

DOI :10.3876/j.issn.1000-1980.2012.05.006

赣江中下游浮游动物时空分布特征及水质综合评价

计 勇¹ 张 洁^{1,2} 孙晓秋³ 麻 夏⁴

(1.南昌工程学院水利与生态工程学院,江西 南昌 330099;2.河海大学环境学院,江苏 南京 210098;
3.丰城市丰东灌区管理局,江西 丰城 331100;4.江西省峡江水利枢纽工程管理局,江西 南昌 330046)

摘要:对 2010 年 12 月与 2011 年 7 月赣江中下游各监测断面中浮游动物类群的结构组成、优势类群进行调查,结果表明,赣江中下游浮游动物有 4 类 41 种,种类最多的是轮虫类,共计 7 科 15 属 25 种,占总数的 60.98%,枝角类 5 科 6 属 7 种,占 17.07%,桡足类与原生动物占 21.95%。时间分布上浮游动物丰度丰水期大于枯水期,密度变动范围为 100~522 个/L,其中丰水期轮虫、枝角类、桡足类与原生动物密度分别占浮游动物密度的 61.7%、11.4%、18.9%与 7.8%,枯水期轮虫、枝角类、桡足类与原生动物密度分别占浮游动物密度的 65.3%、9.5%、16.0%与 9.1%。浮游动物密度空间分布上呈现中间大、两端小的特点,最大值出现在 4 号监测点新干,最小值出现在 10 号监测点赣州。赣江中下游浮游动物数量结构主要由轮虫和桡足类组成,生物量结构则主要由桡足类和枝角类组成。生物多样性及水质综合评价为轻度污染至中度污染。

关键词:赣江;浮游动物;生物多样性;水质评价

中图分类号:Q958;X824

文献标志码:A

文章编号:1000-1980(2012)05-0509-05

Spatio-temporal distribution characteristics of zooplankton and water quality assessment in middle and lower reaches of Ganjiang River

JI Yong¹, ZHANG Jie^{1,2}, SUN Xiaoqiu³, MA Xia⁴

(1. College of Hydrodynamic and Ecology Engineering, Nanchang Institute of Technology, Nanchang 330099, China;
2. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China;
3. Fengdong Irrigation Administration, Fengcheng 331100, China;
4. Administration of Xiajiang Water Control Project, Nanchang 330046, China)

Abstract: The population structure and dominant groups of zooplankton in the monitoring sections in the middle and lower reaches of the Ganjiang River were investigated in December of 2010 and July of 2011. The results show that there were 41 species of zooplankton, in which rotifers (seven families, 15 genera, and 25 species), cladocerans (five families, six genera, and seven species), and copepods and protozoa were predominant, respectively accounting for 60.98%, 17.07%, and 21.95% of the total number. In regards to temporal distribution, the zooplankton abundance was greater in the wet season than in the dry season. The density of zooplankton ranged from 100 ind/L to 522 ind/L. The densities of rotifers, cladocerans, copepods, and protozoa respectively accounted for 61.7%, 11.4%, 18.9%, and 7.8% of the zooplankton density in the wet season, and 65.3%, 9.5%, 16.0%, and 9.1% of the zooplankton density in the dry season. It was found that the density of zooplankton was high in the middle section and low in the upper and lower sections, with the maximum value in the Xingan section (monitoring point No. 4) and the minimum value in the Ganzhou section (monitoring point No. 10). The quantity structure of zooplankton consisted of rotifers and copepods, and the biomass structure consisted of copepods and cladocerans in the middle and lower reaches of the Ganjiang River. Biodiversity and water quality assessment showed that the Ganjiang River was slightly to moderately polluted.

Key words: Ganjiang River; zooplankton; biodiversity; water quality assessment

收稿日期:2011-11-07

基金项目:水利部公益性行业科研专项(201001056);江西省科技支撑计划(2010BSA20300);江西省教育厅科技项目(GJJ11246, GJJ11636);江西省软科学研究计划(20111BAA10009);南昌工程学院第二批大学生科研训练计划(20111102, 20111103)

作者简介:计勇(1979—),男,江西九江人,副教授,博士,主要从事水污染控制与生态安全研究。E-mail: Jiyong@nit.edu.cn

赣江为鄱阳湖第一大支流,长江的第二大支流,从南至北流经赣州、吉安、宜春、南昌等区市,主河道全长 766 km,流域面积占全省国土总面积的 54.0%,占鄱阳湖流域面积的 50.6%。赣州市以上为上游,称贡水,长 255 km,在赣州市城北与章水汇合后,始称赣江。赣州市至新干县城为中游,长 303 km,新干县城至吴城县城为下游,长 208 km。赣江是其周边城市(包括南昌市、赣州市等)主要的饮用水源,因此,赣江的水质受到各方面关注。然而,随着工业化和城市化进程的加快,赣江水质污染、水环境恶化与水资源紧缺的问题日益突出,有关赣江流域的水安全和生态环境研究多见报道^[1-3],做好赣江的生态安全监测工作对生态环境保护有着重要的意义。浮游动物(原生动物、轮虫、枝角类、桡足类)作为水体主要动物类群之一,在水生生态系统具有重要的地位,作为捕食者(或初级消费者)和被捕食者,浮游动物在水体的物质循环和能量流动过程中发挥了重要的作用。其中浮游动物的种类和细胞密度及其变化情况是水体的重要表征指标^[4],目前,关于赣江浮游动物系统的研究较少。本文通过对赣江各监测断面浮游动物系统的调查研究,分析赣江枯水期、丰水期浮游动物的时空分布变化特征,结合水体氮、磷等营养元素的化学分析,开展赣江流域水环境综合评价,为赣江流域水质保护提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与地点

2010 年 12 月和 2011 年 7 月,沿赣江干流从下游至中游共设定了 10 个采样点,从北向南依次为下游(外洲、樟树、丰城、新干)、中游(峡江、吉水、吉安、泰和、万安与赣州)如图 1 及表 1 所示。

1.2 样品采集

定性采用 25 号(网孔直径 64 μm)浮游生物网在水下 0.5 m 按“∞”途径采集轮虫类浮游动物,定量采用 13 号(网孔直径 113 μm)浮游生物网过滤浓缩 20 L 水样,现场加 5%福尔马林固定,带回实验室待分析^[5-6]。浮游生物的鉴定参照文献[7-11]进行。

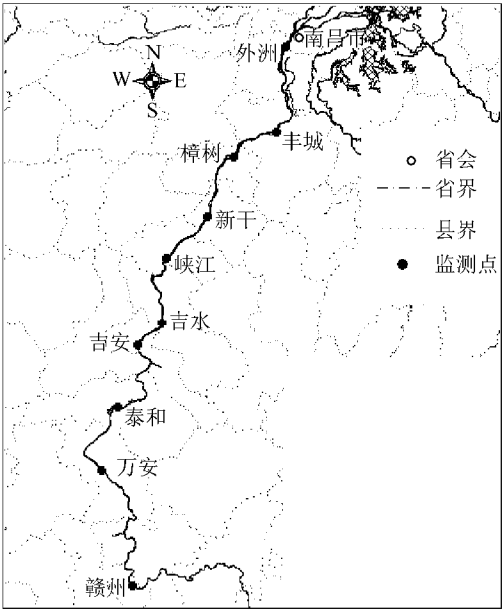


图 1 赣江监测站点分布
Fig. 1 Monitoring points on Ganjiang River

表 1 赣江水质监测站点

Table 1 Water quality monitoring points on Ganjiang River

监测点	断面名称	站/断面地址		经度/(°E)	纬度/(°N)	底质	pH	水流	周围环境概况
		所在市县	所在乡镇、村						
ST1	外洲	南昌市	桃花乡外洲村	115.839	28.636	沙	7.6	急	采沙船,造船厂
ST2	丰城	宜春市	泉港镇泉港村	115.779	28.201	泥沙	7.8	较急	采沙船,农村
ST3	樟树	宜春市	永泰镇	115.534	28.068	沙	7.9	缓慢	采沙船,工业园区
ST4	新干	吉安市	沂江乡东湖村	115.365	27.750	沙	7.8	较急	采沙船,农村
ST5	峡江	吉安市	福民乡口里村	115.132	27.519	沙石	7.7	缓慢	造纸厂,农村
ST6	吉水	吉安市	金滩镇双元村	115.105	27.349	沙	7.5	缓慢	采沙船,公园
ST7	吉安	吉安市	天玉镇秦家村	115.004	27.296	沙	7.5	缓慢	城市,排污口
ST8	泰和	吉安市	塘洲镇永昌村	114.476	26.474	沙石	7.5	缓慢	采沙船
ST9	万安	吉安市	枫林乡月明村	114.782	26.457	沙	7.2	缓慢	马路,万安水库
ST10	赣州	赣州市	沙河镇	114.942	25.878	沙石	7.5	缓慢	排污口,石化厂

1.3 分析方法

浮游动物在显微镜下 100~400 倍光镜下进行镜检,根据浓缩倍数计算细胞密度。

1.4 水质分析

水温、pH、溶解氧由 YSI6600 型多参数水质监测仪现场测定,透明度采用萨氏盘法进行测定,总氮、总磷、氨氮、硝态氮、高锰酸盐指数则参照《水和废水监测分析方法》^[12]测定,Chla 采用 bbe Fluoroprobe 藻类分析仪测定,水中无机阴离子(硝酸根、磷酸根)采用离子色谱法测定(ICS-1000 美国)。

1.5 数据分析

图形信息采集用 MapInfo Professional 7.0 软件处理 ,化学数据及生物数据采用 SPSS11.5 及 Excel2003 等软件进行统计分析处理 ,Origin7.5 软件作图。

2 结果 分析

2.1 浮游动物种类分析

研究期间共检出后生浮游动物 41 种 ,其中轮虫 7 科 15 属 25 种 ,占 60.98% ;枝角类 5 科 6 属 7 种 ,占 17.07% ;桡足类 4 科 5 属 5 种 ,占 12.20% ;原生动物 1 科 3 属 4 种 ,占 9.75%。晶囊轮虫(*Asplanchnasp*)是浮游动物轮虫中的优势种 ,枝角类以象鼻溞(*Bosmina spp.*)为主 ,桡足类以剑水蚤(*Mesocyclops leuckarti*)为主 ,普遍存在。

赣江中下游浮游动物中臂尾轮属、腔轮属检出较多 ,枝角类检出种类少 ,总的检出种类以广温性种类为主。常见的种类有剪形臂尾轮虫(*Brachionus forficula*)、十指平甲轮虫(*P. militaris*)、月形腔轮虫(*Lecane. Luna*)、矩形龟甲轮虫(*Keratella. Quzdrata*)、盖氏晶囊轮虫(*Asplanchna girodi*)、腹足腹尾轮虫(*Gastropus hyptopus*)、圆筒异尾轮虫(*Trichocerca. Cylindrical*)、团状聚花轮虫(*Comochilus hippocrepis*)、晶莹仙达溞(*Sida crystallina*)、双态拟裸腹溞(*Moinodaphnia macleayii*)、长额象鼻溞(*Boimina longirostris*)、广布中剑水蚤(*Mesocyclops leuckarti*)、冠砂壳虫(*Diffugia corona*)。枝角类出现在夏季 ,常见种为长额象鼻溞(*Boimina longirostris*)。浮游动物的生物量受水温影响较大 ,臂尾轮属、腔轮属等种类集中分布于热带和亚热带地区 ,并占据了该地区轮虫种类组成的绝大部分。总体来说 ,赣江中下游浮游动物中以轮虫为主 ,枝角类和桡足类出现的种类较少 ,浮游动物个体趋向小型化。

此外 ,赣江中下游水体叶绿素含量较高 ,水体处于中富营养水平 ,浮游植物多以绿藻为优势 ,不利于枝角类等大型浮游动物的捕食 ,小型轮虫也因此逐步成为水体中的优势类群。赣江中下游检出的常见种类臂尾轮虫、甲轮虫、腔轮虫、矩形龟甲轮虫、晶囊轮虫、腹足腹尾轮虫、异尾轮虫、聚花轮虫、裸腹溞、剑水蚤等多被认为是富营养化水体的指示种类。

2.2 浮游动物时空分布特征

如图 2、图 3 所示 ,赣江中下游浮游动物密度变动范围为 100 ~ 522 个/L ,平均 298 个/L ,其中丰水期轮虫、枝角类、桡足类与原生动物密度分别为 252 个/L、46 个/L、77 个/L 与 32 个/L ,分别占浮游动物密度的 61.7%、11.4%、18.9% 与 7.8% ;枯水期轮虫、枝角类、桡足类与原生动物密度分别为 124 个/L、18 个/L、30 个/L 与 17 个/L ,分别占浮游动物密度的 65.3%、9.5%、16.0% 与 9.1%。浮游动物生物量为 0.20 ~ 1.04 mg/L ,年均 0.59 mg/L ,其中轮虫、枝角类、桡足类分别占浮游动物生物量的 25.2%、23.6%、49.3%。浮游动物密度最大值出现在 4 号监测点(ST4)的新干 ,轮虫、枝角类、桡足类与原生动物密度平均值分别为 251 个/L、30 个/L、53 个/L、19 个/L ,最小值出现在 10 号监测点(ST10)的赣州 ,轮虫、枝角类、桡足类与原生动物密度平均值分别为 105 个/L、17 个/L、21 个/L、18 个/L。赣江浮游动物数量结构主要由轮虫和桡足类组成 ,生物量结构则主要由桡足类和枝角类组成。结合监测点周围环境和水质状况来看 ,ST4 周围是农村环境 ,没有集中的污染源 ,ST10 位于赣州市沙河镇 ,附近有石化厂的排污口 ,就水质理化指标来看 ,ST10 的污染

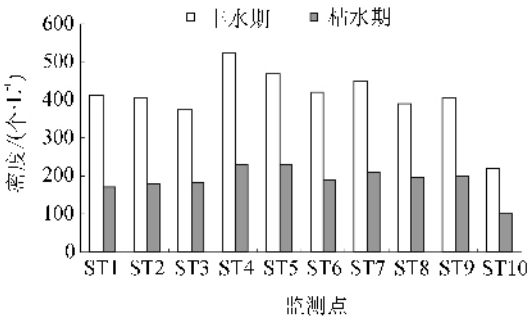


图 2 浮游动物时空分布变化

Fig. 2 Spatio-temporal distribution variation of zooplankton in Ganjiang River

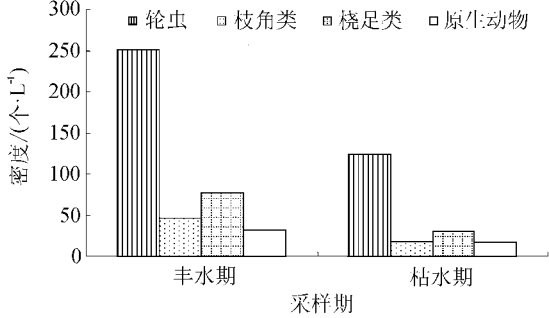


图 3 各类浮游动物密度季节变化

Fig. 3 Seasonal variation of density of zooplankton in Ganjiang River

状况较重,抑制了浮游动物的生长。

生物量密度变化为丰水期(夏)大于枯水期(冬季);枝角类主要在丰水期出现。夏季水温较高,光照强,水温升高时,藻类会大量繁殖,为浮游动物提供了充足的饵料。25℃左右的水温适宜浮游动物的生长,因而造成浮游动物的大量繁殖^[5]。

分别计算赣江中下游各监测断面的 Margalef 多样性指数 D 与 Shannon-Weaver 生物多样性指标 H ,结果表明 D 值介于 3.8~5.5 之间, H 值介于 1.7~2.8 之间, D 值与 H 值的最小值均出现在 ST10 赣州,最大值则出现在 ST4 新干;评价结果表明 ST4 监测点处于中度污染状态,其他各监测点均处于轻度污染状态。

2.3 水质分布特征

赣江中下游各监测断面水质因子均值如表 2 所示。依据 GB 3838—2002《地表水环境质量标准》对现场水质参数进行评价,溶解氧质量浓度大于 5 mg/L,符合Ⅲ类水的标准,pH 为 6.8~7.0,符合 BG 3838—2002《地表水环境质量标准》限值;主要超标因子为总氮,超标率为 100%,化学需氧量有 2 个监测点超过Ⅲ类水标准。无机阴离子中氟离子有 30% 监测点超过地表水Ⅲ类水标准。Chla 含量最大值出现在 ST4 与 ST5,下游高于上游。ST4 与 ST5 水体处于富营养状态,两处监测点周围环境相近,浮游动物以轮虫类生物密度最高,枝角类、桡足类及原生动物密度较小。说明水体浮游动物群落结构简单,种类单一,种间分布不均匀。充足的光照与较高的水温促使浮游植物大量生长,为浮游动物提供了很好的饵料,人类活动产生的垃圾使水体有机质含量增高,为轮虫的生长创造了很好的条件,这就使水体中轮虫大量繁殖,出现了优势种突出,群落结构不稳定的现象^[6]。

表 2 赣江水质理化指标监测结果

Table 2 Chemical and physical indices of water quality in Ganjiang River

监测点	$\rho(\text{DO})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TN})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{NH}_3\text{-N})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{硝态氮})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{TP})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{COD})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{Chla})$ ($\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{氟离子})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{硝酸根})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)	$\rho(\text{磷酸根})$ ($\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$)
ST1	7.40	6.25	0.15	1.53	0.04	15.54	3.45	2.02	13.55	4.98
ST2	7.10	6.39	0.33	1.04	0.07	16.92	5.51	0.76	13.59	4.66
ST3	6.00	6.73	0.10	0.81	0.09	21.34	5.78	0.66	17.79	4.38
ST4	6.00	4.76	0.46	0.84	0.05	5.62	17.40	1.57	11.22	4.19
ST5	5.00	4.93	0.23	0.72	0.04	7.54	13.98	0.75	11.36	4.72
ST6	5.80	5.49	0.28	0.61	0.04	3.54	1.43	0.60	10.12	3.66
ST7	5.50	5.63	0.15	0.96	0.04	18.62	2.22	0.50	11.39	2.88
ST8	5.60	5.87	0.64	1.41	0.02	16.85	3.18	0.73	12.24	5.76
ST9	5.20	6.17	0.15	1.33	0.03	19.08	1.54	0.65	14.69	5.82
ST10	5.70	5.50	0.67	1.59	0.04	49.85	4.72	1.15	16.89	6.77

用卡尔森(Carlson)营养评价指数 $\text{TSI}(\text{Chla})$ 、 $\text{TSI}(\text{TP})$ 与 $\text{TSI}(\text{SD})$ 来评价赣江中下游的水质状况,计算结果表明水质处于中营养至富营养状况,富营养化最重出现在 ST4 与 ST5,其余各监测点 TSI 值相差不大。此外,采用均值型综合指数法对赣江中下游进行水质评价,计算结果表明 ST10 赣州监测点磷质量浓度出现最大值,水质污染最重,水质污染较轻的为 ST4、ST5、ST6 与 ST7。

将浮游动物的数量与部分理化因子进行相关性分析,如表 3 所示。原生动物的数量与 DO 质量浓度成显著正相关,而 COD 质量浓度与轮虫、枝角类及桡足类出现显著负相关。DO 质量浓度高的水环境会促进原

表 3 浮游动物丰度与水质因子相关分析

Table 3 Correlative analysis of chemical and physical indices of water quality and abundance of zooplankton

浮游动物	相关度				
	$\rho(\text{DO})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TP})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{TN})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{COD})(\text{mg}\cdot\text{L}^{-1})$	$\rho(\text{Chla})(\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1})$
轮虫	0.073	0.098	0.396	-0.866**	0.510
枝角	0.063	0.321	0.042	-0.714*	0.272
桡足	0.011	0.234	0.134	-0.776**	0.175
原生动物	0.690*	0.098	0.073	-0.252	0.199

注:*在 0.05(双侧)上显著相关;**在 0.01(双侧)上显著相关。
生动物的生长^[13],而 COD 质量浓度高则会对喜好清水型的枝角类和轮虫类起到明显抑制作用^[14]。

3 结 论

a. 赣江中下游浮游动物种类分布上以轮虫为主,枝角类和桡足类出现的种类较少,浮游动物个体趋向

小型化,时间分布上浮游动物丰度丰水期大于枯水期,空间分布上呈现中间大、两端小的特点,检出的常见种类多被认为是富营养化水体的指示种类。

b. Margalef 多样性指数与 Shannon-Weaver 生物多样性指标计算结果表明赣江中下游水质总体处于轻度污染至中度污染状态,污染最重的是赣州,最轻的是新干。

c. 卡尔森营养评价指数与均值型综合指数计算结果表明赣江中下游水质处于中营养至富营养状况,水质污染最重的出现在赣州监测点,浮游动物的数量与部分理化因子相关性分析表明,浮游动物丰度与总氮、总磷、Chla 质量浓度等因子成正相关,与 COD 质量浓度出现显著负相关。

参考文献：

[1] 王毛兰,周文斌,胡春华. 赣江流域水体无机氮分布特征[J]. 南昌大学学报 理科版,2007,31(3):271-274.(WANG Maolan , ZHOU Wenbin ,HU Chunhua.The distributive character of inorganic nitrogen in the Ganjiang River catchment[J]. Journal of Nanchang University :Natural Science ,2007,31(3):271-274.(in Chinese))

[2] 赵慈,刘小真,周立峰,等. 赣江流域中下游底泥中有机氯农药污染特征[J]. 生态环境学报,2010,19(10):2419-2424.(ZHAO Ci ,LIU Xiaozhen ,ZHOU Lifeng ,et al. Pollution characteristics of organochlorinated pesticides in sediments from the middle and lower reaches of Ganjiang river[J]. Ecology and Environmental Sciences ,2010,19(10):2419-2424.(in Chinese))

[3] 胡锋平,侯娟,罗健文,等. 赣江南昌段污染负荷及水环境容量分析[J]. 环境科学与技术,2010,33(12):192-196.(HU Fengping ,HOU Juan ,LUO Jianwen ,et al. Analysis of pollution loading and water environmental capacity of Gan River in Nanchang[J]. Environmental Science & Technology ,2010,33(12):192-196.(in Chinese))

[4] 郑金秀,胡菊香,彭建华,等. 长江口南北支浮游动物群落生态学研究[J]. 生态环境学报,2011,20(6/7):1102-1106. (ZHENG Jinxiu ,HU Juxiang ,PENG Jianhua ,et al. Zooplankton community ecology in north and south branches at Yangtze River estuary [J]. Ecology and Environmental Sciences ,2011,20(6/7):1102-1106. (in Chinese))

[5] 高思佳,陈卫. 白河堡水库浮游动物调查与水质评价[J]. 首都师范大学学报:自然科学版,2008,29(3):37-40.(Gao Sijia , Chen Wei. Zooplankton investigation and water quality assessment in Baihepu Reservoir[J]. Journal of Capital Normal University : Natural Science Edition ,2008,29(3):37-40. (in Chinese))

[6] 李荔,陈椽,龙胜兴,等. 贵州兴西湖水库夏季浮游动物调查与水质评价[J]. 环境科学与技术,2010,33(12F):540-543. (LI Li ,CHEN Chuan ,LONG Shengxing ,et al. Zooplankton investigation in summer and water quality assessment in Guizhou Xingxi Reservoir [J]. Environmental Science & Technology ,2010,33(12F):540-543. (in Chinese))

[7] 沈嘉瑞. 中国动物志:节肢动物门-甲壳纲-淡水桡足类[M]. 北京:科学出版社,1979:1-450.

[8] 蒋燮治,堵南山. 中国动物志:节肢动物门-甲壳纲-淡水枝角类[M]. 北京:科学出版社,1979:1-298.

[9] 沈韞芬. 原生动物学[M]. 北京:科学出版社,1999:129-482.

[10] 韩茂森. 淡水浮游生物图谱[M]. 北京:农业出版社,1980:45-85.

[11] 王家辑. 中国淡水轮虫志[M]. 北京:科学出版社,1961:1-282.

[12] 国家环境保护总局《水和废水监测分析方法》编委会. 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.

[13] 曹梓轲,黎卫东. 某接触氧化池溶解氧不足的原因探讨[J]. 广东化工,2007,34(2):60-61.(CAO Zike ,LI Weidong. Study on reason of the insufficient dissolved oxygen in a contact oxidation tank[J]. Guang Dong Chemical ,2007,34(2):60-61.(in Chinese))

[14] 叶春,金相灿,孔海南,等. 农村面源污染型湖滨带的生态修复[J]. 水资源保护,2007,23(3):1-4.(YE Chun ,JIN Xiangcan , KONG Hainan ,et al. Ecological restoration of lakeshore damaged by rural non-point pollution[J]. Water Resources Protection ,2007,23 (3):1-4. (in Chinese))