

# 摘 要

河流生态系统的任何变化都可能会影响水生生物的生理功能、种类丰度、种群密度、群落结构等,因此水生生物指标是反映河流生态系统健康与否的重要指标。目前,通过监测一些生物或其类群的数量、生物量、生产力、结构指标、功能指标及其一些生理生态状况的动态变化,来描述河流生态系统的健康状况的方法,得到了较多的应用。

本文主要对苏州河水系的浮游植物、浮游动物、底栖动物等水生生物进行了调查研究。将生物指标与理化指标结合起来共同用于评价河流水质健康状况,并探讨了生物指标在河流生态健康评价中的应用情况。主要研究结果如下:

1.从浮游植物生物量角度来看,苏州河水系各样点为富营养化水体;从浮游植物、浮游动物优势种角度来看,苏州河水系的水质属于 $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污;而底栖动物优势种霍甫水丝蚓是高耐污的污染指示种。综上,用水生生物的生物量和优势种评价可知苏州河水系河流水质健康状况较差。

2.结合理化指标,用浮游动物 Shannon-wiener 指数评价河流水质健康状况,评价结果为:苏州河水系的水质污染程度普遍处于 $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污;用底栖动物 Shannon-wiener 指数和 G.B.I.指数来评价河流水质健康状况时,其评价结果为:苏州河水系的水质污染程度普遍处于重污染水平。

3.苏州河水系中各样点的浮游植物密度(叶绿素 a 浓度)与 DO 相关性很大。在不同情况下,浮游生物的 H 值与 DO、透明度等理化指标具有一定相关性;底栖动物的 G.B.I.指数与 TP、透明度等极显著相关。

4.湖生卵囊藻、韦丝藻、卷曲纤维藻、水花束丝藻、逗点衣藻以及卵形隐藻这几种优势种可以作为苏州河水系中 $\alpha$ -中污带和 $\beta$ -中污带的污染指示种;月形刺胞虫、琵琶钟虫可作为苏州河水系 $\alpha$ -中污带的指示种,桡足类幼虫可指示 $\alpha$ -中污带、 $\beta$ -中污带的水体。

关键词: 生物指标 浮游植物 浮游动物 底栖动物 河流健康 苏州河水系

## ABSTRACT

Any change of river ecosystem might affect of the physiological functions, species abundance, population density and community structure of the aquatic life, so biological index of the aquatic life can reflect that the river ecosystem is an important indicator of river ecosystem health. Now, we can describe the status of river ecosystem health by monitoring the changes of biomass, productivity, structural indicators, function indicators and some physiological and ecological states of biology or groups, and it has been widely used.

This paper mainly investigated and studied the aquatic life, which contains phytoplankton, zooplankton and zoobenthos in Suzhou Creek Water System. Evaluate the health status of river water quality by biological index and physicochemical index, and the application of biological index in river ecosystem health assessment was discussed. The main results were briefly summarized as follows:

1. The sampling sites in Suzhou Creek Water System are eutrophication water bodies from the point of view of phytoplankton biomass. The water quality in Suzhou Creek Water System belongs to  $\alpha$ -moderately polluted zone or  $\beta$ -moderately polluted zone; Dominant species of zoobenthos is *Limnodrilus hoffmeisteri*, it is an anti-contaminated pollution indicators. In a word, the river health state of Suzhou Creek Water System is poor by assessment of biomass and dominant species of the aquatic life.

2. Combination of physicochemical index, we assessment the river water quality health state by zooplankton Shannon-wiener index, the results are: the degree of water pollution generally stays between  $\alpha$ -moderately polluted zone and  $\beta$ -moderately polluted zone; then, when we used zoobenthos Shannon-wiener index and G.B.I. index to assessment the water quality health state, the results are: the degree of water pollution generally are polluted strictly.

3. There has relevant relation between the density of phytoplankton (concentration of Chl.a) and DO in each sampling site of Suzhou Creek Water System. There also has certain correlation between H index of plankton and the physicochemical index, such as DO, transparency, TP, and so on in different

situations; the G.B.I. index and the physicochemical index, such as transparency, TP are obviously correlated.

4. The dominant species which contains *Oocystis lacustis*, *Westella botryoides*, *Ankistrodesmus convolutus*, *Aphanizomenon flosaquae*, *Chlamydomonas komma* are the pollution indicators in  $\alpha$ -moderately polluted zone or  $\beta$ -moderately polluted zone in Suzhou Creek Water System; *Acanthocystis erinaceus* and *Vorticella lutea* are the pollution indicators in  $\alpha$ -moderately polluted zone, copepod nauplii is the pollution indicators in  $\alpha$ -moderately polluted zone or  $\beta$ -moderately polluted zone in Suzhou Creek Water System.

**Keywords:** biological index; phytoplankton; zooplankton; zoobenthos; river health assessment; Suzhou Creek Water System.

## 学位论文独创性声明

本人所呈交的学位论文是我在导师的指导下进行的研究工作及取得的研究成果。据我所知，除文中已经注明引用的内容外，本论文不包含其他个人已经发表或撰写过的研究成果。对本文的研究做出重要贡献的个人和集体，均已在文中作了明确说明并表示谢意。

作者签名： 朱爽 日期： 2008.6.17

## 学位论文授权使用声明

本人完全了解华东师范大学有关保留、使用学位论文的规定，学校有权保留学位论文并向国家主管部门或其指定机构送交论文的电子版和纸质版。有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅。有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索。有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

学位论文作者签名： 朱爽

导师签名： 彭海佳

日期： 2008.6.17

日期： 2008.6.17

# 1 前言

## 1.1 研究进展和意义

### 1.1.1 国内外研究现状

传统的河流环境评价是以物理、化学指标为基础，通过对物理化学指标的分析来反映河流系统所处的环境条件状况，具有重要的使用价值，但用于生态系统水平上，则显示出其局限性（赵彦伟, 2005）。这种评价并不能有效地反映河流生态系统的健康状态，因为它实质上说明的是生态系统所面临的环境压力，而不是生态系统对环境条件变化的反应及受到的影响。从现今发展来看，采用生物指标进行河流健康评价(Karr J K, 1981; Smith M J et al, 1999; Barbour M T et al, 1999)，已成为了一种趋势，并且被广泛应用于河流健康评价。

至今为止，国内外在利用水生生物来评价水质污染状况研究方面的相关报道已经越来越多。

在国内，由于日益加速的城市化进程已经对我国城市地区的水生生物系统的健康发展构成了威胁，近年来，研究者开始关注水环境变化及由此所带来的浮游植物等生物群落结构特征的改变，并试图通过短期的或季节性的监测，来分析生物群落与水环境因子之间的相互关系，对生物指标在水质监测上的应用做出了初步的探索研究，为我国淡水生态学研究提供了生物学资料和参考依据。王朝晖等(2005)研究了广东省 19 座主要水库在丰水期和枯水期浮游植物状况，并根据浮游植物群落结构和多样性指数对水库进行营养状况评价。王银东等(2006)调查武汉南湖大型底栖动物的种类组成，并对水质理化指标进行测定，根据大型底栖动物的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Margalef 多样性指数判定南湖水质处于中等污染状态。张乃群等(2006)对南水北调中线水源区水体浮游植物进行了调查研究，并运用 Margalef 和 Menkinick 多样性指数对该水域的水质进行评价，且能够很好地反映水质状况。中国环境科学研究院 张远等(2006)以深圳市的 3 条河流为实例，对河流生态系统健康理论和评价方法进行了研究，建立了以水化学和水生物指标为基础的河流生态系统健康评价指标体系，并确定评价指标的等级标准。采用生物指标进行河流健康评价，已成为了一种趋势。李强等(2007)对太湖流域上游西苕水系的底栖动物进行了调查，开展了底栖动物完整性指数 B-IBI 指数的构建、评价标准建立和 B-IBI 与理化指标关系的研究。吴阿娜等(2007)探讨了上海地区河流健康评价方法，提出了 5 个 1 级指标、17 个 2 级指标架构的城市河流健康评价体系。其中将底栖动物的 Goodnight 修正指数

(G. B. I.) 和浮游植物的 Shannon—Wiener 生物多样性指数(H) 作为河流生物指标的 2 级指标. 由上可见, 在我国, 水生生物指标的应用已经越来越广泛。

在国外的相关研究方面, 早在 1972 年美国的《水污染控制修正法》就规定: 本法案的目标是恢复与维持水体的化学、物理及生物完整性。通过完整性 ( integrity)表明河流的自然结构与生态系统功能得以保持的良好状态。可见, 当时就已经非常重视河流生态系统中的生物指标。近几年中, 国外对于河流水质健康评价中的生物指标的研究已更为的广泛和深入。Thomas F.C. et al (2000) 对美国 Yakima River 盆地的 25 条河流进行调查研究, 利用浮游植物等指标对农业用地对水质的影响进行研究, 结果表明浮游植物群落结构与水质梯度变化有显著的因果关系。Harry V. L .et al (2001) 在对加州 San Joaquin 河水体进行调查后,发现浮游植物的分布和群落结构与水环境中的理化因子密切相关。Thierry Oberdorff et al (2002) 对用鱼类生物完整性指数来评价河流健康状况的方法进行了研究分析。在美国与欧洲地区, 这种方法常被用于评价河流的现状、趋势与变化原因。Pal Brettum et al (2005), 在 1990-2000 年期间对挪威 Atnsjoen 湖浮游植物的长期调查研究,发现在发生洪水后浮游植物的群落结构组成发生了重大的变化。

目前, 我国的河流水质健康评价方法尚不成熟, 而国外现有的评价方法又难以直接运用于国内河流, 这在很大程度上制约了国内河流管理实践的进程。因此, 我们选择了上海地区城市河流水系为研究对象, 尝试探讨用生物指标来评价河流水质健康的评价方法及其应用。本文主要调查研究苏州河水系水生生物, 并将其与化学指标结合起来分析, 研究生物指标在河流生态健康评价中的作用, 这样可以更全面地监测苏州河水系水体的污染状况, 并且这对于完善生物指标体系和健全水环境的管理机制具有重要的意义。

### 1.1.2 水生生物的研究意义

在过去几十年里化学手段分析水质以其分析标准化, 能够准确检出目标污染物的含量等优点取得了很大的进展。但化学手段耗时长, 检测费用高, 较难实现连续监测, 且不能准确区分不同性质污染物的毒性程度。为此, 生态学家长期以来一直致力于探索用生物指标评价水质, 将水污染所造成的群落结构的变化加以量化, 从而利用生物有效地评价和监测水污染状况。

水生生物调查是河流水质调查的一个重要内容。浮游植物、浮游动物、底栖动物、大型水生植物以及鱼类等是河流食物链及生物生产中的重要环节。水生生物的种类组成、数量变动、生物量以及群落结构与功能的变化是反映河流水质状况的重要指标,也是预测其发展趋势的重要依据。生物指标与水质的其它指标综

合分析,能够更全面、准确的以生态学观点来评价和预测河流的水环境状况。

#### (1)浮游植物

浮游植物是淡水生态系统中主要的初级生产者,因而成为水体营养状况最直接的反映。浮游植物对外界环境有敏感的反应,在不同的水体中具有特定种类组成,其群落的性质和数量会随着水化学成分而改变(Laura Airoidi,2001;E.Rott,2006;吴波等,2006),因此常被用作水质监测和评价的重要参数(邓义祥等,1999;吴洁等,2001)。

#### (2)浮游动物

浮游动物是指悬浮于水中的水生动物。它们或者完全没有游泳能力,或游泳能力较弱,不能作远距离的移动,也不足以抵拒水的流动力。个体一般都很微小,种类组成极为复杂,通常我们所说的浮游动物包括四大类:原生动物、桡足类、轮虫和枝角类。

在淡水生态系统中,浮游动物处于水体生态系统食物链的中间环节,它们可以通过对浮游植物(初级生产者)的滤食来限制浮游植物的大量繁殖(孙军等,2004),而同时它们又可以作为其它水生动物(如:鱼类)的食物(Kvam O V,1995),浮游动物在湖泊的物质循环和能量流动过程中发挥着重要作用,且浮游动物较易受水温、pH、盐度以及有毒污染物影响,因此群落结构与功能的变化可以直接或间接地反映着湖泊水质的状况及其发展趋势(Maria Heleni Z et al,2000;Dussart B H et al,2001;Dumont H et al,2002; Korovchinsky N M,2006 ;Wang S B,2007;刘冬燕,2005)。

#### (3)底栖动物

底栖动物是指生活史的全部或大部分时间生活于水底的水生动物类群(尤平等,2001),是底层环境中特有的生物群落,也是水生生态系统的重要组成部分,淡水生态系统中,底栖动物的主要类群包括软体动物、环节动物和水生昆虫等(刘宝兴,2007)。国内外许多学者对湖泊底栖动物不同群落结构及演替已有较深入的研究(段学花,2007;邵美玲等,2006;邬红娟等,2005; Warwick,2006)。

底栖动物对环境变化反应敏感,当水体受到污染时,底栖动物群落结构及多样性将会发生改变,因此,在湖泊水质监测中,其种类和群落特征常作为环境评价指标,并已被广泛应用(李再培等,2000;孙刚等,2001;沈新强等,2006)。

#### (4)大型水生植物

大型水生植物也是水体生态系统的初级生产者,可吸收水体中的营养物质,降低湖水营养水平,抑制浮游浮游植物的生长(金相灿等,2001),多项研究表明,修复和重建的水生高等植物群落能够有效地净化富营养化水体(黄文成等,1994;张圣照等,1998;成小英等,2002);对有毒有害物质也有一定的净化作

用,能浓缩富集重金属元素(苏圣齐等,2002)。此外,物理作用方面,水生植物还能起到减小水中的风浪扰动,降低水流速度,并减少水面风速的作用(Brix,1997)。这有利于水体中悬浮固体的沉淀去除,从而改善水下光照条件。

## 1.2 用生物指标来评价水质健康状况的评价方法及其优缺点

河流生态系统健康的评价方法大体可分为生物监测法和综合指标法,后者是近年来发展起来的一种较新的方法,成为河流健康评价的发展趋势。但不管那类方法,都有其自身的缺点,不具有普遍的适用性。

### 1.2.1 生物监测法

研究者在很久以前就已发现,水生态系统的任何变化都可能影响水生生物的生理功能、种类丰度、种群密度、群落结构与功能,水生生物指标成为反映水体状况好坏的重要指标(黄玉瑶,2001)。通过对水生生物个体、种群和群落因水体环境变化而产生物种组成及其多样性、结构功能指标、生产力以及生理生态状况变化情况的监测,即生物监测,来描述河流生态系统的健康状况,得到了较多的应用。生物监测的方法很多,主要如下:

(1) 指示生物法,即以某些种类的存在或消失作为监测指标。这是一种经典的生物监测方法。早在20世纪初,德国学者Kolkwitz和Marsson就提出了指示生物的概念,并把能够表示河流污染特性的生物称为水污染指示生物。他们在1908年提出了指示河流有机污染的污水生物系统,为各个不同的污染带例举了不同的指示生物。之后,国内外很多学者在这方面做了大量的研究工作,并在不同的情况下,提出了不同的指示种类(邓义祥,张爱军,1999)。

(2) 优势种群法:在“指示生物”的基础上,提出了用整个生物群落组成和优势种的变化来评价水体污染的状况的方法(沈韞芬,1999)。Fjedrnigstde(1964)用群落中优势种群划分污染带的方法,根据污染水体中优势种群的不同,把污染水体(主要是河流)划分为9个污水带,他的优势群落包括了原生动物、浮游植物和细菌等,其中各带的优势浮游植物分别是:

①粪生带(Coporzoie zone):无浮游植物优势群落。

②甲型多污带( $\alpha$ —polysaprobie Zone):裸藻群落,优势种为绿裸藻 *Euglena. Viridsi*,亚优势种为华丽裸藻 *E. phacooides*。

③乙型多污带( $\beta$ —Polysaprobic Zone):裸藻群落,优势种为绿裸藻 *E. Viridsi*、静裸藻 *E. nacaudaat*。



④丙型多污带( $\gamma$ -polysaprobic zone):绿色颤藻 *Oscillatoria Chlorina* 群落。

⑤甲型中污带( $\alpha$ -Mesosaprobic Zone):环丝藻 *Ulothrix zonata* 群落或底生颤藻 *Oscillatoria benthonica* 等群落。

⑥乙型中污带( $\beta$ -Mesosaprobic Zone):脆弱刚毛藻 *Cladophora fracta* 或席藻 *Phormidium sp.* 等群落。

⑦丙型中污带( $\gamma$ -Mesosaprobic Zone):红藻群落, 优势种群为串珠藻 *Batrachospermum moniliforme*, 或绿藻群落, 优势种为团刚毛藻 *Cladophora glomerata* 或环丝藻 *Ulothrix Zonata*。

⑧寡污带(Oligosaprobic Zone):绿藻群落, 优势种群为簇生竹枝藻 *Draparnaldia glomerata*;或环状扇形藻 *Meridion circulare* 群落;或红藻群落。

⑨清水带(Katharobic Zone):绿藻群落, 优势种群为羽状竹枝藻 *Draparnaldia plumosa*;或红藻群落, 优势种为胭脂藻 *Hildenbrandia rivularis* 等。

此外, Hutchinson 和 Wetzel 总结了不同营养型湖泊的浮游植物优势种群, 对于评价湖泊营养状况有很大的参考价值(黄玉瑶, 2001)。

### (3) 生物指数法

生物指数法(Biotic Index, BI)是指运用数学方法求得的反映生物种群或群落结构的变化数值, 用以评价水质质量的方法。它是污水生物系统法的定量化。生物指数法是用简单的数字来评价河流的有机污染程度, 比指示生物法更为简便。浮游植物的浮游植物污染指数和污生指数; 适用于底栖动物的 Beck 生物指数法和 Trent 生物指数法等, 都是较有代表性的方法。

### (4) 物种多样性指数法

物种多样性指数是反映丰富度和均匀度的综合指标。种类多样性指数法是应用数理统计法求得表示生物群落的种类和个体数量的数值, 用以评价环境质量。群落中物种的多样性反映了生物群落或生境的复杂程度, 同时也反映了群落的稳定性与动态以及不同自然地理条件与群落的相互关系。群落多样性指数法通过监测群落中物种多样性的变化来表征生境, 指数越大, 表示多样性越高, 生态环境状况越好(吴邦灿等, 1999)。它是定量反映生物群落结构的种类、数量及群落中种类组成比例变化的信息。常用的物种多样性指数包 Margalef 多样性指数, ShannonWiener 多样性指数和辛普森多样性指数, 这类方法对确定物种、判断物种耐性的要求不太严格, 应用起来较为简便。

优缺点: 生物监测法是目前河流生态系统健康评价的常用方法, 它克服了理化检测的局限性和连续取样的繁琐性。可以直接检测出生态系统已经发生的变化或已经产生影响而没有显示出不良效应的信息。如水环境监测利用底栖动物及浮

游动物群落、种群及个体数量和形态学的改变来反映污染程度；利用活体生物的急性毒性试验反映污染物浓度。

生物监测法也存在许多缺点,如选择不同的研究对象及监测参数会导致不同的评价结果,难于确定不同生物类群进行评价时的取样尺度与频度,无法综合评价河流生态系统状况问题等。而且,一个指标只能反映干扰传播过程中造成的某方面影响,在流域范围内对所有干扰都敏感的单一河流健康指标是不可能存在的(Townsend C. R. 等,1999)。

### 1.2.2 综合指标法

综合指标法是综合物理、化学、生物,甚至社会经济指标,能够反映不同尺度信息的指标法,是生态系统健康评价的重要手段。这种方法既能反映河流的总体健康水平和社会功能水平,又可以反映出生态系统健康变化的趋势,最适宜用来评价受干扰较深的城市河流健康状况。

最具代表性的方法有:生物完整性指数 IBI(Karr,1981)、RCE 评分(Simpson et al,1999)和溪流状况指数 ISC(Ladson et al,1999)等。IBI 着眼于水域生物群落结构和功能,用 12 项指标(物种丰富度、指示种类别、营养类型等)评价河流健康状况,已经被应用于浮游植物、浮游生物、无脊椎动物、维管束植物等的相关研究中;RCE 评分常用于快速评价农业地区河流状况,包括河岸带完整性、河道宽/深结构、河岸结构、河床条件、水生植被、鱼类等 16 个指标,将河流健康状况划分为 5 个等级,该方法能够在短时间内快速评价河流的健康状况,但主要适用于农业地区,如用于评价城市化地区河流的健康状况,则需要进行一定程度的改进;ISC 综合反映了河流水文学、物理构造特征、河岸区状况、水质及水生生物等 5 个要素共计 19 项指标采用打分的方法对河流进行对比性评价,该方法将河流状态的主要表征因子融合在一起,能够对河流进行长期的评价,从而为科学管理提供指导,但缺乏对单个指标相应变化的反映,参考河段的选择较为主观。

从上述可知,综合指标法,相对于生物监测法,其评价结果更加综合与全面;但也存在适用范围受限、评价过程复杂、资料不易收集等缺点。

## 2 研究区域概况

### 2.1 苏州河水系概况

#### 2.1.1 苏州河水系的地理、气候概况及水文特征

上海市是中国重要的经济文化中心，其人口已经超过 1700 万，苏州河水系是上海地区的主要水系之一，为上海市提供了重要的城市水源、防泄洪通道及内河航运通道，其丰富的生物多样性也使其对城市水生态系统的研究具有重要的意义。

上海市苏州河水系北起蕴藻浜，南抵淀浦河，东临黄浦江，西至江苏省界，总面积约 855km<sup>2</sup>。该水系几乎涵盖了上海市浦西地区的整个中心城区，汇集了外滩、南京路、淮海路、徐家汇等上海的精华地段，但同时也聚集了全市最为密集的污染源，以及虹口港、杨树浦港、彭越浦、桃浦、新泾港、龙华港等污染最为严重的河道（徐祖信，2002）。

苏州河（又名吴淞江）发源于太湖瓜泾口，东经江苏省吴江市、吴县市、昆山市及上海市青浦县和嘉定、闵行、普陀、长宁、静安、闸北、虹口、黄浦等区，在外白渡桥入黄浦江。全长 125 公里，其中上海市境内由赵屯至黄浦江河口约为 53.1km，其中市区段长约 17km，河面平均宽度 50~60m(许世远等，2003)。苏州河上海段内曲折多弯，从北新泾至外白渡桥有急弯 9 处，曲率半径 10~160m，河底宽度 15~20m，河口泄流量约 10 立方米秒，是黄浦江最大支流。沿线干流支流交错，大小支流约 60 条，南岸及北岸各有 8 条主要支流河道相接，北岸有顾浦、盐铁塘、横沥、桃浦、彭越浦等支流；南岸有西大盈港、东大盈港、新通波塘、蟠龙港、新泾港等支流。

苏州河水系地处北亚热带，四季分明，全年平均气温为 15.4℃，以 1 月最冷，日平均气温为 3.5℃，7 月最热，日平均气温为 27.8℃。苏州河流域的平均降雨量为 1151.6 毫米，降雨天数为 125—136 天（徐祖信，2002）。

#### 2.1.2 苏州河水系的污染概况

从上世纪以来随着苏州河地区人口增多，工业发展，大量生活污水和工业废水肆意排入苏州河，使得苏州河水系的水源受到了严重污染(陈一坤等，1997)。在 1999 年之前，苏州河的水质很差，水体经常处于厌氧状态，呈现严重的黑臭现象。导致这种现象的主要原因有：大量污水未经处理的污水直接排入苏州河及其

支流；沿岸数十座市政泵站在降雨期间不得不经常放江，将合流污水排入河中；由于潮汐作用，大量污水不能及时下泄，在苏州河中下游回荡；支流的闸门除防汛的需要外，均关闭，使得河流的流动性更差（廖振良等，2004）。

随着上海市经济及城市建设的发展，政府部门逐渐加强了对河流污染治理的重视程度。1993年，上海市建成苏州河一期污水截流工程，污水来源大大减少，水质有所改善。1998年，苏州河环境综合整治正式启动。苏州河水环境综合整治一期工程（1998年至2002年）包含十大子项目，可分为3类：（1）以改善水质为目的的工程。包括苏州河支流污水截流工程、支流建闸控制工程、苏州河综合调水工程、底泥疏浚处置工程、河道曝气复氧工程、石洞口城市污水处理厂建设工程。（2）以改善陆域环境为目的的工程。包括环卫码头搬迁及水域保洁工程、苏州河两岸整治工程。（3）以改善相邻水系为目的的工程。包括虹口港、杨浦港地区旱流污水截流工程、虹口港水系整治工程。通过苏州河一期工程的实施，苏州河干流在2000年底基本消除了长达半个多世纪的黑臭现象，干流水质主要指标年均值基本达到国家景观水标准，河道生态系统逐步改善。苏州河水环境综合整治二期（2003年至2005年）工程针对河底淤泥在枯水季节经常泛起；上、下游支流仍然存在许多污水直排河道的污染源；以及干流沿线有许多垃圾堆场和垃圾、粪便码头等污染问题，设计了一系列措施，主要包括三方面，分别为截污，底泥疏浚和综合调水（徐祖信等，2003）。苏州河水环境综合整治一期、二期工程完成以后，苏州河水系的水环境状况有了明显的改善，但改善后的水环境的基础非常脆弱，且水环境的管理机制也还不健全，一旦遇上暴雨，河水污染仍会加剧。目前苏州河水环境综合整治三期工程还在进行中。

2007年，苏州河白鹤、黄渡、华漕、北新泾、武宁路桥和浙江路桥断面的主要水质指标中，除 $\text{NH}_3\text{-N}$ 全面超标外， $\text{COD}_{\text{Cr}}$ 均达到国家地表水IV类水标准； $\text{BOD}_5$ 达到国家地表水V类水标准；白鹤、黄渡断面 $\text{DO}$ 达到国家地表水IV类水标准，华漕、北新泾断面 $\text{DO}$ 达到国家地表水V类水标准，武宁路桥和浙江路桥断面 $\text{DO}$ 劣于V类水标准。与2006年相比，各断面 $\text{NH}_3\text{-N}$ 略有下降，北新泾断面 $\text{DO}$ 从劣于V类水上升为V类水标准，其余指标基本持平（上海市苏州河环境综合整治领导小组办公室，苏州河水质情况，2007）。

## 2.2 采样点的设置和河道概况

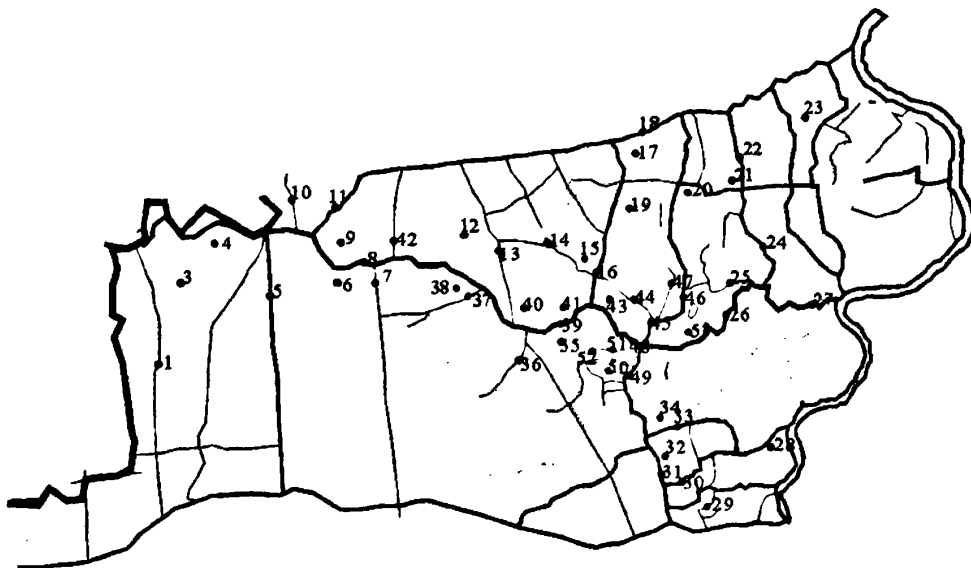


图 1-1 苏州河水系采样点的分布图

Fig.1-1 Distribution of sampling sites in Suzhou Creek Water System

共设置了 53 个采样点，其中在苏州河干流设置了 6 个样点，从上游到下游分别是赵屯、黄渡、华漕、北新泾、武宁路桥和浙江路桥。苏州河水系的 44 条支流中，由于蕴藻浜、西虬江、新泾港这三条支流跨度范围较大，因此分别都设置了 2 个样点，其余支流各设置了 1 个样点。

表 1-1 苏州河水系河道概况

Tab.1-1 General situation of riverways in Suzhou Creek Water System

序号	河道名称	所在区县	河道级别	起点	终点	河道面宽 (m)
1	西大盈港	青浦区	区级	苏州河	淀浦河	25
2	苏州河赵屯	—	市级	—	—	80-90
3	鼓盆港	青浦区	镇级	苏州河	南仙泾	8
4	梁月浦	青浦区	镇级	苏州河	新泾江	8
5	油墩港	青浦区	市级	苏州河	横潦泾	40-50
6	重固艾祁港	青浦区	镇级	苏州河	—	6-8
7	新通波塘	青浦区	区级	苏州河	三泾河	30
8	苏州河黄渡	—	市级	—	—	60-70
9	新河	嘉定区	镇级	老盐铁塘	苏州河	8
10	顾浦	嘉定区	区级	苏州河	浏河	40
11	蕴藻浜1	嘉定区	市级	苏州河	黄浦江	50-60

12	顾岗泾	嘉定区	镇级	封浜	苏州河	30
13	封浜	嘉定区	区级	蕴藻浜	苏州河	25
14	西虬江1	嘉定区	区级	封浜	桃浦河	20
15	建丰河	嘉定区	镇级	嘉定养殖场	俞店浦	20
16	新棧浦	嘉定区	市级	苏州河	蕴藻浜	32
17	鹅蛋浦	宝山区	镇级	蕴藻浜	老走马塘	8
18	蕴藻浜2	嘉定区	市级	苏州河	黄浦江	100
19	新河南浜	普陀区	镇级	桃浦河	新棧浦	18
20	大场朱家浜	宝山区	镇级	桃浦	邮电部	12-15
21	徐家宅河	闸北区	镇级	东茭泾	断	3
22	东茭泾	宝山区	市级	蕴藻浜	彭越浦	25
23	向阳河	宝山区	镇级	淞南九十村	西泗塘	8-10
24	彭越浦	闸北区	区级	走马塘	苏州河	20
25	真如港	普陀区	区级	苏州河	桃浦河	20
26	苏州河武宁路桥	—	市级	—	—	50-60
27	苏州河浙江路桥	—	市级	—	—	50
28	机场河	徐汇区	镇级	黄浦江	断	3
29	梅陇港	徐汇区	区级	张家塘港	春申塘	10
30	漕河泾	徐汇区	区级	新泾港	龙华港、蒲 汇塘交汇	30
31	新泾港1	长宁区	市级	淀浦河	苏州河	22
32	船浜港	闵行区	镇级	新泾港	断	8-10
33	浦汇塘	闵行区	市级	松江北柳泾	龙华港	20
34	野努泾	闵行区	镇级	蒲汇塘	新泾港	15
35	华漕港	闵行区	区级	苏州河	周家浜	14
36	蟠龙港	闵行区	区级	青浦徐泾江	苏州河	25
37	盐仓浦	普陀区	区级	苏州河	凤溪塘	18
38	姚登港	闵行区	镇级	苏州河	—	12
39	苏州河华漕	—	市级	—	—	60-70
40	西沙江	嘉定区	镇级	苏州河	月华江	18
41	沙河	嘉定区	镇级	苏州河	南虬江	12
42	盐铁塘	嘉定区	区级	江苏江阴	苏州河	25
43	小浜河	嘉定区	镇级	西虬江	老申律港	6
44	西虬江2	嘉定区	区级	封浜	桃浦河	20-25
45	木棧港	普陀区	市级	西虬江	苏州河	20
46	桃浦河	普陀区	市级	蕴藻浜	西虬江	15
47	朝阳河	普陀区	区级	真北路	西虬江	15
48	苏州河北新泾	—	市级	—	—	60
49	新泾港2	长宁区	市级	淀浦河	苏州河	15-20
50	陆家浜	长宁区	区级	新泾港	—	6-8
51	新渔浦	长宁区	区级	国防库东浜	新泾港	14
52	绥宁河	长宁区	镇级	周家浜	断	6
53	丽娃河	普陀区	区级	两头断	—	25

从上表可知，苏州河干流除外，在嘉定区选取了 12 条支流，普陀区选取了

7 条支流，闸北区选取了 2 条支流，长宁区选取了 4 条支流，徐汇区选取了 3 条支流，闵行区选取了 6 条支流，宝山区选取了 4 条支流，青浦区选取了 6 条支流。

## 3 研究内容与方法

### 3.1 研究内容

理化参数: 主要包括 TP、BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N、DO、SD、水温、流速等。所调查的生物指标包括: 浮游植物、浮游动物、底栖动物以及大型水生植物。此外还调查了河岸带状况。

### 3.2 水生生物的研究方法

#### 3.2.1 主要仪器设备

采样仪器: 采水器、采泥器、LS45A 型旋杯式流速仪、1L 的聚乙烯瓶、溶氧仪、黑白盘等。

室内实验的仪器: Motic3.0 显微镜、722 型分光光度计、真空泵、抽滤瓶、滤器、移液管等。

#### 3.2.2 采样时间

本研究的采样时间为 2007 年 3 月 29 日至 4 月 12 日。

#### 3.2.3 样品的采集与处理

##### ➤ 浮游生物

用有机玻璃采水器于采样点水下 0.5m 处采水, 放入 1L 的聚乙烯瓶中, 用鲁格氏液固定, 一般 1000 毫升样加 15 毫升鲁格氏液, 放置于暗处。静置 24 小时后, 浓缩至 100 毫升, 再次静置 24 小时后, 浓缩至 30 毫升。将浓缩沉淀后水样充分摇匀后, 立即用吸量管吸出一定量的样品 (浮游植物取 0.1ml, 浮游动物取 1ml), 注入相应的计数框内, 小心盖上盖玻片, 在盖盖玻片时, 要求计数框内没有气泡, 样品不溢出计数框。然后在显微镜下观察计数 (浮游植物在 10×40 倍显微镜下观察, 浮游动物在 10×10 倍显微镜下观察), 并结合水生生物图谱确定种类 (韩茂森等,1995; 周凤霞等,2005)。

##### ➤ 底栖动物

用 1/16m<sup>2</sup> 彼得生采泥器来采集底栖动物样品, 将采回的样品带回实验室,



用 40 目分样筛去除泥沙，筛选出底栖动物，结合中国动物志等确定种类(王家楫，1961；蒋燮治等，1979；沈嘉端，1979)，并将挑出的底栖动物称取湿重，然后放入加入甘油的 75%酒精溶液中固定。

➤ 大型水生植物：目测法。

➤ 叶绿素 a 含量测定：

在采回的 1L 水样中取出 300ml 水进行抽滤，加 5ml96%酒精，放冰箱内保存 24 小时后，将浸提液过滤，取上清液，用分光光度计测定。

## 4 结果分析与讨论

### 4.1 苏州河水系中的水生生物群落结构特征分析研究

#### 4.1.1 浮游植物

##### 4.1.1.1 浮游植物的种类和优势种的统计结果

从表 4-1 可见, 样品中共检出浮游植物 7 门 68 属 134 种, 其中以绿藻门 (*Chlorophyta*)、硅藻门 (*Bacillariophyta*) 种类居多, 分别占 50.75% 和 26.87%。可见在春季, 苏州河水系的浮游植物以绿藻门、硅藻门占绝对优势。而出现频率最多的优势属为绿藻门的小球藻属 (*Chlorella*)、卵囊藻属 (*Oocystis*) 及韦丝藻属 (*Westella*) 和硅藻门的小环藻属 (*Cyclotella*)。

表 4-1 苏州河水系浮游植物的种类统计结果

Tab.4-1 The statistic of phytoplankton species in Suzhou Creek Water System

浮游植物类别		属	种	种数所占比例
绿藻门	<i>Chlorophyta</i>	35	68	50.75%
硅藻门	<i>Bacillariophyta</i>	16	36	26.87%
蓝藻门	<i>Cyanophyta</i>	6	8	5.97%
黄藻门	<i>Xanthophyta</i>	3	6	4.48%
隐藻门	<i>Cryptophyta</i>	3	5	3.73%
甲藻门	<i>Pyrrophyta</i>	3	3	2.24%
裸藻门	<i>Euglenophyta</i>	2	8	5.97%
合计		68	134	100%

苏州河水系浮游植物优势种主要为硅藻门的梅尼小环藻 (*Cyclotella meneghiniana*)；绿藻门的小球藻 (*Chlorella vulgaris*)、湖生卵囊藻 (*Oocystis lacustis*) 及韦丝藻 (*Westella botryoides*)。具体情况见表 4-2。在浮游植物优势种中, 污染指示种有 3 种, 分别是梅尼小环藻 ( $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污)、水花束丝藻 (*Aphanizomenon flosaquae*) ( $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污) 及四尾栅藻 (*Scenedesmas quadricauda*) ( $\beta$ -中污), 且梅尼小环藻的出现频率非常高。从浮游植物优势种角度来看, 苏州河水系的水质属于  $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污水平。

表 4-2 苏州河水系浮游植物的优势种

序号	河道名称	优势种
1	西大盈港	小球藻、湖生卵囊藻、小环藻、韦丝藻
2	苏州河赵屯	小球藻、湖生卵囊藻、韦丝藻、小环藻
3	鼓盆港	小球藻、湖生卵囊藻、小环藻、韦丝藻
4	梁月浦	小球藻、小环藻
5	油墩港	小球藻、小环藻、湖生卵囊藻
6	重固艾祁港	无
7	新通波塘	小球藻、小环藻、湖生卵囊藻、镰形纤维藻奇异变种
8	苏州河黄渡	小球藻、小环藻、湖生卵囊藻
9	新河	具角翼膜藻
10	顾浦	具角翼膜藻、小环藻、梅尼小环藻
11	蕴藻浜1	小球藻、卵形隐藻、湖生卵囊藻、梅尼小环藻
12	顾岗泾	梅尼小环藻、水花束丝藻
13	封浜	梅尼小环藻、小球藻、湖生卵囊藻
14	西虬江1	韦丝藻、水花束丝藻、逗点衣藻、小空星藻、吻状隐藻
15	建丰河	梅尼小环藻、湖生卵囊藻、针形纤维藻、水花束丝藻
16	新棧浦	水花束丝藻、小球藻、梅尼小环藻
17	鹅蛋浦	梅尼小环藻、小球藻
18	蕴藻浜2	梅尼小环藻、小球藻
19	新河南浜	梅尼小环藻、小球藻、韦丝藻
20	大场朱家浜	逗点衣藻
21	徐家宅河	近缘针杆藻、双头杆藻
22	东茭泾	梅尼小环藻、小球藻
23	向阳河	小球藻、梅尼小环藻
24	彭越浦	梅尼小环藻、小球藻、湖生卵囊藻
25	真如港	四尾栅藻、小空星藻
26	苏州河武宁路桥	梅尼小环藻、小球藻、湖生卵囊藻
27	苏州河浙江路桥	杆裂丝藻、梅尼小环藻
28	机场河	梅尼小环藻、水花束丝藻
29	梅陇港	梅尼小环藻、卷曲纤维藻、水花束丝藻
30	漕河泾	梅尼小环藻、卷曲纤维藻、韦丝藻、小球藻
31	新泾港1	梅尼小环藻、卷曲纤维藻
32	船浜港	梅尼小环藻、小球藻、湖生卵囊藻
33	浦汇塘	水花束丝藻、梅尼小环藻、小球藻
34	野努泾	梅尼小环藻、水花束丝藻、卷曲纤维藻
35	华漕港	韦丝藻、梅尼小环藻、卷曲纤维藻、水花束丝藻、湖生卵囊藻
36	蟠龙港	梅尼小环藻、卷曲纤维藻
37	盐仓浦	韦丝藻、小球藻、梅尼小环藻、卷曲纤维藻
38	姚春港	梅尼小环藻、小球藻、韦丝藻、卷曲纤维藻
39	苏州河华漕	梅尼小环藻、卷曲纤维藻、韦丝藻
40	西沙江	梅尼小环藻
41	沙河	梅尼小环藻、小球藻

42	盐铁塘	梅尼小环藻、小球藻、湖生卵囊藻
43	小浜河	梅尼小环藻
44	西虬江2	梅尼小环藻
45	木梳港	梅尼小环藻、小球藻、湖生卵囊藻
46	桃浦河	梅尼小环藻、韦丝藻
47	朝阳河	梅尼小环藻、韦丝藻
48	苏州河北新泾	梅尼小环藻、小球藻
49	新泾港2	梅尼小环藻
50	陆家浜	梅尼小环藻
51	新渔浦	小空星藻
52	绥宁河	逗点衣藻、梅尼小环藻
53	丽娃河	小球藻、梅尼小环藻

注:

A: 梅尼小环藻 *Cyclotella meneghiniana* α-中污 β-中污

B: 水花束丝藻 *Aphanizomenon flosaquae* α-中污 β-中污

C: 四尾栅藻 *Scenedesmas quadricauda* β-中污

D: 逗点衣藻 *Chlamydomonas komma*

E: 杆裂丝藻 *Stichococcus bacillaris*

F: 湖生卵囊藻 *Oocystis lacustis*

G: 近缘针杆藻 *Synedra affinis*

H: 具角翼膜藻 *Pteromonas angulosa*

I: 卷曲纤维藻 *Ankistrodesmus convolutus*

J: 镰形纤维藻奇异变种 *Ankistrodesmus falcatus var*

K: 卵形隐藻 *Cryptomonas ovata*

L: 针形纤维藻 *Ankistrodesmus acicularia*

M: 双头针杆藻 *Synedra amphicephala*

N: 韦丝藻 *Westella botryoides*

O: 吻状隐藻 *Cryptomonas rostrata*

P: 小空星藻 *Coelastrum microporum*

Q: 小球藻 *Chlorella vulgaris*

#### 4.1.1.2 浮游植物密度及叶绿素 a 含量统计结果

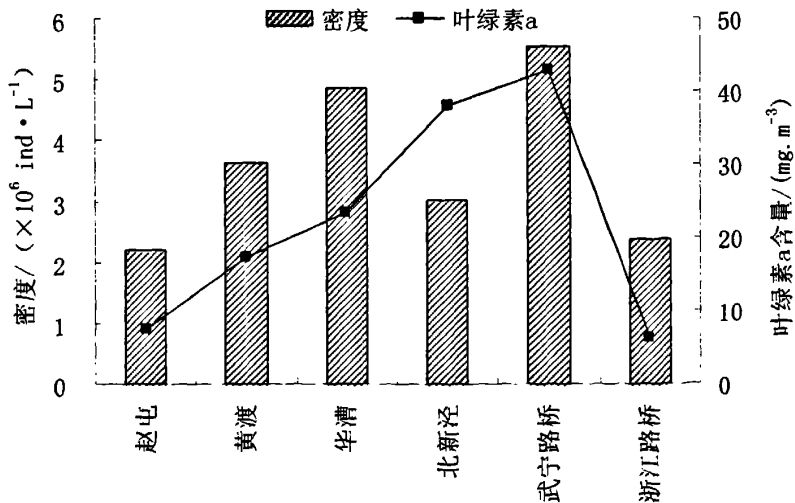


图 4-1 苏州河干流断面浮游植物密度及叶绿素 a 含量

Fig.4-1 The density of phytoplankton and concentration of Chl.a at the main stream stations of Suzhou Creek

由图 4-1 可见苏州河干流从上游到下游各断面浮游植物密度及叶绿素 a 含量的变化情况, 其中浮游植物密度变化范围是  $2.182 \times 10^6 \sim 5.525 \times 10^6 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ , 武宁路桥断面的浮游植物密度最大, 赵屯断面的浮游植物密度最小。叶绿素 a 浓度变化范围是  $6.43 \sim 42.82 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ , 除北新泾外, 其变化趋势基本与各断面浮游植物密度变化趋势相符合。

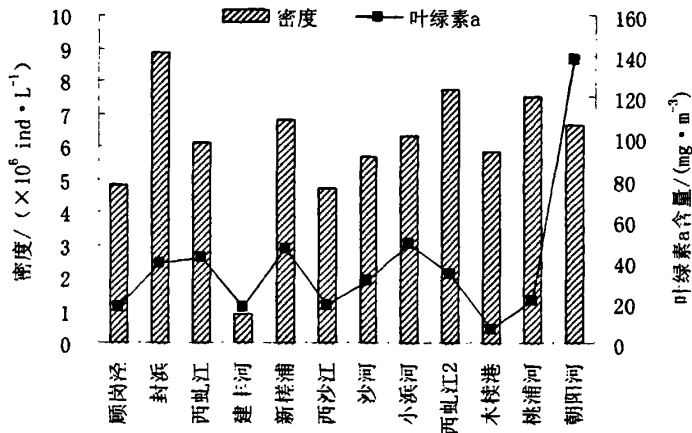


图 4-2 苏州河以北支流采样点的浮游植物密度及叶绿素 a 含量

Fig.4-2 The density of phytoplankton and concentration of Chl.a at the tributary sampling sites in the north of Suzhou Creek

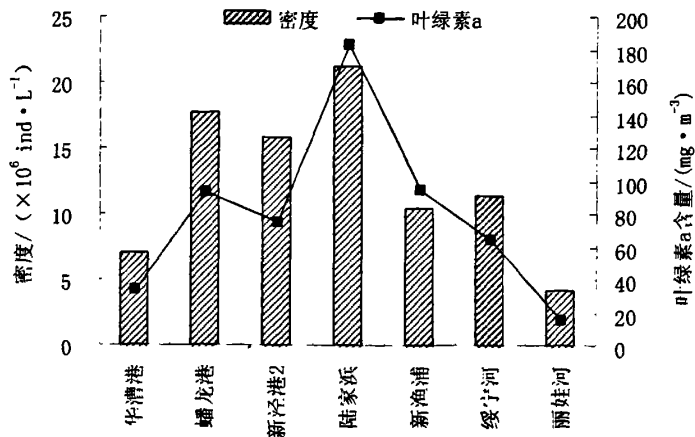


图 4-3 苏州河以南支流采样点的浮游植物密度及叶绿素 a 含量

Fig.4-3 The density of phytoplankton and concentration of Chl.a at the tributary sampling sites in the south of Suzhou Creek

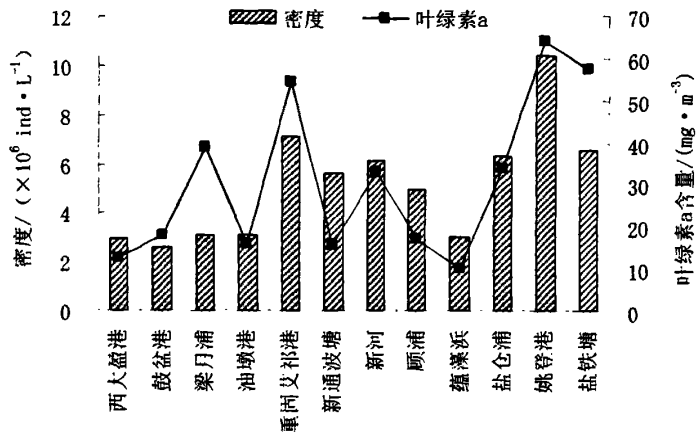


图 4-4 苏州河以西支流采样点的浮游植物密度及叶绿素 a 含量

Fig.4-4 The density of phytoplankton and concentration of Chl.a at the tributary sampling sites in the west of Suzhou Creek

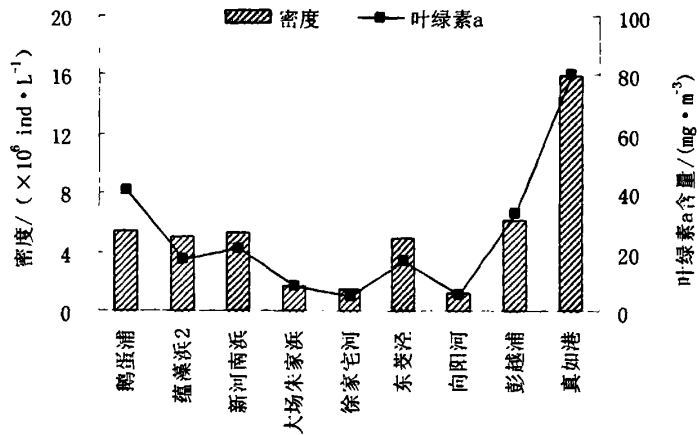


图 4-5 苏州河东北部支流采样点的浮游植物密度及叶绿素 a 含量

Fig.4-5 The density of phytoplankton and concentration of Chl.a at the tributary sampling sites in the northeast of Suzhou Creek

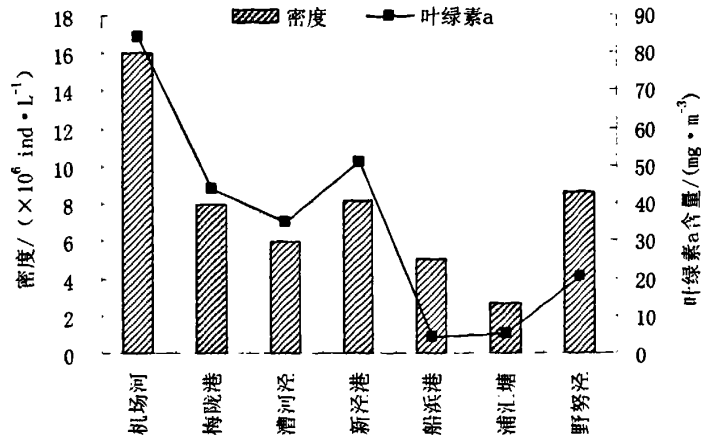


图 4-6 苏州河东南部支流采样点的浮游植物密度及叶绿素 a 含量

Fig.4-6 The density of phytoplankton and concentration of Chl.a at the tributary sampling sites in the southeast of Suzhou Creek

图 4-2 至 4-6 表明了苏州河支流样点的浮游植物密度及叶绿素 a 含量情况。苏州河以北共调查了 12 个支流样点，其中封浜的浮游植物密度最大，建丰河的浮游植物密度最小；苏州河以南共调查了 7 个支流样点，其中陆家浜的浮游植物密度最大，丽娃河的浮游植物密度最小；苏州河以西支流样点共调查了 12 个，姚登港的浮游植物密度最大，鼓盆港的浮游植物密度最小；苏州河东北部区域共调查了 9 个支流样点，真如港的浮游植物密度最大，徐家宅河的浮游植物密度最小；苏州河东南部区域共调查了 7 个支流样点，机场河的浮游植物密度最大，浦汇塘的浮游植物密度最小。

从总体上看，苏州河水系各支流样点中，浮游植物密度最大的是第 50 个样点陆家浜（苏州河以南）， $21.155 \times 10^6 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ ；浮游植物密度最小的是第 15 个样点建丰河（苏州河以北）， $0.848 \times 10^6 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 。而绿素 a 含量普遍很高 ( $>10 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ )，最高的也是陆家浜， $183.05 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ；最低的是第 32 个样点船浜港， $4.36 \text{ mg} \cdot \text{m}^{-3}$ 。除少数几个样点偏差较大外，其余支流样点叶绿素 a 含量变化趋势与浮游植物密度变化趋势基本相符合。

## 4.1.2 浮游动物

### 4.1.2.1 浮游动物的种类和优势种的统计结果

苏州河水系浮游动物种类比浮游植物要少，共计 57 属 94 种（见表 4-3），其中原生动物属种最多，种数占了 76.60%，其次是轮虫。

表 4-3 苏州河水系浮游动物的种类统计结果

Tab.4-3 The statistic of zooplankton species in Suzhou Creek Water System

浮游动物类别	属	种	种数所占比例
原生动物	45	72	76.60%
轮虫	8	17	18.09%
桡足类	3	3	3.19%
枝角类	1	2	2.13%
合计	57	94	100%

苏州河水系浮游动物优势种主要为月形刺胞虫(*Acanthocystis erinaceus*)、长三肢轮虫(*Filinia longiseta*)。具体情况见表 4-4。在各优势种中(见表 4-4),浮游动物污染指示种有 4 种,分别是长三肢轮虫( $\alpha$ -中污)、萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)( $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污)、普通表壳虫(*Arcella vulgaris*)( $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污)及尾草履虫(*Paramecium candatum*)( $\alpha$ -中污),其中长三肢轮虫的出现频率最高。从浮游动物优势种角度来看,苏州河水系的水质普遍属于 $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污。

表 4-4 苏州河水系浮游动物优势种统计结果

Tab.4-4 Dominant species of zooplankton in Suzhou Creek Water System

序号	河道名称	优势种
1	西大盈港	长三肢轮虫、月形刺胞虫
2	苏州河赵屯	长三肢轮虫、月形刺胞虫
3	鼓盆港	长三肢轮虫、月形刺胞虫
4	梁月浦	长三肢轮虫
5	油墩港	长三肢轮虫、月形刺胞虫
6	重固艾祁港	长三肢轮虫、月形刺胞虫
7	新通波塘	琵琶钟虫、月形刺胞虫
8	苏州河黄渡	月形刺胞虫
9	新河	月形刺胞虫
10	顾浦	长三肢轮虫
11	蕴藻浜1	长肢多肢轮虫
12	顾岗泾	普通表壳虫
13	封浜	网藤胞虫、月形刺胞虫
14	西虬江1	网藤胞虫、月形刺胞虫
15	建丰河	长三肢轮虫
16	新槎浦	长三肢轮虫、网藤胞虫、月形刺胞虫
17	鹅蛋浦	月形刺胞虫
18	蕴藻浜2	网藤胞虫、月形刺胞虫
19	新河南浜	长三肢轮虫、月形刺胞虫
20	大场朱家浜	长三肢轮虫



21	徐家宅河	尾草履虫
22	东茭泾	长三肢轮虫
23	向阳河	尾草履虫
24	彭越浦	长三肢轮虫
25	真如港	中华似铃壳虫
26	苏州河武宁路桥	长三肢轮虫、琵琶钟虫、月形刺胞虫
27	苏州河浙江路桥	无
28	机场河	月形刺胞虫
29	梅陇港	月形刺胞虫
30	漕河泾	月形刺胞虫
31	新泾港1	月形刺胞虫
32	船浜港	长三肢轮虫、尾草履虫
33	浦汇塘	无
34	野努泾	网藤胞虫、月形刺胞虫
35	华漕港	月形刺胞虫
36	蟠龙港	月形刺胞虫
37	盐仓浦	月形刺胞虫、长肢多肢轮虫
38	姚登港	月形刺胞虫
39	苏州河华漕	月形刺胞虫
40	西沙江	月形刺胞虫、桡足类幼虫
41	沙河	月形刺胞虫
42	盐铁塘	长三肢轮虫、长肢多肢轮虫
43	小浜河	琵琶钟虫
44	西虬江2	普通表壳虫
45	木棣港	长三肢轮虫、萼花臂尾轮虫、琵琶钟虫
46	桃浦河	月形刺胞虫
47	朝阳河	月形刺胞虫、琵琶钟虫
48	苏州河北新泾	琵琶钟虫
49	新泾港2	月形刺胞虫
50	陆家浜	月形刺胞虫
51	新渔浦	月形刺胞虫
52	绥宁河	月形刺胞虫
53	丽娃河	月形刺胞虫

注:

A:长三肢轮虫 *Filinia longiseta*  $\alpha$ -中污

B:萼花臂尾轮虫 *Brachionus calyciflorus*  $\alpha$ -中污  $\beta$ -中污

C:普通表壳虫 *Arcella vulgaris*  $\alpha$ -中污  $\beta$ -中污

D:尾草履虫 *Paramecium candatum*  $\alpha$ -中污

E:琵琶钟虫 *Vorticella lutea*

F:网藤胞虫 *Hedriocystis reticulata*

G:月形刺胞虫 *Acanthocystis erinaceus*

H:长肢多肢轮虫 *Polyarthra dolichoptera*

I:中华似铃壳虫 *Tintinnopsis sinensis*

J:桡足类幼虫

#### 4.1.2.2 浮游动物密度的统计结果

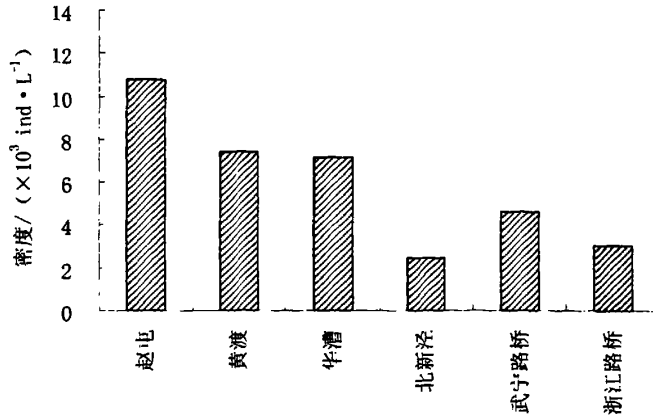


图 4-7 苏州河干流断面浮游动物密度

Fig.4-7 The density of zooplankton at the main stream stations of Suzhou Creek

由图 4-7 可见，苏州河干流从上游到下游各断面浮游动物密度的变化情况，其中浮游动物密度变化范围是  $2.46 \times 10^3 \sim 10.80 \times 10^3 \text{ ind} \cdot \text{L}^{-1}$ ，除北新泾外，从上游到下游各断面浮游动物密度的变化呈递减的趋势。其中赵屯断面的浮游动物密度最大，是苏州河干流浮游动物平均密度的 2 倍；北新泾断面的浮游动物密度最小。

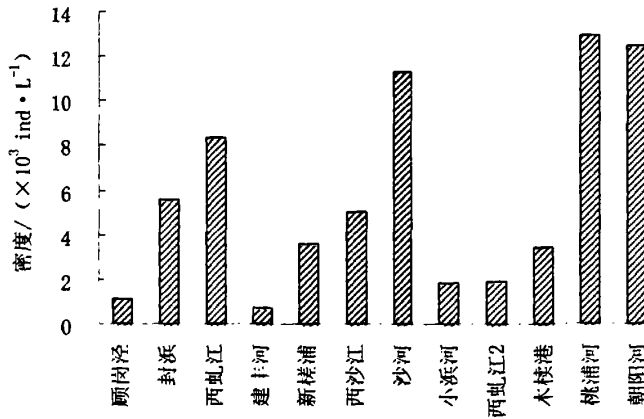


图 4-8 苏州河以北支流采样点浮游动物密度

Fig.4-8 The density of zooplankton at the tributary sampling sites in the north of Suzhou Creek

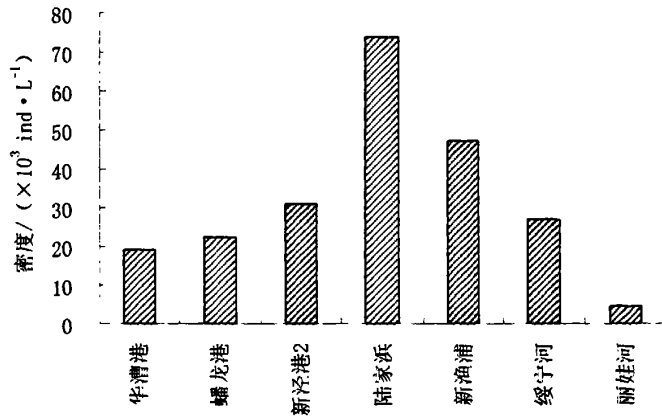


图 4-9 苏州河以南支流采样点浮游动物密度

Fig.4-9 The density of zooplankton at the tributary sampling sites in the south of Suzhou Creek

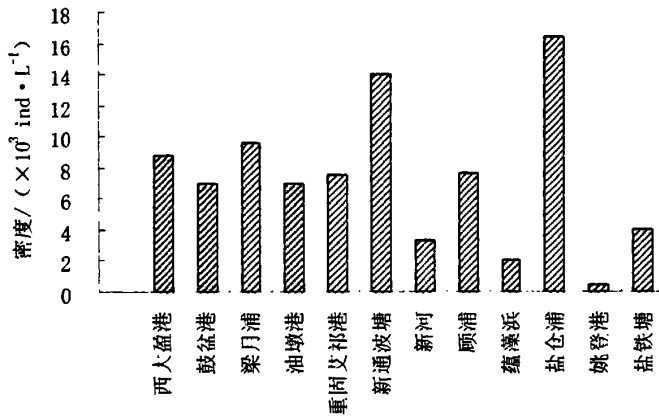


图 4-10 苏州河以西支流采样点浮游动物密度

Fig.4-10 The density of zooplankton at the tributary sampling sites in the west of Suzhou Creek

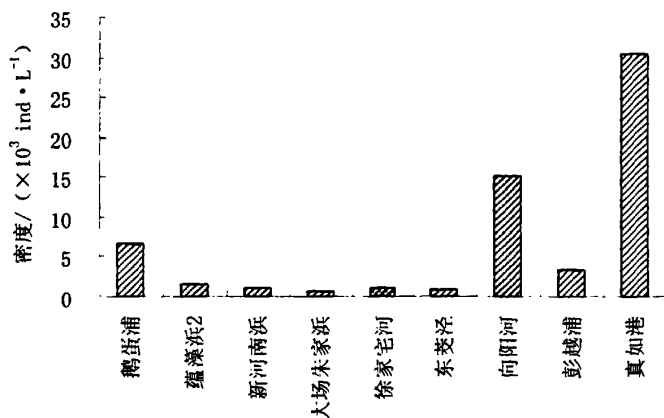


图 4-11 苏州河东北部支流采样点浮游动物密度

Fig.4-11 The density of zooplankton at the tributary sampling sites in the northeast of Suzhou Creek

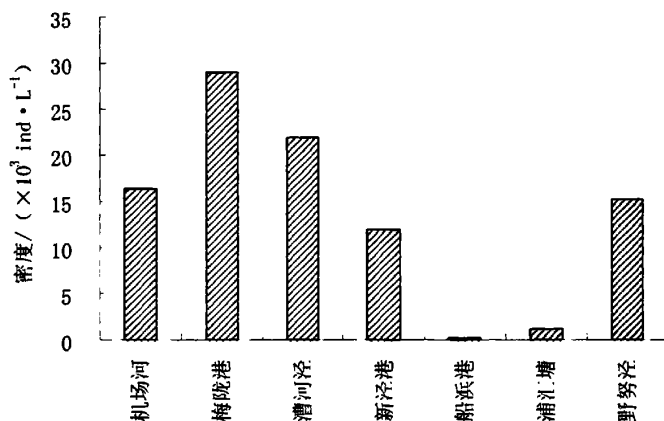


图 4-12 苏州河东南部支流采样点浮游动物密度

Fig.4-12 The density of zooplankton at the tributary sampling sites in the southeast of Suzhou Creek

图 4-8 至图 4-12 分别表明了苏州河支流样点的浮游动物密度的情况。苏州河以北支流样点中，桃浦河的浮游动物密度最大，建丰河的浮游动物最小；苏州河以南支流样点中，其中陆家浜的浮游动物密度最大，丽娃河的浮游动物密度最小；苏州河以西支流样点中，盐仓浦的浮游动物密度最大，姚登港的浮游动物密度最小；苏州河东北部区域支流样点中，除真如港、向阳河、鹅蛋浦外，其余几个样点浮游动物密度相对非常小，其中，真如港的浮游动物密度最大，徐家宅河的浮游动物密度最小；苏州河东南部区域支流样点中，梅陇港的浮游动物密度最大，

船浜港的浮游动物密度最小。

总的来看，苏州河支流样点中，浮游动物密度在各样点的差异非常大，其中密度最大的是第 50 号样点陆家浜，高达  $73.440 \times 10^3 \text{ind.l}^{-1}$ ；浮游动物密度最小的是第 32 号样点船浜港，为  $0.240 \times 10^3 \text{ind.l}^{-1}$ 。此外，在蕴藻浜、西虬江、新泾港各设置了 2 个样点，调查发现西虬江两个样点之间浮游动物密度差异最大，西虬江 1 是西虬江 2 的 4.4 倍；其次是新泾港，新泾港 2 是新泾港 1 的 2.6 倍，与前者相比蕴藻浜所设的 2 个样点差异较小。而从整体上看，浮游动物密度较大的各样点集中在苏州河水系下游区域。

### 4.1.3 底栖动物

表 4-5 苏州河水系底栖动物的种类统计结果

Tab.4-5 The statistic of zoobenthos species in Suzhou Creek Water System

门	纲	种	拉丁名	种数所占比例
环节动物门	寡毛纲	霍浦水丝蚓	<i>Limnodrilus hoffmeisteri</i>	42.85%
		中华颤蚓	<i>Tubifex sinicus</i>	
		苏氏尾鳃蚓	<i>Branchiura sowerbyi</i>	
软体动物门	腹足纲	铜锈环棱螺	<i>Bellamyia aeruginosa</i>	42.85%
		梨形环棱螺	<i>Bellamyia purificat</i>	
		蛭纲	八目石蛭	<i>Erpobdella octoculata</i>
节肢动物门	昆虫纲	摇蚊幼虫	<i>Chironomid larvae</i>	14.29%

苏州河水系底栖动物种类少，共检出 7 种，其中寡毛类有 3 种，占 42.85%，软体动物有 3 种，占 42.85%，水生昆虫有 1 种，占 14.29%。优势类群为寡毛类，优势种为霍浦水丝蚓 (*Limnodrilus hoffmeisteri*)，为高耐污种。

### 4.1.4 大型水生植物

表 4-6 苏州河水系大型水生植物的种类

Tab.4-6 The statistic of large hydrophyte species in Suzhou Creek Water System

植物名称	拉丁名	植物类型	科	属
菹草	<i>Potamogeton crispus</i>	沉水植物	眼子菜科	眼子菜属
尖叶眼子菜	<i>Potamogeton oxyphyllus</i>	沉水植物	眼子菜科	眼子菜属
马莱眼子菜	<i>Potamogeton malaianus</i>	沉水植物	眼子菜科	眼子菜属
金鱼藻	<i>Ceratophyllum demersum</i>	沉水植物	金鱼藻科	金鱼藻属
浮萍	<i>Lemna minor</i>	浮水植物	浮萍科	浮萍属

睡莲	<i>Nymphaea tetragona</i>	浮水植物	睡莲科	睡莲属
荇菜	<i>Nymphoides peltum</i>	浮水植物	龙胆科	荇菜属
芦苇	<i>Phragmites communis</i>	挺水植物	禾本科	芦苇属
水花生	<i>Alternanthera philoxeroides</i>	挺水植物	苋科	莲子草属
水葱	<i>Scirpus validus</i>	挺水植物	莎草科	蘆草属
美人蕉	<i>Canna indica</i>	挺水植物	美人蕉科	美人蕉属
加拿大一枝黄花	<i>Solidago canadensis</i>	挺水植物	菊科	黄花属
宽叶香蒲	<i>Typha latifolia</i>	挺水植物	香蒲科	香蒲属
狭叶香蒲	<i>Typha angustifolia</i>	挺水植物	香蒲科	香蒲属

在对苏州河水系个样点调查后发现,在3月下旬到4月上旬中,苏州河水系大型水生植物共计有11属11科14种。有60%的样点调查到了有大型水生植物生长。其中菹草(*Potamogeton crispus*)、浮萍(*Lemna minor*)及芦苇(*Phragmites communis*)的出现频率较高。种类多样性方面,挺水植物>沉水植物>浮水植物。

## 4.2 苏州河水系的理化参数

表 4-7 苏州河水系各样点的理化参数

Tab.4-7 Physicochemical parameters of each sampling site in Suzhou Creek Water System

序号	河道名称	NH <sub>3</sub> -N (mg/l)	TP (mg/l)	COD <sub>Cr</sub> (mg/l)	BOD <sub>5</sub> (mg/l)	DO (mg/l)	T (°C)	SD (cm)	pH	流速 v (m/s)
1	西大盈港	15.22	0.68	78.70	10.32	3.20	19.0	34	—	—
2	赵屯*	11.97	0.29	122.00	20.88	2.70	20.0	26	—	—
3	鼓盆港	12.61	0.26	94.50	25.68	3.00	21.0	50	—	—
4	梁月浦	10.22	0.27	51.20	18.64	2.50	21.0	65	—	—
5	油墩港	11.59	0.23	39.40	16.40	2.10	21.0	45	—	—
6	重固艾祁港	11.43	0.64	66.90	14.80	3.40	21.0	75	—	—
7	新通波塘	13.20	0.30	63.00	14.80	1.20	21.0	34	—	—
8	黄渡*	11.43	0.24	47.20	14.48	3.60	21.0	32	—	—
9	新河	1.94	0.09	51.20	13.04	8.60	21.0	46	8.4	0.038
10	顾浦	7.26	0.30	70.80	18.80	7.80	21.0	45	7.8	0.037
11	蕴藻浜 1	7.16	0.08	43.30	13.84	7.50	21.0	32	8.6	0.046
12	顾岗泾	13.55	0.38	240.00	32.76	0.50	16.3	22	7.3	0
13	封浜	8.82	0.26	37.80	21.28	1.20	14.1	29	8.2	0.123

14	西虬江 1	12.34	0.35	56.60	16.00	9.80	16.0	43	7.7	0.047
15	建丰河	14.84	0.39	105.00	17.52	0.50	20.0	27	7.7	0.034
16	新槎浦	10.97	0.28	44.40	16.08	1.10	17.3	32	8.3	0.055
17	鹅蛋浦	8.96	0.16	52.50	18.20	2.70	18.6	26	8.3	0.038
18	蕴藻浜 2	9.20	0.19	48.50	17.68	9.20	18.5	18	8.3	0.047
19	新河南浜	9.25	0.18	52.50	18.24	1.00	18.4	34	8.3	0.043
20	大场朱家浜	13.07	0.53	186.00	50.26	0.80	18.5	13	8.4	0.010
21	徐家宅河	8.18	0.21	88.20	17.44	8.50	21.5	32	8.3	0.061
22	东茭泾	12.29	0.26	72.70	24.48	1.40	19.4	37	8.5	0.042
23	向阳河	10.62	0.32	56.60	16.72	1.40	19.0	42	8.8	0
24	彭越浦	8.50	0.20	56.60	9.76	2.60	20.0	44	8.5	0.147
25	真如港	2.53	0.10	48.50	13.36	10.80	16.4	49	9.2	0.036
26	武宁路桥*	9.12	0.23	60.60	9.36	2.50	18.8	60	8.4	0.234
27	浙江路*	4.58	0.08	16.50	7.44	3.90	17.2	22	8.1	0.161
28	机场河	2.61	0.05	41.20	19.84	10.50	16.7	65	8.5	—
29	梅陇港	8.82	0.17	37.10	12.16	2.00	18.2	43	8.1	0.036
30	漕河泾	10.30	0.12	45.30	19.60	3.10	19.5	21	8.4	0.030
31	新泾港 1	9.66	0.14	49.40	12.56	3.20	19.6	24	8.4	0.033
32	船浜港	37.16	0.43	214.00	58.40	0.40	20.5	29	8.1	0
33	浦汇塘	15.62	0.30	103.00	24.08	0.70	19.5	21	8.2	0.088
34	野努泾	12.42	0.16	57.70	21.20	2.60	19.6	23	8.2	0.038
35	华漕港	10.89	0.11	41.20	18.80	3.90	19.5	32	8.5	0.032
36	蟠龙港	10.60	0.11	41.20	19.76	5.50	20.5	32	8.5	0.067
37	盐仓浦	12.05	0.14	45.30	13.60	7.10	20.7	34	8.7	0.046
38	姚登港	12.05	0.15	61.80	18.48	8.00	—	31	9.0	0.034
39	华漕*	10.87	0.16	33.00	9.92	3.10	20.4	28	8.4	0.239
40	西沙江	9.25	0.05	37.10	11.60	6.20	19.8	51	8.3	0.042
41	沙河	14.63	0.09	70.00	32.48	5.00	18.9	28	8.9	0.048
42	盐铁塘	14.20	0.12	28.30	6.40	1.70	17.8	22	7.7	0.065
43	小浜河	14.52	0.25	60.60	24.56	4.20	16.7	24	8.5	0.042
44	西虬江 2	10.33	0.24	137.00	15.60	4.20	17.6	24	8.6	0.044
45	木棧港	12.21	0.14	28.30	5.68	3.60	18.6	22	8.4	0.263
46	桃浦河	26.67	0.52	162.00	47.60	0.70	19.3	19	8.1	0.044
47	朝阳河	14.47	0.12	44.40	21.76	10.20	18.8	33	8.8	0.050

48	北新泾*	11.67	0.17	24.20	11.60	1.60	20.7	25	8.2	0.218
49	新泾港 2	12.40	0.19	24.20	13.04	11.40	20.9	31	8.8	0.064
50	陆家浜	14.20	0.24	48.50	19.68	11.80	21.8	41	8.5	0.011
51	新渔浦	4.41	0.10	64.60	25.44	—	22.7	31	9.0	0.014
52	绥宁河	12.56	0.53	129.00	24.48	1.00	20.6	22	8.4	0.038
53	丽娃河	2.68	0.03	4.04	9.04	9.90	21.4	71	8.5	0.048

注：\*表示干流样点

本次调查对苏州河干流 6 个断面和苏州河水系的 44 条支流的水质状况进行了采样分析，这 6 个断面从上游到下游分别是赵屯、黄渡、华漕、北新泾、武宁路桥和浙江路桥，基本反映了调查期间苏州河水系的水质状况。

#### 4.2.1 苏州河干流水质

苏州河干流污染仍较为严重，COD<sub>Cr</sub>、BOD<sub>5</sub>、NH<sub>3</sub>-N 普遍劣于 V 类（GB3838-2002）；NH<sub>3</sub>-N 均值为 9.94 mg/L，远高于上海市地面水五级标准值（4mg/L），约为 V 类标准 5 倍（2.0mg/L）；TP 的均值为 0.195mg/L，处于 III 类标准；BOD<sub>5</sub> 处于 V 类~劣 V 类之间，均值为 12.28 mg/L，为劣 V 类；COD<sub>Cr</sub> 变化范围是 16.50~122.00 mg/L，均值是 50.58mg/L，处于劣 V 类水标准，其中赵屯断面的 COD<sub>Cr</sub> 超出均值的 2 倍，为劣 V 类；DO 处于 IV 类~劣 V 类之间，均值为 2.9mg/L，达到 V 类水标准，其中北新泾断面的 DO 值最低，为劣 V 类。

#### 4.2.2 苏州河支流水质

总体上讲，苏州河支流的有机污染普遍较严重。

##### 1. NH<sub>3</sub>-N

苏州河水系支流中 NH<sub>3</sub>-N 的变化范围为 1.94~37.16mg/L，船浜港（32）的污染最为严重，达 37.16mg/L，为地表水环境质量标准 V 类水标准的的 18 倍左右，其次是桃浦河达 26.67mg/L，这两条支流的污染程度明显重于苏州河干流断面。除新河（IV）外，其余支流均为劣 V 类水标准。这表明苏州河水系 NH<sub>3</sub>-N 污染是一个普遍性问题，面源污染的贡献较大。

##### 2. TP

苏州河支流中 TP 的变化范围为 0.03~0.68mg/L，其中西大盈港的 TP 最高，达到 0.68 mg/L，劣于 V 类。各支流的 TP 变化较大，其中有 20 条支流处于 II~III 类水之间，15 条为 IV 类~V 类之间，8 条为劣 V 类水标准。



### 3. BOD<sub>5</sub>

各支流 BOD<sub>5</sub> 的变化范围为 5.68~58.40mg/L, 以船浜港的污染最为严重, 为 V 类标准的 5.84 倍; 大场朱家浜的污染次之, 为 V 类标准的 5.03 倍。除木棧港 (IV 类)、盐铁塘 (V 类)、丽娃河 (V 类)、彭越浦 (V 类) 这 4 条支流外, 其余支流均劣于 V 类。支流的污染程度明显重于苏州河干流断面。

### 3. COD<sub>Cr</sub>

各支流的 COD<sub>Cr</sub> 污染明显重于干流, 含量在 4.04~240.00mg/L 之间。顾岗泾、船浜港这两条支流的 COD<sub>Cr</sub> 含量均在 200mg/L 以上, 分别是 V 类标准 5.35 和 6 倍。浦汇塘、建丰河、绥宁河、桃浦河和大场朱家浜的 COD<sub>Cr</sub> 含量都在 100mg/L 以上, 而梅陇港、西沙江、封浜和油墩港的污染相对较轻, 均为 V 类标准, 盐铁塘、木棧港达到了 IV 类标准, 丽娃河的 COD<sub>Cr</sub> 含量最小, 达到了 I 类标准。

### 4. DO

各支流 DO 的变化范围为 0.4~11.8mg/L, 新渔浦、陆家浜、真如港、机场河和朝阳河的 DO 值都在 10mg/L 以上, 为 I 类水。共有 14 条支流处于 I 类~II 类水标准之间; 16 条支流处于 III 类~V 类水标准之间; 其余 14 条支流则都劣于 V 类水标准, 其中船浜港的 DO 含量最低, 为 0.4 mg/L。

## 4.3 河岸带状况分析

表 4-8 岸坡类型和植被覆盖率

Tab.4-8 Types of bank slope and vegetation coverage

序号	河道名称	岸坡类型	两岸植被覆盖率%
1	西大盈港	混合岸坡	80
2	苏州河赵屯	混合岸坡	70
3	鼓盆港	自然土质岸坡	40
4	梁月浦	混合岸坡	70
5	油墩港	混合岸坡	50
6	重固艾祁港	自然土质岸坡	65
7	新通波塘	石砌岸坡	70
8	苏州河黄渡	石砌岸坡	45
9	新河	自然土质岸坡	85
10	顾浦	石砌岸坡	20

11	蕴藻浜 1	石砌岸坡	60
12	顾岗泾	石砌岸坡	85
13	封浜	石砌岸坡	30
14	西虬江 1	混合岸坡	50
15	建丰河	混合岸坡	40
16	新槎浦	混合岸坡	75
17	鹅蛋浦	混合岸坡	60
18	蕴藻浜 2	石砌岸坡	20
19	新河南浜	水泥岸坡	85
20	大场朱家浜	混合岸坡	85
21	徐家宅河	混合岸坡	40
22	东茭泾	石砌岸坡	10
23	向阳河	水泥岸坡	75
24	彭越浦	石砌岸坡	5
25	真如港	水泥岸坡	20
26	苏州河武宁路桥	水泥岸坡	5
27	苏州河浙江路	水泥岸坡	75
28	机场河	水泥岸坡	50
29	梅陇港	自然土质岸坡	55
30	漕河泾	水泥岸坡	—
31	新泾港 1	混合岸坡	30
32	船浜港	自然土质岸坡	10
33	浦汇塘	石砌岸坡	45
34	野努泾	石砌岸坡	0
35	华漕港	混合岸坡	5
36	蟠龙港	混合岸坡	10
37	盐仓浦	石砌岸坡	2
38	姚登港	混合岸坡	—
39	苏州河华漕	石砌岸坡	—
40	西沙江	自然土质岸坡	65
41	沙河	混合岸坡	45
42	盐铁塘	混合岸坡	70
43	小浜河	石砌岸坡	65
44	西虬江 2	石砌岸坡	80

45	木棣港	石砌岸坡	—
46	桃浦河	石砌岸坡	10
47	朝阳河	石砌岸坡	40
48	苏州河北新泾	石砌岸坡	—
49	新泾港 2	混合岸坡	—
50	陆家浜	自然土质岸坡	90
51	新渔浦	石砌岸坡	10
52	绥宁河	混合岸坡	50
53	丽娃河	石砌岸坡	70

调查所知,苏州河水系各河流的岸坡主要分成四大类:石砌岸坡、水泥岸坡、自然土质岸坡及混合岸坡。以石砌岸坡为主,占 40.74%;其次是混合型岸坡,占 33.33%;水泥和自然岸坡较少,且多数自然岸坡侵蚀严重。

各河流两岸的植被覆盖率相差较大(0~90%),主要以草本植物为主,灌木和乔木较少。且调查发现自然土质岸坡及混合岸坡河道中基本都有大型水生植物生长,而石砌岸坡、水泥岸坡的河道则几乎无大型水生植物生长。

## 4.4 用理化指标来评价苏州河水系的水质状况

### 4.4.1 评价方法

基于上海地区河流水环境主要以有机污染为主的特点,采用 TP、BOD<sub>5</sub>、COD<sub>Cr</sub>、NH<sub>3</sub>-N 和 DO 5 个指标反映河流水质理化状况。以 GB 3838—2002 地表水环境质量标准为评价标准,结合上海地区河流生态环境现状,将地表水 II 类标准(城市集中饮用水源地标准)设为最优标准,定为 4 分,劣于 V 类标准定为 0 分(吴阿娜, 2007)。

## 4.4.2 评价结果

表 4-9 苏州河水系水质理化状况

Tab.4-9 Physicochemical status of water quality in Creek Water System

序号	河道名称	NH <sub>3</sub> -N		TP		BOD <sub>5</sub>		COD <sub>Cr</sub>		DO	
		类别	评分	类别	评分	类别	评分	类别	评分	类别	评分
1	西大盈港	劣V	0	劣V	0	劣V	0	劣V	0	IV	2
2	苏州河赵屯	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	V	1
3	鼓盆港	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	IV	2
4	梁月浦	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	V	1
5	油墩港	劣V	0	IV	2	劣V	0	V	1	V	1
6	重固艾祁港	劣V	0	劣V	0	劣V	0	劣V	0	IV	2
7	新通波塘	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	劣V	0
8	苏州河黄渡	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	IV	2
9	新河	IV	2	II	4	劣V	0	劣V	0	I	4
10	顾浦	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	I	4
11	蕴藻浜	劣V	0	II	4	劣V	0	劣V	0	I	4
12	顾岗泾	劣V	0	V	1	劣V	0	劣V	0	劣V	0
13	封浜	劣V	0	IV	2	劣V	0	V	1	劣V	0
14	西虬江	劣V	0	V	1	劣V	0	劣V	0	I	4
15	建丰河	劣V	0	V	1	劣V	0	劣V	0	劣V	0
16	新槎浦	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	劣V	0
17	鹅蛋浦	劣V	0	III	3	劣V	0	劣V	0	V	1
18	蕴藻浜 2	劣V	0	III	3	劣V	0	劣V	0	I	4
19	新河南浜	劣V	0	III	3	劣V	0	劣V	0	劣V	0
20	大场朱家浜	劣V	0	劣V	0	劣V	0	劣V	0	劣V	0
21	徐家宅河	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	I	4
22	东茭泾	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	劣V	0
23	向阳河	劣V	0	V	1	劣V	0	劣V	0	劣V	0
24	彭越浦	劣V	0	III	3	V	1	劣V	0	V	1
25	真如港	劣V	0	II	4	劣V	0	劣V	0	I	4
26	苏州河武宁路 桥	劣V	0	IV	2	V	1	劣V	0	V	1
27	苏州河浙江路 桥	劣V	0	II	4	V	1	III	3	IV	2
28	机场河	劣V	0	II	4	劣V	0	劣V	0	I	4
29	梅陇港	劣V	0	III	3	劣V	0	V	1	V	1
30	漕河泾	劣V	0	III	3	劣V	0	劣V	0	IV	2
31	新泾港	劣V	0	III	3	劣V	0	劣V	0	IV	2
32	船浜港	劣V	0	劣V	0	劣V	0	劣V	0	劣V	0
33	浦汇塘	劣V	0	IV	2	劣V	0	劣V	0	劣V	0
34	野努泾	劣V	0	III	3	劣V	0	劣V	0	V	1
35	华漕港	劣V	0	III	3	劣V	0	劣V	0	IV	2

36	蟠龙港	劣V	0 III	3 劣V	0 劣V	0 III	3
37	盐仓浦	劣V	0 III	3 劣V	0 劣V	0 II	4
38	姚登港	劣V	0 III	3 劣V	0 劣V	0 I	4
39	苏州河华漕	劣V	0 III	3 V	1 V	1 IV	2
40	西沙江	劣V	0 II	4 劣V	0 V	1 II	4
41	沙河	劣V	0 II	4 劣V	0 劣V	0 III	3
42	盐铁塘	劣V	0 III	3 V	1 IV	2 劣V	0
43	小浜河	劣V	0 IV	2 劣V	0 劣V	0 IV	2
44	西虬江 2	劣V	0 IV	2 劣V	0 劣V	0 IV	2
45	木棧港	劣V	0 III	3 IV	2 IV	2 IV	2
46	桃浦河	劣V	0 劣V	0 劣V	0 劣V	0 劣V	0
47	朝阳河	劣V	0 III	3 劣V	0 劣V	0 I	4
48	苏州河北新泾	劣V	0 III	3 劣V	0 IV	2 劣V	0
49	新泾港 2	劣V	0 III	3 劣V	0 IV	2 I	4
50	陆家浜	劣V	0 IV	2 劣V	0 劣V	0 I	4
51	新渔浦	劣V	0 II	4 劣V	0 劣V	0 I	4
52	绥宁河	劣V	0 劣V	0 劣V	0 劣V	0 劣V	0
53	丽娃河	劣V	0 II	4 V	1 I	4 I	4

从上表可知，苏州河水系的水质理化状况较差，NH<sub>3</sub>-N 的含量偏高，较其他 4 种理化指标而言其分值最低，除新河外，各样点的 NH<sub>3</sub>-N 分值均为 0，水质类别都劣于 V 类；TP 和 DO 的分值变化范围较大（0-4），BOD<sub>5</sub> 与 COD<sub>cr</sub> 约 75% 的样点的分值为 0，即水质类别为劣 V 类。总体上看，苏州河水系河流水质污染严重。

表4-10 理化指标评分值之间的相关性

Tab.4-10 The relationship between the scores of physicochemical index

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>cr</sub>	DO
NH <sub>3</sub> -N	R	1	-0.638**	0.882**	0.838**	0.179
	N	78	78	78	78	78
TP	R	-0.638**	1	-0.613**	-0.545**	-0.082
	N	78	78	78	78	78
BOD <sub>5</sub>	R	0.882**	-0.613**	1	0.918**	0.208
	N	78	78	78	78	78
COD <sub>cr</sub>	R	0.838**	-0.545**	0.918**	1	0.154
	N	78	78	78	78	78
DO	R	0.179	-0.082	0.208	0.154	1
	N	78	78	78	78	78

注：\*\* 表示极显著相关(P<0.01) \* 表示显著相关(P<0.05)

除DO外，其他四项理化指标分值之间均为极显著相关，即表明这四项理化指标的水质类别极显著相关，其中BOD<sub>5</sub>与COD<sub>cr</sub>的R值最大，为0.918（P<0.01）。DO 指标因受监测方法和其他因素的影响较大，规律不太明显。

## 4.5 用水生生物的生物量及优势种来评价苏州河水系水质状况

### 4.5.1 评价方法

浮游植物的生物量大小是划分水体营养类型的重要单项指标 (Winberg G G,1972;Linkens G E,1975;何志辉等,1983;刘健康,1990)。目前我国普遍采用的划分标准为:  $<30 \times 10^4$  个/ml 为贫营养型; 在  $30 \times 10^4$ — $100 \times 10^4$  个/ml 之间为中营养型;  $>100 \times 10^4$  个/ml 作为富营养型的标准。

而浮游生物、底栖动物的优势种是生物群落中最具代表性的种类, 最能反映出水质的情况。我们利用前面的结果, 并根据目前国内外普遍使用的浮游生物指示种的情况对水质进行评价。

### 4.5.2 评价结果

利用浮游植物生物量对苏州河水系的水质进行评价, 其结果表明:苏州河水系各样点均为富营养化水体, 第 50 号样点陆家浜的浮游植物生物量最高, 已达到  $17.7 \times 10^6 \text{ind.l}^{-1}$ 。

从浮游植物、浮游动物优势种角度来看, 苏州河水系的水质属于  $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污; 而底栖动物以霍甫水丝蚓为单一优势种, 且为高耐污的污染指示种, 可见苏州河水系河流水质健康状况较差。

## 4.6 用多样性指数和 Goodnight 修正指数来评价苏州河水系的水质状况

### 4.6.1 评价方法

在河流健康评价中, 常用到的生物评价指标的说明如下: (1)底栖动物: 其群落组成和形态变化等能较好地反映河段生境条件的变化以及河流生态系统所处的状态, 常用 Shannon-wiener 指数(Shannon C E et al,1949)或 Goodnight 修正指数(G.B.I.)进行评判。(2)浮游生物: 处于河流生态系统食物链始端, 可为水环境变化提供预警信息, 其生物量、种类组成和多样性等特征能较好的反映河流污染水平及营养水平, 常根据 Shannon—Wiener 生物多样性指数(H)进行评判。

Shannon-wiener 指数:

$$H = -\sum (ni/N) \log_2(ni/N)$$

式中：N 为样品生物总个体数；ni 为第 i 种生物的个体数

Goodnight 修正指数：G.B.I. = (N-Noli) / N

式中：N 为样品中大型底栖无脊椎动物总个数；Noli 为样品中寡毛类的个体数。

采用国内外常用的 5 级分值评价标准来评分,分值分别为 0、1、2、3、4。分值越高,则说明河流水质健康状况越好。将评价标准的 5 级分值阈(4~3)、(3~2)、(2~1)、(1~0)、0 分别解读为很健康、健康、亚健康、不健康、病态 5 种河流健康状况 (王琳等, 2007)。具体评价标准见表 4-11

表 4-11 生物指标的评价标准

Tab.4-11 The evaluation criteria of biological index

G. B. I. 值	H 值	描述	评分
1-0.8	>4	极清洁	4
0.8-0.4	3~4	无污染	3
0.4-0.2	2~3	β-中污染	2
0.2-0	1~2	α-中污染	1
0	0~1	重污染	0

## 4.6.2 评价结果

### 4.6.2.1 浮游生物

表 4-12 浮游生物的多样性指数和污染指示种评价水质的结果

Tab.4-12 The results of water quality assessment of the diversity index of plankton and pollution

序号	河道名称	indicators			
		H	浮游动物 污染程度	评分	浮游植物 优势种所指示的污染带
1	西人盈港	1.78	α-中污	1	α-中污 β-中污
2	苏州河赵屯	2.16	β-中污	2	α-中污 β-中污
3	鼓盆港	2.10	β-中污	2	α-中污 β-中污
4	梁月浦	3.47	无污染	3	α-中污 β-中污
5	油墩港	3.34	无污染	3	α-中污 β-中污
6	重固艾祁港	1.84	α-中污	1	/
7	新通波塘	2.93	β-中污	2	α-中污 β-中污
8	苏州河黄渡	2.95	β-中污	2	α-中污 β-中污
9	新河	3.25	无污染	3	/
10	顾浦	3.73	无污染	3	α-中污 β-中污
11	蕴藻浜1	1.39	α-中污	1	α-中污 β-中污

12	顾岗泾	2.21	β-中污	2	β-中污
13	封浜	2.52	β-中污	2	α-中污 β-中污
14	西虬江1	1.97	α-中污	1	/
15	建丰河	0.66	重污染	0	α-中污 β-中污
16	新棧浦	1.88	α-中污	1	α-中污 β-中污
17	鹅蛋浦	1.39	α-中污	1	α-中污 β-中污
18	蕴藻浜2	2.42	β-中污	2	α-中污 β-中污
19	新河南浜	2.40	β-中污	2	α-中污 β-中污
20	大场朱家浜	0.95	重污染	0	/
21	徐家宅河	1.38	α-中污	1	/
22	东茭泾	0.98	重污染	0	α-中污 β-中污
23	向阳河	0.85	重污染	0	α-中污 β-中污
24	彭越浦	3.56	无污染	3	α-中污 β-中污
25	真如港	2.58	β-中污	2	β-中污
26	苏州河武宁路桥	3.34	无污染	3	α-中污 β-中污
27	苏州河浙江路桥	2.39	β-中污	2	α-中污 β-中污
28	机场河	3.39	无污染	3	α-中污 β-中污
29	梅陇港	1.65	α-中污	1	α-中污 β-中污
30	漕河泾	1.59	α-中污	1	α-中污 β-中污
31	新泾港1	1.83	α-中污	1	α-中污 β-中污
32	船浜港	1.50	α-中污	1	α-中污 β-中污
33	浦汇塘	2.92	β-中污	2	α-中污 β-中污
34	野努泾	2.10	β-中污	2	α-中污 β-中污
35	华漕港	2.47	β-中污	2	α-中污 β-中污
36	蟠龙港	1.74	α-中污	1	α-中污 β-中污
37	盐仓浦	2.99	β-中污	2	α-中污 β-中污
38	姚登港	2.24	β-中污	2	α-中污 β-中污
39	苏州河华漕	1.96	α-中污	1	α-中污 β-中污
40	西沙江	2.48	β-中污	2	α-中污 β-中污
41	沙河	2.44	β-中污	2	α-中污 β-中污
42	盐铁塘	1.99	α-中污	1	α-中污 β-中污
43	小浜河	1.08	α-中污	1	α-中污 β-中污
44	西虬江2	2.52	β-中污	2	α-中污 β-中污
45	木棧港	2.99	β-中污	2	α-中污 β-中污
46	桃浦河	3.13	无污染	3	α-中污 β-中污
47	朝阳河	3.23	无污染	3	α-中污 β-中污
48	苏州河北新泾	3.03	无污染	3	α-中污 β-中污
49	新泾港2	2.20	β-中污	2	α-中污 β-中污
50	陆家浜	1.34	α-中污	1	α-中污 β-中污
51	新渔浦	1.98	α-中污	1	/
52	绥宁河	1.82	α-中污	1	α-中污 β-中污
53	丽娃河	3.24	无污染	3	α-中污 β-中污



Shannon-wiener 种类多样性指数在国内外普遍被用来描述生物群落的生态学特征,也常用来监测淡水、海水底栖生物群落结构的变化,被认为是个较好的评价污染程度的工具。并在河流生态健康评价中也常用浮游植物的 Shannon-wiener 指数作为评价河流水质状况的生物指标之一。

根据浮游动物的 H 值所得出的结果,具体如下:各样点普遍为污染水体 ( $\alpha$ -中污/ $\beta$ -中污的明显居多),其中有 36%的样点达到了  $\alpha$ -中污染程度,40%的样点达到了  $\beta$ -中污染程度。此外,由于研究分析发现浮游植物 H 值明显大于浮游动物,即前者 H 值评价得出的各河流的水质状况普遍优于后者。且浮游植物 H 值有部分大于 4.5, 所得结果不是很准确(马克平,1994)。因此,在上表中用浮游植物优势种的污染指示种对苏州河水系的水质污染程度进行了评价,与浮游动物 Shannon-wiener 指数的评价结果进行比较。根据浮游植物优势种所指示的污染带可知,苏州河水系各样点的水质普遍处于  $\alpha$ -中污/ $\beta$ -中污水平。

#### 4.6.2.2 底栖动物

表 4-13 底栖动物的 G.B.I.指数值和 H 值

Tab.4-13 G.B.I. index value and H value of zoobenthos

序号	河道名称	G. B. I	污染程度	评分	H	污染程度	评分
2	赵屯	0	重污染	0	1.198	$\alpha$ -中污	1
4	梁眼浦	0	重污染	0	0	重污染	0
6	艾祁港	0.714	无污染	3	0.863	重污染	0
7	新通波塘	0.004	$\alpha$ -中污	1	0.205	重污染	0
8	黄渡	0.056	$\alpha$ -中污	1	0.441	重污染	0
9	新河	0	重污染	0	0	重污染	0
10	顾浦	0	重污染	0	0	重污染	0
11	蕴藻浜	0	重污染	0	0.181	重污染	0
13	封浜	0	重污染	0	0.048	重污染	0
14	西虬江	0	重污染	0	0	重污染	0
15	建丰河	0	重污染	0	0	重污染	0
16	新棧浦	0	重污染	0	0	重污染	0
18	蕴藻浜 2	0	重污染	0	0	重污染	0
24	彭越浦	0	重污染	0	0.078	重污染	0
27	苏州河浙江路	0	重污染	0	0.061	重污染	0
33	浦汇塘	0	重污染	0	0	重污染	0
35	华漕港	0	重污染	0	0	重污染	0
37	盐仓浦	0.002	$\alpha$ -中污	1	0.100	重污染	0

38	姚登港	0.004	α-中污	1	0.037	重污染	0
40	西沙江	0	重污染	0	0	重污染	0
46	桃浦河	0	重污染	0	0	重污染	0
48	苏州河北新泾	0	重污染	0	0.023	重污染	0
49	新泾港	0	重污染	0	0	重污染	0
53	丽娃河	0	重污染	0	0	重污染	0
12	顾岗泾	无	重污染	0	无	重污染	0
20	大场朱家浜	无	重污染	0	无	重污染	0
22	东茭泾	无	重污染	0	无	重污染	0
23	向阳河	无	重污染	0	无	重污染	0
25	真如港	无	重污染	0	无	重污染	0
30	漕河泾	无	重污染	0	无	重污染	0
34	野努泾	无	重污染	0	无	重污染	0
44	西虬江	无	重污染	0	无	重污染	0
47	朝阳河	无	重污染	0	无	重污染	0
52	绥宁河	无	重污染	0	无	重污染	0

在国内外河流生态健康评价中，底栖动物的 G.B.I.指数常被作为水生生物指标中的二级指标进行评价研究，是河流健康评价中的一项重要指标。由上表可见，从 G.B.I.指数看，除少数几个个样点外，其他样点的水质污染程度普遍为重污染。而底栖动物的 H 值的评分值几乎都为 0，即底栖动物的种类很少并且较为单一，除 1 个样点为 α-中污外，其他样点的水质污染程度皆为重污染。

## 4.7 用营养状态指数来评价苏州河水系的水质状况

### 4.7.1 评价方法

根据浮游植物现存量（以叶绿素 a 值代表）、透明度 SD 和总磷 TP 浓度之间存在的相关关系，以叶绿素 a 值作为基准，求出修正卡尔森营养状态指数 (TSIm) (Carlson R E,1977;Aizak M,1981)，以此来划分水体的富营养化程度。其计算公式如下：

$$TSI\ m(\text{Chl}) = 10 \times (2.46 + \ln \text{Chl} / \ln 2.5);$$

$$TSI\ m(\text{SD}) = 10 \times (2.46 + (3.69 - 1.53 \ln \text{SD}) / \ln 2.5) ;$$

$$TSI\ m(\text{TP}) = 10 \times (2.46 + (6.71 + 1.15 \ln \text{TP}) / \ln 2.5);$$

$$\text{总 } TSI\ m = (TSI\ m(\text{Chl}) + TSI\ m(\text{SD}) + TSI\ m(\text{TP})) / 3$$

式中: chl 表示叶绿素 a 含量 ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ ), SD 表示透明度 (m), TP 表示总磷浓度 ( $\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$ )

评价标准: TSIm <37 贫营养型  
 TSIm 38~53 中营养型  
 TSIm >54 富营养型

## 4.7.2 评价结果

表 4-14 营养状态指数 TSIm

Tab.4-14 The trophic statue index TSIm

序号	河道名称	TSIm(Chl)	TSIm(SD)	TSIm(TP)	总TSIm
1	西大盈港	50.77	82.88	94.79	76.15
2	苏州河赵屯	45.58	87.36	84.09	72.35
3	鼓盆港	54.48	76.45	82.72	71.21
4	梁月浦	62.10	72.14	83.20	72.48
5	油墩港	53.05	78.20	81.18	70.81
6	重岗艾祁港	65.45	69.67	94.03	76.38
7	新通波塘	52.84	82.88	84.52	73.41
8	苏州河黄渡	54.01	83.90	81.72	73.21
9	新河	60.54	77.84	69.41	69.26
10	顾浦	53.83	78.20	84.52	72.19
11	蕴藻浜1	48.46	83.90	67.93	66.76
12	顾岗泾	53.84	90.15	87.49	77.16
13	封浜	62.08	85.54	82.72	76.78
14	西虬江1	62.75	79.16	86.45	76.12
15	建丰河	53.90	86.73	87.81	76.15
16	新棧浦	63.71	83.90	83.65	77.09
17	鹅蛋浦	62.56	87.36	76.63	75.52
18	蕴藻浜2	54.15	93.50	78.79	75.48
19	新河南浜	55.87	82.88	78.11	72.29
20	大场朱家浜	46.92	98.94	91.66	79.17
21	徐家宅河	41.04	83.90	80.04	68.33
22	东茭泾	53.83	81.47	82.72	72.68
23	向阳河	42.04	79.36	85.33	68.91
24	彭越浦	60.43	78.58	79.43	72.81
25	真如港	69.32	76.78	70.73	72.28
26	苏州河武宁路桥	63.04	73.40	81.18	72.54
27	苏州河浙江路桥	44.08	90.15	67.93	67.39
28	机场河	69.83	72.06	62.03	67.97
29	梅陇港	63.31	79.16	77.39	73.29
30	漕河泾	60.97	90.93	73.02	74.97

31	新泾港1	64.75	88.70	74.95	76.14
32	船浜港	40.19	85.54	89.04	71.59
33	浦汇塘	41.96	90.93	84.52	72.47
34	野努泾	55.64	89.41	76.63	73.89
35	华漕港	60.50	84.16	71.93	72.19
36	蟠龙港	70.84	83.90	71.93	75.55
37	盐仓浦	60.70	82.88	74.95	72.85
38	姚登港	67.07	84.43	75.82	75.77
39	苏州河华漕	57.00	86.13	76.63	73.25
40	西沙江	54.45	76.28	62.03	64.25
41	沙河	59.66	86.13	69.41	71.73
42	盐铁塘	65.99	90.15	73.02	76.39
43	小浜河	64.31	89.05	82.23	78.53
44	西虬江2	60.68	88.70	81.72	77.03
45	木棧港	44.41	90.15	74.95	69.84
46	桃浦河	55.73	92.60	91.42	79.92
47	朝阳河	74.76	83.64	73.02	77.14
48	苏州河北新泾	61.86	88.02	77.39	75.76
49	新泾港2	68.53	84.43	78.79	77.25
50	陆家浜	77.57	79.76	81.72	79.68
51	新渔浦	70.95	84.70	70.73	75.46
52	绥宁河	67.04	90.15	91.66	82.95
53	丽娃河	52.51	70.59	55.62	59.57

从上表可知，苏州河水系中，TSIm(SD)和TSIm(TP)都大于TSIm(Chl)，根据TSI(SD)和TSI(TP)值可知各样点水体都为富营养型，且富营养化程度很高(>54)；单从TSIm(Chl)值可知约有20%的样点为中营养型，这些样点在苏州河水系中分布较散；其余样点均为富营养型水体，其中苏州河干流的样点中，除浙江路桥外，其余样点从上游到下游呈递增趋势；总TSIm评价可知，苏州河水系各样点都达到了富营养化程度，且平均值高达73。

## 4.8 比较分析生物指标与理化指标之间的关系

### 4.8.1 苏州河水系各样点生物指标与理化指标总体相关性分析

表4-15 苏州河水系各样点生物指标与理化指标相关性

Tab.4-15 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of different sampling sites in Suzhou Creek Water System

	NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	CODcr	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
--	--------------------	----	------------------	-------	----	-----	--------	----	-----

浮游植物密度	R	-0.118	-0.210	-0.031	-0.188	0.475**	0.116	-0.044	0.367*	-0.156
	N	53	53	53	53	53	53	53	45	44
叶绿素A	R	-0.120	-0.198	-0.078	-0.249	0.542**	0.159	0.047	0.364*	-0.153
	N	53	53	53	53	53	53	53	45	44
浮游动物密度	R	-0.099	-0.107	-0.020	-0.178	0.502**	0.088	0.249	0.348*	-0.248
	N	53	53	53	53	53	53	53	45	44
浮游动物H值	R	-0.221	-0.268	-0.239	-0.231	0.141	0.346*	0.060	0.050	0.410**
	N	53	53	53	53	53	53	53	45	44
底栖动物H值	R	0.033	0.309	-0.084	0.094	-0.142	0.170	0.213	0.176	0.304
	N	34	34	34	34	34	34	34	29	29
G.B.I.指数	R	0.023	0.504**	-0.084	-0.011	-0.068	0.481**	0.169	0.345	-0.095
	N	34	34	34	34	34	34	34	29	29

注: \*\* 表示极显著相关( $P<0.01$ ) \* 表示显著相关( $P<0.05$ )

采用 SPSS 软件对 15 种指标进行相关性分析(薛薇, 2001), 生物指标 6 种, 理化指标 9 种。

从表 4-15 可知, 浮游植物密度(叶绿素 a 浓度)与 DO 具有较强的相关性, 这说明叶绿素 a 浓度的大小与浮游植物密度密切相关, 同时也反映了苏州河水系各样点中随着浮游植物的大量繁殖, 其光合作用所释放出的溶解氧(DO)也随之增加。此外, 浮游植物密度(叶绿素 a 浓度)与 pH 值显著相关, 说明 pH 值是影响苏州河水系浮游植物密度的重要因子, 水中 pH 值会影响到水系统的化学反应, 同时也会受到水系统化学反应的影响, 因此它代表了一些水生生物的生存阈值。

浮游动物密度与 DO 极显著相关, 并且相关性分析发现浮游植物密度与浮游动物密度呈极显著相关( $R=0.720$ ), 这是由于浮游植物为浮游动物提供食物来源(Reynolds, 1984), 因此随着浮游植物密度的增大, 间接导致了浮游动物密度与 DO 也随之逐渐增大; 浮游动物 H 值与透明度显著相关, 与流速呈极显著相关, 流速的大小即反映了水体滞留时间的多少, 对于浮游动物而言, 流速和水体的透明度是影响其密度大小的主要非生物因素, 而之前所提到的食物丰度和捕食压力则是主要的生物因素。

底栖动物的 G.B.I.指数与 TP、透明度极显著相关。底栖动物 H 值与各理化指标之间无明显相关性。虽然其它理化指标对苏州河水系底栖动物的影响不显著, 比如水温、 $BOD_5$  以及氨氮等, 但不能认为它们对苏州河水系的底栖动物没有影响, 因为它们能通过影响透明度等因子来影响底栖动物的密度、多样性等, 对底栖动物的影响是间接的。

#### 4.8.2 苏州河干流与支流生物指标与理化指标之间的相关性分析

表4-16苏州河干流生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-16 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index  
in the main stream of Suzhou Creek

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	CODcr	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	0.125	0.096	-0.177	-0.436	-0.121	0.130	0.778	0.979*	0.837
	N	6	6	6	6	6	6	6	4	4
叶绿素A	R	0.275	0.085	-0.249	-0.365	-0.710	0.245	0.660	0.583	0.774
	N	6	6	6	6	6	6	6	4	4
浮游动物密度	R	0.535	0.735	0.823*	0.818*	0.189	0.404	-0.081	0.796	0.605
	N	6	6	6	6	6	6	6	4	4
浮游动物H值	R	0.036	0.176	-0.172	-0.223	-0.379	0.040	0.653	0.061	0.178
	N	6	6	6	6	6	6	6	4	4
底栖动物H值	R	0.489	0.846	0.992**	0.940	0.009	0.268	0.284	0.a	0.a
	N	4	4	4	4	4	4	4	2	2
G.B.I.指数	R	0.284	0.329	-0.073	0.104	0.419	0.490	0.914	0.a	0.a
	N	4	4	4	4	4	4	4	2	2

注: \*\* 表示极显著相关(P<0.01) \* 表示显著相关(P<0.05)

表4-17苏州河支流生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-17 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index  
of the tributaries of Suzhou Creek

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	CODcr	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.150	-0.246	-0.233	-0.090	0.460**	-0.036	0.084	0.352*	0.200
	N	47	47	47	47	47	47	47	41	13
叶绿素A	R	-0.146	-0.223	-0.278	-0.115	0.543**	0.050	0.133	0.355*	-0.145
	N	47	47	47	47	47	47	47	41	13
浮游动物密度	R	-0.121	-0.132	-0.222	-0.065	0.493**	0.261	0.089	0.339*	-0.217
	N	47	47	47	47	47	47	47	41	13
浮游动物H值	R	-0.219	-0.273	-0.217	-0.207	0.182	0.053	0.343*	0.068	0.519
	N	47	47	47	47	47	47	47	41	13
底栖动物H值	R	-0.004	0.446*	-0.063	-0.166	-0.096	0.233	0.451*	0.210	0.020
	N	30	30	30	30	30	30	30	27	9
G.B.I.指数	R	0.017	0.511**	-0.014	-0.095	-0.077	0.169	0.483**	0.339	0.a
	N	30	30	30	30	30	30	30	27	9

从干流与支流各指标的相关性分析来看,苏州河干流中,浮游植物的密度与pH值显著相关,浮游动物密度与BOD<sub>5</sub>、CODcr显著相关;底栖动物H值与BOD<sub>5</sub>极显著相关,这说明苏州河干流中,有机污染物对浮游动物和底栖动物的

影响较大。

苏州河支流中，浮游植物密度、叶绿素 a 浓度以及浮游动物的密度与 pH 值显著相关，R 值分别为 0.352、0.355 和 0.339；同时这 3 项生物指标与 DO 相关性为极显著，R 值分别为 0.460、0.543 和 0.493。各理化指标之间的相关性也很大。

#### 4.8.3 不同级别河道生物指标与理化指标之间的相关性分析

表4-18市级河道生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-18 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the city rating river

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	CODcr	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	0.110	-0.069	-0.265	-0.104	0.073	0.260	-0.105	0.039	0.200
	N	16	16	16	16	16	16	16	13	13
叶绿素A	R	-0.013	-0.031	-0.275	-0.161	0.312	0.105	0.265	0.479	-0.145
	N	16	16	16	16	16	16	16	13	13
浮游动物密度	R	0.270	0.164	0.055	0.115	0.469	0.356	-0.015	0.512	-0.217
	N	16	16	16	16	16	16	16	13	13
浮游动物H值	R	0.321	0.292	0.114	0.053	-0.232	0.041	0.131	-0.494	0.519
	N	16	16	16	16	16	16	16	13	13
底栖动物H值	R	-0.096	0.060	0.319	-0.049	-0.083	0.269	0.082	0.241	0.020
	N	11	11	11	11	11	11	11	9	9
G.B.I.指数	R	-0.044	0.010	-0.123	-0.145	-0.034	0.351	0.271	0.a	0.a
	N	11	11	11	11	11	11	11	9	9

注：\*\* 表示极显著相关(P<0.01) \* 表示显著相关(P<0.05)

市级河道：各项生物指标与理化指标之间相关性都不显著。但这并不是表明在苏州河各市级河道中理化指标对水生生物没有影响，虽然单项指标之间没有显著的相关性，但可能是多项指标之间的综合作用对水生生物群落变化等产生影响。

表4-19区级河道生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-19 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the district rating river

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	CODcr	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.090	-0.277	-0.071	0.363	0.358	0.084	-0.005	0.375	-0.228
	N	18	18	18	18	18	18	18	16	16
叶绿素A	R	0.177	-0.274	-0.122	0.462	0.535*	0.172	-0.087	0.365	-0.312
	N	18	18	18	18	18	18	18	16	16

浮游动物密度	R	-0.033	-0.172	-0.105	0.444	0.547*	0.409	0.014	0.373	-0.570*
	N	18	18	18	18	18	18	18	16	16
浮游动物H值	R	-0.295	-0.142	0.018	-0.147	-0.025	0.105	0.384	0.092	0.404
	N	18	18	18	18	18	18	18	16	16
底栖动物H值	R	0.267	0.283	0.022	-0.279	-0.540	0.224	-0.145	0.105	0.622*
	N	13	13	13	13	13	13	13	12	12
G.B.I.指数	R	0.323	0.239	0.050	-0.190	-0.358	0.320	-0.143	0.193	-0.066
	N	13	13	13	13	13	13	13	12	12

注: \*\* 表示极显著相关( $P < 0.01$ ) \* 表示显著相关( $P < 0.05$ )

区级河道: 叶绿素 a 浓度与 DO 显著相关 ( $R=0.535$ ), 表明在苏州河水系区级河道中 DO 也同样是影响浮游植物生物量 (叶绿素 a 浓度) 的重要因子; 浮游动物密度与 DO、流速呈显著相关, 底栖动物 H 值与流速呈负显著相关, 这说明该流速范围适合于浮游动物生长, 但却不太适合底栖动物的生长。

表4-20镇级河道生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-20 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the town rating river

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.212	-0.225	-0.223	-0.133	0.451	-0.226	0.188	0.273	0.232
	N	19	19	19	19	19	19	19	16	15
叶绿素A	R	-0.373	-0.115	-0.386	-0.332	0.453	-0.139	0.357	0.362	0.367
	N	19	19	19	19	19	19	19	16	15
浮游动物密度	R	-0.229	0.038	-0.256	-0.207	-0.005	0.020	0.178	0.287	0.070
	N	19	19	19	19	19	19	19	16	15
浮游动物H值	R	-0.408	-0.511*	-0.331	-0.278	0.502*	0.054	0.558*	0.138	0.285
	N	19	19	19	19	19	19	19	16	15
底栖动物H值	R	0.053	0.616	-0.134	-0.207	0.016	0.316	0.620	0.542	0.214
	N	10	10	10	10	10	10	10	8	8
G.B.I.指数	R	0.049	0.624	-0.128	-0.203	-0.003	0.305	0.623	0.542	0.214
	N	10	10	10	10	10	10	10	8	8

镇级河道: 上表中显示, 浮游动物 H 值与 DO、T 显著相关 ( $R$  值分别为 0.502、0.558), 这两个  $R$  值相差不大 ( $N$  相同); 然而在镇级河道中, 浮游动物 H 值与 TP 呈负显著相关,  $R$  值为 -0.511, 其他生物指标与理化指标之间相关性不大。

#### 4.8.4 不同宽度河道生物指标与理化指标之间的相关性分析

按照不同的河面宽度  $L$  (单位: m), 划分为四个等级, I 级 ( $L \leq 10$ )、II 级 ( $10 < L \leq 20$ )、III 级 ( $20 < L \leq 30$ )、IV 级 ( $L > 30$ )。



表4-21 I 级河流生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-21 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the I rating river

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	CODcr	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.095	-0.083	-0.306	-0.062	0.567*	-0.098	0.125	0.469	-0.802**
	N	13	13	13	13	13	13	13	10	9
叶绿素A	R	0.065	-0.008	-0.349	-0.083	0.574*	0.075	0.164	0.450	-0.772*
	N	13	13	13	13	13	13	13	10	9
浮游动物密度	R	0.158	-0.005	-0.188	-0.087	0.446	0.254	0.030	0.153	-0.720*
	N	13	13	13	13	13	13	13	10	9
浮游动物H值	R	-0.530	-0.296	-0.147	-0.197	0.125	0.018	0.432	-0.117	0.402
	N	13	13	13	13	13	13	13	10	9
底栖动物H值	R	0.167	0.934*	0.450	-0.416	-0.268	0.102	0.756	0.a	0.a
	N	5	5	5	5	5	5	5	3	3
G.B.I.指数	R	0.167	0.934*	0.450	-0.416	-0.268	0.102	0.756	0.a	0.a
	N	5	5	5	5	5	5	5	3	3

注: \*\* 表示极显著相关(P<0.01) \* 表示显著相关(P<0.05)

I 级河流: 浮游植物密度与 DO 显著相关, 与流速呈极显著相关 (R=0.802); 叶绿素 a 浓度与 DO、流速都显著相关, R 值分别为 0.574 和 0.772, 这同样也说明了浮游植物密度与 DO 的关系极为密切, 而在各 I 级河流样点中表明其水体的流速范围为 0--0.061m.S<sup>-1</sup>, 平均值为 0.029m.S<sup>-1</sup>, 这说明在该流速范围内, 流速的大小对浮游植物密度变化影响很大; 底栖动物 H 值和 G.B.I.指数与 TP 显著相关。

表4-22 II 级河流生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-22 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the II rating river

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	CODcr	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.119	-0.406	-0.362	-0.184	0.629**	0.436	-0.027	0.425	0.097
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
叶绿素A	R	-0.272	-0.415	-0.366	-0.188	0.779**	0.271	0.124	0.503*	-0.096
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
浮游动物密度	R	-0.330	-0.331	-0.321	-0.122	0.749**	0.505*	0.025	0.475*	-0.192
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
浮游动物H值	R	-0.100	-0.486*	-0.404	-0.299	0.193	0.015	0.173	0.248	0.542*
	N	18	18	18	18	18	18	18	18	18
底栖动物H值	R	-0.209	-0.171	-0.246	-0.264	0.062	0.229	0.200	0.475	-0.208
	N	14	14	14	14	14	14	14	14	14
G.B.I.指数	R	-0.137	-0.281	-0.163	-0.171	0.297	0.401	-0.014	0.487	-0.048

II级河流：浮游植物密度与 DO 极显著相关 (R=0.629)；叶绿素 a 浓度与 DO 也呈极显著相关 (R=0.779)；浮游动物密度与 DO 极显著相关 (R=0.749)，且与透明度、pH 值显著相关，R 值分别为 0.505 和 0.475，这与苏州河水系各样的指标相关性分析中所得出的结果一致；浮游动物 H 值与 TP 显著负相关，与流速显著相关，R 值分别为 0.486 和 0.542，在各 II 级河流样点中，其水体的流速范围为 0.01--0.263m.S<sup>-1</sup>，平均值为 0.06m.S<sup>-1</sup>，是 I 级河流的平均流速的 2 倍，这说明在该流速范围内，流速的大小对浮游植物多样性影响较大。

表4-23 III级河流生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-23 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the III rating river

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.393	-0.458	-0.227	0.094	0.433	-0.134	0.052	0.572	0.235
	N	11	11	11	11	11	11	11	9	9
叶绿素A	R	-0.278	-0.531	-0.331	-0.079	0.355	-0.113	-0.080	0.452	0.235
	N	11	11	11	11	11	11	11	9	9
浮游动物密度	R	-0.364	-0.313	-0.388	-0.057	0.467	0.184	0.135	0.671*	-0.084
	N	11	11	11	11	11	11	11	9	9
浮游动物H值	R	-0.523	-0.203	-0.080	-0.146	0.368	0.028	0.685*	0.237	0.148
	N	11	11	11	11	11	11	11	9	9
底栖动物H值	R	0.437	0.391	-0.165	-0.147	-0.416	0.336	-0.080	-0.131	0.910*
	N	7	7	7	7	7	7	7	6	6
G.B.I.指数	R	0.431	0.339	-0.105	-0.189	-0.333	0.484	-0.041	0.a	0.a
	N	7	7	7	7	7	7	7	6	6

注：\*\* 表示极显著相关(P<0.01) \* 表示显著相关(P<0.05)

III级河流：浮游动物密度与 pH 值显著相关 (R=0.452)，浮游动物 H 值与 T 显著相关 (R=0.685)，在 III 级河流 (20<L≤30) 中，影响浮游动物种类和密度变化的主要因子是 pH 值与水温；底栖动物 H 值与流速显著相关，在 III 级河流中，其水体的流速范围为 0--0.123m.S<sup>-1</sup>，平均值为 0.045m.S<sup>-1</sup>，其平均流速的大小介于 I 级河流的与 II 级河流之间，在该流速范围内，流速与底栖动物多样性之间的关系较为密切。其他生物指标与理化指标之间相关性不显著。

表4-24 IV级河流生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-24 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the IV rating river

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.050	0.196	-0.024	0.050	0.236	-0.150	0.335	-0.023	-0.124
	N	11	11	11	11	11	11	11	8	8
叶绿素A	R	0.248	0.050	-0.168	-0.194	-0.414	-0.102	0.313	0.141	0.361
	N	11	11	11	11	11	11	11	8	8
浮游动物密度	R	0.459	0.701*	0.676*	0.483	-0.376	0.329	0.214	-0.381	0.033
	N	11	11	11	11	11	11	11	8	8
浮游动物H值	R	0.156	0.622*	0.016	-0.043	-0.082	0.248	0.603*	-0.665	0.277
	N	11	11	11	11	11	11	11	8	8
底栖动物H值	R	0.529	0.475	0.794*	0.419	-0.340	0.221	-0.034	0.659	-0.037
	N	8	8	8	8	8	8	8	6	6
G.B.I.指数	R	0.371	0.245	-0.074	-0.081	-0.181	0.345	0.184	0.a	0.a
	N	8	8	8	8	8	8	8	6	6

IV级河流：浮游动物密度与TP、BOD<sub>5</sub>显著相关，R值分别为0.701和0.676；浮游动物H值与TP、T显著相关，这说明在河面宽度较大的河流中，营养盐TP与有机污染是影响浮游动物密度变化和生物多样性的重要因子。底栖动物H值与BOD<sub>5</sub>显著相关（R=0.794）。

#### 4.8.5 南岸与北岸各支流生物指标与理化指标之间的相关性分析

表4-25南岸各支流生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-25 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the different south shore tributaries

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.068	-0.265	-0.132	0.253	0.492*	-0.078	-0.242	-0.012	-0.025
	N	17	17	17	17	17	17	17	11	10
叶绿素A	R	-0.053	-0.155	-0.046	0.331	0.588*	0.179	-0.085	0.168	-0.418
	N	17	17	17	17	17	17	17	11	10
浮游动物密度	R	0.053	-0.119	0.010	0.331	0.568*	0.320	-0.304	0.035	-0.543
	N	17	17	17	17	17	17	17	11	10
浮游动物H值	R	-0.470	-0.407	-0.456	-0.309	-0.124	-0.243	0.450	0.003	0.318
	N	17	17	17	17	17	17	17	11	10
底栖动物H值	R	0.101	0.903**	0.457	-0.185	-0.340	0.133	0.511	0.417	0.138
	N	10	10	10	10	10	10	10	7	7
G.B.I.指数	R	0.032	0.881**	0.374	-0.132	-0.248	0.109	0.576	0.741	-0.050
	N	10	10	10	10	10	10	10	7	7

南岸河流：南岸各支流中，浮游植物密度与 DO 显著相关 ( $R=0.492$ )；叶绿素 a 浓度与 DO 显著相关 ( $R=0.558$ )；浮游动物密度也与 DO 显著相关 ( $R=0.568$ )；底栖动物 H 值和 G.B.I. 指数 TP 与极显著相关 ( $R=0.903$ 、 $R=0.881$ )，这与 I 级河流中相关性分析结果接近，这也表明了南岸河流底栖动物的生物量和多样性变化与 I 级河流中的底栖动物相似。

表 4-26 北岸各支流生物指标与理化指标之间的相关性分析

Tab.4-26 Correlation efficiencies between biological index and physicochemical index of the different north shore tributaries

		NH <sub>3</sub> -N	TP	BOD <sub>5</sub>	COD <sub>Cr</sub>	DO	透明度	T (°C)	PH	流速V
浮游植物密度	R	-0.190	-0.324	-0.247	-0.185	0.272	-0.507**	0.241	0.304	0.118
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
叶绿素A	R	-0.175	-0.376*	-0.358	-0.240	0.395*	-0.346	0.166	0.295	-0.045
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
浮游动物密度	R	-0.212	-0.266	-0.307	-0.167	0.219	-0.170	0.332	0.343	-0.153
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
浮游动物H值	R	-0.138	-0.228	-0.128	-0.171	0.327	0.026	0.227	0.035	0.431*
	N	30	30	30	30	30	30	30	30	30
底栖动物H值	R	-0.230	-0.307	-0.238	-0.242	0.081	0.202	0.069	0.175	0.370
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20
G.B.I.指数	R	0.a	0.a	0.a	0.a	0.a	0.a	0.a	0.a	0.a
	N	20	20	20	20	20	20	20	20	20

注：\*\* 表示极显著相关( $P<0.01$ ) \* 表示显著相关( $P<0.05$ )

北岸河流：浮游植物密度与透明度极显著负相关 ( $R=-0.507$ )；叶绿素 a 浓度与 TP 显著负相关 ( $R=-0.376$ )，这表明了苏州河北岸河流中浮游植物受营养盐 (TP) 含量的影响很大，并且南岸和北岸的 TP 浓度较为接近，且普遍较高；叶绿素 a 浓度与 DO 显著相关 ( $R=0.395$ )。其他生物指标与理化指标之间相关性不大。

## 4.9 浮游生物污染指示种研究

### 4.9.1 浮游植物污染指示种

\*\*\*\*\* HIERARCHICAL CLUSTER ANALYSIS \*\*\*\*\*

Dendrogram using Average Linkage (Between Groups)

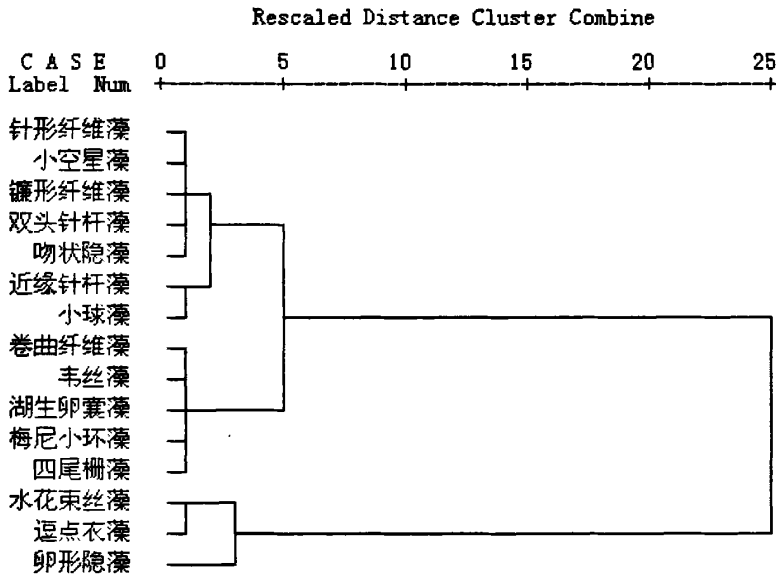


图 4-13 苏州河水系浮游植物优势种聚类分析图

Fig.4-13 The cluster combine dendrogram of dominant phytoplankton species in Suzhou Creek Water System

筛选出出现频度大于 0.8 的浮游植物优势种，用 SPSS 软件对此进行聚类分析，分析各优势种间的亲疏程度。由图 4-13 可知，苏州河水系浮游植物优势种可分为 3 个类群，类群一包括：针形纤维藻、小空星藻、镰形纤维藻奇异变种、双头针杆藻、近缘针杆藻以及小球藻；类群二包括：卷曲纤维藻、韦丝藻、湖生卵囊藻、梅尼小环藻和四尾栅藻，其中，类群二中的梅尼小环藻、四尾栅藻为污染指示种，分别指示  $\alpha$ -中污/ $\beta$ -中污和  $\beta$ -中污，其出现频率与湖生卵囊藻、韦丝藻、卷曲纤维藻相近，表明它们大致也处于  $\alpha$ -中污带和  $\beta$ -中污带的生境中，可以作为苏州河水系中的污染指示种；类群三包括：水花束丝藻、逗点衣藻、卵形隐藻，表明水花束丝藻（ $\alpha$ -中污带/ $\beta$ -中污带）与逗点衣藻、卵形隐藻处于相似生境，即逗点衣藻和卵形隐藻也可指示  $\alpha$ -中污带/ $\beta$ -中污带的水体。

## 4.9.2 浮游动物污染指示种

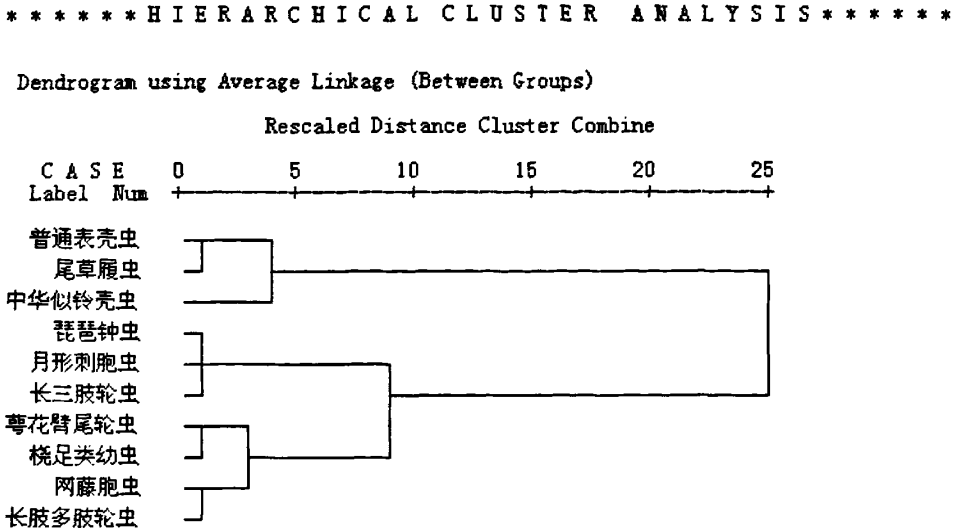


图 4-14 苏州河水系浮游动物优势种聚类分析图

Fig.4-14 The cluster combine dendrogram of dominant zooplankton species in Suzhou Creek Water System

由于浮游动物中具有污染指示作用的优势种的出现频率比较小，因此选取出现频度大于 0.3 的浮游动物优势种进行聚类分析。结果表明，苏州河水系浮游动物的优势种大致可以分为 3 个类群。类群一包括：普通表壳虫、尾草履虫和中华似铃壳虫，其中普通表壳虫是  $\alpha$ -中污带、 $\beta$ -中污带的污染指示种，尾草履虫是  $\alpha$ -中污带的污染指示种，这两种浮游动物所处的生境相近；类群二包括：琵琶钟虫、月形刺胞虫、长三肢轮虫，其中长三肢轮虫指示  $\alpha$ -中污带，其与月形刺胞虫、琵琶钟虫的出现频度相近，因此认为月形刺胞虫、琵琶钟虫也可指示  $\alpha$ -中污带；类群三包括：萼花臂尾轮虫、桡足类幼虫、网藤胞虫以及长肢多肢轮虫，其中，网藤胞虫和长肢多肢轮虫的出现频度接近，萼花臂尾轮虫与桡足类幼虫的出现机率相似，显示它们的生境类型相似，而由于萼花臂尾轮虫是  $\alpha$ -中污带、 $\beta$ -中污带的指示种，因此认为桡足类幼虫也常出现在  $\alpha$ -中污带、 $\beta$ -中污带的水体中。

而类群一中，普通表壳虫是  $\alpha$ -中污带、 $\beta$ -中污带的污染指示种，尾草履虫是  $\alpha$ -中污带的污染指示种，这两种浮游动物所处的生境相近；类群二中，长三肢轮虫指示  $\alpha$ -中污带，其与月形刺胞虫、琵琶钟虫的出现频度相近，因此认为月形刺胞虫、琵琶钟虫也可指示  $\alpha$ -中污带；类群三中，萼花臂尾轮虫（ $\alpha$ -中污

带、 $\beta$ -中污带)与桡足类幼虫的出现机率相似,显示它们的生境类型相似,即桡足类幼虫也常出现在 $\alpha$ -中污带、 $\beta$ -中污带的水体中。

## 4.10 讨论

### 4.10.1 浮游植物群落特征变化

研究结果表明苏州河水系中,浮游植物密度与叶绿素 a 含量的变化趋势基本保持一致,但仍有少数几个点出现较大偏差,如苏州河干流的北新泾断面叶绿素 a 含量明显偏大,各支流样点中如梁月浦、真如港、机场河等同样也出现了较大偏差。这说明 Chl.a 含量在一定程度上能反映浮游植物密度的大小,但由于优势种的不同以及细胞大小的差异,往往会产生一定的偏差。

### 4.10.2 生物指标在河流健康评价中的应用

用理化指标评价河流水质状况所得结果表明苏州河水系各河流样点的水质健康状况较差;浮游游动物 Shannon-wiener 指数表明河流水质污染程度普遍处于 $\alpha$ -中污至 $\beta$ -中污之间,河流健康状况同样普遍较差;而用浮游植物的 Shannon-wiener 指数来评价河流水质状况时所得结果则与浮游游动物 Shannon-wiener 指数评价结果相差较大;理化指标评价与浮游动物 Shannon-wiener 指数评价结果非常接近,而浮游植物的 Shannon-wiener 指数评价结果则几乎与前两者相差偏大,其原因是由于生物多样性指数法有缺陷,还不够完善。该方法只是单方面从生物群落的量值反映河流污染程度,而忽略了不同生物种群之间的差异性及生态学特征(王勇等,2003)。该指标是较早研究的结果,而在国内外,有关生物多样性指数方面虽已有了一定的研究(Hurlbert S H,1971; Whittaker R H,1972; Peet R K, 1974; Kvalseth T O,1991; 周晏敏等,1994;王永繁等,2002),但在该指数公式的修正和其在实际应用中所涉及的区域适用性等方面的问题仍有待于进一步深入地探讨研究。

同时研究发现,苏州河水系属于贫底栖动物水域环境,除少数几个个样点外,底栖动物 G. B. I. 指数和 H 值都为 0,其评价结果显示苏州河水系水质污染程度为重污染,与其他指标及参数的水质评价结果相比较而言,该评价结果只能判断这些样点都是重污染,却无法很好地区分水质污染程度。其原因可能是:苏州河水系经过长期综合整治后,水质有了一定的改善,浮游生物等水生生物的群落结构也有了明显的恢复,但是底栖动物群落则相对恢复较为缓慢,各河流中底栖

动物的种类仍旧很少。

#### 4.10.3 河岸带状况对水生生物的影响

河岸带是处于水陆交界处的生态脆弱带,是异质性最强、最复杂的生态系统之一,在维持区域生物多样性、促进物质与能量交换、抵抗水流侵蚀与渗透、营养物过滤及吸收等方面发挥重要的作用,表现为廊道、缓冲与护岸等 3 方面生态功能(赵彦伟等, 2005;唐涛等,2002)。河岸带状况是河流健康评价的重要指标之一(吴阿娜等, 2005),而本研究中发现,苏州河水系各河道的岸坡类型多数为石砌岸坡和水泥岸坡,其中石砌岸坡占了 40.74%,石砌岸坡和水泥岸坡很大程度上切断了河流水陆之间的物质与能量传递,破坏了该区域的生态平衡。同时调查发现,自然土质岸坡及混合岸坡河道中基本都有大型水生植物生长,而石砌岸坡、水泥岸坡的河道则几乎无大型水生植物生长。可见良好的河岸带可以提供适合于水生植物生长的生态环境。因此,应尽可能采用倾斜式的生态护岸等措施来改善河流状况。

#### 4.10.4 生物指标与理化指标之间的关系

研究分析发现,多数情况下浮游植物密度(叶绿素 a 浓度)与 DO 显著相关,这说明浮游植物密度越大,其光合作用越强,所释放的氧气也就越多,从而使水体中 DO 含量也相对地增加。苏州河水系各样点在不同的区域、级别、河宽的条件下,影响生物指标的理化因子差别较大。然而,我们同时也发现浮游植物以及浮游动物的一些指标有时与 TP 呈负相关,如在苏州河水系镇级河道中,浮游动物 H 值与 TP 呈显著负相关;苏州河水系北岸的叶绿素 a 浓度与 TP 显著负相关。一般我们认为河流水体中 TP 浓度与浮游植物密度(叶绿素 a 浓)呈正相关,即 TP 浓度越高,则浮游植物密度(叶绿素 a 浓)越大,但是当 TP 浓度超过一定阈值时,则会成为限制因子,因此在一些情况下,浮游植物的生物量会与 TP 呈负相关。



## 5 总结与建议

### 5.1 苏州河水系水生生物群落结构

苏州河水系浮游植物共检出浮游植物 7 门 68 属 134 种，其中以绿藻门、硅藻门种类居多，分别占 50.75%和 26.87%。优势种多数为硅藻、绿藻，出现频率最多的优势种类是梅尼小环藻，其次是小球藻。

苏州河水系浮游动物共计 57 属 94 种，其中原生动物属种最多，种数占了 76.60%，其次是轮虫。

苏州河水系底栖动物种类少，共检出 7 种，其中寡毛类 3 种，占 42.85%。优势类群为寡毛类，优势物种为霍甫水丝蚓。

苏州河水系大型水生植物共有 11 属 11 科 14 种。种类多样性方面，挺水植物>沉水植物>浮水植物。

### 5.2 苏州河水系河流健康评价

#### 5.2.1 生物量和优势种

利用浮游植物生物量对苏州河水系的生态系统健康进行评价，其结果表明：苏州河水系各样点为富营养化水体，且浮游植物生物量最高的已达到  $17.7 \times 10^6 \text{ind} \cdot \text{L}^{-1}$ 。从浮游植物、浮游动物优势种角度来看，苏州河水系的水质普遍属于  $\alpha$ -中污、 $\beta$ -中污；而底栖动物优势种霍甫水丝蚓是高耐污的污染指示种，苏州河底栖动物群落结构的单一性及功能的大部分丧失，是苏州河生态系统健康状况较差的一个重要原因。综上，用水生生物的生物量和优势种评价可知苏州河水系河流水质健康状况较差。

#### 5.2.2 多样性指数和 G.B.I.指数

(1)浮游生物：结合理化指标，对生物指标在评价河流水质健康中的应用进行了分析研究，发现浮游植物的 Shannon-wiener 指数与其他指数以及理化参数水质评价结果出现的偏差较大，因此在苏州河水系河流水质评价中，该指数不适用；而根据浮游植物优势种的指示种进行水质健康评价时，所得出的评价结果与理化参数水质评价结果偏差较小。浮游动物的 Shannon-wiener 指数评价结果与也理化指标评价结果较为吻合。

(2)底栖动物：研究结果表明由于苏州河水系各河流中底栖动物的种类很少并且较为单一(以霍甫水丝蚓为单一优势种)等原因，而导致底栖动物 G.B.I.指数和 H 值几乎都为 0，其他指标相比，该评指数的价结果只能判断各个样点都是严重污染，却无法很好地区分水质污染程度。

### 5.3 生物指标与理化指标之间的关系

从总体上看，苏州河水系中各样点的浮游植物密度（叶绿素 a 浓度）与 DO 相关性很大；浮游动物密度与 DO 极显著相关，浮游动物 H 值与透明度显著相关，与流速呈极显著相关；底栖动物的 G.B.I.指数与 TP、透明度极显著相关。

此外，在不同地理位置、不同级别、不同河面宽度的河流中，其生物指标会受不同环境理化因子的影响，且受影响的程度也不同。

### 5.4 浮游生物污染指示种探讨结果

本文对苏州河水系中浮游植物和浮游动物的优势种之间的亲疏度进行了聚类分析，结果表明：浮游植物优势种中，湖生卵囊藻、韦丝藻、卷曲纤维藻、水花束丝藻、逗点衣藻以及卵形隐藻这几种优势种可以作为苏州河水系中  $\alpha$ -中污带和  $\beta$ -中污带的污染指示种；浮游动物优势种中，月形刺胞虫、琵琶钟虫可作为苏州河水系  $\alpha$ -中污带的指示种，而桡足类幼虫则常出现与  $\alpha$ -中污带、 $\beta$ -中污带的水体中。

### 5.5 建议

- 1) 本研究中采样点设置的范围较广，但各样点没有进行季节性变化研究，缺乏时间上的可比性，因此建议在不同季节进行多次采样，以研究水生生物群落结构的季节性变化。
- 2) 在水生生物指标的选择上，主要选择了浮游植物、浮游动物、底栖动物及大型水生植物。浮游植物处于河流生态系统食物链的始端，而鱼类则处于末端，在食物链中处于重要位置，因此，在实验可行性条件下，建议对鱼类进行调查分析。
- 3) 在对大型水生植物的调查过程中，主要采用了目测法，只对其种类进行了调查分析，缺乏定量分析，建议同时调查大型水生植物的种类和生物量，从而较为全面地反映水生植物对河流水质健康状况的影响。
- 4) 本次研究对苏州河水系的生物指标和理化指标进行了调查，但尚欠缺室

内模拟试验，如可从苏州河水系的水生生物中筛选出优势种和耐污种，通过模拟苏州河水系的水体特征进行实验室内培养研究。

## 参考文献

- Aizak M. Application of modified Carlson's trophic state index to Japanese lakes and its relationships to other parameters related to trophic state. Res. Rep. Natl. Inst. Environ. Stud., 1981, 23:13-31.
- Barbour M T, Gerritsen J, Snyder B D, et al. Rapid bio-assessment protocols for use in streams and wadeable rivers: periphyton, benthic macro-invertebrate, and fish. (2nd ed). EPA/841/B99/002. U.S. Environmental Protection Agency, Office of water, Washington, D C, 1999
- Brix H., D. macrophytes play a role in constructed treatment wetlands, Water and Science Technology, 1997, 35(5):11-17.
- Carlson R E. A trophic state index for lakes. Limnol Oceanogr. 1977, 22(2):361-369.
- Dussart B H, Defaye D. Introduction to the Copepods, Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Backhuys Publishers, Leiden, 2001.
- Dumont H, Negrea S. Introduction to the Class Brachiopoda, Guides to the Identification of the Microinvertebrates of the Continental Waters of the World. Backhuys Publishers, Leiden, 2002.
- E. Rott, M. Cantonati. Benthic algae in high altitude streams of the Alps—a neglected component of the aquatic biota; Hydrobiologia 2006, 562:195-216.
- Harry V L, Larry R. Band David K. M. Distribution of algae in the San Joaquin River, California, in relation to nutrient supply, salinity and other environmental factors. Freshwater Biology, 2002, 46:1139-1167.
- Hurlbert S H. The non-concept of species diversity: A critique and alternative parameters. Ecology, 1971, 52 :577-586 .
- Karr J K. Assessments of biotic integrity using fish communities. Fisheries (Bethesda), 1981, (6):21-27.
- Kvalseth T O. Note on biological diversity, evenness, and homogeneity measures. Oikos, 1991, 62(1) :123-127 .
- Kvam O V and Kleiven O T. Diel horizontal migration and swarm formation in *Daphnia* in response to *Chaoborus*. Hydrobiologia. 1995, 307:177-184.
- Korovchinsky N M. The Cladocera (Crustacea: Branchiopoda) as a relict group. Zoological Journal of the Linnean Society, 2006, 147: 109-124.

- Ladson A R, White L J, Doolan J A, et al. Development and testing of an index of stream condition for waterway management in Australia. *Freshwater Biology*, 1999, 41: 453-468.
- Laura Airoidi. Distribution and morphological variation of low-shore algal turfs. *Marine Biology*. 2001, 138: 1233-1236.
- Linkens G E. Primary productivity of inland aquatic ecosystems. In: Primary productivity of the biosphere. Lieth Hand Whittaker K H (ed), 1975, 185-202
- Maria Heleni Z, Michaloudi E, Bobori D C, et al. Zooplankton abundance in the Aliakmon River, Greece. *Belg J Zool*, 2000, 130 (supplement 1) :29-33.
- Pal B, Gunnar H. The phytoplankton of Lake Atnsjoen, Norway - a long-term investigation. *Hydrobiologia*, 2004, 521: 141-147.
- Peet R K. The measurement of species diversity. *Ann Rev Eco System*, 1974, 5 : 285-307 .
- Shannon C E, Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication* . Urbana : University of Illinois Press , 1949 :213-216.
- Simpson J, Norris R, Barmuta L, et al. AusRivAS-national river Health program :user manual website version, 1999.
- Smith M J, Kay W R, Edward H D, et al. AusRivAS:using macroinvertebrates to assess ecological condition of rivers in Western Australia . *Freshwater Biology* , 1999(41) :269-282.
- Thierry O, Didier P, Bernard H, et al. Development and validation of a fish-based index for the assessment of 'river health' in France . *Freshwater Biology*, 2002, 47:1720-1734.
- Townsend C R, Riley R H. Assessment of riverhealth: accounting for perturbation pathways in physical and ecological space. *Freshwater Biology*, 1999, 41: 393-405.
- Thomas F Cuffney, Michael R. Meador, Stephen D. Porter, Martin E. Gurtz. Responses Of Physical, Chemical, and Biological Indicators of Water Quality to a Gradient of Agricultural Land Use in the Yakima River Basin. Washington. *Environmental Monitoring and Assessment*. 2000, 6:259-270.
- Warwick R M. The integral structure of a benthic infaunal assemblage. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. 2006, 330:12-18.
- Wang S B, Xie P, Wu S K, et al. Crustacean zooplankton distribution patterns and their biomass as related to trophic indicators of 29 shallow subtropical lakes. L

- imnologica ,2007 ,37:242-249.
- Whittaker R H. Evolution and measurement of species diversity .Taxon,1972, 21: 13-251.
- Winberg G G. Some interim results of Soviet IBP investigations on lakes. In productivity problem of freshwaters. 1972, 363-381.
- 成小英,王国祥等. 冬季富营养化湖泊中水生植物的恢复及净化作用. 湖泊科学. 2002, 14(2): 140-141.
- 陈一坤, 吴国豪. 苏州河水环境污染现状分析. 上海环境科学, 1997, 16(1): 11-14
- 邓义祥, 张爱军. 试论浮游植物在水体污染监测中的运用. 境与开发, 1999, 14(1): 43-45.
- 段学花, 王兆印, 余国安. 利用底栖种群对河湖水质进行快速生态评价第三届全国水力学与水利信息学大会论文集, 2007.
- 韩茂森, 束蕴芳. 中国淡水生物图谱. 北京: 海洋出版社, 1995.
- 黄玉瑶. 内陆水域污染生态学-原理与应用. 北京: 科学出版社, 2001. 9.
- 黄文成, 徐延志. 试论沉水植物在治理滇池草海中的作用. 广西植物, 1994, 14(4): 331-337.
- 蒋燮治, 堵南山. 中国动物志-节肢动物门-甲壳纲-淡水枝角类. 北京: 科学出版社, 1979 : 1-297.
- 金相灿, 屠清瑛. 湖泊富营养化调查规范. 北京: 化学工业出版社, 2001, 1-199.
- 李再培, 程英, 吕琳. 松花江(哈尔滨段)底栖无脊椎动物群落构成与水质状况的研究. 黑龙江环境通报, 2000, 24(2) : 114-116.
- 廖振良, 徐祖信, 高廷耀. 苏州河环境综合整治一期工程水质模型分析. 同济大学学报, 2004, 32(4): 409-502.
- 刘宝兴. 苏州河生态恢复过程中底栖动物的研究. 华东师范大学, 2007.
- 刘冬燕. 苏州河浮游生物群落特征及动态变化. 可持续发展: 经济与环境(下册) . 上海: 同济大学出版社, 2005 : 125-130.
- 马克平, 刘玉明. 生物群落多样性的测度方法 I a 多样性的测度方法(下). 生物多样性, 1994, 2(4): 231-239.
- 上海市苏州河环境综合整治领导小组办公室, 苏州河水质情况, <http://www.sscrpho.org/gb/szh/szqk/userobject1ai334.html>. 2007.
- 邵美玲, 谢志才, 叶麟等. 三峡水库蓄水后香溪河库湾底栖动物群落结构的变化. 水生生物学报, 2006, 39(1) : 64-69.
- 沈嘉端. 中国动物志-节肢动物门-甲壳纲-淡水桡足类. 北京: 科学出版社, 1979: 1-450.

- 沈新强,陈亚祖,罗民波等.长江口底栖动物生物修复的初步研究.农业环境科学学报,2006,25(2):373-376.
- 沈韞芬,章宗涉,龚循环,等.1990.微型生物监测新技术.北京:中国建筑工业出版社,120-136.
- 苏圣齐,姚维志.沉水植物与环境关系评述.农业环境保护,2002,21(6):570-573.
- 孙刚,盛连喜,李明全.长春南湖底栖动物群落特征及其与环境因子的关系.应用生态学报,2001,12(2):319-320.
- 孙军,John Dawson,刘东艳.夏季胶州湾微型浮游动物摄食初步研究.应用生态学报,2004b,15(7):1245-1252.
- 唐涛,蔡庆华,刘健康.河流生态系统健康及其评价.应用生态学报,2002,13(9):1191-1194.
- 许世远,陈振楼,俞立中,等.苏州河底泥污染与整治.北京:利学出版社,2003,10-15.
- 徐祖信,河流污染治理规划理论与实践.中国环境科学出版社,2002,647-648.
- 徐祖信,廖振良,卢士强.苏州河水环境综合整治二期工程目标的测算分析.上海环境科学,2003,22(2):75-78.
- 王朝晖,韩博平,胡韧,等.广东省典型水库浮游植物群落特征与富营养化研究.2005,24(4):402-405.
- 王家楫.中国淡水轮虫志.北京:科学出版社,1961:1-288.
- 王琳,宫兆国,张炯,等.综合指标法评价城市河流生态系统的健康状况.中国改水排水,2007,27(10):97-100.
- 王银东,熊邦喜,杨学芬.用大型底栖动物对武汉南湖水质的生物学评价.环境污染与防治,2006,28(4):312-314.
- 王勇,宗亚杰,陈猛.用生物多样性指数法评价河流污染程度.辽宁城乡环境科技,2003,23(4):22-23.
- 王寿兵.对传统生物多样性指数的质疑.复旦学报(自然科学版),2003,42(6):867-868.
- 王永繁,余世孝,刘蔚秋.物种多样性指数及其分形分析.植物生态学报,2002,26(4):391-395.
- 郭红娟,崔博,吕晋,张绍浩.武汉湖泊底栖动物群落结构及水质生态评价.2005,(10).
- 吴波,陈德辉,徐英洪,等.苏州河浮游植物群落结构及其对水环境的指示作用.上海师范大学学报(自然科学版),2006,35(5):64-70.

- 吴邦灿,费龙.现代环境监测技术.北京:中国环境科学出版社,1999.
- 吴阿娜,车越,徐启新,等.上海地区河流健康评价方法探讨.生态与农村环境学报,2007,23(4):90-93.
- 吴阿娜,杨凯,车越,等.河流健康状况的表征及其评价,水科学进展,2005,16(4):602-607.
- 吴洁,虞左明.西湖浮游植物的演替及富营养化治理措施的生态效应.中国环境科学,2001,21(6):540-544.
- 薛薇.统计分析与SPSS的应用.中国人民大学出版社,2001,250-264.
- 殷会娟,冯耀龙.河流生态环境健康评价方法研究.中国农村水利水电,2006(4):55-57.
- 张远,郑丙辉,刘鸿亮,等.深圳典型河流生态系统健康指标及评价.水资源保护,2006,22(5):13-18.
- 张乃群,王正德,杜敏华,等.南水北调中线水源区浮游植物与水质研究.应用与环境生物学报,2006,12(4):506-510.
- 张圣照,王国祥等.太湖藻型富营养化对水体高等植物的影响及植被的恢复.植物资源与环境,1998,7(4):52-57.
- 赵彦伟,杨志峰,城市河流生态系统健康评价初探.水科学进展,2005,16(3):351-354.
- 周凤霞,陈剑虹.淡水微型生物图谱.化学工业出版社,2005.
- 周晏敏,王庆忠,尉学玲.运用生物学指标评价水质污染状况.鹤城环境,1994,18(2):26-31.



# 附录

## 攻读硕士学位期间发表的相关学术论文和参加的科研项目

### 一、硕士期间发表的论文

朱英, 顾泳洁, 王耘等. 苏州河水文条件变化对浮游植物群落的影响. 华东师范大学学报(自然科学版). 2008, 2:30-36.

### 二、参加的科研项目

2005.11—2006.05	上海苏州河黄浦江生态恢复调查	上海市科委
2005.11	宝钢工业区河流水质调查	上海宝钢集团
2005.10—2006.09	嘉善县农村生态规划	浙江省嘉善县
2007.04 —2007.05	上海市中小河道污染水体水质修复及维护研究	上海水务局

## 后记

时光在不知不觉匆匆流过，现今迎来了即将毕业的时刻。回想起硕士三年期间的点点滴滴，仿佛仍发生在昨天一般。我将会永远记住这一段美好的回忆！

首先，要感谢我的导师顾泳洁老师，感谢她在学习和生活中所给予我的帮助和无微不至的关怀。本文的研究工作是在顾老师的悉心指导下完成的，从论文的选题、研究计划和技术路线的制定、实验的实施到最后文章的修改，各个方面都离不开顾老师的耐心指导和帮助。在研究生期间，顾老师严谨的工作和科研态度，平易近人的处世态度，都给我留下了深刻的印象，也为我今后的工作、生活树立了良好的榜样。

感谢资源与环境科学学院的各位领导和老师对我在学习、生活中所给予我的指导和帮助。

感谢吴阿娜师姐，范旭东，徐娜娜等人在实验过程中所给予我的帮助，同时也非常感谢师弟冀永生，师妹凌旌瑾、宋丽娜、李伶在生活和论文方面所给予我的帮助。感谢环科系 205 办公室的全体成员，让我在研究生期间深刻感受到了集体的快乐和温暖。

感谢宿舍的姐妹们，和你们在一起度过了很多快乐、开心的日子，让我享受了三年愉快温馨的宿舍生活。

感谢家人在生活中给予我深切的关爱和在求学路上给予我的无私支持，我为拥有这样的亲人而幸福万分！

最后，再一次衷心感谢所有关心过我、帮助过我的老师、同学、朋友和亲人们！

朱英

2008年5月 上海