

疏浚后杭州西湖的桡足类*

汪财生, 李共国**

(浙江万里学院生物技术研究所, 宁波 315100)

摘要: 本文调查了疏浚后杭州西湖(小型、浅水、富营养化湖泊)四个采样站(I-IV)桡足类的密度、生物量和多样性指数,并对桡足类生物量与水质理化因子之间进行了相关分析。共发现桡足类9种,其中哲水蚤3种,剑水蚤6种。疏浚后,桡足类群落密度随着引水水流路程的加大而逐渐增大,多样性指数逐渐下降。桡足类群落丰度夏秋季明显大于冬春季。汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*)成体在营养水平较低的I站(TLI=55.3)具有较大的密度和生物量,其分布沿着引流方向逐渐下降,而哲水蚤的桡足幼体则沿引流方向逐渐增加;粗壮温剑水蚤(*Thermocyclops dybowskii*)成体在营养水平较高的II-IV站(TLI=62.7-63.5)具有较大的密度和生物量;疏浚使底栖种类猛水蚤(Harpacticoida)消失了。疏浚对哲水蚤密度分布分异的影响较大,对剑水蚤密度分布分异的影响较小。桡足类群落II-III站桡足类生物量随水体叶绿素a、高锰酸盐指数和总磷含量的升高而显著增加,随水体透明度的增大而显著下降。

关键词: 疏浚;桡足类;杭州西湖;群落

A Study on the Copepoda community in West Lake, Hangzhou after dredging

WANG CaiSheng & LI Gongguo

(Institute of Biotechnology, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100 P. R. China)

Abstract: Based on the data of the species abundance, biomass, diversity index of Copepoda and regression analysis between its biomass and factors of the water quality were studied at stations (from I to IV) of West Lake Hangzhou, a shallow eutrophic lake after dredging treatment. During the survey in 2003, 9 species of Copepoda (3 Calanoida and 6 Cyclopoida) were identified from the quantitative samples. The density of Copepoda community increased after the drawing water current, but diversity index decreased. The abundance of Copepoda was much higher in Summer-Autumn than that in Winter-Spring season. *Sinocalanus dorrii* adults was more abundant at Station I with relatively lower trophic status. (TLI = 55.3), decreased along drawing water current, and Calanoida copepodids density increased following the water current, while *Thermocyclops dybowskii* adults was more abundant at Stations II-IV with relatively higher trophic status (TLI = 62.7-63.5), Harpacticoida disappeared after dredging treatment. The effect of dredging treatment on Calanoida community heterogeneity of distribution was much stronger than that on Cyclopoida community. The biomass of Copepoda was positively correlative with Chlorophyll-a, COD_{Mn} and total phosphorus, while negatively with water transparency at Stations II-III.

Keywords: Dredging treatment; Copepoda community; West Lake, Hangzhou

杭州西湖(120°16'E, 30°15'N)是闻名中外的风景旅游湖泊,水面积5.66 km²,平均水深1.56 m。西湖的富营养化问题一直是政府和社会各界关注的对象,1986年疏通了向钱塘江引水冲污工程,当时日引水量为3×10⁵ m³,连续引水一个月即可完成西湖一次水体交换。但引水冲污工程对西湖水质的改善仅局限于引水进水口湖区^[1],况且钱塘江还受潮汐和自身污染的影响,一年中能供西湖引水的时间越来越少,杭州市政府于1999年对西湖全湖采取了大规模的底泥疏浚工程,平均挖泥深度0.5 m。引水冲污和疏浚底泥作为控制城市中小型湖泊富营养化的措施已在国内外广泛应用^[2,3],但对这些大型工程的水生态响应报道则很

* 国家自然科学基金项目(39170169)资助。2005-12-20 收稿;2006-04- 收修改稿。汪财生,男,1969年生,实验师。

** 通讯作者:李共国,男,1964年生,教授;E-mail: ligongguo@tom.com。

少. 桡足类是浮游动物的重要组成部分, 在湖泊生态系统食物链中起着重要的作用^[4,5]. 由于桡足类种类的鉴定较困难, 西湖桡足类成体的种群丰度一直未见报道. 本文从生态学角度, 考察了引水和疏浚工程后的西湖桡足类种群丰度和现存量的季节变化, 以及与水质量理化指标之间的关系进行相关分析, 来探讨引水和疏浚工程对西湖桡足类的影响.

1 材料和方法

沿西湖引流路线进水口小南湖(I)、外湖中心(II)、出水口少年宫湖区(III)和引水死角岳湖(IV)设置4个桡足类采样点, 分别于1995年1-12月和2003年1-12月逐月采样, 采样点分布见图1. 采样和计数按《淡水浮游生物研究方法》^[6]进行, 定量样品用2.5L采水器分别在采样点的上、中、下不同水层各取若干等量水, 均匀混合后取10L水样, 用13号浮游生物网过滤浓缩至60-80ml, 当即用3%甲醛固定带回实验室, 沉淀浓缩至20ml镜检计数. 桡足类种类按中国动物志(淡水桡足类)鉴定^[7], 无节幼体计数用1ml计数框镜检2框取平均值, 桡足幼体和成体全部计数. 桡足类无节幼体生物量(湿重)按体积法^[8]计算, 桡足幼体和成体按体长-体重回归法统计^[9]. 多样性指数 d 按Margalef(1958)^[10]计算公式 $d = s - 1/\ln N$, 式中 s 为桡足类种类数, N 为桡足类总密度(ind./L). 水体富营养化程度按综合营养状态指数法(TLI)评价^[11], $50 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 60$ 为轻度富营养, $60 < \text{TLI}(\Sigma) \leq 70$ 为中度富营养, $\text{TLI}(\Sigma) > 70$ 为重度富营养. 1995年和2003年引入西湖的实际水量分别为 $1.55 \times 10^7 \text{ m}^3$ 和 $6.18 \times 10^6 \text{ m}^3$.

2 结果与讨论

2.1 I-IV站采样站水质理化指标变化

自1986年西湖向钱塘江引水后, 由于引流对西湖不同湖区水质改善的程度不同, 况且整个西湖被苏堤和白堤隔离成几个连通性不太好的湖区, 不同湖区水体的营养水平存在明显的差异. I站除总氮含量较高外, 高锰酸盐指数、总磷、叶绿素a含量均低于II、III和IV站, 水体透明度则明显高于II、III和IV站. 根据水体综合营养状态指数(TLI), I站水体为轻度富营养, II-IV站为中度富营养(表1). 疏浚后, I-IV站水体的高锰酸盐指数、总氮、总磷和叶绿素a含量均有不同程度的下降, 使水体综合营养状态指数下降了. 但西湖各采样站水体的透明度也有所下降.

表1 疏浚前后西湖各采样站水体透明度、高锰酸盐指数、总氮、总磷和叶绿素a含量的年平均均值

Tab.1 Annual mean values for water transparency, COD_{Mn} , total nitrogen, total phosphorus and Chlorophyll-a at four sampling stations

采样站	年份	透明度 (m)	高锰酸盐 (mg/L)	总氮 (mg/L)	总磷 (mg/L)	叶绿素a含量 (mg/L)	综合营养状态 指数 TLI(Σ)
I	1995	0.70	4.24	2.640	0.117	0.021	57.3
	2003	0.67	3.86	2.450	0.076	0.020	55.3
II	1995	0.51	7.80	2.372	0.137	0.082	65.5
	2003	0.45	6.17	1.870	0.102	0.072	62.7
III	1995	0.50	7.02	2.103	0.156	0.084	65.1
	2003	0.42	5.77	1.920	0.132	0.070	63.5
IV	1995	0.55	6.79	2.955	0.212	0.084	66.6
	2003	0.51	5.87	2.501	0.123	0.072	63.5

2.2 疏浚后 I-IV 站桡足类种类组成、多样性指数及优势种

2003年调查期间, 定量样品中共发现9种桡足类, 其中哲水蚤3种, 剑水蚤6种, 各站桡足类的种类数差异不大(表2). 桡足类总密度随着引水水流逐渐增大, 主要表现为桡足类无节幼体随引水水流数量逐渐增多, 而使桡足类多样性指数逐渐下降. I站桡足类第一优势种为汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*), 其成

体数量随着引水水流逐渐下降,即 $I > II > III > IV$; II - IV 站第一优势种均为粗壮温剑水蚤 (*Thermocyclops dybowskii*), 其成体平均密度在 0.30 - 0.38 ind./L 之间, 汤匙华哲水蚤为第二优势种. 疏浚后西湖各种桡足类成体平均密度最高为粗壮温剑水蚤, 其次为汤匙华哲水蚤和近邻剑水蚤 (*Cyclops vicinus*). 粗壮温剑水蚤种群出现于 7 - 11 月份, 10 月份形成密度高峰, 汤匙华哲水蚤最高密度出现于 11 或 12 月.

引水前的 1980 年, 魏崇德^[12]等观察西湖桡足类时记录 4 个种均为剑水蚤, 即广布中剑水蚤 (*Mesocyclops leuckarti*)、近邻剑水蚤、锯缘真剑水蚤 (*Eucyclops serrulatus*) 和草绿刺剑水蚤 (*Acanthocyclops viridis*), 并以广布中剑水蚤为常见种. 引水后, 桡足类中逐渐出现了清水种类哲水蚤和底栖种类猛水蚤, 1995 年 1 月份少年宫猛水蚤数量达 22 ind./L^[13], 进水口小南湖 (I 站) 汤匙华哲水蚤跃为桡足类的优势种. 疏浚后, 汤匙华哲水蚤有向全湖扩散的趋势, I 站汤匙华哲水蚤成体占总桡足类成体比例为 68.4%, 其成体密度随着引流的延长而急剧减少, 从 I 站的 0.26 ind./L, 降到 IV 站的 0.03 ind./L (表 2). II - IV 站优势种均由广布中剑水蚤演变为粗壮温剑水蚤, 粗壮温剑水蚤成体占总桡足类成体比例分别为 48.6%、42.3% 和 74.5%.

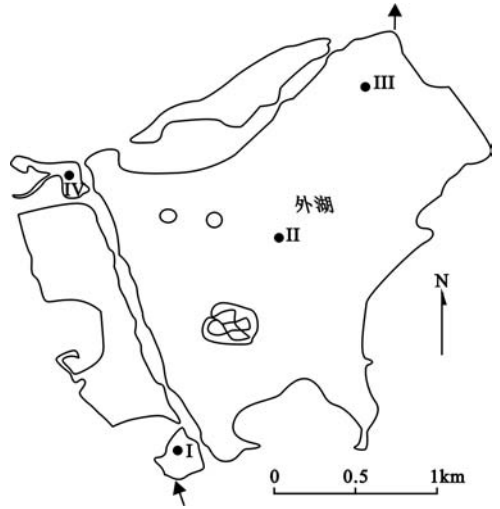


图 1 西湖采样站分布
Fig. 1 Map of the West Lake and locations of sampling points

表 2 2003 年 I - IV 站杭州西湖各站桡足类成体、桡足幼体、无节幼体年平均种群密度 (ind./L) 及其多样性指数

Tab. 2 Annual average density of each species of Copepoda adults, copepodids, nauplius and diversity index at Stations I - IV in 2003

种类	采样站				平均
	I	II	III	IV	
哲水蚤目 Calanoida					
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	0.26	0.19	0.13	0.03	0.15
中华哲水蚤 <i>S. sinensis</i>			0.01		0.00
右突新镖水蚤 <i>Neodiaptomus schmackeri</i>				0.01	0.00
剑水蚤目 Cyclopoida					
台湾温剑水蚤 <i>Thermocyclops taihokuensis</i>	0.08	0.01		0.01	0.03
等刺温剑水蚤 <i>T. kawamurai</i>	0.02				0.01
粗壮温剑水蚤 <i>T. dybowskii</i>	0.00	0.34	0.30	0.38	0.26
近邻剑水蚤 <i>Cyclops vicinus</i>	0.01	0.08	0.21	0.02	0.08
锯缘真剑水蚤 <i>Eucyclops serrulatus</i>	0.01	0.01			0.01
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops leuckarti</i>		0.07	0.06	0.06	0.02
桡足幼体 copepodids	1.87	3.30	4.83	5.25	3.81
无节幼体 nauplius	17.10	24.58	27.50	26.70	23.97
合计	19.35	28.58	33.04	32.46	28.34
多样性指数 (d)	1.69	1.49	1.14	1.44	

2.3 I - IV 站桡足类密度和生物量的变化

与疏浚前相比, 西湖桡足类的总密度和生物量除引水死角岳湖 (IV 站) 有明显增加以及湖中心 (II 站)

的生物量略有增加外,其余各站均有不同程度的下降,尤其以进水口(I站)桡足类的生物量下降最多,达51.5%(表3)。各类桡足类中,哲水蚤密度和生物量分布受疏浚的影响最大,疏浚后I站密度和生物量下降最甚,II-IV站则逐渐增加,IV站密度增加了近7倍,主要表现为哲水蚤桡足幼体及其无节幼体密度随着引水水流逐渐增加。桡足类无节幼体密度和生物量,疏浚后I-III站小幅下降,IV站则有较大幅度的增加。剑水蚤密度在I-II站下降了,在III-IV站增加了,但疏浚前后变化幅度较小。疏浚前III站和IV站的猛水蚤(Harpacticoida)没有在本次定量样品中再出现。

由于引流对西湖不同水体受益的程度不同,西湖不同湖区之间的水体富营养化水平存在明显差异,即I站水体的营养水平(轻度富营养)明显低于II-IV站(中度富营养),并导致枝角类群落分布格局的分异^[14]。疏浚后,桡足类群落也出现了类似的分布分异,这可能与其各自的生活习性有关。哲水蚤主要营浮游生活,成体常聚集于湖泊水质较清的敞水带,其桡足幼体和无节幼体则随着水流浮荡,至引水水流末端密度增大。营底栖生活猛水蚤的消失,可能与疏浚底泥破坏了底栖生态环境有关。剑水蚤生活习性介于哲水蚤与猛水蚤之间,有的生活于水底,有的生活于敞水带,受引水水流和疏浚影响较小,因此其密度分布变化也小。

表3 疏浚前后I-IV站西湖桡足类剑水蚤、哲水蚤和无节幼体年平均密度(ind./L)及生物量(mg/L)

Tab. 3 Annual average density (ind./L) and biomass (mg/L) of planktonic Copepoda at four sampling stations of the West Lake during 1995 and 2003

采样站	剑水蚤目密度/生物量	哲水蚤目密度/生物量	无节幼体密度/生物量	总桡足类密度/生物量	
I	1995	2.23/0.029	1.86/0.055	21.89/0.013	23.48/0.097
	2003	1.72/0.015	0.53/0.022	17.10/0.010	19.35/0.047
II	1995	3.58/0.043	0.11/0.004	34.00/0.021	37.69/0.068
	2003	3.19/0.045	0.53/0.013	24.58/0.015	28.30/0.073
III	1995	4.48/0.051	0.00/0.000	33.33/0.021	39.64*/0.092**
	2003	4.87/0.058	0.67/0.014	27.50/0.017	33.04/0.089
IV	1995	3.86/0.047	0.12/0.004	9.33/0.006	14.14*/0.068**
	2003	4.85/0.059	0.91/0.014	26.70/0.016	32.46/0.089

* 1995年III站和IV站猛水蚤目(Harpacticoida)的密度分别为1.83 ind./L和0.83 ind./L。

** 1995年III站和IV站猛水蚤(Harpacticoida)的生物量分别为0.021 mg/L和0.011 mg/L。

2.4 I-IV站桡足类生物量的季节变化

与疏浚前1995年相比,I站生物量季节高峰明显下降了,主要由秋冬季哲水蚤生物量明显下降引起,但秋冬季II-IV站哲水蚤生物量均有不同程度的增加;疏浚后,II-IV站剑水蚤生物量在夏秋季有明显的增加,并由单峰型变为多峰型,这与优势种粗壮温剑水蚤在7-11月份形成稳定的种群有关。II-IV站桡足类生物量夏秋季大于冬春季的趋势进一步加剧。I-IV站无节幼体占总桡足类生物量比例仅18.0%-21.3%之间(图2)。

2.5 I-IV站桡足类生物量与水质理化指标之间的相关分析

疏浚后II-III站桡足类生物量与水体叶绿素a、高锰酸盐指数和总磷含量之间均有显著的正相关关系,与水体透明度之间有极显著和显著的负相关关系(表4)。这是由于叶绿素a含量随着水体总磷含量的升高而显著升高^[15],轮虫生物量随叶绿素a含量的升高而显著升高^[16],而藻类和轮虫都直接可以为桡足类提供有效食物,加上疏浚后水体中的悬浮物增多,悬浮作用增强^[3,17],致使II-III站桡足类生物量随水体叶绿素a、高锰酸盐指数和总磷含量的升高而显著增加,并使水体透明度明显下降。

I站和IV站桡足类生物量与水质理化指标之间的相关性不显著。前者可能与引入水的释稀作用有关,引入水使水质理化指标水平较低,对桡足类的生长未构成显著的促进作用;而后者是否由于缺乏水流流动性而影响了叶绿素a、高锰酸盐和总磷等因子对桡足类生长的有效性,这还有待于进一步的研究。

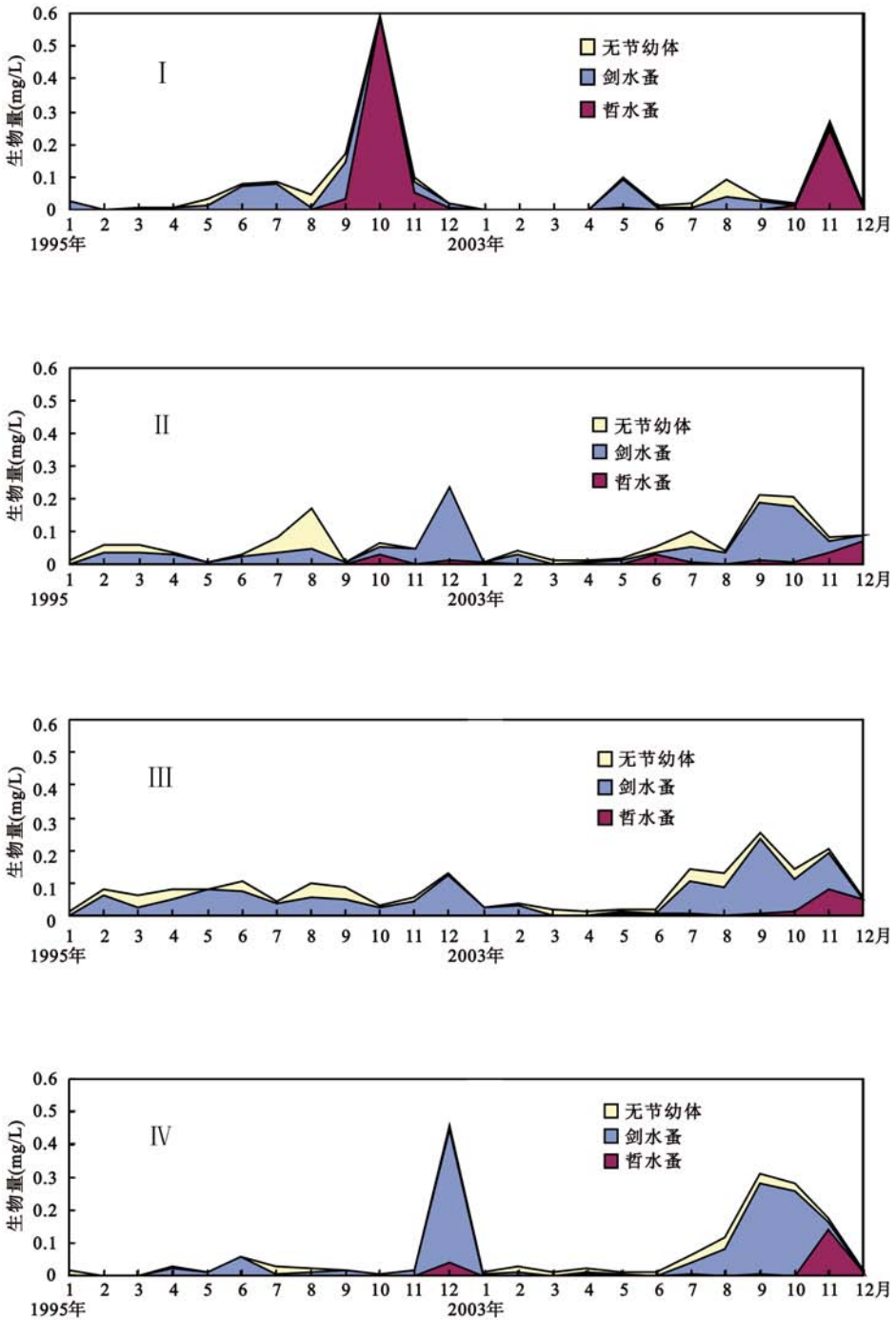


图 2 1995 年和 2003 年 I - IV 站哲水蚤(桡足幼体 + 成体)、剑水蚤(桡足幼体 + 成体)和无节幼体生物量的季节变化

Fig. 2 Seasonal changes in biomass of Calanoida (copepodids + adults), Cyclopoida (copepodids + adults) and nauplius at four stations in 1995 and 2003

表4 西湖 I - IV 站桡足类生物量 (mg/L) 与水体叶绿素 a 含量 (mg/L)、高锰酸盐指数 (mg/L)、总氮 (mg/L)、总磷 (mg/L) 和 水体透明度 (m) 之间的相关关系

Tab.4 Correlation coefficients (r) among biomass of Copepoda and Chlorophyll-a, COD_{Mn} , total nitrogen, total phosphorus and water transparency (SD) at four stations

采样站	叶绿素 a 含量	高锰酸盐指数	总氮	总磷	透明度
I	0.2163	0.3860	-0.293	-0.049	-0.132
II	0.62631)	0.6155 ¹⁾	0.181	0.663 ¹⁾	-0.758 ²⁾
III	0.6779 ¹⁾	0.6220 ¹⁾	0.369	0.853 ²⁾	-0.636 ¹⁾
IV	0.5180	0.4595	0.504	0.048	-0.536

1): 0.05 显著水平; 2): 0.01 显著水平.

3 参考文献

- [1] 马玖兰. 西湖引流钱塘江水 9 年后的水质分析. 环境污染与防治, 1996, 18(6): 31 - 33.
- [2] 张丹宁. 玄武湖引水工程的环境效益分析. 环境监测管理与技术, 1995, 7(3): 17 - 18.
- [3] 王小雨, 冯江, 胡明忠. 长春南湖底泥疏浚前后水因子分析及动态变化. 中国环境监测, 2004, 20(2): 10 - 13.
- [4] Porter K G., Pearl H, Hodson R, *et al.* Microbial interactions in lake food webs. In: Carpenter S R eds: Complex Interactions in Lake Communities. New York: Springer-Verlag, 1988: 209 - 227.
- [5] Stockner J G., Porter k G. Microbial food webs in freshwater planktonic ecosystems. In: Carpenter S R eds: Complex Interactions in Lake Communities, New York: Springer-Verlag, 1988: 69 - 83.
- [6] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991: 358 - 362.
- [7] 中国科学院动物研究所甲壳动物研究组编. 中国动物志(淡水桡足类). 北京: 科学出版社, 1979.
- [8] 黄祥飞. 简易测重法在武汉东湖轮虫常见种中的应用. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 409 - 416.
- [9] 陈雪梅. 淡水桡足类生物是的测算. 水生生物学集刊, 1981, 7(3): 397 - 408.
- [10] Margalef D R. Information theory in ecology. *Cen System*, 1958, 3: 36 - 71.
- [11] 王明翠, 刘雪芹, 张建辉. 湖泊富营养化评价方法和分级标准. 中国环境监测, 2002, 18(5): 47 - 49.
- [12] 魏崇德, 俞大维. 杭州西湖浮游动物的研究. 杭州大学学报, 自然科学版(增刊), 1983, 10: 1 - 17.
- [13] Li G G, Wei C D, Zhou H, *et al.* Ecological studies on zooplanktin of the West Lake and the inflows. Report of the Suwa Hydrobiological Station Shinshu University, 1999, 11, 41 - 49.
- [14] 李共国, 吴芝瑛, 虞左明. 疏浚工程前后杭州西湖枝角类群落结构的变化. 生物多样性, 2005, 13(3): 248 - 254.
- [15] 吴洁, 虞左明. 杭州西湖水体生态环境参数的相互关系. 中国环境科学, 2001, 21(6): 540 - 544.
- [16] 李共国, 魏崇德, 裴洪平. 引水对杭州西湖轮虫群落结构的影响. 动物学杂志, 1998, 33(5): 1 - 4.
- [17] 濮培民, 王国祥, 胡春华等. 底泥疏浚能控制湖泊富营养化吗? 湖泊科学, 2000, 12(3): 269 - 279.