要。它们分别为: PCA1= - 0. 840(K⁺ + Na⁺) + 0. 865PO₄P+ 0. 770TP + 0. 909NO₂N + 0. 547NO₃N+ 0. 986NH₄N- 0. 0531TN- 0. 720SiO₂- 0. 674pH+ 0. 343COD

PCA2= 0. 396(K⁺ + Na⁺) + 0. 115PO₄P+ 0. 219TP+ 0. 292NO₂N + 0. 663NO₃-N + 0. 067NH₄N+ 0. 766TN+ 0. 587SiO₂+ 0. 675pH+ 0. 8367COD

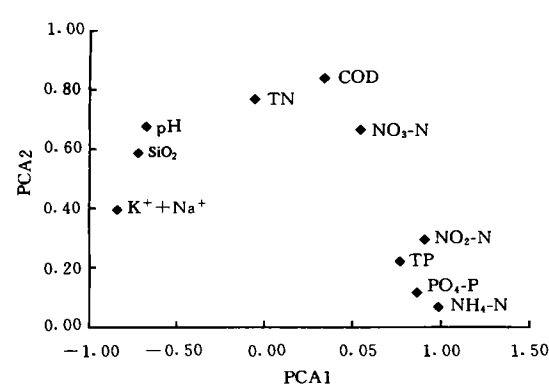


图 1 水化学因子在主成分上的负荷

Fig.1 Loadings of water chemical factors on the two principal components

图 1 是各因子在两个主成分上的负荷图。从表 2 和图 1 可以看出,第一主成分占原有方差的 52.382%, 氮氮对其贡献最大, 负荷为 0.986, 其次是亚硝态氮, 负荷为 0.909, 所以第一主成分主要反映的是水体的氮盐特征; 第二主成分占原有方差的 28.367%, 其中 COD 的负荷最大, 为 0.8367, 主要反映水体中有机物的特征。

可以把任一样点的测定结果代入主成分表达式中求算每一主成分的具体值, 从而确定样点的特性。本研究把 1999 年 9 月的采样结果代入 2 个主成分的表达式, 计算结果如表 3 所示:

表 3 江西省余江县三个水库各样点主成分计算结果(1999 年 9 月)			
Tab. 3 The results of principal components of the three reservoirs in Yujiang County, Jiangxi Province (Sep., 1999)			
水库名称 Names of reservoirs	取样点 Sampling sites	PCA 1	PCA 2
东塘水库 Dongtang Reservoir	1	- 9.288	12.969
	2	- 8.691	12.980
	3	- 8.388	12.628
	4	- 8.902	13.475
	5	- 7.735	12.719
	平均 Average	- 8.601	12.954
五湖水库 Wuhu Reservoir	1	- 7.749	11.993
	2	- 7.913	11.901
	3	- 8.162	11.491
	平均 Average	- 7.941	11.795
仙塘水库 Xiantang Reservoir		- 8.734	10.799

很显然, 三个水库各样点的计算结果都显示, 第二主成分的值比第一主成分的值大, 说明它们的水质受水体中的有机物含量影响最大。东塘水库的第二主成分的数值最大, 该水库受影响最大, 这与其 TSI 值最高的结果一致。

3 讨论

东塘、五湖、仙塘水库的主要功能之一是渔业养殖, 水库附近养猪厂的生产污水(主要是猪粪尿) 常常不经任何处理被直接排入水中作为肥鱼水, 有时甚至将猪粪直接投水肥鱼, 导致水库的水质不断恶化, 偶尔还出现水华现象。用 TSI 法计算的三个水库水质状况都定量表明它们处于富营养化状态, 东塘水库由于水浅库小, 污染最严重, TSI 值准确反映了这一点; 五湖水库水体较深, 相对自净能力较强, 在三水库中 TSI 值最小。所以, TSI

法是定量研究水体营养状况的较好方法。

三个水库周围主要是农田和菜地, 由于红壤区的土壤酸性强, 养分含量低, 保肥能力(交换量)差; 而且本区红壤多为丘陵坡地, 雨量大而集中, 因而一般侵蚀严重, 土壤肥力较低^[12]。当地农民为了提高生产力, 往往过量地施加各种化肥, 而且, 他们还习惯把草木灰和人粪尿混合施用, 从而造成了大量的 N 素和有机肥损失。研究表明, 余江县秸秆的利用率只有 45%, 厩肥的利用率只有 60% 左右, 而人粪尿基本未被合理利用。通过各种途径损失的化学氮素高达 40%, 有机厩肥的氮素损失也达 30%。主成分分析结果与该区的农业特点相一致, 三个水库的水质都主要受氮素(特别是氨氮和亚硝态氮)和有机物的影响。氨氮主要是由排入水中过多的猎粪尿被微生物分解所致, 其在有氧条件下经亚硝化细菌作用转变成亚硝态氮, 所以它们都可作为水体氮有机肥污染的标志。它们与 COD 相互补充。由此可见, 渔民的肥鱼措施和农田养分流失的特点共同导致了有机肥在当地水体水质污染中占有重要地位。

本研究结果既反映了该地区特别的农业活动对水体造成的影响, 显示其有机肥污染的特性; 同时, 也得到其他类似研究的共同结果, 即氮素在水体污染中扮演重要角色, 且外界的影响如工农业生产对水质的影响作用更大^[13-16], 由此是否说明红壤区的水体与其他类型的水体水质控制因子相似有待进一步研究。

参考文献:

- [1] 赵其国, 石华, 吴志东. 红黄壤地区农业资源综合发展战略与对策[C]. 红壤生态系统研究(第一集). 北京: 科学出版社, 1992
- [2] 蔡庆华. 湖泊富营养化综合评价方法[J]. 湖泊科学, 1997, 9(1): 89—94
- [3] 蔡庆华. 武汉东湖富营养化的综合评价[J]. 海洋与湖沼, 1993, 24(4): 335—339
- [4] 赵斌、蔡庆华, 黎道丰, 等. 岱海水质咸化过程中营养状况的变化[J]. 水生生物学报, 2000, 24(5): 509—513
- [5] Carlson R E. A trophic state index for lakes [J]. *Limnol., Oceanogr.*, 1979, 22(2): 361—369
- [6] Aizaki M., et al. Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese lakes and its relationships to other parameters related to trophic states [J]. *Res. Rep. Natl. Inst Environ. Stud.*, 1981, 23: 13—31
- [7] Goda T. Comprehensive studies on the eutrophication of freshwater areas(XI): summary of researches [J]. *The National Institute for Environmental Studies*, 1981, (27): 59—71
- [8] 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范(第二版)[M]. 北京: 中国环境科学出版社, 1990
- [9] 余世孝. 数学生态学导论[M]. 北京: 科学技术出版社, 1985
- [10] 刘建康. 高级水生生物学[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 376—400
- [11] 李春喜, 王文林, 陈士林等. 生物统计学[M]. 北京: 科学出版社, 1998
- [12] 鲁如坤, 时正元, 钱承梁等. 中亚热带低丘红壤农田生态系统养分平衡特征研究 I 农田养分循环[C]. 红壤生态系统研究(第四集). 南昌: 江西科学技术出版社, 1997
- [13] 姜 萍, 许苏葵, 潘文斌. 三峡科技移民示范区及毗邻地区水体营养状况的数量分析[J]. 水生生物学报, 2000, 24(5): 464—467
- [14] 蔡庆华, 刘瑞秋, 黎道丰等. 黄淮海平原封丘试区水体营养状况的综合评价[J]. 湖泊科学, 1992, 4(2): 46—51
- [15] 蔡庆华, 刘建康. 人口增长与渔业发展对武汉东湖水质的影响[J]. 水生生物学报, 1994, 18(1): 87—89
- [16] 蔡庆华. 武汉东湖浮游植物水华的多元分析[J]. 水生生物学报, 1990, 14(1): 22—31

STUDIES ON TROPHIC STATES OF WATERS IN YUJIANG COUNTY, JIANGXI PROVINCE

TANG Tao, LI Daofeng, LIU Rui-qiu and CAI Qing-hua

(*Institute of Hydrobiology, The Chinese Academy of Sciences; State Key Laboratory of
Freshwater Ecology and Biotechnology, Wuhan 430072*)

Abstract: By means of trophic state index (TSI) and its modifier (TSIm) in which algal chlorophyll *a* (Chl*a*), water transparency (Sd) and total phosphorus (TP) are used as evaluation factors, the continuous numerical classification for the trophic states of three waterbodies (Dongtang, Wuhu and Xiantang reservoirs) of 1998 and 1999 in Yujiang county, Jiangxi province were obtained. The results indicated that all the three reservoirs were in the state of eutrophication. The values of TSI and TSIm of Dongtang reservoir were 69 and 70 respectively, which means that the trophic state of this reservoir was highly eutrophicated and was the worst among the three reservoirs. Although Wuhu reservoirs got the lowest values of TSI and TSIm, they also reached 60 respectively. Thereafter principal component analysis (PCA) was carried out to explore which factors (including $K^+ + Na^+$, $PO_4^{3-}P$, TP, NO_2^-N , NO_3^-N , NH_4^+N , TN, SiO_2 , pH, COD) were specially responsible to the water qualities of these waterbodies. The results showed that NH_4^+N was the most important factor to the first principal component, which weighted 0.986, and NO_2^-N was the second weighted one with the corresponding value of 0.909, so it can be inferred that nitrogen was the main contributor to the first principal component. With the loading of 0.837, COD dominated the second principal component.

Studies on the data of September of 1999 showed that COD acted as the most important role in the water trophic state of three reservoirs. Corresponding analysis suggested that it was local agricultural system that resulted in superfluous organic fertilizers, which had been poured in these reservoirs and eutrophicated the waters. This result could be important to local agriculture and reservoir managements.

Key words: Red soil area; Trophic state index; Principal component analysis; Eutrophication