

# 温瑞塘河后生浮游动物群落结构及其与环境因子的关系

肖佰财, 孙陆宇, 冯德祥, 禹娜, 陈立侨

(华东师范大学生命科学学院, 上海 200062)

**摘要:**2011年1-7月对温瑞塘河后生浮游动物的群落结构及其栖息环境进行了调查,10个采样点共鉴定出后生浮游动物24种;其中,轮虫15种、枝角类6种、桡足类3种;优势种包括萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、壶状臂尾轮虫(*B. urceus*)、镰状臂尾轮虫(*B. falcaty*)、前节晶囊轮虫(*Asplanchna priodonta*)、长三肢轮虫(*Filinia longiseta*)、长足轮虫(*Rataria neptunia*)、指状许水蚤(*Schmackeria inopinus*)、广布中剑水蚤(*Microcyclops leuckarti*)和多刺裸腹溞(*Moina macrocopa*),优势种组成随季节变化略有不同;浮游动物的月均密度为13.39~310.8个/L,月均生物量为0.29~26.04 mg/L,两值均随水温的升高而增高;就空间分布状况看,浮游动物密度和生物量在多样点间存在明显差异。浮游动物与环境因子的典范对应分析(CCA)结果显示,温瑞塘河的水温是影响浮游动物密度变化最主要的因素( $P \leq 0.05$ );而高锰酸钾指数(COD<sub>Mn</sub>)、总氮(TN)和氨氮(NH<sub>4</sub><sup>+</sup>)对浮游动物密度的分布也有重要影响,但总氮的变化趋势由NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的多少决定。建议在温瑞塘河水环境治理过程中,重点关注水体COD<sub>Mn</sub>和NH<sub>4</sub><sup>+</sup>的分布状况。

**关键词:**温瑞塘河;后生浮游动物;群落结构;环境因子

**中图分类号:**Q142 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2012)04-0014-07

温瑞塘河作为温州人民的母亲河,近几十年来,由于人类的频繁活动,沿岸河道人为破坏严重,水体污染日益加剧,目前已成为温州市最大的污染源和主要的污染集散地之一(林孝梯和郭文明,2001);对此,温州市政府高度重视,自2000年开始对温瑞塘河开展大规模整治工作,目前水环境恶化的趋势已在一定程度上得到了遏制,但其水质污染问题并未从根本上得到解决(杨飞鹏和张俊凯,2009)。水生生物作为水生态系统的重要组成部分,其群落结构不仅能够客观反映水体污染现状,而且通过在已污染水体中恰当地重构生物群落,可改善水环境状况;但无论是反映水污染现状,还是改善水环境,均需对水体现有生物群落进行全面的了解。对温瑞塘河水系中的生物群落进行系统调查,分析其生物组成的特点,可以为该水系生态问题的诊断及生态修复规划提供科学数据支撑,对巩固已取得的治理成果及进一步构建良性自循环的河道生态系统均有重要意义。

作为温瑞塘河水系生态系统调查工作的一部分,本研究对其中栖息的浮游动物进行了研究。浮游动物是水生态系统的初级消费者,作为食物链中不可缺少的一环,其在物质转化、能量流动、信息传递等生态过程中起着十分重要的作用(吴利等,2007;彭建华等,2008;姚俊杰等,2009)。浮游动物终生栖息于水环境中,其群落结构对水环境的变化十分敏感,因此对水环境具有重要的指示作用。本文对温瑞塘河中后生浮游动物的组成、密度和生物量的分布及其与环境因子间的关系进行了初步调查,旨在对温瑞塘河水系的生态修复工作提供参考依据。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样点设置

通过实地调研,综合分析温瑞塘河水系各河段与周边环境的具体情况,选取温瑞塘河水系具有代表性的断面,共设置了10个调查样点(表1)。在30℃以下时,水体中浮游动物的种类数随温度的升高而增多,在30℃左右最多,38℃开始明显减少(金琼贝等,1991)。本次调查显示,2011年7月温瑞塘河水温已达30℃以上,因此本研究于2011年浮游动物种类数持续增长期内分季度(1月、4月和7月)进行了样品的采集,同时用GPS对样点进行定位。

收稿日期:2012-06-10

基金项目:国家自然科学基金(30700064);农业部公益性行业科研专项经费项目(201203065)。

通讯作者:陈立侨,男,教授。E-mail: lqchen@bio.ecnu.edu.cn;禹娜,女,副教授。E-mail: nyu@bio.ecnu.edu.cn

作者简介:肖佰财,1989年生,男,硕士研究生,主要从事水生动物生态学研究。E-mail: xiaobaicai3542@163.com

表1 温瑞塘河水系代表性断面的样点分布

Tab.1 The distribution of sampling site in Wenruitang River

样点	纬度	经度	地点及特征
S1	27°58.770'	120°35.091'	温州南站附近,潘桥桥下
S2	27°59.702'	120°38.238'	新桥,河流三叉交汇处敞水区,有生活污水入口
S3	28°00.209'	120°39.912'	友谊桥,石砌驳岸,有生活污水流入
S4	27°58.254'	120°40.504'	梧田镇,生活区,有生活污水大量排放
S5	27°57.037'	120°42.293'	三垟湿地内,仕途三港庙,永庆桥东,河流三叉交汇;南面来水为山泉,驳岸为土质,有菱角等高等植物
S6	27°56.496'	120°42.213'	三垟湿地内,樟岙村附近,石砌驳岸,土质驳岸
S7	27°57.749'	120°41.149'	三垟湿地内,温州中学附近
S8	27°56.382'	120°10.969'	白象镇附近,石砌驳岸,有化学工业废水流入
S9	27°49.975'	120°41.064'	瑞安市塘下国税局附近河道,石砌驳岸,有污水流入
S10	27°49.146'	120°41.187'	塘下城区河道,石砌驳岸,有生活污水流入

## 1.2 采样方法

对每个样点分别进行定量、定性采集。定性分析时,用25号(网孔0.064 mm)浮游生物网上层水体呈“∞”字形反复捞取;定量样品用1 L有机玻璃采水器采取。采得的水样在现场加入事先配好的鲁哥氏液固定,然后带回实验室静置沉淀浓缩,在显微镜下鉴定、计数。浮游动物的鉴定参考相关文献(王家楫,1961;蒋燮治和堵南山,1979;中国科学院动物研究所甲壳动物研究组,1979;章宗涉和黄祥飞,1991;周凤霞和陈剑虹,2011)。

## 1.3 理化指标测定

本文中所采用的环境因子包括水温( $W_t$ )、透明度( $SD$ )、溶解氧( $DO$ )、亚硝酸盐( $NO_2^-$ )、氨氮( $NH_4^+$ )、硝酸盐( $NO_3^-$ )、磷酸盐( $PO_4^{3-}$ )、高锰酸钾指数( $COD_{Mn}$ )、总氮( $TN$ )、总磷( $TP$ )和叶绿素( $Chl-a$ )共计11个水体物化指标,与动物样品同步采集;数据由宁波大学提供。

## 1.4 数据处理

浮游动物优势种的确定及优势度的计算采用公式: $Y = (n_i/N)/f_i$

式中: $Y$ 为优势度, $N$ 为该水系出现的所有浮游动物种类的总个体数; $n_i$ 为第*i*种的个体数; $f_i$ 为该种在各站位出现的频率。当 $Y > 0.02$ 时,即认为该浮游动物为优势种。

对浮游动物群落组成与环境因子的关系采用典范对应分析(canonical correspondence analysis, CCA)方法,分析过程在软件CANOCO 4.5中进行;其中,选择至少在2个以上样品中出现、数量至少在1个样品中超过1%以上的浮游动物用于进一步的分析。为避免不同指标单位造成的统计偏差,生物指标和环境指标均进行对数( $\log_{10}$ )转换,其中浮游动

物密度用 $\log_{10}(x + 1)$ 转换,水环境指标均用 $\log_{10}(1000x + 1)$ 转换(即先将单位mg/L转变为 $\mu g/L$ ,再进行对数转换)。

## 2 结果与分析

### 2.1 后生浮游动物的种类组成

在本研究调查期间,温瑞塘河水系10个样点共鉴定出后生浮游动物24种,种类名录见表2;其中,轮虫6属、15种,占总种类数的62.5%;枝角类5属、6种,占总种类数的25%;桡足类2属、3种,占总种类数的12.5%。从浮游动物组成情况来看,轮虫所占的比例最大,其中以臂尾轮属(*Brachionus*) (7种)最为丰富;常见种有长足轮虫(*Rotaria neptunia*)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、矩形龟甲轮虫(*Keratella quadrata*)、前节晶囊轮虫(*Asplanchna prodonta*)、长三肢轮虫(*Filinia longiseta*)以及枝角类中长额象鼻蚤(*Bosmina longirostris*)和桡足类中的广布中剑水蚤(*Microcyclops leuckarti*)。

### 2.2 优势种

在2011年浮游动物种类数持续增长长期内,3种后生浮游动物中,轮虫的优势种出现最多,为6种,枝角类和桡足类分别为1种和2种;轮虫中,除长足轮虫仅出现在冬春两季及镰状臂尾轮虫(*Brachionus falcatus*)出现在春夏两季外,其他优势种在3次调查中均有检出;枝角类中的多刺裸腹蚤(*Moina macrocopa*)在春夏两季出现;桡足类中的指状许水蚤(*Schmackeria inopinus*)仅出现于冬季,而广布中剑水蚤则出现于全部3个季节(表3)。此外,各个季节浮游动物优势种的组成也不尽相同,其中春季出现优势种的数量最多,共有8种,占调查期内总优势种数的88.9%;冬季和夏季各出现7种。

表2 温瑞塘河后生浮游动物种类组成和季节分布

Tab.2 Seasonal composition and distribution of meta-zooplankton in Wenruitang River

编码	种 类	出现季节	出现站点
<b>轮虫 Rotatoria</b>			
Ap	前节晶囊轮虫 <i>Asplanchna prodonta</i>	冬、春、夏	S1、S2、S4、S6、S7、S8、S10
Ba	角突臂尾轮虫 <i>Brachionus angularis</i>	冬、夏	S3、S7、S10
Bc	萼花臂尾轮虫 <i>B. calyciflorus</i>	冬、春、夏	S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10
Bd	裂足臂尾轮虫 <i>B. diversicornis</i>	夏	S8
Bf	镰状臂尾轮虫 <i>B. falcatus</i>	春、夏	S1、S3、S4、S5、S6、S7、S8
Bl-R	矩形臂尾轮虫 <i>B. leydigi</i>	春、夏	S1、S8
Bq	方形臂尾轮虫 <i>B. quadrientatus</i>	春	S1
Bu	壶状臂尾轮虫 <i>B. urceus</i>	冬、春、夏	S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10
Fl	长三支轮虫 <i>Filinia longiseta</i>	冬、春、夏	S1、S3、S4、S6、S8、S9、S10
Fo	脾状三支轮虫 <i>F. opoliensis</i>	春	S1
Kq	矩形龟甲轮虫 <i>Keratella quadrata</i>	冬、春	S1、S5
Ll	月形腔轮虫 <i>Lecane luna</i>	夏	S3、S8
Mb	囊形单趾轮虫 <i>Monostyla bulla</i>	冬、夏	S3、S7
Rn	长足轮虫 <i>Rotaria neptunia</i>	冬、春	S7、S8、S9、S10
Rr	转轮虫 <i>R. rotatoria</i>	冬	S2、S3、S8、S9
<b>枝角类 Cladocera</b>			
Aq	方形尖额溞 <i>Alona quadrangularis</i>	春	S6
Bl-C	长额象鼻溞 <i>Bosmina longirostris</i>	冬、春、夏	S1、S3、S6
Cq	方形网纹溞 <i>Ceriodaphnia quadrangula</i>	春	S2
Dl	长肢秀体溞 <i>Diaphanosoma leuchtenbergianum</i>	春	S4
Mm	多刺裸腹溞 <i>Moina macrocopa</i>	春、夏	S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10
Mr	直额裸腹溞 <i>M. rectirostris</i>	夏	S2
<b>桡足类 Copepoda</b>			
Cv	近邻剑水蚤 <i>Cyclops vucinus</i>	冬、夏	S1、S9
Ml	广布中剑水蚤 <i>Microcyclops leuckarti</i>	冬、春、夏	S1、S2、S3、S4、S5、S6、S7、S8、S9、S10
Si	指状许水蚤 <i>Schmackeria inopinus</i>	冬	S1、S2

表3 温瑞塘河后生浮游动物的优势种

Tab.3 Dominant species of meta-zooplankton in Wenruitang River

优势种	最适生境	出现高峰季节	优势度
长足轮虫	$\beta$ -P	冬、春	0.5131
萼花臂尾轮虫	$\beta$ - $\alpha$	冬、春、夏	0.3734
壶状臂尾轮虫	$\beta$ - $\alpha$	冬、春、夏	0.0771
前节晶囊轮虫	$\beta$	冬、春、夏	0.0469
镰状臂尾轮虫	$\beta$	春、夏	0.0437
长三支轮虫	P- $\alpha$	冬、春、夏	0.0335
多刺裸腹溞		春、夏	0.1415
广布中剑水蚤		冬、春、夏	0.2599
指状许水蚤		冬	0.1052

注:  $\alpha$  表示  $\alpha$ -中污型;  $\beta$  表示  $\beta$ -中污型; P 表示多污。

Note:  $\alpha$ :  $\alpha$ -mesosaprobity;  $\beta$ :  $\beta$ -mesosaprobity; P: multi-polluted type.

### 2.3 密度和生物量的时空分布

从时间分布来看,温瑞塘河后生浮游动物的月均密度为 13.39 ~ 310.8 个/L,月均生物量为 0.29 ~ 26.04 mg/L,两值的变化趋势一致,时间均为: 7月 > 4月 > 1月。

从空间分布来看,温瑞塘河各样点浮游动物的平均密度在 16.0 ~ 273.5 个/L,最高值出现在夏季

的样点 2 (870.0 个/L),最低值在冬季的样点 5 (1.5 个/L);调查期间样点 2 的变幅最大(4.5 ~ 870.0 个/L),样点 7 的变幅最小(9 ~ 30 个/L)。各样点的平均生物量在 0.19 ~ 28.86 mg/L,最高值也出现在夏季的样点 2 (84.28 mg/L),最低值在春季的样点 7 (0.01 mg/L);调查期间样点 2 的变幅最大(0.07 ~ 84.28 mg/L),样点 3 的变幅最小(0.05 ~ 0.58 mg/L)。

温瑞塘后生浮游动物密度和生物量的时空分布见图 1。

### 2.4 后生浮游动物群落结构与环境因子的关系

删除稀有物种及对分析没有影响的 6 种浮游动物——方形臂尾轮虫 (*Brachionus quadrientatus*)、裂足臂尾轮虫 (*B. diversicornis*)、脾状三支轮虫 (*Filinia opoliensis*)、方形尖额溞 (*Alona quadrangularis*)、方形网纹溞 (*Ceriodaphnia quadrangula*) 和长肢秀体溞 (*Diaphanosoma leuchtenbergianum*) 后,在其余 18 个物种与 11 个环境因子间,运用典型对应分析 (CCA) 方法,探讨温瑞塘河水系中浮游动物与水环境因子的关系。对浮游动物数据的排序结果表明,前 2 个

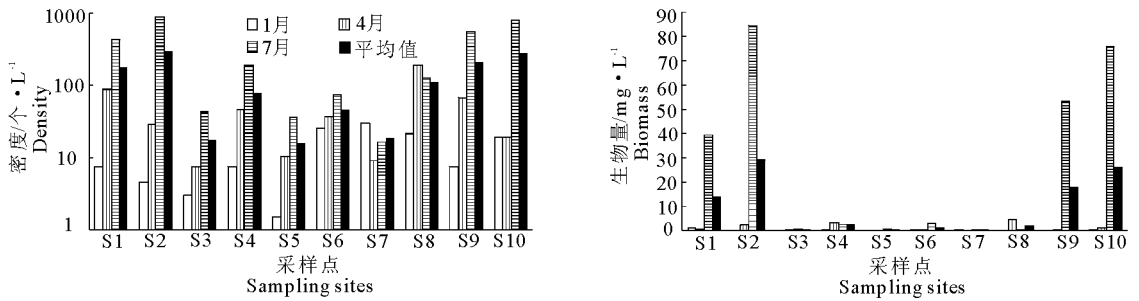
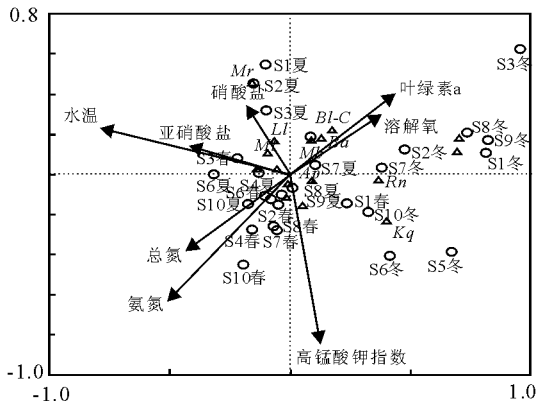


图1 温瑞塘河后生浮游动物密度和生物量的时空分布

Fig. 1 Spatial and temporal distribution of meta-zooplankton density & biomass in Wenruitang River

轴的梯度长度 (Lengths of gradient) 分别为 6.316 和 3.510, 其中第一轴的梯度长度大于 4.0, 表明物种在第一轴上具有单峰分布的特点, 适用于 CCA 分析方法。

通过蒙特卡罗检验 (Monte Carlo Permutation Test), 发现仅 Wt 对浮游动物的影响达到了显著水平 ( $P \leq 0.05$ ), 但  $\text{NH}_4^+$ 、TN、 $\text{COD}_{\text{Mn}}$ 、DO、 $\text{NO}_2^-$ 、 $\text{NO}_3^-$  和 Chl-a 均对其分布具有重要影响, 因此选取这 8 个环境因子与 18 种浮游动物进行 CCA 分析 (图 2)。结果显示, 物种-环境对应关系的 CCA 前 2 轴的特征值均很高, 分别为 0.831 和 0.780, 并且解释了 88.7% 的物种-环境对应关系的变化特征。



(○代表温瑞塘河 10 个样点的不同季度; △代表浮游动物种类)

图2 温瑞塘河后生浮游动物与环境因子的 CCA 二维排序

(○ indicated 10 stations in Wenruitang River; △ indicated metal-zooplankton species)

Fig. 2 CCA two-dimensional ordination diagram of metal-zooplankton and environmental factors in Wenruitang River

CCA 分析表明, 温瑞塘河水系中浮游动物密度主要受 Wt 影响, 两者呈显著的正相关 ( $P \leq 0.05$ ), 因此其密度分布具有明显的季节性特征。图 2 和表 2 均显示, 温瑞塘河水系中浮游动物的组成以广温性物种为主; 其中, 长额象鼻溞、角突臂尾轮虫 (*Brachionus angularis*)、近邻剑水蚤 (*Cyclops vucinus*) 和

囊形单趾轮虫 (*Monostyla bulla*) 还不同程度地受到 Chl-a、DO 和  $\text{NH}_4^+$  的影响, 它们与 Chl-a 和 DO 均呈正相关, 与  $\text{NH}_4^+$  呈负相关; 喜温性物种直额裸腹 (*Moina rectirostris*)、矩形臂尾轮虫 (*Brachionus leydiggi*) 和月形腔轮虫 (*Lecane luna*) 还受到了  $\text{NO}_3^-$  和  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  的影响, 其中直额裸腹溞与 2 个环境因子间的相关性较明显, 该物种与  $\text{NO}_3^-$  呈正相关, 与  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  呈负相关。

通过蒙特卡罗检验发现, 水体营养盐氮对浮游动物密度的时空分布有重要影响。从图 2 可以看出, 温瑞塘河水系中总氮变化趋势主要受  $\text{NH}_4^+$  量多少的影响; 其中,  $\text{NH}_4^+$  影响到了样点 S4 ~ S10 的春季及样点 S5 和 S8 ~ S10 的夏季浮游动物分布, 而  $\text{NO}_3^-$  仅影响到了样点 S1 ~ S3 夏季浮游动物分布,  $\text{NO}_2^-$  仅对样点 S3 春季浮游动物的分布影响较明显; 此外, 温瑞塘水系中, 除水温外,  $\text{COD}_{\text{Mn}}$  与浮游动物密度的相关性较大, 其中与样点 S1 ~ S3 夏季浮游动物密度呈负相关。

### 3 讨论

#### 3.1 后生浮游动物的群落结构特征

3.1.1 不同型号浮游动物密度和比例的变化 从温瑞塘河水系浮游动物类群组成上看, 中小型浮游动物 (轮虫) 的种类数和密度所占比例最高, 大型浮游动物 (桡足类、枝角类) 所占比例均不大, 这与目前国内许多河道水生态系统中浮游动物的种类组成相似 (Saunders & Lewis, 1988; Maria-Heleni et al, 2000; 张明凤等, 2003; 李共国, 2008; Arimoro & Oganah, 2010; 刘一等, 2010; 吴利等, 2011)。分析认为有两种原因: 其一, 滤食性鱼类喜摄食个体较大的浮游动物桡足类和枝角类 (Brooks & Dodson, 1965; Havel et al, 2009); 其二, 轮虫在条件适宜的情况下可采用孤雌生殖模式, 繁殖速度加快, 数量增加 (Dhanapathi, 2000; Akin-Oriola, 2003)。

3.1.2 不同季节浮游动物耐污种的变化 浮游动物作为世界性分布的生物,由于其群落结构具有对水环境变化反应灵敏的特点,被广泛应用于水质监测。吴利等(2011)指出,浮游动物种类数少、种群密度特别是少数优势种密度高,表示水体受污染的程度较深、水质较差。本次调查共获得浮游动物24种,远小于上海市中心城区河道浮游动物的63种(刘一等,2010),但与2007-2008年宁波市市区部分排污口附近的浮游动物组成数相当(李共国,2008),表明温瑞塘河水系的环境现状不容乐观。浮游动物敏感种和耐污种的种类及数量是水质污染状况的重要指标,生物种类会随着水体污染程度的变化而发生改变。在重污染水体中,大部分敏感生物种类消失,取而代之的是一些耐污型种类(曾阳等,2012)。本次调查发现,2011年1-7月,在浮游动物种类总数(13~15种)较稳定的情况下,耐污种类数持续增加,其中1月出现耐污种浮游动物5种,4月有7种,7月有10种,且其密度也随水温升高持续增加(图1),均于7月达到最大值;表明随着水温的升高,温瑞塘河的水质有下降趋势。推测水质变化除受到外源污染物输入的影响外,最主要的因素还应该是内源污染物的释放,因为高温加快了底泥污染物的还原溶解和转换反应速度(丛海兵等,2006;徐升宝等,2011);此外,不同季节耐污种浮游动物在温瑞塘河的分布存在差异,1月的耐污性物种主要分布于样点S1、S2、S6、S7和S10,4月主要出现在样点S8~S10,7月多见于样点S1、S4~S7、S9和S10;表明温瑞塘河水环境较复杂,不同河段水质在各季存在一定的差异。建议在今后的河道修复中关注相关信息,因地制宜开展整治工作。

### 3.2 群落结构与环境因子的关系

3.2.1 水温 水温是影响浮游动物生长、发育、群落组成和数量变化等极为重要的环境因子,也是影响浮游动物水平分布的一个重要因素(陈光荣等,2010),可改变浮游动物的生理状态,影响其生长繁殖和摄食以及休眠卵的孵化,导致浮游动物数量和种类的剧烈变动(杨宇峰,2006)。温瑞塘河中浮游动物密度主要受到水温变化的影响,两者呈显著的正相关( $P \leq 0.05$ );因此,2011年1-7月的浮游动物密度持续增加。金琼贝等(1991)认为浮游动物种类数在30℃以下随温度的升高有增多的趋势,但本次研究却发现,温瑞塘河水系1-7月的浮游动物种类数变化不明显,一直稳定在13~15种,仅其中的部分低温性物种被暖温性物种更替。

3.2.2 高锰酸钾指数( $COD_{Mn}$ )  $COD$ 通常用来表示水中需氧有机物的含量水平,是环境监测中的重要监测指标(郑小宏,2009); $COD$ 越高,表明水中还原性物质污染的程度越大(张烂漫,2002)。温瑞塘河中 $COD_{Mn}$ 对浮游动物的影响仅次于水温(图2)。本研究采用Pearson相关性分析得到的结果显示, $COD_{Mn}$ 与浮游动物种类数和密度的相关性分别为-0.375和-0.361,均达到显著相关水平( $P \leq 0.05$ );表明水体中的 $COD_{Mn}$ 已影响到了浮游动物密度的增长。温瑞塘河水系1月的 $COD_{Mn}$ 低于4月和7月,这说明随水温的升高,水体中的有机物污染有加剧的趋势。有研究表明,水生植物如风车草、再力花和金鱼藻对 $COD$ 均有一定的去除能力(焦燕等,2010)。在今后的温瑞塘河道生态修复工作中,可考虑在受有机物污染影响大的相关河段种植适量的水生植物,以减轻 $COD$ 的污染。

3.2.3  $NH_4^+$ 的主要来源 温瑞塘河水体中总氮变化趋势主要受 $NH_4^+$ 量多少的影响(图2)。水体中 $NH_4^+$ 的来源很广泛,包括工业污水和生活污水的排放及农业面源污染(张占平,2008)。对于城市河道,其水体中的 $NH_4^+$ 主要来自于生活污水,如人类排泄物和地面径流及雨水等,所以目前生活污染是导致温瑞塘河水环境状况不良的主要因素。本研究对浮游动物密度与水环境因子间的CCA分析结果也印证了该观点,从图2可以看出,温瑞塘河水系中 $NH_4^+$ 已影响到了春、夏两季梧田-瑞安河段(样点S4~S10的春季及样点S5和S8~S10的夏季)浮游动物的分布;因此,对温瑞塘河水环境开展整治,首要任务是完善城区基础排污管道建设,加强生活污水的净化处理。

### 参考文献

- 陈光荣,雷泽湘,谭镇,等.2010.环境因子对广东城市湖泊后生浮游动物的影响[J].水生态学杂志,3(4):28-32.
- 丛海兵,黄延林,李创宇,等.2006.于桥水库沉积物内源污染特性研究[J].水资源保护,22(4):20-24.
- 蒋燮治,堵南山.1979.中国动物志·淡水枝角类[M].北京:科学出版社.
- 焦燕,金文标,赵庆良,等.2010.水生植物接触氧化工艺修复氮素污染河水[J].东北林业大学学报,38(8):91-94.
- 金琼贝,盛连喜,张然,等.1991.温度对浮游动物群落的影响[J].东北师范大学学报:自然科学版,(4):103-111.
- 李共国.2008.宁波市内河排污口浮游动物群落结构的初步调查[J].生态科学,27(4):237-242.

- 林孝梯,郭文明. 2001. 温瑞塘河现状及综合整治对策[J]. 水利水电技术, 32(2): 58-61.
- 刘一,禹娜,陈立侨,等. 2009. 城区已修复河道冬季浮游动物群落结构的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2(3): 1-7.
- 刘一,禹娜,冯德祥,等. 2010. 上海市中心城区河道浮游动物群落结构的周年变化[J]. 生态学杂志, 29(2): 370-376.
- 彭建华,郑金秀,马沛明,等. 2008. 长江口南北支浮游甲壳动物的比较及南水北调工程影响预测[J]. 生态学杂志, 27(11): 1948-1954.
- 王家楫. 1961. 中国淡水轮虫志[M]. 北京: 科学出版社.
- 吴利,冯伟松,陈小娟,等. 2007. 中山市淡水浮游动物区系调查[J]. 动物学杂志, 42(4): 135-143.
- 吴利,冯伟松,张堂林,等. 2011. 春、秋季武湖浮游动物群落特征及其与环境因子的关系[J]. 水生态学杂志, 32(2): 31-36.
- 徐宝,谷孝鸿,蔡春芳,等. 2011. 溶氧、水温和水流对东太湖沉积物中氮、磷释放的影响[J]. 安徽农业科学, 39(9): 5175-5177.
- 杨飞鹏,张俊凯. 2009. 温瑞塘河水污染治理与对策[EB/OL]. <http://www.wrthwh.com/info.asp?ID=66>, 2010-10-2/2012-7-10
- 杨宇峰,王庆,陈菊芳,等. 2006. 河口浮游动物生态学研究进展[J]. 生态学报, 26(2): 576-585.
- 姚俊杰,褚素兰,沈昆根,等. 2009. 贵阳市花溪河大型浮游动物的初步研究[J]. 水生态学杂志, 2(4): 29-34.
- 曾阳,苗明升,付秀娥,等. 2012. 温榆河浮游动物多样性及水质改善效果评价[J]. 环境科学与技术, 35(3): 200-205.
- 张烂漫. 2002. 上海市南汇大治河水质  $COD_{Cr}$  的监测评价[J]. 中国环境管理干部学院学报, 12(4): 40-43.
- 张明凤,陈寅山,许友勤. 2003. 福州市内河水水质评价[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 19(4): 56-61.
- 张占平. 2008. 水体中氨氮污染来源及其控制-富营养化的思考[J]. 内蒙古环境科学, 20(5): 71-72.
- 章宗涉,黄祥飞. 1991. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社.
- 郑小宏. 2009. 闽江口海域化学需氧量与溶解氧周年变化特征分析[J]. 四川环境, 28(6): 65-67.
- 中科院动物所甲壳动物研究组. 1979. 中国动物志: 淡水桡足类[M]. 北京: 科学出版社.
- 周凤霞,陈剑虹. 2011. 淡水微型生物与底栖动物[M]. 北京: 化学工业出版社.
- Akin-Oriola G A. 2003. Zooplankton associations and environmental factors in Ogunpa and Ona Rivers, Nigeria [J]. *Revista de Biologia Tropical*, 51(2): 391-398.
- Arimoro F O, Oganah A O. 2010. Zooplankton community responses in a Perturbed Tropical Stream in the Niger Delta, Nigeria [J]. *The Open Environmental & Biological Monitoring Journal*, 3: 1-11.
- Brooks J L, Dodson S I. 1965. Predation, body size, and composition of plankton [J]. *Science*, 150: 28-35.
- Dhanapathi M V S S S. 2000. Taxonomic notes on the Rotifers from India (1889-2000) [C]. *Indian Association of Aquatic Biologists (IAAB) - Publication*, 10: 178.
- Havel J E, Medley K A, Dickerson K D, et al. 2009. Effect of main-stem dams on zooplankton communities of the Missouri River (USA) [J]. *Hydrobiologia*, 628: 121-135.
- Maria-Heleni Z, Michaloudi E, Bobori D C, et al. 2000. Zooplankton abundance in the Aliakmon river, Greece [J]. *Belgian Journal of Zoology*, 130(suppl. 1): 29-33.
- Saunders J F, Lewis W M. 1988. Zooplankton abundance in the Caura River, Venezuela [J]. *Biotropica*, 20(3): 206-214.

(责任编辑 万月华)

## Meta-zooplankton Community Structure and Its Relationship with Environmental Factors in Wenruitang River

XIAO Bai-cai, SUN Lu-yu, FENG De-xiang, YU Na, CHEN Li-qiao

(School of Life Science, East China Normal University, Shanghai 200062, P. R. China)

**Abstract:** A seasonal investigation of meta-zooplankton was undertaken from January to July 2011 in Wenruitang River, Zhejiang. A total of 24 meta-zooplankton species were identified, including 15 Rotifera, 6 Cladocera and 3 Copepoda. Dominant species included *Brachionus calyciflorus*, *B. urceus*, *B. falcatus*, *Asplanchna priodonta*, *Filinia longiseta*, *Rataria neptunia*, *Schmackeria inopinus*, *Microcyclops leuckarti* and *Moina macrocopa*, and the dominant species composition acrossed different sites in different seasons. Monthly mean densities of zooplankton ranged from 13.39 to 310.8 ind./L, and the biomass changed from 0.29 to 26.04 mg/L, both of which increased with water temperature. The density and biomass of zooplankton were significantly different in ten sites during investigation. According to the canonical correspondence analysis (CCA), the distribution of zooplankton was affected by ammonia nitrogen ( $\text{NH}_4^+$ ), total nitrogen (TN), water temperature (Wt), chemical oxygen demand ( $\text{COD}_{\text{Mn}}$ ), dissolved oxygen (DO), nitrite ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrate ( $\text{NO}_3^-$ ) and chlorophyll (Chl-a). Among them, water temperature was the main factor and was significantly positively correlated with the density of zooplankton ( $P \leq 0.05$ ). In addition, the density could also be affected to some extent by  $\text{COD}_{\text{Mn}}$ , TN and  $\text{NH}_4^+$ . Therefore, more attentions should be paid to the distribution of COD and  $\text{NH}_4^+$  in Wentuitang River during improving the river water environment.

**Key words:** Wenruitang River; meta-zooplankton; community structure; environmental factors