

# 鹤地水库浮游植物数量与环境因子的相关分析

刘 华

(湛江师范学院 生态经济研究所, 广东 湛江 524048)

**摘 要:**浮游植物是水库水环境中的初级生产者和食物链的基础,其数量和生物量与环境因子密切相关,决定水库水生态平衡。通过对鹤地水库浮游植物和水环境因子进行监测,利用 SPSS 18.0 统计学软件对其数据进行单因素方差分析和相关性分析,探讨浮游植物数量、生物量与环境因子的关系,该研究为保护水质和科学管理提供依据和参考。结果显示:水库浮游植物数量和生物量,除夏季生物量 1,2 号样点之间差异不显著外,各季节各采样点间都存在显著差异( $P<0.05$ ),并且是夏季多,冬季少,受水温显著影响。浮游植物生物量和数量与环境因子中水温、pH 值、溶解氧、化学需氧量、全磷呈正相关,其中与水温、化学需氧量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与全磷呈显著正相关( $P<0.05$ );与透明度、全氮、氨氮、硝态氮呈负相关,其中与透明度、氨氮呈显著负相关( $P<0.05$ )。可见,鹤地水库主要是氮污染。因此,强调控制库区周边生活污水和工业污水的过量排放对维持水库生态系统健康非常重要。

**关键词:**浮游植物;环境因子;相关分析;鹤地水库

中图分类号:X171.1

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2015)01-0163-05

## Correlation Analysis on Phytoplankton Quantity and Environmental Factors in Hedi Reservoir

LIU Hua

(Eco-economy institute, Zhanjiang normal university, Zhanjiang, Guangdong 524048, China)

**Abstract:** Phytoplankton is a fundamental element for primary production and food chain in the reservoir environment, where its quantity and biomass values have shown significant influence on the environmental factors, which in further determines the biological balance of the reservoir water. Through the monitoring and investigation of the phytoplankton quantity and water environmental factors in Hedi reservoir by using SPSS 18.0 statistical software to perform variance analysis and correlation analysis of the phytoplankton quantity, biomass values and environmental factors, the results showed that the phytoplankton quantity and biomass in the reservoir had demonstrated significant difference ( $P<0.05$ ), where it was relatively large in the summer and smaller in the winter, which was influenced by the water temperature, except that sample No. 1, 2 did not show much difference in the summer. Phytoplankton quantity and biomass showed positive correlations with the environmental factors including water temperature, pH, dissolved oxygen, chemical oxygen demand and total phosphorus, where there are extremely significant positive correlations with the water temperature and chemical oxygen demand ( $P<0.01$ ), and significant positive correlations with total phosphorus ( $P<0.05$ ). They showed negative correlations with factors such as transparency, total nitrogen, ammonia nitrogen and nitrate-nitrogen, in which there are significant negative correlations with the transparency and ammonia nitrogen ( $P<0.05$ ). Therefore, it is shown that it identifies as the nitrogen pollution. Thus, it is of importance for sustaining the health of the ecosystem in Hedi reservoir where the excessive domestic and industrial wastewater discharge around the reservoir should be controlled. This research can provide references and bases for the scientific management and protection of water quality.

**Keywords:** phytoplankton; environmental factor; correlation analysis; Hedi reservoir

鹤地水库(21°42′—22°22′N, 109°54′—110°25′E)是于1958年在九洲江中游兴建的一座国家级大(I)型水库。该水库地跨广东广西两省,主库区位于广东省湛江市廉江河唇镇,库区北起文官,南至渠首,控制地域广阔,集雨面积1496 km<sup>2</sup>,库长21.6 km,平均水深10.1 m,水库最大库容达1.19×10<sup>10</sup> m<sup>3</sup>,是广东省内最大的人造海,也是广东省5个大型饮用水源地之一<sup>[1]</sup>,水库年均供水量约1.55×10<sup>10</sup> m<sup>3</sup>,该水库是粤西沿海地区重要的水源地,肩负着防洪、供水、灌溉和发电、观光旅游等综合功能。然而,近几年随着城市化、工业化程度的提高,农业化肥、农药用量的增多,水库上游的九洲江沿岸工业和生活污水、库区周边的农业污水不断增多,使水库水质受到严重影响,水质呈现富营养化趋势,已引起相关部门的重视<sup>[2]</sup>。

浮游植物及其生产力在水库的水环境中扮演着十分重要的角色,它是初级生产者和食物链的基础,肩负着维持水库水生态平衡的作用<sup>[3]</sup>。浮游植物又称浮游藻类,是悬浮在水中的藻类植物的总称。它属于微生物(Micro-organisms),对水体条件变化的响应灵敏,是水质监测的重要生物类群。浮游植物数量的变化与生长的水环境密切相关,因此本文根据2012年1—12月对鹤地水库中的浮游植物和水环境因子的调查结果,探讨鹤地水库浮游植物数量与环境因子之间的关系。进一步探讨控制库区周边生活污水和工业污水的过量排放,对维持鹤地水库生态系统的健康具有重要意义,为水库的水质保护和科学管理提供依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样时间与采样地点

根据鹤地水库的水文地理特征和进排水的特点,并结合支流位置,从上游入水口至大坝,依次设置了丹兜河口附近1号样点(水库上游)、兰山河口附近2号样点(水库中游)和大坝附近3号样点(水库下游),共3个采样位点(图1)<sup>[4]</sup>。于2013年1月(冬季)、4月(春季)、7月(夏季)和10月(秋季)进行采样。

### 1.2 样品的采集与处理

浮游植物:定性样品使用25号浮游生物网在不同方向和深度拖取,并用5%福尔马林固定,带回实验室用显微镜进行镜检<sup>[5-6]</sup>。定量样品在水表以下0.5 m深处采1 L水,用5%福尔马林固定,带回实验室静置沉淀,浓缩镜检计数。定量分析按照目镜视野法进行记数。记数结果按照 $N=[AV_a/A_cV_s] \times n$ 计

算<sup>[7]</sup>。其中, $N$ 表示每升原水样中的浮游植物数量(个/L), $A$ 表示计数框面积(mm<sup>2</sup>), $V_a$ 为计数框的体积(ml), $A_c$ 表示计数面积(mm<sup>2</sup>), $V_s$ 表示1 L原水样沉淀浓缩后的体积(ml), $n$ 表示计数所得浮游植物的数目。



图1 鹤地水库采样点设置

在采集浮游植物样品的同时,同步采集水质样品,每次采样于晴天上午9:00—11:00完成,用5 L有机玻璃桶状采水器采集每个站点离表层0.5 m水样,进行各指标的测定。其中水温( $T$ )、酸碱度( $pH$ )、溶解氧( $DO$ )用水质分析仪现场测定,透明度用塞氏罗盘(Secchi disk depth,  $SD$ )测定;总磷( $TP$ )、总氮( $TN$ )、铵态氮( $NH_4-N$ )、硝态氮( $NO_3-N$ )、化学需氧量( $COD$ )参照《水和废水监测分析方法》<sup>[8]</sup>中的方法在室内测定。叶绿素 $a$ ( $Chl a$ )采用改进后的反复冻融—浸提法测定<sup>[9]</sup>。

### 1.3 数据处理

利用SPSS 18.0统计学软件对鹤地水库环境因子的数据和浮游植物数量、生物量的数据进行单因素方差分析(ANOVA)和相关性分析,探讨浮游植物数量、生物量和环境因子的时空差异以及它们之间相关性的强弱。

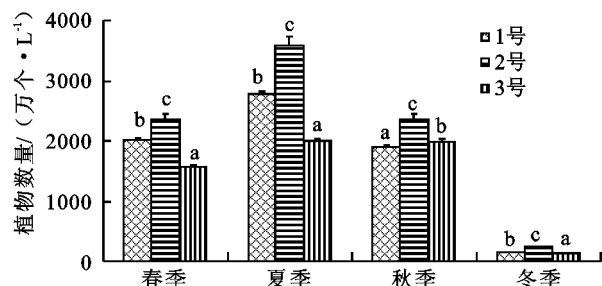
## 2 结果与分析

### 2.1 浮游植物

采用SPSS 18.0统计软件,对鹤地水库3个样点浮游植物数量、生物量进行单因素方差分析的Tukey HsD多重比较,得出以下时空分布规律。

2.1.1 浮游植物数量分布特征 如图2所示,鹤地水库浮游植物数量在132~3584万个/L,3个样点Tukey HsD多重比较,组内差异是样点的差异;组间差异是季节差异。分析结果是:各季节各采样点间均存

在显著差异( $P<0.05$ )。浮游植物数量在时间分布上以夏季最多(2 794.67 万个/L),春秋季次之(1 999.88 万个/L),冬季最低(194.31 万个/L);在空间分布上,表现为2号样点最多(c),1号次之(b),3号最低(a),但秋季3号略高于1号。从单因素方差分析的F值看出,水库浮游植物数量在水库上游(1号)、中游(2号)、下游(3号)的差异大小顺序是:夏季>春季>秋季>冬季,可见,夏季水库浮游植物数量最多,各点差异也最大;冬季最少,各点差异也最小。



注:单因素方差分析( $P<0.05$ ),abc依次增大,下图同。

图2 鹤地水库浮游植物数量分布特征

2.1.2 浮游植物生物量分布特征 如图3所示,鹤地水库浮游植物生物量在0.156~2.688 mg/L,3个样点Tukey HsD多重比较,组内差异是样点的差异;组间差异是季节差异。分析结果是:各季节间均存在显著差异( $P<0.05$ )。浮游植物生物量在时间分布上以夏季最多(2.617 mg/L),春秋季次之(1.931 mg/L),冬季最低(0.316 mg/L);在空间分布上,表现为1号样点最多(c),2号次之(b),3号最低(a),并且每个季节都表现为相同的空间分布规律。从单因素方差分析的F值看出,水库浮游植物生物量在水库上游(1号)、中游(2号)、下游(3号)的差异大小顺序是:秋季>冬季>春季>夏季,可见,夏季水库浮游植物生物量最多,各点差异最小,1号与2号样点之间无显著差异( $P=0.304$ );冬季水库浮游植物生物量最少,但秋季各点差异最大。

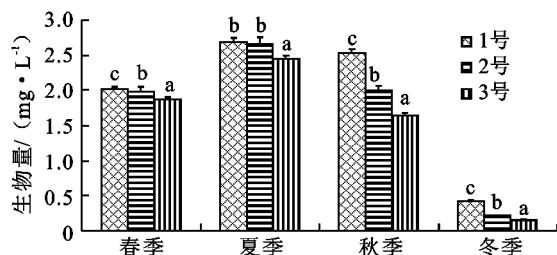


图3 鹤地水库浮游植物生物量分布特征

## 2.2 环境因子特征

上述鹤地水库浮游生物数量和生物量的时空分布规律是由水库环境因子所决定的。通过调查测定,鹤地水库环境因子如表1所示。3个样点单因素方差分析Tukey HsD多重比较,分析结果为:

(1) 水库水温 15.199~32.821℃,年均值为25.7℃,夏季最高,春秋季节过度,冬季最低;水温季节差异显著;空间差异不显著,既各采样点之间的水温空间上变化不大。

(2) 透明度 1.089~1.533 m,年均值为1.32 m,秋冬两季较高,夏春两季较低;春夏差异不显著( $P=0.261$ ),秋冬差异不显著( $P=0.098$ ),春夏与秋冬差异显著( $P<0.05$ );空间上表现为1号春季水温偏低,但各点差异不显著。

(3) pH值 6.766~7.447,年均值为7.198;溶解氧在4.568~10.435 mg/L,年均值为7.710 mg/L。pH值和溶解氧的季节变化相似,其中在春季最大,夏季次之,秋季最低;且在2号样点较高,3号样点较低。

(4) 化学需氧量为3.21~6.30 mg/L,年均值为5.211 mg/L。夏季最大,冬季最低,春秋过渡;但是,春夏秋之间差异不显著( $P=0.349$ ),它们与冬季差异显著( $P<0.05$ )。春夏都是上游量大,秋是中游量大,冬是下游量大,但各点差异不显著。

(5) 作为浮游植物生长的重要营养物质的N,P营养盐,其中,总磷夏季达到最大值,冬季最小,但是春与冬、秋差异都不显著( $P=0.157, 0.573$ ),冬与夏差异显著。

所以冬季,磷成为微生物生长的限制性因素。全磷的空间分布上,除春季外,其他季节都是上游(1号)量较大。总氮、氨氮和硝态氮都是在冬季达到最大值,在春、夏、秋三季的值相近;空间分布上表现为下游偏大,但各点差异不显著。尤其是硝态氮各季节各样点差异都不显著;全氮春季与其它季节之间差异显著,夏、秋、冬之间差异不显著( $P=0.66$ );氨氮夏、秋之间差异不显著( $P=0.083$ ),春、秋、冬之间差异不显著( $P=0.478$ );夏与春、冬之间差异显著,夏与秋之间有差异,但不显著。各样点空间分布规律不明显。

## 2.3 浮游植物与环境因子相关性分析

采用SPSS 18.0统计软件,对鹤地水库浮游植物数量、生物量与水温、透明度、pH值、溶解氧等共9项理化环境因子进行Pearson相关性分析,结果表明:(1)浮游植物生物量和生物数量与环境因子中水温、pH值、溶解氧、化学需氧量、全磷呈正相关,其中与水温、化学需氧量呈极显著正相关( $P<0.01$ ),与全磷呈显著正相关( $P<0.05$ );浮游植物生物量和生物数量与透明度、全氮、氨氮、硝态氮呈负相关,其中与透明度、氨氮呈显著负相关( $P<0.05$ )。 (2)浮游植物数量与生物量呈极显著正相关( $P<0.01$ )。 (3)环境因子之间水温影响最大,透明度、pH值其次,其他影响较小。各参数指标间的相关系数见表2。

表 1 鹤地水库环境因子基本特征

项目	春季	夏季	秋季	冬季	年均	标准差	标准误差
水温/℃	25.790~25.810	32.780~32.821	28.980~29.010	15.199~15.201	25.700	6.840	1.970
透明度/m	1.197~1.202	1.089~1.211	1.389~1.455	1.489~1.533	1.320	0.166	0.048
pH 值	7.399~7.447	7.355~7.381	6.766~6.980	7.023~7.187	7.198	0.233	0.067
溶解氧/(mg·L <sup>-1</sup> )	10.335~10.435	7.735~8.030	4.568~5.560	7.446~7.587	7.710	1.972	0.569
化学需氧量/(mg·L <sup>-1</sup> )	4.897~6.012	6.100~6.300	4.989~6.101	3.210~4.200	5.211	1.116	0.322
总磷/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.017~0.027	0.082~0.092	0.022~0.032	0.012~0.016	0.038	0.030	0.009
总氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	1.597~1.953	1.020~1.210	1.113~1.410	1.110~1.390	1.356	0.309	0.089
氨氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.243~0.402	0.170~0.210	0.270~0.306	0.327~0.350	0.282	0.071	0.020
硝态氮/(mg·L <sup>-1</sup> )	0.081~0.085	0.082~0.180	0.086~0.089	0.089~0.130	0.102	0.029	0.008

表 2 鹤地水库浮游植物与环境因子相关系数矩阵

项目	生物量	生物数量	水温	透明度	pH 值	溶解氧	化学需氧量	总磷	总氮	氨氮
生物数量	0.920**									
水 温	0.963**	0.923**								
透明度	-0.757**	-0.707*	-0.718**							
pH 值	0.278	0.237	0.170	-0.740**						
溶解氧	0.003	0.028	-0.104	-0.566	0.860**					
化学需氧量	0.903**	0.897**	0.898**	-0.785*	0.293	0.102				
总 磷	0.692*	0.680*	0.745**	-0.698*	0.411	-0.003	0.617*			
总 氮	-0.042	-0.021	-0.121	-0.232	0.360	0.685*	0.143	-0.470		
氨 氮	-0.628*	-0.645*	-0.712*	0.590*	-0.258	0.072	-0.499	-0.880*	0.502	
硝态氮	-0.016	0.042	-0.009	-0.113	0.068	-0.036	-0.099	0.427	-0.483	-0.368

注:表中“\*”为  $P<0.05$ ,显著相关;“\*\*”为  $P<0.01$ ,极显著相关。

3 结论与讨论

3.1 结 论

(1) 单因素方差多重比较的结果表明,鹤地水库浮游植物数量和生物量,各季节各采样点间除夏季水库生物量 1,2 号之间差异不显著外,都存在显著差异( $P<0.05$ );都是夏季多,冬季少,受水温显著影响。空间分布上,浮游植物数量 2 号样点最多,生物量 1 号最多,3 号最低。原因是水库上游河流注入的污染物多导致浮游植物生物量大;在水库中游(2 号),水域面积大,水流平稳,利于浮游植物生长繁殖,故浮游植物数量增多。

(2) 相关分析的结果表明,水库浮游植物生物量和生物数量主要受环境因子中的水温和化学需氧量影响;其次受全磷、透明度和氨氮影响,其他环境因子影响不显著。

水温是影响浮游植物生长和数量变化的极为重要的环境因子,也是影响浮游植物水平分布的一个重要因素<sup>[10-12]</sup>,鹤地水库浮游植物生物量和数量与水温呈极显著正相关( $r=0.963,0.923,P<0.01,n=12$ ),既随水温的升高而增多。

化学需氧量是以化学方法测量水样中有机物被强氧化剂氧化时所消耗之氧的相当量,用以表示水中

有机物量的多寡,它作为有机物相对含量的综合指标之一,与水库浮游植物生物量和生物数量呈极显著正相关( $r=0.903,0.897,P<0.01,n=12$ )。

透明度能从一定程度上反映水体中浮游植物的量,浮游植物越多,水体透明度越低;反之,则透明度越高。鹤地水库浮游植物生物量和生物数量与透明度呈显著负相关( $r=-0.757,-0.707,P<0.05,n=12$ )<sup>[13]</sup>。透明度对浮游生物的影响属于间接作用,主要通过对叶绿素的影响而间接影响浮游生物的生物量和数量。

一般来说,氮、磷是浮游植物生长最重要的营养物质,又是常见的限制营养元素<sup>[14]</sup>,氮、磷营养元素能调节浮游植物的生长,影响浮游植物的生物量和数量<sup>[15]</sup>,鹤地水库 TN、TP 的全年平均值分别为 1.356 和 0.038 mg/L,N/P=35.68。大量研究表明,氮、磷浓度的绝对数量及相对比例与藻类增殖有密切关系,当水库总氮和总磷浓度的比例值在 10~15 时最适宜于藻类增殖,而近几年来水库的氮、磷比一直在 35 以上。当 $>10$ ,说明水库主要受到氮的污染,处于富营养化状态。

3.2 讨 论

(1) 鹤地水库浮游植物数量和生物量,各季节各采样点间除夏季水库生物量 1,2 号之间差异不显著

外,都存在显著差异( $P < 0.05$ );都是夏季多,冬季少,受水温显著影响。但浮游植物数量是夏季各点差异最大,冬季各点差异最小;而浮游植物生物量是夏季各点差异最小,1号与2号样点之间无显著差异( $P = 0.304$ ),秋季各点差异最大。与邹红菊<sup>[4]</sup>研究结果“同一采样点浮游植物的生物量在不同季节有显著性差异( $P < 0.05$ ),但采样点间无显著性差异( $P > 0.05$ )”不同,原因有待于进一步研究。

(2) 相关分析看出,鹤地水库浮游植物数量和生物量的主要环境影响因子是水温、透明度和全磷,说明水库主要是氮污染。这个结论与许多研究相同<sup>[4]</sup>。但为什么不同的水库影响浮游植物数量和生物量的主要环境因子不同,尤其是营养元素(TN, TP等)和pH,结论相差很大,有正相关有是负相关。磷则是水库藻类生长速率的限制因子,丰水期极度缺乏<sup>[2]</sup>。鹤地水库营养元素中,总磷与浮游植物的生物量和数量有正显著相关( $r = 0.692, 0.680, P < 0.05, n = 12$ );氨氮与浮游植物的生物量和数量有负显著相关( $r = -0.628, -0.645, P < 0.05, n = 12$ );硝态氮、总氮是负相关,但影响不显著。原因有待进一步探讨。

#### 参考文献:

- [1] 黎红秋. 鹤地水库富营养化综合评价与分布特征研究[D]. 武汉:武汉大学,2004.
- [2] 林桂花,韩博平. 鹤地水库浮游生物与富营养化特征分析[J]. 生态科学,2002,21(3):208-212.
- [3] 邱小琮,赵红雪,孙晓雪. 宁夏沙湖浮游植物与水环境因子关系的研究[J]. 环境科学,2012,33(7):2261-2271.
- [4] 邹红菊,胡韧,韩博平. 鹤地水库浮游植物群落的结构与动态[J]. 热带亚热带植物学报,2010,18(2):196-202.
- [5] 金相灿,屠清瑛,章宗涉,等. 湖泊富营养化调查规范

[M]. 北京:中国环境科学出版社,1990.

- [6] 胡鸿钧,魏印心. 中国淡水藻类:系统、分类及生态[M]. 北京:科学出版社,2006.
- [7] 徐兴华,陈椽,宁爱丽,等. 阿哈水库浮游植物数量与环境因子的关系[J]. 安徽农业科学,2012,40(10):6106-6109.
- [8] 国家环境保护总局. 水和废水监测分析方法[M]. 4版. 北京:中国环境科学出版社,2002.
- [9] 林少君,贺立静,黄沛生,等. 浮游植物中叶绿素a提取方法的比较与改进[J]. 生态科学,2005,24(1):9-11.
- [10] 陈菊芳,齐雨藻,徐宁,等. 大亚湾澳头水域浮游植物群落结构及周年数量动态[J]. 水生生物学报,2006,30(3):311-317.
- [11] Katherine R M, Rochelle G L, Mike C, et al. Phosphorus availability, phytoplankton community dynamics, and taxon-specific phosphorus status in the Gulf of Aqaba, Red sea[J]. Limnol Oceanogr, 2007, 52(2): 873-885.
- [12] Temponeras M, Kristiansen J, Moustaka-Gouni M. Seasonal variation in phytoplankton composition and physical-chemical features of the shallow Lake Doirani, Macedonia, Greece[J]. Hydrobiologia, 2000, 424(1/3):109-122.
- [13] 杨广利. 洪泽湖富营养化状态调查及防治技术研究初探[D]. 青岛:中国海洋大学,2003.
- [14] Vadas P A, Kleinman P J, SharpleY A N, et al. Relating soil phosphorus to dissolved phosphorus in runoff: a single extraction coefficient for water quality modeling[J]. Journal of Environmental Quality, 2005, 34(2):572-580.
- [15] 陈科. 鹤地水库富营养化状况分析与防治对策[J]. 水利科技与经济,2009,15(3):214-216.

(上接第 162 页)

- [15] 彭琴,林昌虎,何腾斌. 贵州省喀斯特山区不同石漠化等级土壤粒级特征[J]. 水土保持通报,2007,27(2):29-32.
- [16] 中国科学院南京土壤研究所. 土壤理化分析[M]. 上海:上海科学技术出版社,1978.
- [17] 杨培岭,罗远培,石元春. 用粒径的重量分布表征的土壤分形特征[J]. 科学通报,1993,38(20):1896-1899.
- [18] 储小院,王玉杰,刘楠,等. 重庆缙云山典型林分林地土壤微团聚体特征分析[J]. 土壤通报,2009,40(6):1240-1244.
- [19] 陈恩凤,周礼恺,武冠云. 微团聚体的保肥供肥性能及其组成比例在评断土壤肥力水平中的意义[J]. 土壤学报,1994,31(1):18-25.

- [20] 王清奎,汪思龙. 土壤团聚体形成与稳定机制及影响因素[J]. 土壤通报,2005,36(3):415-421.
- [21] 高君亮,李玉宝,虞毅,等. 毛乌素沙地不同土地利用类型土壤分形特征[J]. 水土保持研究,2010,17(6):220-223.
- [22] 杨智,兰雪,戴全厚,等. 黔中地区不同岩性土壤抗冲抗蚀性研究进展[J]. 水土保持研究,2010,17(4):6-9.
- [23] 陈子玉,顾祝军. 南方水蚀区不同侵蚀程度土壤粒径分形研究[J]. 水土保持研究,2013,20(4):13-17.
- [24] 王贤,张洪江,程金花,等. 重庆四面山几种林地土壤颗粒分形特征及其影响因素[J]. 水土保持学报,2011,25(3):154-159.