

太湖西岸湖滨带水生生物分布特征及水质营养状况

郑丙辉¹, 田自强^{1,*}, 张 雷¹, 郑凡东³

(1. 中国环境科学研究院河流与海岸带环境研究室, 北京 100012; 2. 北京市水利科学研究所水环境研究中心, 北京 100044)

摘要 对太湖西岸湖滨带入湖河口区浮游生物和底栖动物的种类、单位体积数量以及物种多样性调查的基础上, 分析了该区域水生生物分布特征。研究表明, 在调查到的 5 个浮游植物门类中, 蓝藻和绿藻门种类占到 46.81% 和 36.17%。单位水体中的物种数量分别占到总藻类的 60.97% 和 34.49%, 而硅藻门仅占到总藻类数量的 3.07%。Shannon-Wiener 物种多样性及均匀度指数基本在 1.3~1.6 和 0.14~0.22 之间波动。在调查到的 71 种浮游动物中, 耐污染的桡足类和枝角类占 36.62%。单位水体中的物种数量分别达到 7.07×10^4 个/L 和 7.76×10^4 个/L, 底栖动物群落结构趋于单一化, 敏感种大量减少或消失, 物种多样性指数值低下, H' 及其均匀度值 J 仅分别为 1.59 和 0.581 左右。同时, 部分耐污染和广布种大量繁殖, 其单位水体中的物种数量平均占到底栖动物总量的 84.76%。对入湖河口区 24 个点位的水质监测结果也表明, 水体中的 TN、TP 浓度分别为 3.50 mg/L 和 0.28 mg/L, 分别高于国家湖泊水环境质量 V 类水质 ($TN \leq 2.0$ mg/L, $TP \leq 0.2$ mg/L) 标准。结合优势种和多样性指数水质分析方法, 太湖西岸湖滨带水体水质已近严重富营养化程度。

关键词 太湖西岸湖滨带; 水生生物; 水质; 富营养化

文章编号: 1000-0933 (2007)10-4214-10 中图分类号: Q178.1 Q948 文献标识码: A

The characteristics of the Hydrobios' distribution and the analysis of water quality along the West Shore of Taihu Lake

ZHENG Bing-Hui¹, TIAN Zi-Qiang^{1,*}, ZHANG Lei¹, ZHENG Fan-Dong³

¹ Chinese Research Academy of Environmental Sciences River and Coastal Environment Research Center, Beijing 100012, China

² Beijing Hydraulic Research Institute Water Environment Research Center, Beijing 100044, China

Acta Ecologica Sinica 2007 27 (10) 4214~4223.

Abstract : Based on the survey of the species abundance, biomass per unit water volume and species diversity indices of plankton and benthos along the west shore of Taihu Lake, we analyzed the characteristics of the Hydrobios' distribution in this area. Five phytoplankton families were found in the survey, and the species of *Cyanophyta* and *Chlorophyta* accounted for 46.81% and 36.17% of total species abundance, the biomasses of these species were 60.97% and 34.49% of total algae biomass, respectively. In contrast, the biomass of species of *Bocillariophyta* accounted only for 3.07% of total algae biomass. The Shannon-Wiener diversity index and Even index generally fluctuated from 1.3 to 1.6 and from 0.14 to 0.22, respectively. Of the 71 species of zooplankton found in current survey, pollution-tolerant copepods and cladocerans accounted for 36.62% of total species, and their biomass per unit water volume could reach 7.07×10^4 ind/L and 7.76×10^4 ind/L, respectively. The zoobenthos along the shore showed a simplified community structure, the abundance of environment-sensitive species decreased greatly and some species became extinct. Species diversity index of zoobenthos

基金项目: 国家“863”资助项目 (2002AA601012-06, 2003AA601100-4)

收稿日期: 2006-05-28; 修订日期: 2007-08-10

作者简介: 郑丙辉 (1963~) 男, 浙江省天台县人, 研究员, 主要从事水文学、遥感和湿地生态学研究。E-mail: zhengbh@craes.org.cn

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: tianzq@craes.org.cn

Foundation item : The project was financially supported by National “863” Program, China (No. 2002AA601012-06)

Received date 2006-05-28; **Accepted date** 2007-08-20

Biography ZHENG Bing-Hui, Professor, mainly engaged in hydrology, RS and wetland ecology. E-mail: zhengbh@craes.org.cn

community along the shore was very low , with diversity index and even index only about 1. 59 and 0. 581 , respectively. Meanwhile , some pollution-tolerant and cosmopolitic species propagated rapidly , and their biomass per unit water volume accounted for 84. 76% of total biomass of zoobenthos. Through a evaluation based on a combined method (dominant-species assessment and diversity index assessment) , we concluded that the water quality along the west shore of Taihu lake showed a sign of severe eutrophication. This conclusion could also be confirmed by the results of monitoring of water quality at 24 sites of the estuary , which showed that the concentration of Total Nitrogen (TN) and Total Phosphorus (TP) were 3. 50 mg/L and 0. 28 mg/L , higher than the V standards (TN ≤2. 0 mg/L , TP ≤0. 2 mg/L) of National Lake Water Quality Standard.

Key Words : The West Shore of Taihu Lake ; hydrobiology ; water quality ; eutrophication

湖滨带作为健康湖泊生态系统的重要组成部分 ,拥有丰富的动、植物区系。生物群落之间的相互作用与流经湖滨带的营养流、以碳有机物形式表现的能流、水流决定着湖滨带的功能及对相邻生态系统的影响。因此 ,它对交错带内能量流动和物质循环的调节以及对景观斑块的变化或稳定性起着重要的作用。

由于长期地高强度人类活动的影响 ,使得湖泊接纳的过量氮、磷等营养元素导致部分水生生物异常繁殖 ,水体透明度、溶解氧降低 ,湖泊生态系统和水环境功能受到破坏 ,水体受到富营养化的威胁日益加剧 ,湖泊出现急剧退化现象。国外对退化湖滨带的生态修复研究已开展了多年 ,因此 ,积累了丰富的理论基础和实践经验^[1-5]。由于我国人口众多 ,湖滨地区人口密集 ,湖滨带生态破坏严重 ,近些年来 ,针对湖滨带的生态修复研究也陆续展开。

太湖流域是我国著名的水网地区 ,境内河道纵横交错。河道总长度 12×10^4 km ,平均每平方公里河道长度 3. 2 km ,在广大平原区构成网络状 ,称为“江南水网”。太湖作为流域内的主要水体 ,具有向周边城市及其工农业供水 ,发展渔业、航运、旅游等功能 ,也是流域水生态系统的主体基础 ,保障了长江三角洲地区社会经济赖以持续发展的水资源^[6-7]。

1965 年对太湖湖滨带地区进行的水质监测表明 ,水体中溶解氧含量达到 8. 80 mg/L ,氮的化合物中硝酸根最高含量仅为 0. 05 ~ 0. 07 mg/L ,铵离子次之 ,含量为 0. 02 ~ 0. 04 mg/L ,亚硝酸根含量最少 ,为 0. 02 mg/L 左右 ,磷酸根含量一般在 0. 01 ~ 0. 05 mg/L 之间。另外 ,对湖滨带水生生物的调查表明 ,以芦苇为优势种的大型挺水植物在湖岸带广泛分布 ,生长茂盛 ,株高 3. 5m ,连续性约占湖岸带的 80%。由于西岸浅水区淤泥和杂质较多 ,除分布有少量沉水植物外 ,底栖动物较为丰富 ,其中以黄蚬最多 ,达到 48. 41 个/m² ,环节动物和水生昆虫次之 ,达到 25. 92 个/m² ,在马湾附近河蚌和螺蛳丰富 ,分别达到 28 个/m²和 34 个/m²^[8]。

随着长江三角洲地区经济的快速发展 ,特别是沿湖乡镇工业的扩张 ,污染物来源在最近数十年间发生了较大的变化 ,化工、农业及生活污水所占比重增加。据统计 ,西太湖沿南北向岸线长 50km 范围内 ,兴建了一百多家化工厂。2005 年对太湖西岸近 260 km²的湖滨带地区进行的土地利用现状调查表明 ,农业用地面积占到 69. 5% ,建筑用地占 21. 16% ,以芦苇荡、滩涂和河流为主的自然湿地面积仅占西太湖湖滨带总面积的 8. 89%。养殖、围湖造田以及环湖大堤的修建 ,导致湖滨带自然湿地破碎化程度高。湿地水生生态系统的严重退化 ,使得湖泊自净能力下降。同时 ,草食性、食底栖动物鱼类的捕食 ,特别是有毒有害工业废水的排放 ,加剧了湖水水质恶化的程度 ,养殖区水草和螺、蚌等软体类底栖动物无法生长。

水环境恶化及水体富营养化已造成地区大部分的水质性缺水 ,不仅给地区社会经济的持续发展造成极大的影响 ,而且也给周边地区居民的生活和健康带来了严重影响^[9,10]。

本文在对太湖西岸平原河网区湖滨带入湖河口区水生生物分布现状和水质监测的基础上 ,分析了该区域浮游生物、底栖动物的分布特征 ,为太湖水体水质的变化趋势及其水污染治理提供基础数据。

1 研究地区与研究方法

本研究区位于太湖西岸湖滨带环湖大堤东侧入湖河口区域 ,自分水至汴东 50 km 长的范围内 (N 31°

22. 514' ~ 31° 13. 742' ,E :119° 57. 165' ~ 119° 53. 023') (图 1)。分布有近 50 条入湖河道 ,其中通航河道近 10 条 ,由于防洪大堤的兴建 ,部分入湖河道被阻断。

湖泊水库富营养化的重要标志之一 ,是水中水生生物的种类不断减少 ,浮游植物数量急剧增加。因此 ,水体中生物种类和数量亦可作为湖泊水库营养状态的分析依据。采用可计量的优势种及物种多样性指数 ,用于分析湖泊的营养化状况 [11 ~ 13] 。

1.1 水生生物调查方法

1.1.1 浮游植物调查

全段共设入湖河港测点 29 个 (自北向南 ,北至分水 ,南抵伏东 ;以其中与湖体相通的 10 个大、中型河港数据分析为主)。采集混合定量样品 1L ,用鲁哥氏液固定后 ,经 36 ~ 48 h 沉淀 ,浓缩至 50 ml ,在高倍显微镜下观察 100 ~ 200 个视野 (重复 2 次) ,以确定浮游植物的种类和数量 ,然后再将此浓缩液经 24 h 沉淀 ,再浓缩至 10 ml ,分次取 20% 水样 ,在计数框内观察全片 ,计算大型浮游植物的数量 [14 ,15] 。

1.1.2 浮游动物调查

采集混合定量样品 1 L ,用鲁哥氏液固定后 ,经 36 ~ 48 h 沉淀 ,浓缩至 50 ml。在高倍显微镜下观察 100 ~ 200 个视野 (重复 2 次) ,以确定浮游动物的种类和数量 ,然后将此浓缩液经 24 h 沉淀 ,再浓缩至 10 ml ,分次取 20% 水样。在计数框内观察全片 ,计算原生动物、轮虫的数量。枝角类、桡足类成体系采集水样 10 L ,经 13 号浮游生物网过滤 ,用甲醛固定后全部计数。计算结果换算成每升个数 ,用目微尺测定主要种类的个体大小 [16] 。

1.1.3 底栖动物调查

采集时间和测点均与浮游生物相同。采集定量样品时 ,主要使用彼得生采泥器 (开口面积约为 900 cm²) 和捞网。利用不同样点地形特点 ,分别在船上或桥上用采泥器进行 3 次采集 ,立即用 225 孔 /cm² 的网筛在水中简单清洗 ,尽量检出所有标本 ,装入广口采集瓶中 ,用 5% 的福尔马林液固定。最后根据参考资料 ,进行物种鉴定 [17] 。

1.2 水质状况分析方法

1.2.1 优势种分析法

湖泊、水库研究结果表明 ,不同营养状态水域中所生存的生物种类差异比较大 ,如表 1 所示。在分析工作中 ,首先根据湖泊水库生物调查资料的分析 ,确定该水域中占优势的浮游植物种类。然后 ,对照表 1 的评定标准 ,即可判定湖泊所处的营养状态。一般将浮游植物的优势种作为综合分析的一个指标 [18 ~ 21] 。

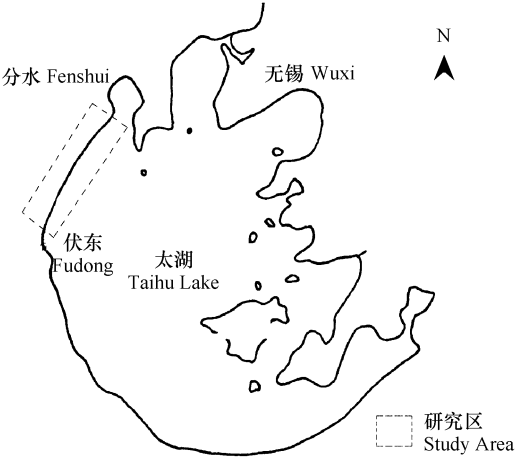


图 1 研究区地理位置

Fig. 1 The geographical location of research region

分次取 20% 水样 ,在计数框内观察全片 ,计算大型浮游植物的数量 [14 ,15] 。

表 1 湖泊营养状态与浮游植物优势种的关系

Table 1 The relationship between the water quality status and the dominant phyla of phytoplankton in lakes	
营养状态 The state of nutrition	优势门类 Dominant phyla
贫营养 Oligotrophication	金藻门 Chrysophyta
贫-中营养 Oligo-moderate trophication	隐藻门 Cryptophyta
中营养 Moderate-trophication	甲藻门 Pyrrophyta
中-富营养 Moderate-eutrophication	硅藻门 Bacillariophyta
富营养 Eutrophication	硅、绿藻门 Bacillariophyta and Chlorophyta
极富营养 Extra- eutrophication	蓝、绿藻门 Cyanophyta and Chlorophyta

1.2.2 物种多样性指数的分析方法

一般情况下 ,自然湖泊中的各种水生生物的数量均维持其相对稳定的关系 ,一旦发生富营养化 ,浮游植物中的某些属类将因得到充足的氮、磷等营养物质而大量繁殖 ,而另外一些属类的相对数量则有明显减少的趋势。物种多样性是衡量群落规模和重要性的基础 ,也是水体营养状况信息反映的重要参数。因而 ,可以利用藻类的物种多样性指数作为判断湖泊水库营养状况的依据。本文选用较为常用的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielous 种类均匀度指数^[22~24]。

Shannon-Wiener 多样性指数

$$H' = - \sum_{i=1}^s (P_i \ln P_i)$$

(1)

Pielous 均匀度指数

$$J = (- \sum_{i=1}^s P_i \ln P_i) / \ln S$$

(2)

式中 P_i 为 n_i/N ; n_i 为第 i 种生物的个体数 ; S 为总个体数。

表 2 是国际上常用的浮游生物多样性指数来判别水体水质状况的一些标准值。

表 2 浮游生物多样性指数水质评判标准

Table 2 The water quality criterion with species diversity indices of plankton					
生物多样性指数 Biodiversity indices	清洁 Cleanliness	轻污染 Slight pollution	中污染 Moderate pollution	重污染 Heaviest pollution	严重污染 High pollution
H'	>4.5	4.5~3	3~2	2~1	<1
J	>0.8	0.8~0.5	0.5~0.3	0.3~0.1	<0.1

1.2.3 水质监测方法

采用荷兰产 SKALAR SAN⁺⁺ 自动分析仪对取自 24 个港口的水样进行测定。测定项目包括 :总氮 (TN)、总磷 (TP)、COD_{Mn} ,每一样点的测定指标取平均值^[25]

2 结果分析

2.1 浮游植物种类及数量分布特征

作为水体中的一种生态学单位 ,浮游植物群落的种类组成及其变化 ,是湖泊中物理、化学和生物等各种生态因子综合作用的动态反映。

对太湖西岸 11 个入湖河口区的浮游植物分析结果表明 :水体中的浮游植物有蓝藻门、绿藻门、裸藻门、黄藻门和硅藻门 5 个门类 (表 3)。各门类依次有 16、17、4、3 个属和 1 个属。在种类组成上 ,大部分港口优势种或亚优势种以微囊藻属 (*Microcystis*) 的铜绿微囊藻 (*M. aeruginosa*)、不定微囊藻 (*M. incerta*)、具缘微囊藻 (*M. marginata*) ,以及颤藻属 (*Oscillatoria*) 的巨颤藻 (*O. princeps*)、美丽颤藻 (*O. formosa*)、小颤藻 (*O. tenuis*)、丝藻

表 3 太湖西岸主要入湖河口区湖滨带浮游植物种类及数量分布特征

Table 3 The distribution characteristics of species and amount of phytoplankton in west shore of Taihu lake Units (ind./L)					
门类 phyla	监测点 Measure spots				
	小金港 Xiaojin harbor	林庄港 Lin Zhuang harbor	定跨港 Dingkua harbor	洪巷港 Hongxiang harbor	庙渎港 Miaodu harbor
蓝藻门 Cyanophyta	3395	9519	14364	10161	6247
绿藻门 Chlorophyta	5007	5300	4385	5894	4124
硅藻门 Bacillariophyta	183	109	189	1239	484
黄藻门 Xanthophyta	94	179	0	481	94
裸藻门 Euglenophyta	0	0	0	198	0
合计 Total	8679	15107	18938	17973	10949

(*O. ulothrix*) 为主。林庄港、定跨港、洪巷港中的蓝藻数量巨大,分别达到 9519 个/L,14364 个/L 和 10161 个/L,绿藻在各港口区域单位数量相当,平均在 5000 个/L 左右。总体上,太湖西岸湖滨带入湖河口区域的浮游植物种类和数量以蓝藻和绿藻占绝对优势(表 3)。由于水体透明度的降低,以及湖滨带水生维管束植物的大量减少等生境条件的改变,使得太湖西岸浮游植物与 1965 年太湖调查结果相比,种类和单位水体数量均有较大变化,硅藻和绿藻的某些种类和数量锐减,甲藻和裸藻已很难见到。

2.2 浮游动物种类及数量分布特征

浮游动物作为湖泊水体中的微小水生生物,种类组成复杂多样。在生态系统结构、功能和生物生产力研究中,占有重要地位的有原生动物、轮虫、枝角类和桡足类四大类^[20]。

对 11 个入湖河口区湖滨带进行了浮游动物调查,共发现 71 个种。其中原生动物 13 种,轮虫 34 种,枝角类 13 种,桡足类 11 种。

原生动物在各调查区域均有分布,不同区域其优势种或亚优势种有所不同,一般以细致拟砂壳虫(*Pseudodiffugia gracilis*)、球形砂壳虫(*Diffugia globulosa*)、砂壳虫(*Diffugia* sp.)、长圆砂壳虫(*Diffugia ablonga*)、尖顶砂壳虫(*Diffugia acuminata*)等为主;侠盗虫(*Strobilidium* sp.)、王氏似铃壳虫(*Tintinmopsis wangi*)、累枝虫(*Epistylis* sp.)、锥形似铃壳虫(*Tintinmopsis conicus*)、圆钵砂壳虫(*Diffugia urceolata*)等作为偶见种有一定分布。

轮虫优势种在不同区域有一定差异,有萼花臂尾轮虫(*Brachionus calyciflorus*)、角突臂尾轮虫(*B. angularis*)、花筐臂尾轮虫(*B. capsuliflorus*)、尾突臂尾轮虫(*B. caudatus*)等 14 种。另外,上述物种在一些区域作为亚优势种也有一定分布。旋轮虫(*Philodina* sp.)、泡轮虫(*Pompholyx* sp.)、狭甲轮虫(*Colurella* sp.)等 21 种轮虫作为偶见种在大部分河口区有分布。

枝角类优势种有象鼻溞(*Bosmina* sp.)、秀体溞(*Diaphanosoma* sp.)、网纹溞(*Ceriodaphnia* sp.)、长额象鼻溞(*Bosmina longirostris*)、多刺秀体溞(*Diaphanosoma sarsi*)、筒弧象鼻溞(*Bosmina coregoni*);亚优势种有点滴尖额溞(*Alona guttata*)、裸腹溞(*Moina* sp.)、盘肠溞(*Chydorus* sp.)等 7 种;偶见种稀少,仅发现有尖额溞(*Alona* sp.)、秀体溞两种。

桡足类的中华窄腹剑水蚤(*Limnoidithona sinensis*)、汤匙华哲水蚤(*Sinocalanus dorrii*)作为优势种在小金港和毛渎港分布。小剑水蚤(*Microcyclops* sp.)、许水蚤(*Schmackeria forbesi*)、温剑水蚤(*Thermocyclops* sp.)作为亚优势种在部分河口区有分布。大剑水蚤(*Macrocylops* sp.)、外剑水蚤(*Ectocyclops* sp.)、咸剑水蚤(*Halicyclops* sp.)、拟剑水蚤(*Paracyclops* sp.)、剑水蚤(*Cyclops* sp.)、刺剑水蚤(*Acanthocyclops* sp.)、汤匙华哲水蚤等作为偶见种有一定分布。

调查表明,入湖河口区浮游动物数量与河道尺度有一定的关系。在以大型航运为主要功能的社渎港,单位水体中的浮游植物数量较少,以此为饵料的浮游动物数量也相对较少。欧渎港入湖河道相对较小,上游来水量较小,浮游生物群落相对稳定,生物量丰富。林庄港河道位于居民集聚区,以灌溉为主,辅以通行小型渔船的功能。由于近两年的底泥清淤,浮游生物生物量较欧渎港小。

表 4 不同类型入湖河口区浮游动物种类及数量分布特征

Table 4 The distribution characteristics of species and amount of zooplankton in different types Beaches Units (ind./L)				
样点 Sample station	原生动物 Protozoa	轮虫 Rotifera	桡足类 Copepoda	枝角类 Cladocera
社渎港 Shedu harbor	2.4 × 10 ⁴	1.29 × 10 ⁵	3.3 × 10 ⁴	1.8 × 10 ⁴
欧渎港 Oudu	1.23 × 10 ⁵	4.2 × 10 ⁵	1.2 × 10 ⁵	1.86 × 10 ⁵
林庄港 Linzhuang harbor	6.5 × 10 ⁴	6.5 × 10 ⁴	5.9 × 10 ⁴	2.9 × 10 ⁴

2.3 底栖动物种类及数量分布特征

对多个采样点的取样结果表明,太湖西岸湖滨带底栖动物共计约 16 种、155 个个体。其中环节动物 1 种,软体动物 11 种,节肢动物 4 种。以螺类为主,其中田螺科(*Viviparidae*)环棱螺属(*Bellamya*)的梨形环棱螺

(*B. purificata*)、园田螺属 (*Cipangopaludina*) 的中华园田螺 (*C. cathayensis*) 等密度分别达到 69 个/m² 和 19 个/m²。梨形环棱螺、椭圆萝卜螺 (*R. swinhoei*) 和颤蚓 (*Tubificidae* sp.) 等分布范围广泛, 出现率达到 100%。其中种类和数量最多的是朱涑港, 共采集到约 10 个科、15 种、61 个个体, 分别占总量的 91%、94% 和 39.4%。梨形环棱螺和中华园田螺的密度分别为 82 个/m² 和 41 个/m²。

2.4 浮游生物及底栖动物优势种分析

浮游植物的分布是和各地区的水环境条件相适应的。如蓝藻和绿藻生长繁殖所需的条件是较高温度, 含氮量高, 有机质多, 且偏于碱性的水体。由于近些年来湖泊面源污染严重, 适于蓝藻和绿藻生长的条件, 蓝藻和绿藻大量繁殖, 形成水华。导致水体中溶解氧浓度下降, 透明度降低, 水质恶化, 影响其它水生生物的正常生长。因此, 对水体中浮游植物种类及生物量的动态监测, 也是综合分析湖泊水质的标准之一。

测定表明, 蓝藻和绿藻是太湖西岸水体中浮游植物的主要优势种类。以上述 5 个港口调查结果为例, 个体数目平均为 8737 个/L 和 44027 个/L。定跨港蓝藻数量达到 14364 个/L, 洪巷港绿藻达到 5894 个/L (表 3)。而代表贫营养型水体的硅藻种类和单位水体个体数极少, 仅发现有小环藻、直链藻、舟形藻、针杆藻和平板藻五种, 平均仅为 440 个/L。根据表 1 中湖泊营养状态与浮游植物优势种的关系, 太湖西岸湖滨带水体水质基本处在极富营养化水平。

据研究报道, 桡足类在富营养型水体中, 可达 1000 个/L 以上。对研究区的浮游动物调查表明, 桡足类数目达到 7.07×10^4 个/L, 枝角类为 7.76×10^4 个/L。另外, 不同类型河道水质的不同, 两类浮游动物单位水体数量也有一定的差别。以社渚港、欧渚港和林庄港为例, 水体中 TN 浓度分别为 1.66 mg/L, 2.62 mg/L 和 2.85 mg/L, TP 浓度分别为 0.09 mg/L, 0.11 mg/L 和 0.13 mg/L。水体中的桡足类数量分别为 3.3×10^4 个/L, 1.2×10^5 个/L 和 5.9×10^4 个/L, 枝角类分别为 1.8×10^4 个/L, 1.86×10^5 个/L 和 2.9×10^4 个/L (表 4), 表明浮游动物中的桡足类一般适于生活在富营养型的水体中, 喜食浮游单细胞藻类的枝角类也有类似习性。因此, 对桡足类在单位水体中的种类和数量上的定量检测, 可作为衡量河流或湖泊水体水质富营养化程度或等级的环境监测的生物指标之一。

对太湖西岸河口区底栖动物调查表明, 底栖动物种类和数量均较少, 多样性指数低下。由于生境条件的改变, 曾作为西岸各进出港口优势种的黄蚬 (*Corbicula aurea*), 已为耐污染的螺类所取代。另外, 种类和数量的多寡与不同类型港口的水质有一定的关系。在以林庄港和洙涑港为代表的入湖河口区, 河道较窄, 水体相对平静, 两岸为村庄和工厂分布区。生活和生产污水的无序排放, 以及河泥的常年淤积, 为耐污底栖动物种类创造了良好的生境条件。两港耐污底栖动物种类较多, 分别为 5 种和 8 种, 其中朱涑港螺类占到 73.77%。以航运为主的港口由于来水量大, 水体交换频繁。另外, 波浪对河口区底泥的长期冲刷, 不适于底栖动物的生活。如在沙塘港, 仅发现有梨形环棱螺、椭圆萝卜螺和颤蚓 3 种, 且个体数仅为 6 个/m²。

2.5 水生生物物种多样性分析

2.5.1 浮游植物物种多样性分析

太湖西岸湖滨带水体中的浮游植物门类单一, 物种分布严重失衡。在调查到的 5 个浮游藻门类, 共计 47 种藻中, 蓝藻种类分别达到 22 种和 17 种, 硅藻门仅为 8 种。门类之间物种生物量差别悬殊, 以蓝藻和绿藻占绝对优势, 均匀度值低下。水体中的总藻类个数为 14329 个/L, 其中的蓝藻和绿藻数目分别达到 8737 个/L 和 49427 个/L, 为 8 种, 硅藻门仅为 440 个/L。

重点对 5 个不同尺度的港口浮游植物进行的 Shannon-Wiener 多样性指数和 Pielous 均匀度指数测定结果表明 (表 5), 蓝藻门生物多样性指数值基本在 1.3 ~ 1.6 和 0.14 ~ 0.22 之间波动。绿藻门生物多样性指数值在 1.1 ~ 1.8 和 0.1 ~ 0.2 之间波动 (表 5)。根据表 1 浮游生物多样性指数水质分析标准, 太湖西岸湖滨带水体已处于重污染水平, 个别区域已达到严重污染的程度。

2.5.2 底栖动物物种多样性分析

底栖动物是淡水生态系统的一个重要组成部分, 其生物多样性的不高不仅反映了生态系统的完整性, 而

且间接反映了水环境质量的优劣程度。因此 ,对底栖动物种类 ,特别是某些敏感种和耐污种种类和数量的测定 ,可作为水环境监测的重要生物指标。

表 5 主要入湖河口区浮游植物 Shannon-Wiener 多样性指数
Table 5 The Shannon-Wiener biodiversity indices of plankton in main beaches

门类 Phyla	监测点 Measure spots				
	小金港 Xiaojin harbor (H'/J)	林庄港 Linzhuang harbor (H'/J)	定跨港 Dingkua harbor (H'/J)	洪巷港 Hongxiang harbor (H'/J)	庙渚港 Miaodu harbor (H'/J)
蓝藻门 Cyanophyta	1.29/0.159	1.63/0.178	1.14/0.119	1.34/0.145	1.58/0.181
绿藻门 Chlorophyta	1.40/0.164	1.46/0.170	0.91/0.109	1.24/0.143	1.78/0.214

对主要入湖河口区的底栖动物分布特征的调查表明 ,大型港口区种类稀少 ,如沙塘港和洪巷港分别为 3 种和 7 种 ,其中耐污染的螺类分别占到 2 种和 4 种。Shannon-Wiener 多样性指数低下 , H' 值分别为 1.10 和 1.13。朱渚港和林庄港种类较高 ,分别达到 15 种和 12 种 , H' 值分别为 2.15 和 1.96。由于仍以田螺科的耐污种类为主 ,均匀度值基本在 0.3 ~0.5 之间波动 (表 6)。椎实螺科的椭圆萝卜螺和颤蚓等广布种在各入湖河口区均有分布 ,4 个港口区域中的耐污及广布种单位水体中的数量分别占到底栖动物总量的 100% ,90.70% ,80.33% 和 68%。

表 6 主要入湖河口区底栖动物 Shannon-Wiener 多样性指数
Table 6 The Shannon-Wiener biodiversity indices of zoobenthos in main beaches

生物多样性指数 Bio-diversity indices	监测点 Measure spots			
	沙塘港 Shatang harbor	洪巷港 Hongxiang harbor	朱渚港 Zhudu harbor	林庄港 Linzhuang harbor
H'	1.10	1.13	2.15	1.96
J	1	0.3	0.523	0.50

2.6 太湖西岸湖滨带入湖河口水质特征

结合太湖西岸湖滨带水生生物分布特征调查 ,对 24 个入湖港口进行了水质监测。结果表明 :16 个河口区湖滨带测点水体中 ,TN 浓度均超过国家地表水环境质量 V 类水标准 2.0 mg/L 的限值 (湖、库) ,沙塘港、茭渚港、社渚港、官渚港、黄渚港、双桥港、定跨港和八房港水体中的 TN 浓度分别达到 4.34 mg/L ,4.69 mg/L ,6.66 mg/L ,7.19 mg/L ,7.76 mg/L ,6.21 mg/L ,6.75 mg/L (图 2)。上述的 16 个测点中 ,有 10 个河口区域 TP 浓度超过国家地表水环境质量 V 类水标准 0.2 mg/L 的限值 (湖、库)。其中的双桥港、定跨港和八房港水体 TP 浓度分别达到 0.70 mg/L ,0.64 mg/L 和 0.75 mg/L。其它入湖河口区水体 TP 浓度基本在Ⅳ类和Ⅴ类水之间 (图 3)。COD_{Mn} 浓度较低 ,一般在 10 mg/L 以下。

环湖大堤的兴建是湖水水质恶化的主要原因之一 ,防洪大堤阻断了湖滨带地区水陆物质交换的通道 ,自然湿地的大面积消失 ,导致水生生态系统严重退化 ,其应具有生态和水环境净化功能几近丧失。另外 ,沿湖人口的剧增所带来的湖滨带高的土地利用 ,也是引起水体中 TN、TP 浓度居高不下的主要原因。由于对河道两侧岸坡的蚕食性垦殖和大量施肥 ,以及沿岸两侧农村居民点生活污水的滥排乱放 ,大量农田和生活废水通过地表径流的方式进入入湖河道。

3 结论与讨论

20 多年来 ,太湖西岸地区国民经济的高速发展和人口的高度密集 ,工农业废水和生活污水排放量与日俱增 ,新污染源 (如乡镇工业、旅游点、渔业养殖等) 不断出现 ,使太湖西岸平原河网区入湖河道和湖泊水质逐年下降。大部分水域水质低于Ⅳ类水标准 ,水体富营养化程度加剧。

在富营养化湖泊水体中 ,湖滨带水生生物群落结构趋于单一化 ,敏感种大量减少或消失 ,同时 ,部分耐污物种大量繁殖。如喜生于富含氮、磷水体的蓝藻种类在湖泊水体中占据绝对优势。其中以微囊藻属、颤藻

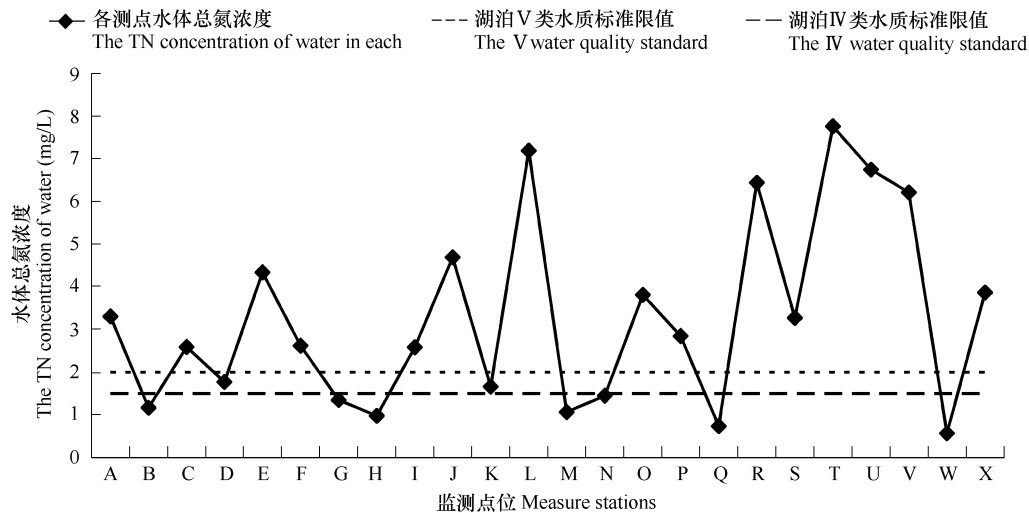


图2 太湖西岸湖滨带24 各入湖河口区水体总氮浓度

Fig. 2 The total nitrogen content of the water in 24 west beaches of the Taihu lake

A :小金港 B :青店港 C :盛湌港 D :殷村港 E :沙塘港 F :欧渚港 G :毛渚港 H :邗渚港 I :洋溪渚港 J :茭渚港 K :社渚港 L :官渚港 M :洪巷港 N :城东港 O :大浦港 P :林庄港 Q :朱渚港 R :黄渚港 S :庙渚港 T :双桥港 U :八房港 V :定跨港 W :乌溪港 X :南黄渚港
A :Xiaojin harbor ; B :Qingdian harbor ; C :Shengdu harbor ; D :Yincun harbor ; E :Shatang harbor ; F :Oudu harbor ; G :Maodu harbor ; H :Zhudu harbor ; I :Yangxiu harbor ; J :Jiaodu harbor ; K :Shedu harbor ; L :Guandu harbor ; M :Hongxiang harbor ; N :Chengdong harbor ; O :Dapu harbor ; P :Linzhuang harbor ; Q :Zhudu harbor ; R :Huangdu harbor ; S :Miaodu harbor ; T :Shuangqiao harbor ; U :Bafang harbor ; V :Dingkuo harbor ; W :Wuxi harbor ; X :Nanhuangdu harbor ; 下同 the same below

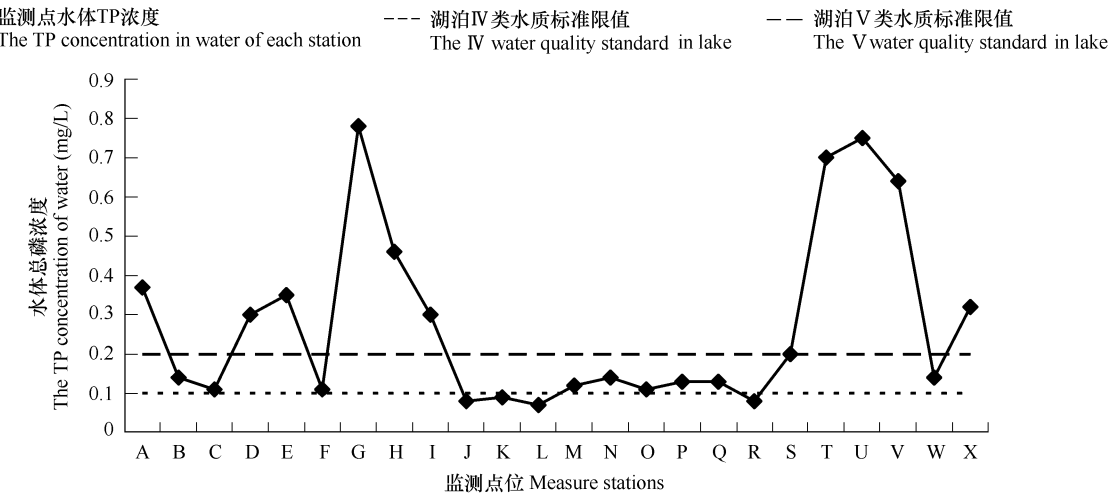


图3 太湖西岸湖滨带24 个入湖河口区水体总磷浓度

Fig. 3 The total phosphorus content of the water in 24 beaches of west Taihu lake

属和绿藻门的丝藻属的某些种类在每年的夏季大量繁殖 ,形成较长时间的水华现象。
水体中的浮游动物种类减少 ,耐污的桡足类和枝角类物种数量显著增加 ,远高于水体达到富营养化水平时生物量 1000 个/L 的标准。在严重富营养化的河道水体中 ,单位水体中的数目占到浮游动物总量的 40. 37% ;单位水体中的耐污底栖动物数量平均占到底栖动物总生物量的 84. 76%。因此 ,太湖及其周边河流近年来的富营养化水质 ,在一定程度上为耐污水生生物的生长、繁殖提供了理想场所。
太湖西岸湖滨带水质的严重富营养化状态是导致浮游生物和底栖动物种类锐减 ,群落内物种多样性下降 ,水生生态系统严重退化的根本原因。对湖泊水生生物群落内的物种种类、物种多样性及数量等分布特征

进行调查和分析 ,可用于分析水体水质的动态变化。

References :

[1] Whigham D F. Ecological issues related to wetland preservation , restoration , creation and sssessment. The Science of the Total Environment ,1999 , 240 31 —40.

[2] Lane R R , Day J W , Kemp G P , Demcheck D K. The 1994 experimental opening of the Bonnet Carre Spillway to divert Mississippi River water into Lake Pontchartrain , Louisiana. Ecological Engineering ,2001 ,17 (4) :411 —422.

[3] Bolliger J , Schulte L A , Burrows S N , Sickley T A , Mladenoff D J. Assessing ecological restoration potentials of Wisconsin (USA) using historical landscape reconstructions. Restoration Ecology ,2004 ,12 (1) :124 —142.

[4] Choi Y D. Theories for ecological restoration in changing environment : Toward ‘futuristic ’ restoration. Ecological Research ,2004 ,19 (1) :75 —81.

[5] Revsbech N P , Jacobsen J P , Nielsen L P. Nitrogen transformations in microenvironments of river beds and riparian zones. Ecological Engineering , 2005 24 (5) :447 —455.

[6] Chen H S. Restoration project of the ecosystem in Taihu Lake. Resources and Environment in the Yangtze Basin 2001 ,10 (2) :173 —178.

[7] Sun S C , Huang Y P. Taihu Lake. Beijing :Oceanpress ,1993.

[8] Nanjing Institute Of Geography & Limnology ,Chinese Academy Of Science. The primary report of integrative investigation in Taihu Lake. Beijing : Science Press ,1965.

[9] Jiao F ,Qin B Q. Analysis of social-economic influence on water pollution in Taihu Basin , Areal Research and Development 2002 21 (2) 89 —92.

[10] Fan C X. Historical evolution of water ecological setting in Taihu Lake. Journal of Lake Sciences ,1996 8 (4) 297 —304.

[11] Shi J H. Status quo of environmental quality in East Taihu Lake. Journal of Lake Sciences ,1994 6 (2) :166 —170.

[12] Zhu M. Variational trend and protection steps of water quality in Taihu Lake , Journal of Lake Sciences ,1996 8 (2) :133 —138.

[13] Qin B Q , Hu W P , Cheng W M. The Evolutive Process and Mechanismof Aqueous Environment in Lake Taihu. Beijing :Science Press 2004.

[14] Kong F X ,Gao G. Hypothesis on cynobacteria bloom-forming mechanism in large shallow eutrophic lakes. Acta Ecologica Sinica ,2005 , (3) 590 —595.

[15] Xie P ,Zhang G Y ,Dai M *et al.* Effectes of the water eutrophic on plankton community diversity. Acta Hytrobiologica Sinica ,1996 20 30 —37.

[16] Wu S G ,Shen Y F. On the protozoan succession from the viewpoint of temporal and spatial heterogeneity in eutrophic Donghu Lake. Acta Ecologica Sinica 2001 21 (3) :448 —451.

[17] Gong Z J ,Xie P ,Tang H J *et al.* The influence of eutrophycation upon community structure and biodiversity of macrozoobenthos , Acta Hytrobiologica Sinica ,2001 25 (3) 210 —216.

[18] Rapport D J , Costanza R , Epstein P R *et al.* eds. Ecosystem Health , Boston :Blackwell Science ,1998. 372.

[19] Shear H. The development and use of indicators to assess ecosystem health state in the Great Lake. Ecosyst. Health ,1996 ,2 (2) 241 —258.

[20] Zhao Z Y , Xu F L ,Zhan W *et al.* A quantitative method for assessing lake ecosystem health. Acta Ecologica Sinica ,2005 25 (6) :1466 —1474.

[21] Cui X H ,Chen J K ,Li W. Survey methods on aquatic macrophyte vegetation in lakes in the middle and lower reaches of Changjiang River ,Journal of Wuhan Botanical Research ,1999 ,17 (4) 357 —361.

[22] Yu D ,Kang H ,Xie P ,Chen Y Y. A comparative analysis on the species diversity of apquatic plants in Qingling Lake , Acta Ecologica Sinica ,1996 , 16 (6) :565 —575.

[23] Gu X H ,Zhang S Z ,Bai X L. Evolution of community structure of aquatic macrophytes in East Taihu Lake and its wetlands. Acta Ecologica Sinica , 1996 ,16 (6) :1541 —1548.

[24] State environmental protection administation of China. The monitor and analysis l method of Water and sewage. Beijing : China Environmental Science Press ,2002. 12.

[25] Liu J K. Advanced Hydrobiology. Beijing :Science Press ,1999. 176 —241.

参考文献 :

[6] 陈荷生. 太湖生态修复治理工程. 长江流域资源与环境 2001 ,10 (2) :173 ~178.

[7] 孙顺才 ,黄漪平 主编. 太湖. 北京 :海洋出版社 ,1993.

[8] 中国科学院南京地理研究所. 编. 太湖综合调查初步报告. 北京 :科学出版社 ,1965.

[9] 焦锋 ,秦伯强. 太湖水环境污染的社会经济因子分析 ,地域研究与开发 ,2002 ,21 (2) :89 ~ 92.

[10] 范成新. 太湖水体生态环境历史演变 ,湖泊科学 ,1996 ,8 (4) :297 ~ 304.

[11] 石建华. 东太湖的环境质量现状调查分析. 湖泊科学 ,1994 ,6 (2) :166 ~ 170.

[12] 诸敏. 太湖水质变化趋势及其保护对策 ,湖泊科学 ,1996 ,8 (2) :133 ~ 138.

[13] 秦伯强 ,胡维平 ,陈伟民 ,编著. 太湖水环境演化过程与机理. 北京 :科学出版社 ,2004.

[14] 孔繁翔 ,高光. 大型浅水富营养化湖泊中蓝藻水华形成机理的思考. 生态学报 ,2005 ,25 (3) :590 ~ 595.

[15] 谢平 ,诸葛燕 ,戴莽 ,等. 水体富营养化对浮游生物群落多样性的影响. 水生生物学报 ,1996 ,20 (增刊) :30 ~ 37.

[16] 吴生桂 ,沈韞芬. 从时空异质性看东湖富营养化中原生动物的演替. 生态学报 ,2001 ,21 (3) :448 ~ 451.

[17] 龚志军 ,谢平 ,唐汇涓 ,等. 水体富营养化对大型底栖动物群落结构及其多样性的影响. 水生生物学报 ,2001 ,25 (3) :210 ~ 216.

[20] 赵臻彦 ,徐福留 ,詹巍 ,等. 湖泊生态系统健康定量评价方法. 生态学报 ,2005 ,25 (6) :1466 ~ 1474.

[21] 崔心红 ,陈家宽 ,李伟. 长江中下游湖泊水生植被调查方法 ,武汉植物学研究 ,1999 ,17 (40) :357 ~ 361.

[22] 于丹 ,康辉 ,谢平 ,陈宜瑜. 青菱湖和黄家湖水生植物多样性的比较分析. 生态学报 ,1996 ,16 (6) :565 ~ 575.

[23] 谷孝鸿 ,张圣照 ,白秀玲 ,等. 东太湖水生植物群落结构的演变及其沼泽化. 生态学报 ,2005 ,25 (7) :1541 ~ 1548.

[24] 国家环境保护总局 编. 水和废水监测分析方法 ,北京 :中国环境科学出版社 ,2002 ,12.

[25] 刘健康 主编. 高级水生生物学. 北京 :科学出版社 ,1999. 176 ~ 241.