

DOI :10.3969/j.issn.1004-6933.2011.01.011

广州市大金钟水库浮游植物与环境因子的关系

蒋玉玲,李 青,陈晓宏,陶 贞

(中山大学水资源与环境研究中心,广东 广州 510275)

摘要 对治理并维护运行了 1 年的大金钟水库进行 5 次采样实验,研究经修复后的水库中浮游植物的时空变化,并运用相关系数法分析了浮游植物变化与环境因子之间的关系。结果表明:随着水温降低,喜暖性的蓝藻数量急剧减少,与水温呈明显正相关关系($r = 0.986, p < 0.05$) ;其他藻类因不再受蓝藻抑制,数量呈上升趋势,特别是硅藻和绿藻代替蓝藻成为优势种群。由于有机物浓度的增高可以促进浮游植物的生长繁殖,致使硅藻、绿藻与 COD、BOD₅ 呈较明显的正相关,相关系数在 0.6 ~ 0.9 之间,而蓝藻由于初期基数过大,在数值统计分析上与 COD、BOD₅ 显示为负相关。由于水库中 TN、TP 质量浓度过高,不再成为浮游植物生长的限制性因素,导致浮游植物数量与 TN、TP 呈负相关,分别为 - 0.532 和 - 0.557。浮游植物数量的剧减,大大降低了水体中的耗氧量,使得水体 DO 质量浓度增加。

关键词 浮游植物 环境因子 大金钟水库 广州市

中图分类号 X824 **文献标识码** :A **文章编号** :1004-6933(2011)01-0046-05

Relationship between phytoplankton and environmental factors in Dajinzhong reservoir of Guangzhou

JIANG Yu-ling,LI Qing,CHEN Xiao-hong,TAO Zhen

(Research Center of Water Resource and Environment ,Sun Yat-sen University ,Guangzhou 512075, China)

Abstract : Carrying out 5 sampling tests for Dajinzhong reservoir after one year operation and maintenance,the temporal and spatial variation of phytoplankton in the reservoir was studied after remediation,the relationship between the variations of phytoplankton and environment factors was also analyzed by using the correlation coefficient method. The results illustrated that when the water temperature fell the biomass of warm-preferred cyanophytes reduced drastically and showed significant positive correlation with temperature ($r = 0.986, p < 0.05$),while the other kinds of algae increased and were no longer restrained by cyanophytes,especially the diatom and chlorella,which took place of cyanophytes becoming the dominant species. The increase in concentration of organics promoted phytoplankton growth. The diatom and chlorella had significant positive correlation with COD and BOD₅,and the correlation coefficient was between 0.6 and 0.9. The cyanophytes had negative correlation with COD and BOD₅ because of the early blue-algal bloom. As the concentration of TN and TP were too high in the reservoir,which were no longer the limiting factors for phytoplankton growth,the phytoplankton biomass had insignificant negative correlation with TN and TP,and the correlation coefficient was-0.532 and-0.557 respectively. Along with the decrease of phytoplankton biomass,the oxygen consumption reduced and the concentration of DO increased.

Key words : phytoplankton ; environment factor ; Dajinzhong reservoir ; Guangzhou City

近几年,国内外许多科研人员对不同地方水库、湖泊中浮游植物与环境因子关系做了众多的研究,如在河北白洋淀、武汉东湖、杭州西湖、岳阳南湖等^[1-4],并取得了丰硕的成果。对于广东的大中小型

作者简介 蒋玉玲(1987—),女,广西河池人,硕士研究生,研究方向为水资源与水环境。E-mail :jiangyuling898@126.com

水库,更是有详尽的报道^[5-7],但是对于接受过全面水环境修复技术,并成功维护1年以后的旅游型水库,有关其中浮游植物、环境因子变化的报道却较少。大金钟水库位于白云山西麓的广州鸣泉居度假村内,完全不受工农业污染,水库水质良好。尽管如此,受气候变化等的影响,水面出现类似油膜状的水华,严重影响景观功能的发挥。为缓解这一现象,2007年3月该水库采用阿科蔓技术实施水质改善综合治理工程,并取得很好的效果,水质总体水平由原来的GB 3838—2002《地表水环境质量标准》Ⅲ类改善为Ⅱ类^[8]。但是随着度假村的发展及旅游景区的开发,水库周围餐饮业的规模不断扩大,造成水库中部分指标超过Ⅳ类水标准。笔者就大金钟水库进行水环境修复后水体中浮游植物与水质的变化进行分析研究,以期能对水库水质的进一步治理、改善提供一定的依据。

水库所在地区气候为南亚热带季风湿润气候,多年平均气候为21.7℃,多年平均降雨量为620 mm,其中4—9月为多雨期,集中全年降雨量的80%以上,10月至翌年1月多为旱季,全年相对湿度79%,无霜期为350 d,全年主导风向为东南风。水库集雨面积5 km²,水源主要来自于白云山的雨水及山谷溪流。水库正常水面面积约9.8万 m²,库容60万 m³,水库西面有一长560 m的土坝,坝高10 m(见图1)。

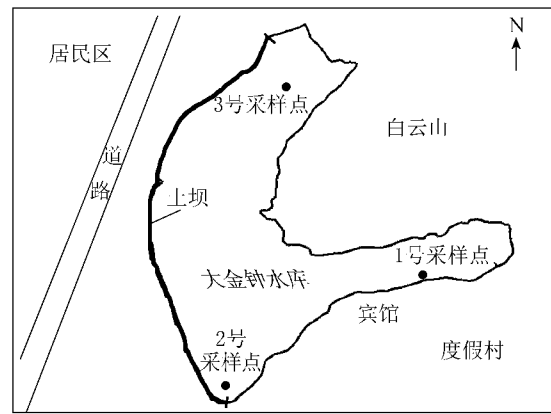


图1 大金钟水库采样点示意图

1 材料与方法

1.1 水样的采集

根据大金钟水库进、出水口位置以及现场水面情况,共设置了3个采样点(图1)。在进、出水口附近各设置一个采样点,以便对比进出水的水质情况。水库南部呈凹陷状态,水流缓滞,且由于风力作用常积聚大量漂杂物,故在此处设一采样点,可较全面掌握水库水质状况。在综合治理工程中,为加快此处水流循环速度,提高水体自净能力,故布设有曝气装置。

采样时间为2008年10月至2009年3月,每月1次,均于月初上午,用采水器提取水面以下0.5 m处水样,实验期间共采集水样15个,所采水样均按照标准化验方法做了前期处理,并依照标准方法做了相关指标测定。采样期间均为无雨天,且无其他特殊抽排水活动。

1.2 理化指标测定与浮游植物分析

水温和水体透明度均为现场测定,分别用采水器自带的温度计和Secchi透明度盘测定。其余理化指标则由市环境监测中心测定,相关方法参照《水与废水监测分析方法》第4版执行,其中NH₃-N和TN按照美国《水和废水检验标准方法》(21th2005)中的方法测定。

浮游植物的采集和鉴定方法参照文献[9-10]进行。

1.3 统计分析

采用相关系数法研究浮游植物数量与各项水质理化指标之间的相关关系。将浮游植物分成8个门类,分别计算与pH值、DO、COD、BOD₅、NH₃-N、TN、TP、水温等8个环境因子指标的相关系数,并作出相关图表进行分析研究。

2 结果与讨论

2.1 主要理化因子情况

水温平均值为19.3℃,2008年11月前一直保持在26℃以上,12月剧降为16.2℃,由于水库常年水位较低,没有水温分层现象。采样期间水库的透明度均较高,后两次甚至清晰见底。与修复前相比,水温无太大变化,透明度有明显提高。

水库的COD、BOD₅、NH₃-N质量浓度依次为6~15 mg/L、2.24~4.12 mg/L、0.007~0.058 mg/L,与地表水环境质量标准相比,均达到Ⅰ类标准,特别是NH₃-N质量浓度远低于Ⅰ类标准,这说明水库水质经生物修复后有很大程度的改善。COD、BOD₅质量浓度变化趋势相同,均呈正弦型,2008年12月达最大值,主要是由于蓝藻大量死亡而产生的有机污染物急剧增引起的,2009年2月降至最低值后又稍有上升;NH₃-N质量浓度变化则整体上呈增加趋势,但变幅不大。此3个理化指标在各个样点间均相差无几。

大金钟水库的DO质量浓度达到地表水环境质量Ⅰ类标准,总体平均值为8.95 mg/L,较修复前增幅达6.1 mg/L。从水平分布看,各样点间DO质量浓度相差不大,平均差幅为0.28 mg/L,见图2(a)。由于1月份水样化验前储存时间过长,所测理化指标值失效,图2(b)、图2(c)亦然。

与地表水环境质量标准相比,大金钟水库的

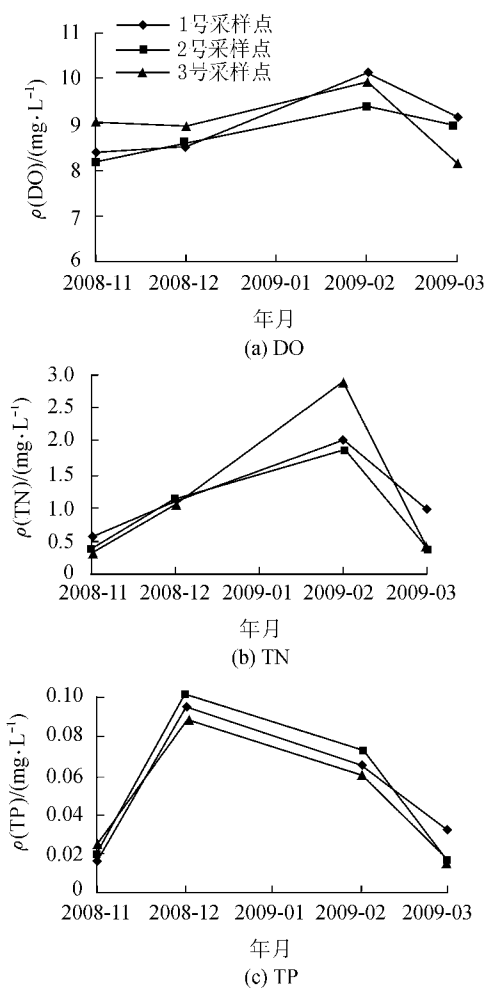


图2 大金钟水库 DO、TN、TP 质量浓度变化

TN、TP 水平处于Ⅲ类标准,部分处于Ⅳ类标准。 $\rho(\text{TN})$ 、 $\rho(\text{TP})$ 平均值分别为 1.09 mg/L、0.51 mg/L。N、P 浓度月份差异显著,且各样点的变化趋势相似,TN 和 TP 分别在 2009 年 2 月和 2008 年 12 月达最大值(图 2(b)、图 2(c)),这主要是由于此两月的浮游植物繁殖量剧减,对氮磷的消耗降低,致使 TN、TP 浓度大幅增加。从水平分布看,2 号采样点的 TN 质量浓度平均值相对稍低,约为 0.94 mg/L,3 个采样点的 TP 平均值基本一致,约为 0.05 mg/L 造成这个现象的原因可能在于 2 号处的曝气措施增加了水体中的 DO 浓度,加快了微生物的分解活动,使得水体中的氮转化为微生物自身体质的速率提高,导致 TN 浓度降低,而湖泊中大部分磷以有机磷的形式积累在水底,且无机磷与浮游植物及细菌的交换速度非常快^[1],故曝气措施对水体中 TP 的影响不大。

2.2 浮游植物组成与变化

在对大金钟水库 5 次采样调查中,共测定浮游植物 237 种,隶属于 8 门 89 属。其中绿藻门占主体部分,占总数的 40.08%,其次为硅藻门,占总数的 15.61%,蓝藻门,占总数的 10.55%,其余藻类所占比重较小(图 3),修复前后浮游植物组成比例基本

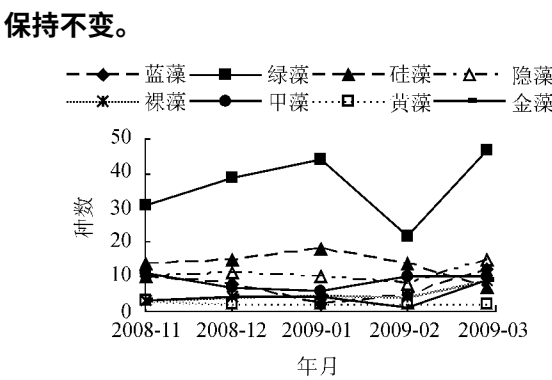


图3 各种藻类种类数的变化情况

该水库中浮游植物种类数在后两个月中变化较显著,其中 2009 年 2 月的种类最少,只有 66 种,而随后的 3 月份增长了 1 倍。绿藻变幅大,其变化趋势主导着浮游植物整体变化趋势;其他藻类种类及变幅均较小。由于水库面积不大,各样点变化趋势一致,种类数量均于 2 月份降至最低(图 4)。

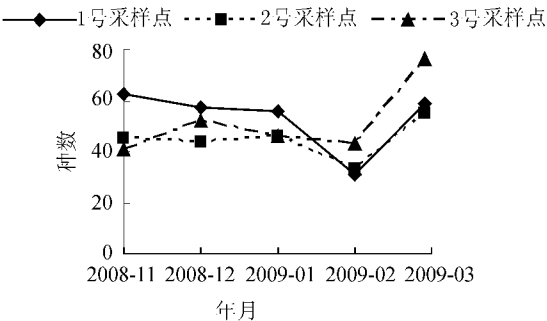


图4 不同采样点的种类数变化情况

大金钟水库浮游植物总量平均为 9 752.4 万个/L,其中蓝藻占绝对优势,约为总量的 96%,其他藻类数量很少。从时间变化上看,随着水温的降低,喜暖性蓝藻的生长繁殖活动受到极大的限制,其数量急剧减少,蓝藻的大幅降低解除了对其他藻类的生长抑制,大量的空间和营养物质得到释放,促使其他藻类加快了生长繁殖,至 2009 年 1 月,蓝藻的主导地位逐渐被硅藻和绿藻替代,至 3 月,水库中浮游植物数量最大的 3 种藻类依次为金藻、绿藻、硅藻,见表 1。水库修复前以蓝藻、硅藻为主,这说明大金钟水库为蓝-硅藻污染类型。

表1 大金钟水库不同月份各种藻类的比重 %

时间	蓝藻	绿藻	硅藻	隐藻	裸藻	甲藻	黄藻	金藻
2008-11	99.5	0.1	0.3	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
2008-12	57.2	9.9	28.4	1.9	0.9	0.9	0.7	0.2
2009-01	2.4	24.5	62.8	3.8	1.0	2.0	2.4	1.3
2009-02	3.5	19.7	62.5	6.5	0.2	6.2	1.0	0.4
2009-03	2.4	26.8	20.0	4.2	0.9	1.6	0.4	43.7

从空间方面看,各采样点的浮游植物平均数量也有较大差别,其中 1 号和 2 号平均量相对持衡,3 号平均数量剧增,约为 1 号和 2 号的 40 倍左右,主

要引发原因是 2008 年 11 月 3 号采样点的地中尖头藻数量很大,这是由于水库前期发生蓝藻水华引致的。对于 3 个采样点,贡献最大的是蓝藻,其次是硅藻和绿藻,此 3 种藻类之和占总数量的 85% 以上,特别是 3 号采样点,该比例几近 100%,见表 2。

表 2 大金钟水库不同采样点各种藻类平均数量

监测点	万个/L								
	蓝藻	绿藻	硅藻	隐藻	裸藻	甲藻	黄藻	金藻	合计
1 号	295.76	107.30	208.44	22.25	7.55	14.61	5.52	3.96	665.39
2 号	348.34	64.45	197.19	17.65	7.21	11.72	3.94	61.32	711.82
3 号	27315.27	142.44	226.68	27.47	4.79	12.99	6.51	134.97	27871.12

浮游植物的优势种群也随月份而不断变化。在高温时期,蓝藻中的地中尖头藻为绝对优势种,但修复前是以蓝藻中的鱼腥藻、微囊藻为主,这说明微生物群落生态基修复技术能有效消除鱼腥藻、微囊藻等富营养型蓝藻。随着气温的逐步降低,蓝藻迅速减少,喜低温的硅藻、绿藻开始占主导地位,如绿藻中的扁平斯氏藻和淡绿肾片藻于 2009 年 1 月开始出现,3 月达最大值,占浮游植物总量的 15%,硅藻中的尖针杆藻最大值出现在 2009 年 1 月,占浮游植物总量的 31%。

2.3 浮游植物与环境因子相关性分析

应用 Spss17.0 软件对浮游植物的种类数、个体数与多项环境因子指标进行相关性分析,相关系数见表 3。浮游植物的种类数与多项环境因子的相关关系并不明显,表明浮游植物的种类数受多种环境因素正反方向的影响,总体上变化较平稳。一般来说,水体中浮游植物的种类数越多,越能抑制某

些藻类疯长,因此,在富营养化水体中,浮游植物个体数量与种类数在一定范围内呈负相关关系^[12]。

浮游植物总量与水温呈显著正相关($r = 0.986$, $p < 0.05$),其中蓝藻与水温的相关性最密切,相关系数在 0.05 水平上达到 0.984,由于蓝藻适温较高,当 2008 年 12 月水温急剧降低时,蓝藻数量就大幅度降低,而硅藻、绿藻在较低的温度下也能很好地生长繁殖^[13],其与水温呈不显著的正相关关系;其他藻类数量较小,与水温关系不明显。

浮游植物总量与 DO 浓度呈负相关关系($r = -0.476$)。由于浮游植物死亡后分解需要耗氧,若生物量越大,分解需要消耗的氧气越多,水体中 DO 浓度越小。因此在 2009 年 2 月水库浮游植物总量最小,DO 浓度最大。

浮游植物总量与 COD、BOD₅ 浓度呈负相关,但相关性不大,与 NH₃-N 浓度亦呈稍明显的负相关,在钦州湾的实验研究中也出现了类似的现象^[14]。有机物是浮游植物生长繁殖的必要条件之一,一般情况下,藻类生物量会随有机物浓度增加而增长,大金钟水库中大部分藻类的数量变化符合这一规律,与 COD、BOD₅、NH₃-N 浓度呈正相关关系,但蓝藻与甲藻却呈现相反情况,此两者与 COD、BOD₅、NH₃-N 浓度呈负相关,这一现象主要是由前期占有绝对优势的蓝藻引发的,因为蓝藻初期基数过大,在数值统计分析层面上与有机物浓度的关系显示为负相关。在夏、秋季,由于大金钟水库水体富营养化,形成一定程度的蓝藻水华。当进入冬季枯水季初期时,水体中的有机物浓度大幅降低,但是由于蓝藻对环境

表 3 各种藻类与环境因子相关系数

分 类		pH	DO	COD	BOD ₅	NH ₃ -N	TN	TP	水温
生物量	Pearson 相关性 **	0.786	-0.476	-0.655	-0.504	-0.872	-0.532	-0.557	0.986 *
	Sig. (2-tailed) ***	0.214	0.524	0.345	0.496	0.128	0.468	0.443	0.014
种类数	Pearson 相关性 **	0.485	-0.697	0.424	0.567	0.573	-0.776	-0.413	-0.022
	Sig. (2-tailed) ***	0.515	0.303	0.576	0.433	0.427	0.224	0.587	0.978
蓝藻	Pearson 相关性 **	0.781	-0.470	-0.654	-0.504	-0.825	-0.523	-0.539	0.984 *
	Sig. (2-tailed) ***	0.219	0.53	0.346	0.496	0.175	0.477	0.461	0.016
绿藻	Pearson 相关性 **	0.072	-0.392	0.661	0.719	0.913	-0.432	-0.115	-0.458
	Sig. (2-tailed) ***	0.928	0.608	0.339	0.281	0.087	0.568	0.885	0.542
硅藻	Pearson 相关性 **	-0.095	-0.225	0.876	0.836	0.426	0.078	0.847	-0.544
	Sig. (2-tailed) ***	0.905	0.775	0.124	0.164	0.574	0.922	0.153	0.456
隐藻	Pearson 相关性 **	0.684	-0.835	0.311	0.492	0.451	-0.907	-0.511	0.200
	Sig. (2-tailed) ***	0.316	0.165	0.689	0.508	0.549	0.093	0.489	0.800
裸藻	Pearson 相关性 **	0.768	-0.910	0.462	0.616	0.052	-0.730	0.094	0.282
	Sig. (2-tailed) ***	0.232	0.090	0.538	0.384	0.948	0.270	0.906	0.718
甲藻	Pearson 相关性 **	0.250	0.155	-0.909	-0.881	-0.978 *	0.064	-0.382	0.789
	Sig. (2-tailed) ***	0.750	0.845	0.091	0.119	0.022	0.936	0.618	0.211
黄藻	Pearson 相关性 **	0.052	-0.379	0.891	0.885	0.444	-0.085	0.749	-0.460
	Sig. (2-tailed) ***	0.948	0.621	0.109	0.115	0.556	0.915	0.251	0.540
金藻	Pearson 相关性 **	0.069	-0.213	0.176	0.244	0.678	-0.417	-0.547	-0.192
	Sig. (2-tailed) ***	0.931	0.787	0.824	0.756	0.322	0.583	0.453	0.808

注：* 表示在 0.05 水平上显著相关；** 为采用皮尔逊方法计算所得的相关系数；*** 表示检验类型为双尾检验的显著性结果。

响应具有滞后性,且原有基数过大,故此时的蓝藻个体数仍然保持在较高的密度;后期,水库中有机物浓度上下波动幅度小,趋于相对稳定,但是蓝藻对前期环境变化做出响应,迅速下降,造成了蓝藻数量与环境因子变化不同步甚至负相关的结果。至于甲藻,可能是受其他主体藻类生长的抑制作用以及自身的生长习性影响^[13],导致其与 COD、BOD₅ 成负相关,特别是与 NH₃-N 呈明显的负相关($r = -0.978, p = 0.022 < 0.05$)。

在大金钟水库中,各种藻类均与 TN、TP 浓度呈负相关或者极不明显的关系,一般来说,N、P 是浮游植物生长繁殖的重要营养盐,此两者的浓度与浮游植物数量应呈正相关。究其原因,除了蓝藻的环境滞后性所起的主导作用外,还有部分原因在于大金钟水库中的 N、P 浓度过高,高浓度的氮磷使得此两者不成为浮游植物生长的限制因素。因此,当浮游植物吸收 N、P 元素达到一定程度后,N、P 浓度的增长变化不再对浮游植物总量产生影响。另一种可能,就是大金钟水库附近餐馆及居民区所排放的污水含有大量的 N、P 物质,填补了浮游植物对 N、P 的消耗量,导致浮游植物生物量与水体中 TN、TP 浓度相关性不高,甚至成负相关的结果。

3 结 论

a. 大金钟水库中浮游植物数量初期为蓝藻占绝对优势,随着水温的骤降,喜高温的蓝藻急剧减少,硅藻、绿藻和金藻占据主要地位。

b. 水库中浮游植物数量与水温呈明显正相关关系,水温的大幅降低致使夏秋季节所产生的蓝藻水华彻底消失,使得水体自净能力增强,促使水体透明度提高、DO 浓度增加。

c. 由于蓝藻原有基数过大以及对环境响应的滞后性、甲藻生长可能受到其他藻类的抑制作用,致使蓝藻和甲藻与 COD、BOD₅、NH₃-N 浓度呈负相关关系,而其他藻类则遵循藻类生长量随有机物浓度增加而增长的规律,与 COD、BOD₅、NH₃-N 浓度呈正相关关系。

d. 过高的 N、P 浓度使得此两者不再成为浮游植物生长的限制因素,对浮游植物生物量产生不了关键的作用。水库周围不断排放含有大量 N、P 的生活污水,补充了浮游植物对 N、P 的消耗,这些都最终导致各种藻类均与 TN、TP 浓度呈负相关或者极不明显的关系。另外,这也说明大金钟水库水环境虽在修复后有很大的改善,但是生活污水依然是水库水质的主要污染源,若要彻底消除水库富营养化,必须采取措施整改和完善排水管网,从根本上杜绝

度假村的生活污水进入雨水管道入库。

致谢:采样过程中得到黄凡老师及其学生的协助,特此致谢。

参考文献:

- [1] 沈会涛,刘存歧.白洋淀浮游植物群落及其与环境因子的典范对应分析[J].湖泊科学,2008,20(1):773-779.
- [2] 况琪军,夏宜.武汉东湖主要湖区的藻类与营养型评价[J].湖泊科学,1995,7(4):352-357.
- [3] 朱根海,宁修仁.杭州西湖初步治理后的浮游植物现状[J].水生生物学报,1991,15(2):136-144.
- [4] 葛大兵,吴小玲,周慧,等.岳阳南湖浮游植物与富营养化特征分析[J].水资源保护,2005,21(2):46-49.
- [5] 陈菊芳,王朝晖,江天九,等.广东肇庆星湖浮游生物及其与水质的关系[J].中国环境科学,2000,20(3):258-262.
- [6] 陈丽芬,胡韧,林秋奇,等.广东沿海与粤北山区中小型水库浮游生物群落比较分析[J].生态科学,2002,21(1):16-20.
- [7] 董丽华,胡韧,林秋奇.广东典型小型供水水库“契爷石”水库浮游生物与富营养化特征分析[J].生态科学,2005,21(2):147-151.
- [8] 黄红,陈晓思.阿科蔓生态基技术在改善大金钟水库水质中的应用[J].人民珠江,2008(2):63-65.
- [9] 魏印心.中国淡水植物志[M].北京:科学出版社,1998.
- [10] 胡鸿钧,李尧英.中国淡水浮游植物[M].上海:上海科学技术出版社,1979.
- [11] 王朝晖,陈菊芳,徐宁,等.大亚湾澳头海域硅藻-甲藻的数量变动及其与环境因子的关系[J].海洋与湖沼,2005,36(2):186-192.
- [12] 何志辉.淡水生物学[M].北京:农业出版社,1983:183-188.
- [13] 高玉荣.北京4海藻类群落结构特征与水体营养水平的研究[J].生态学报,1992,12(2):173-181.
- [14] 韦蔓新,何本茂.钦州湾近20a来水环境指标的变化趋势:浮游植物生物量的分布及其影响因素[J].海洋环境科学,2008,27(3):253-256.

(收稿日期:2009-12-11 编辑:高渭文)

