

晋江流域水质污染与浮游动物 四季群落结构的关系

谢进金^① 许友勤^② 陈寅山^② 戴聪杰^① 陈朝阳^①

(^①泉州师范学院生物学系 资源与环境研究所 泉州 362000; ^②福建师范大学生物工程学院 福州 350007)

摘要: 报道了 2003 年 2、4、6、8、10 和 12 月在福建晋江流域 15 个样点进行浮游动物群落生态学调查研究的结果。采用种类组成、种群数量、优势种群、Margalef 和 Shannon-Wiener 多样性指数等参数,初步比较了流域中各不同河段的水质状况,结果显示,流域受污染程度的顺序为东、西溪 < 晋江干流 < 南、北干渠。东溪、西溪上过度开发的梯级水电站对浮游动物群落结构和水质有明显的影响,加速了水体富营养化进程。

关键词: 浮游动物, 晋江流域, 群落结构, 多样性指数, 水质

中图分类号: X174 Q958 文献标识码: A 文章编号: 0250-3263(2005)05-08-06

The Relationship of Community Structure of Zooplankton and the Water Pollution of the Jinjiang River Valley

XIE Jin-Jin^① XU You-Qin^② CHEN Yin-Shan^② DAI Cong-Jie^① CHEN Chao-Yang^①

(^① *Biology Department, Resources and Environment Research Institute of Quanzhou Normal University, Quanzhou 362000;*

^② *Bioengineering College, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China*)

Abstract: The paper reports the result of the investigation and studying in the seasonal ecological features of 15 sampling station of zooplankton community in the Jinjiang River valley in Feb., Apr., June, Aug., Oct. and Dec., 2003. The pollution conditions of water quality of certain different rivers of Jinjiang River valley were studied based on the parameters such as composition of species, population densities, dominant species and diversity index. The results show that the orders of pollution conditions of water quality in Jinjiang River valley are as follow: Dongxi River and Xixi River < Jinjiang River's mainstream < North trunk and South trunk. The excessive development of the step hydropower station in the Dongxi River and Xixi River of Jinjiang River valley has great influence on the population structure and water quality, and thus speeds up the eutrophication of the water.

Key words Zooplankton; Jinjiang River valley; Community structure; Diversity index; Water quality

晋江为福建省的第四大河,是泉州市区及各县的饮用水源,兼具灌溉、养殖、旅游等多种功能。近年来,中小型企业、养殖业等的蓬勃发展,城市污水的肆意排放,使晋江的水环境质量日益恶化。中、小型梯级水电站的大量兴建,极大地削弱了河流水体的自净能力,从而加速了晋江水质富营养化的进程。

晋江发源于戴云山脉的东南麓,从源头至入海全长 182 km,流域面积 5 629 km²,上游分

东、西二溪。西溪为晋江的正源,起源安溪县的斜屿山,沿途流经安溪、永春、南安三县,全长约 153 km,流域面积占晋江流域面积的 55.1%,年水量约占晋江总水量的 65% 左右。东溪源于永春县的雪山南麓,全长约 120 km,流域面积

基金项目 泉州市科技项目(No. Z200240);

第一作者介绍 谢进金,男,副教授;从事生态环境评价等方面研究, E-mail: xiejinjin@qztc.edu.cn.

收稿日期: 2005-04-14, 修回日期: 2005-07-16

占晋江流域总面积的 34.1%。两溪在南安县双溪口汇合后始称晋江,下游流经泉州市的鲤城区、北峰、浮桥、市区、东海镇汇入泉州湾,全长 29 km,流域面积占晋江流域总面积的 10.8%。南干渠和北干渠是从晋江干流金鸡闸分出的两条人工引水渠。

有关晋江流域浮游生物生态至今未见研究报道,为了探索浮游动物群落结构特征与水质的关系,作者于 2003 年 2~12 月,在该流域进行设点采样,对四季浮游动物的群落结构特征以及生物多样性开展研究,以期填补晋江流域浮游动物研究的空白,为山区溪、河浮游动物的群落特征研究积累资料,也为将来综合治理晋江流域的水环境提供一些生态学数据。

1 材料方法

1.1 采集工具及方法 定性标本用 25# 浮游生物网捞取,定量标本用中科院水生生物研究

所生产的浮游生物 1 L 定量采水器采集。水样采集和处理方法按照《淡水浮游生物研究方法》和《水生生物监测手册》进行^[1,2]。

1.2 采样点的设置 本研究共在大樟溪(不属于晋江流域,因引水到东溪的龙门滩电站,所以设立采样断面)和晋江流域的东溪、西溪、晋江干流、北干渠和南干渠设立 15 个采样点见图 1 分别在 2、4、6、8、10 和 12 月进行采样,其中 12 和 2 月、4、6 和 8 月、10 月分别代表冬、春、夏、秋四季。同步监测的各河段理化因子的平均值见参考文献 [3]。

1.3 多样性指数 采用 Margalef 的 $d = (S - 1) / \ln N$ 和 Shannon-Wiener 的 $H' = - \sum P_i \log_2 P_i$, 式中 d 表示物种丰富度指数, S 为物种的总数目, N 为所有物种个体总和; H' 表示物种多样性指数, P_i 为第 i 物种出现的概率。

2 结果

2.1 种类组成与季节变化特点 四季采样共鉴定浮游动物 286 种(亚种),从纵向分布看,大樟溪的凤洋断面有 73 种;东溪和西溪分别有 182 种和 158 种;晋江干流有 107 种;北干渠和南干渠分别有 167 种和 142 种。不同河段之间四季种类数最大差异达 109 种之多。与 2002 年洪松^[4]所统计的国内 13 条河流相比,晋江流域浮游动物的种类数高居首位。从群落组成看,四季中轮虫门有 110 种、原生动物有 92 种、枝角类有 39 种、桡足类有 25 种,其他类群合计有 20 种,各类群比例见图 2。

除大樟溪原生动物种类所占比例最高外,其余各河段均以轮虫占主导地位,这与国内已知江河浮游动物各类群的组成比例情况基本相同^[4]。晋江流域冬季浮游动物的平均种类数最多,为 209 种,其他季节分别为春季 128 种、夏季 134 种、秋季 127 种。种类数的变化与水文有关,汛期种类最少,有 151 种;汛前种类数最多,有 217 种;汛后期有 180 种。总体上看晋江浮游动物在纵向分布上存在上游的东、西溪和下游的南、北干渠 2 个种类分布高峰段,但是上、下游的群落结构和种类组成存在明显的差

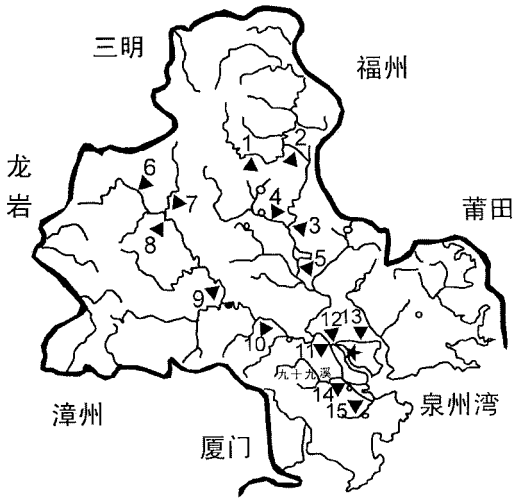


图 1 晋江流域浮游动物采样站分布图

Fig. 1 Sketch of sampling station in Jinjiang River valley

1. 凤洋(大樟溪); 2. 龙门滩; 3. 东关桥; 4. 长厅桥; 5. 山美水库; 6. 横口; 7. 格后林; 8. 新连兴水电站; 9. 枷楠; 10. 园美; 11. 金鸡闸; 12. 后山; 13. 闽鹰桥; 14. 亭店; 15. 田洋。

1. Fengyang (Dazhangxi brook); 2. Longmentan; 3. Dongguan bridge; 4. Changting bridge; 5. Shanmei reservoir; 6. Hengkou; 7. Gehoulin; 8. Xinlianxing hydropower station; 9. Jia'nan; 10. Yuanmei; 11. Jinjizha; 12. Houshan; 13. Minying bridge; 14. Tingdian; 15. Tianyang.

异,直接反映了上下游水质的变化趋势。

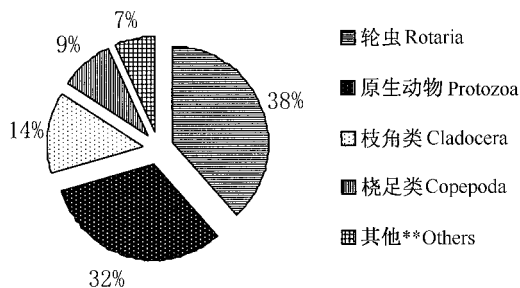


图2 晋江流域四季浮游动物群落组成比例

Fig.2 The percentage of composition of species of zooplankton in four seasons

** 指原生动物、轮虫、枝角类和桡足类之外的其他浮游动物种类,包含水生无脊椎动物浮游幼体等。

** Others zooplankton include aquatic invertebrate and pelagic larva except Protozoa, Rotaria, Cladocera and Copepoda.

东、西溪位于晋江的中、上游,有 14 条流域面积在 100 km² 以上的支流与其相通,四季浮游动物种类数分别有 182 种和 158 种。原生动物分别占四季总种数的 33.3% 和 35.4%,典型的山区溪流环境中的清水性种类,如鳞壳虫 (*Euglypha*)、方壳虫 (*Quadrullella*)、咽壳虫 (*Pontigulasia*)、匣壳虫 (*Centropyxis*)、圆壳虫

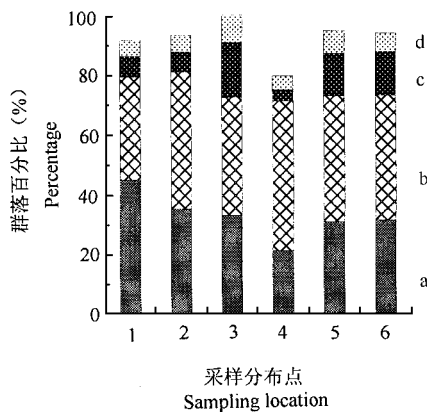


图3 晋江流域不同河段四季浮游动物群落组成百分比

Fig.3 The percentage of compositions of zooplankton in different rivers in four seasons

1. 大樟溪; 2. 西溪; 3. 东溪; 4. 晋江干流; 5. 北干渠; 6. 南干渠;
- a. 原生动物; b. 轮虫; c. 枝角类; d. 桡足类。
1. Dazhangxi; 2. Xixi; 3. Dongxi; 4. Jinjiang river; 5. South trunk; 6. North trunk.
- a. Protozoa; b. Rotaria; c. Cladocera; d. Copepoda.

(*Cyclopyxis*) 砂壳虫 (*Diffflugia*)、表壳虫 (*Arcella*) 等有壳肉足虫类分别占原生动物的 42.6% 和 48.2% (图 3)。通常只在清洁水体才能见到的天鹅长颈虫 (*Dileptus anser*)、水熊 (*Tardigrada*) 和蜉蝣幼虫四季均能见到,群落结构体现了山区溪流环境物种多样性丰富的特征,反映出东、西溪水质相对较好。

水体进入晋江干流之后,四季浮游动物的种类数下降至 107 种,群落结构比例和种类组成发生变化,对污染反应敏感的原生动物减少,与总种数的比例降至 21.3%,有壳肉足虫种类占原生动物的 36.3%,典型的山区清水性种类消失,轮虫种类增多,占到总种类数的 50%,耐污性种类比例提高,优势种主要有蝗状单缩虫 (*Carchesium polypinum*)、尾草履虫 (*Paramecium caudatum*)、旋回狭盗虫 (*Strobilidium gyrans*)、大弹跳虫 (*Halteria grandinella*)、长圆疣毛轮虫 (*Synchaeta oblonga*)、广布多肢轮虫 (*Polyarthra vulgaris*)、螺形龟甲轮虫 (*Keratella cochlearis*) 等,种群密度比东、西溪大幅提高,表明水体的有机污染加重。

南、北干渠的种类数骤然回升,四季分别达到 142 种和 167 种。原生动物的种数分别占总种数的 33.1% 和 33.71%。臂尾轮虫 (*Brachionus*) 和裸腹溞 (*Moina*) 被认为与富营养水体有密切的联系,南、北干渠仅臂尾轮虫属就多达 12 种,出现了 3 种裸腹溞。优势种虽然与干流差异不大,但是蝗状单缩虫、长足轮虫 (*Rotaria neptunia*)、长三支轮虫 (*Filinia longiseta*)、裂痕龟纹轮虫 (*Anuraeopsis fissa*)、草履虫等的种群密度都有不同程度的上升。群落结构及种类组成都显示水体的污染程度比干流更趋严重,这也与同步测定的化学指标相吻合。但是,在水样的定性分析中也检出不少只有清洁水体才出现的种类,如圆钵砂壳虫 (*Diffflugia lebes*)、尖顶砂壳虫 (*Diffflugia acuminata*)、切割咽壳虫 (*Pontigulasia insisa*)、双隆咽壳虫 (*Pontigulasia bigibbosa*)、瘤甲腔轮虫 (*Lecane nodosa*)、蹄形腔轮虫 (*Lecane unguulate*)、真蹠轮虫 (*Eudactyloa eudactylata*) 等,有壳肉足虫类也

比干流明显增多,分别占原生动动物总种数的 35.6%和 44.2%。

2.2 种群密度和优势种群的时空分布特点

晋江流域的四季浮游动物的总平均密度为 1 644.3个/L。数量的最高峰值出现在秋季,为 2 393.5个/L,次高峰值在冬季,为2 124.4个/L;春季的密度最低,为 1 108.8 个/L。但是,不同河段四季种群数量的动态差异很大,大致可分为单峰型和双峰型二种:大樟溪和东溪的四季种群变化差异不明显,西溪和晋江干流属于单峰型,前者高峰期出现在冬季,后者出现在春季,南、北干渠属于双峰型,峰值分别出现在冬、夏季和冬、秋季,峰值较显著(图 4)。四季各河段平均个体数量的变幅在 736~4 035 个/L 之间。可

以看出晋江流域汛期种群密度最低,为 950.5 个/L,汛后期最大,为 2 379.4 个/L,汛前期为 1 577.8 个/L。从图 4 还可看出晋江流域浮游动物的种群密度在纵向上总体呈现上游低,下游高的变化趋势,横向上呈现西溪高东溪低,南干渠高北干渠低的趋势。原生动物和轮虫为流域的优势类群,分别占四季总密度的 61.6%和 35.7%。原生动物的优势种主要有蝗状单缩虫、大弹跳虫、旋侠盗虫和尾草履虫等,他们合占四季总密度的 30.8%。轮虫的优势种主要有长圆疣毛轮虫、广布多肢轮虫和螺形龟甲轮虫等,他们共占总密度的 18.7%。由此可见,晋江流域各河段的优势种均为耐污性强的种类,枝角类、桡足类及其他类群的密度无足轻重(图 5)。

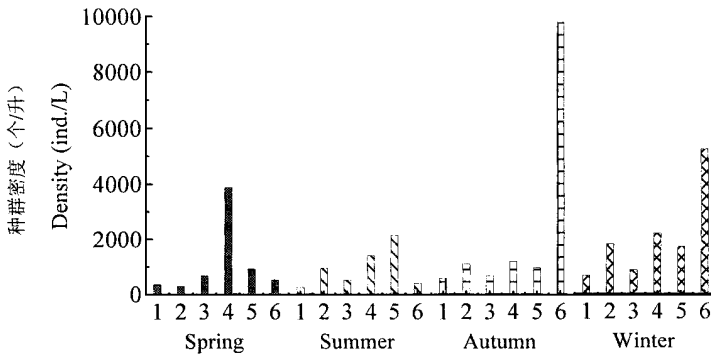


图 4 晋江流域四季各河段浮游动物平均密度动态

Fig. 4 The dynamics of densities of zooplankton in different rivers in four seasons

1. 大樟溪; 2. 西溪; 3. 东溪; 4. 晋江干流; 5. 北干渠; 6. 南干渠。
1. Dazhangxi; 2. Xixi; 3. Dongxi; 4. Jinjiang river; 5. South trunk; 6. North trunk.

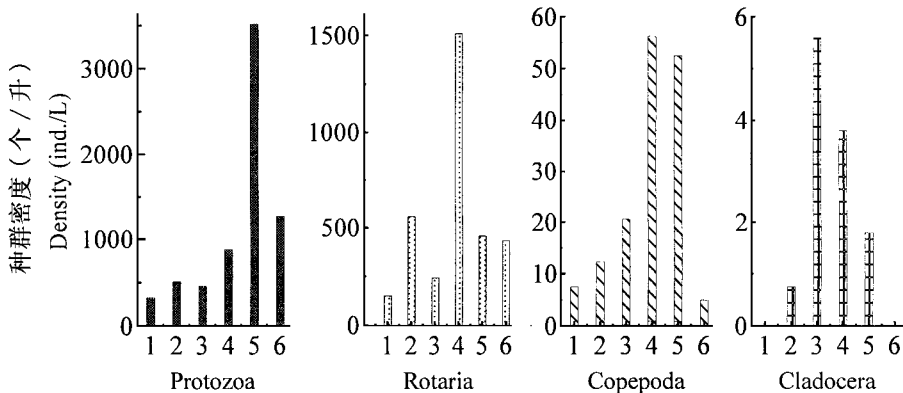


图 5 晋江流域四季不同河段四类群浮游动物密度动态

Fig. 5 The dynamics of densities of four groups of zooplankton in different rivers in four seasons

1. 大樟溪; 2. 西溪; 3. 东溪; 4. 晋江干流; 5. 北干渠; 6. 南干渠。
 1. Dazhangxi; 2. Xixi; 3. Dongxi; 4. Jinjiang river; 5. South trunk; 6. North trunk.
- 原生动物 Protozoa; 轮虫 Rotaria; 桡足类 Copepoda; 枝角类 Cladocera.

在水生生态系统中,浮游动物的个体丰度通常随营养水平的上升而升高。无论是重金属污染或是有机污染,对浮游动物而言表现出来的是敏感型种类数的减少和耐污型个体丰度的提高^[5,6]。晋江流域不同河段各类群浮游动物四季个体丰度的走向,直观反映了水质的有机污染自上游向下游逐渐加强的纵向发展趋势。

2.3 多样性指数四季变化与群落因素的关系

图 6 为晋江流域各河段四季浮游动物多样性指数的变动情况,从分析结果看,上游多样性指数相对较低,下游的相对较高,各河段四季物种丰富度指数 d 的平均值在 0.45 ~ 1.66 之间波

动,最高值为 2.82,出现在东溪南干渠的 12 月,最低值为 0,分别出现在 4 月东溪的东关桥和西溪的圆美断面。四季物种多样性指数 H' 的平均值在 1.48 ~ 3.42 之间,最高值为 4.2,出现在南干渠的 2 月,最低值为 0.001,分别出现在 4 月东溪东关桥和西溪的横口断面。四季 Margalef 和 Shannon-Wiener 多样性指数平均值的变化走向十分相似(图 6),他们与四季平均种类数的变动趋势成正相关,与种群丰度之间缺乏相关性,与其他参数指标的评价相关性差,说明这两种多样性指数未能较好地反映晋江流域水质的现状及其变化趋势。

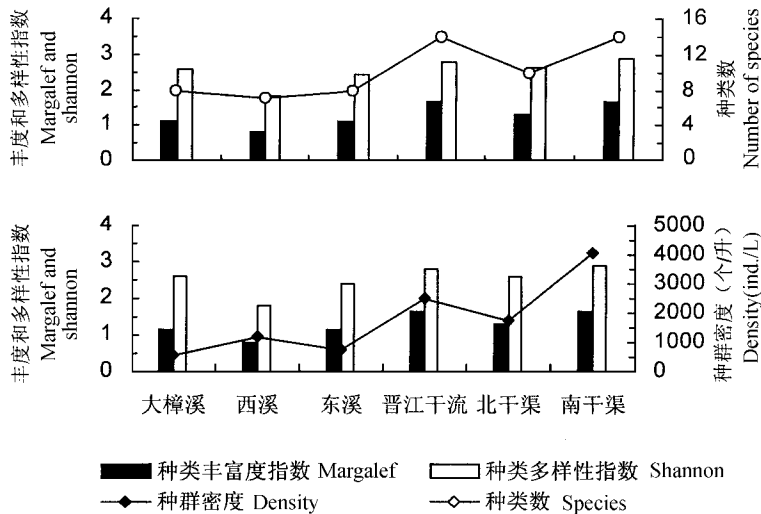


图 6 晋江流域四季多样性指数与种类和密度的关系

Fig.6 The relations of diversity index between species and between densities in four seasons

大樟溪 Dazhangxi ;西溪 Xixi ;东溪 Dongxi ;晋江干流 Jinjiang river ;北干渠 South trunk ;南干渠 North trunk.

3 讨论

3.1 群落结构与水质

浮游动物的群落结构特征与水质有密切的联系,群落结构和种类组成上的变化不但可以反映水污染的程度,还能反映污染的发展方向。通常种类增多、密度降低、均匀度上升,意味水质的好转;反之,种类减少、种群密度、特别是少数优势种的密度的升高,则表示水质恶化。晋江流域从上游的东、西溪到下游的晋江干流,浮游动物的种类数明显减少,敏感性种类消失,种群数量急遽上升,并

集中在少数优势种,充分说明下游水质比上游差的事实。但南、北干渠种类数出现反弹,四季均能看到不少山区溪流环境中的寡污型种类,这些种类的出现显然有悖于污染水体浮游动物群落的一般演替规律。注意到北干渠和南干渠的水源不仅直接来自晋江干流,两渠的出口还分别与九十九溪和黄塘溪有水源上的联系。南干渠的田洋采样点(15#)位于与九十九溪的交汇处,水体混合后共同汇入东海。北干渠的出口则与黄塘溪的出口极为靠近,水体混合后一并汇入洛阳江,洛阳江属感潮江河,涨潮时段在

潮托作用下江水倒流可影响至闽鹰桥。显而易见,南、北干渠水体内典型的嗜清洁型种类应当分别来自九十九溪和黄塘溪,因此,南、北干渠下段虽然种类数回升,并出现较多寡污性水体的指示种类,但并不意味着水质的好转。

从晋江干流的金鸡闸分流出的南、北干渠属于人工引水渠,泉州的第三水厂、北水厂,田洋水厂等的取水口均位于两渠段内,四季浮游动物的群落结构特征以及水化学指标均反映出南、北干渠的水污染程度比干流更为严重。饮用水的质量涉及到千家万户的健康,属敏感问题,从南、北干渠水质的现状看,取水口地点的设置值得重新考虑,目前采取有效措施制止水质进一步恶化已显得非常必要和迫切。

3.2 梯级水电站对晋江流域水体富营养化的影响 晋江流域四季浮游动物的平均密度为 1 644.3 个/L,与国内一些已知河流相比,除了略低于乌苏里江和松花江的年平均密度外,高于其他 13 条河流,就单个季节而言,则仅次于乌苏里江^[4]。

晋江流域下游水体营养程度较高主要是受城市工业和生活污水的影响。流域上游属于溪河环境,影响水质的因素较复杂,排除农田和地表径流带来的污染外,由于水利工程需要从大樟溪的凤洋点引水至龙门滩水电站,化学检测结果显示,凤洋采样点四季总磷和总氮均超标,常年水质只能达到地面 V 类水的标准,显然,晋江流域上游的水质受大樟溪的影响较大。近年来东溪和西溪上的中、小型水电站如雨后春笋,仅西溪河道上就建有 20 多座梯级水电站。水电站的建设改变了河道的天然形态和原有的自然生态环境,给水环境带来深刻的变化,尤其是梯级电站使整条溪流变成由一个个人工小水库相串而成,湍急的河流变得和缓,砂泥沉积,营

养盐得以累积,原本复杂多变的水环境趋于稳定,浮游生物无论种类或是数量都获得长足的发展。这可以从采样分析结果得到充分的证明,如晋江西溪的新连兴电站采样点,12 月的个体密度达到 5 850 个/L,占西溪 5 个采样断面浮游动物总数的 72.3%,其上游的横口溪流采样点的种群密度仅 30 个/L,只占总数的 0.3%。又如东溪的龙门滩电站采样点,6 月的个体密度为 1 410 个/L,占东溪 4 个采样断面浮游动物总密度的 53.4%,其下游的东关桥溪流采样点的种群密度仅 150 个/L,只占总数的 5.7%。Brook (1954) 等^[6]的研究早已表明,水库蓄水后,浮游动物的种类和密度都大幅度提高,甚至比原来的环境增加近百倍,这是浮游生物群落生态演化的一般规律。晋江流域梯级电站的过度开发显然已经给流域的水质造成严重的影响,河流原有的强大的自净功能正在逐渐降低,晋江流域的富营养化进程正在加速,其水体的污染问题值得关注。

参 考 文 献

- [1] 国家环保局《水生生物监测手册》编委会. 水生生物监测手册. 南京: 东南大学出版社, 1993.
- [2] 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法. 北京: 科学出版社, 1991.
- [3] 谢进金, 陈朝阳, 戴聪杰等. 福建晋江水系水质评价与保护研究. 泉州师范学院学报(自然科学版), 2004, 22(6): 93 ~ 97.
- [4] 洪松, 陈静生. 中国河流水生生物群落结构特征探讨. 水生生物学报, 2002 (3): 295 ~ 305.
- [5] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河-白洋淀水体的自净效果. 水生生物学报, 1996 (3): 212 ~ 219.
- [6] Brook A J, Rzosk J. The influence of the Gebel Aulyia Dam on the development of Nile Plankton. *J Anim Ecol*, 1954, 23: 101 ~ 114.