

甬江干流浮游植物的群落结构及其季节变化*

宋贤英¹ 张捷² 白春节² 周蓉蓉¹ 刘伟¹ 徐石林¹ 谭大鹏¹ 黄平沙^{2**}

(¹宁波市环境保护科学研究设计院 宁波 315012)

(²浙江万里学院生物与环境学院 宁波 315100)

摘要 为了评价甬江水环境质量,应用物种丰富度指数 D 、Pielou均匀度指数 J' 以及Shannon-Wiener多样性指数 H' 、浮游植物群落的总耐污指数,对甬江干流13个断面浮游植物群落的基本结构特点与季节变化进行研究;并使用PREIMER 6.0软件对浮游植物群落数据进行Two-way ANOSIM相似性分析、Bray-Curtis相似性等级聚类分析以及MDS标序的计算.结果显示:甬江干流共有浮游植物114种(属),隶属于6门41科80属;其中以绿藻种类最多,硅藻次之.第一优势种为颤藻(*Oscillatoria* sp.),第二优势种为直链藻(*Melosira* sp.).浮游植物群落的丰度在 5.2×10^3 – 2.8714×10^6 ind./L内变动,其丰度的季节变化多呈单峰型,以春季高峰为主.对甬江干流浮游植物群落的相似性比较显示:各断面间和季节间都存在着显著差异,分别为 $R = 0.379$, $P = 0.1\%$ 和 $R = 0.462$, $P = 0.1\%$;季节间差异性大于断面间的差异性.浮游植物群落多样性指数以及藻类污染指数的计算结果显示甬江干流已受到一定程度的污染.图5 表4 参41

关键词 浮游植物;群落结构;生物多样性;水质评价;甬江

CLC Q178.1

Seasonal Change in Structure of Phytoplankton Communities in the Yongjiang River*

SONG Xianying¹, ZHANG Jie², BAI Chunjie², ZHOU Rongrong¹, LIU Wei¹, XU Shilin¹, TAN Dapeng¹ & HUANG Pingsha^{2**}

(¹Ningbo Institute of Environment Protection Research and Design, Ningbo 315012, China)

(²College of Biology and Environment, Zhejiang Wanli University, Ningbo 315100, China)

Abstract In order to evaluate the water quality of the Yongjiang River, the structure characteristics and the seasonal changes of the phytoplankton community from 13 sections were studied by the Margalef's index (D), Pielou evenness index (J'), Shannon-Wiener diversity index (H') and total tolerance index. The Two-way ANOSIM similarity analysis on phytoplankton community data, Bray-Curtis similarities on hierarchical clustering analysis and MDS standard sequence were calculated by using PREIMER 6.0 software. The results showed that there were 114 phytoplankton species, belonging to 6 phyla, 41 families and 80 genera, dominated by green algae and diatoms. The dominant species were *Oscillatoria* sp. and *Melosira* sp. The abundances were from 5.2×10^3 to 2.8714×10^6 ind./L with an unimodal seasonal change pattern. In most cases the peak of the abundance was presented in spring. The similarity comparison of the phytoplankton communities showed significant difference among the sections ($R = 0.379$, $P = 0.1\%$) and seasons ($R = 0.462$, $P = 0.1\%$). The community diversity index and algae pollution index showed that the water is polluted in the river. Fig 5, Tab 4, Ref 41

Keywords phytoplankton; community structure; biodiversity; water quality evaluation; Yongjiang River

CLC Q178.1

浮游植物是水生态系统的初级生产者,是水生态系统食物链中最基础且最重要的一个环节,其种类和数量的变化直接或间接地影响着其他水生生物的分布和密度,甚至会影响整个生态系统的稳定^[1].此外,浮游植物与水质的关系密切,不同类群对环境变化的敏感性和适应能力各异^[2].基于这些原因,人们在水生态系统研究中,都涉及到浮游植物群落结构的内容^[3-15].

甬江水系是浙江省七大水系之一.奉化江和姚江分别是甬江的干流和主要支流^[16].甬江全长130.96 km,流域面积

4 572.00 km².姚江发源于四明山夏家岭,全长105 km,流域面积1 934 km².奉化江发源于四明山东麓的秀尖山,干流长98 km,流域面积2 223 km².奉化江有剡江、县江、东江和鄞江四大支流.奉化江流经奉化、鄞州和宁波市区的海曙区、江东区,在宁波市三江口与源于上虞境内四明山的姚江汇合成甬江,并于宁波镇海口流入东海.通常的甬江段指姚江、奉化江汇合于宁波市区的三江口后至镇海大小游山出口段,全长26 km,流域面积361 km².姚江与奉化江汇合前筑有一大坝,该坝的阻隔使姚江实际上成为了一个相对静止的蓄水库.除汛期以外,姚江基本上呈闭闸或少量放流^[16].整个甬江水系的主要功能包括饮用水源、水产养殖、农业灌溉、船舶运输以及景观用水等多个方面.有关甬江水系的生物类群研究目前报道还极少.

虽然国内外关于河流生境中的浮游生物群落调查有很

收稿日期 Received: 2012-07-01 接受日期 Accepted: 2012-09-23

* 宁波市科技计划项目(2010A80002)资助 Supported by the Project of the Ningbo Science and Technology Bureau (No. 2010A80002)

**通讯作者 Corresponding author (E-mail: huangpingsha@gmail.com)

多报道,涉及的河流也不少.但由于河水流经较多行政区域,河流较长,从上游至河口的全程调查存在人力和物力的困难,故绝大多数报道都是集中在一条河流的某些断面上^[3-13, 15, 17],或者是在某个季节中,而很少是整条河流的周年性调查^[18-19].

本文以甬江干流(奉化江和甬江段)为研究主体,通过对水体中的浮游植物群落进行的周年的定性和定量采样与分析,总结甬江干流不同断面的浮游植物群落结构及其季节变化特点,并应用群落结构指数评价甬江水质状况.其结果对于甬江水系的可持续管理以及区域的生态环境建设将具有非常重要的意义,同时也可作为河流管理决策提供科学依据.

1 材料与方法

1.1 采样点设置

本研究的采样点设置在奉化江段和甬江段,在从上游发源地到下游出海口的124 km范围内共设置了13个采样断面(图1),各采样断面的基本情况见表1.

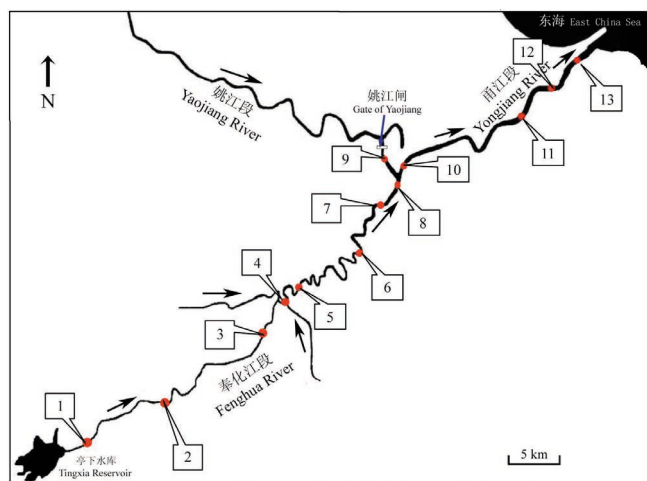


图1 采样断面示意图

Fig. 1 Sketch map of sampling sections in the Yongjiang River. Red dots and numbers are sampling sections and their numbers; black arrows are water flow directions. Numbers and red dots: numbered sampling sections; Black arrows: water flow directions

1.2 采样与样品分析

现场采样自2011年3月至2012年2月,采样频率为每月1次.采样方式及样品分析均参照章宗涉和黄祥飞的方法^[20]进行.定量样品用2.5 L有机玻璃采水器分别于各采样断面采集表层(深度<50 cm)和底层水(深度>50 cm)各2.5 L,混匀后再取其中1 L水作为最后的样品.水样用鲁哥氏溶液固定.固定后的水样带回实验室后沉淀浓缩并镜检.定量分析时,从浓缩水样中吸取0.1 mL置于10 × 10的生物计数框中,光学显微镜下计数并换算成丰度.

浮游植物种类鉴定参考了章宗涉和黄祥飞^[20]、金德祥等^[21]、胡鸿钧和魏印心^[22]、郭树洁和钱树本^[23]、李家英和齐雨藻^[24]、林永水^[25]、齐雨藻等^[26]、沈韞芬等^[27]、杨世民和董树刚^[28]、王全喜^[29]、王兴华^[30]、魏印心^[31]以及中国科学院中国孢子植物志编辑委员会^[32]等分别对各类浮游植物的描述.

1.3 数据处理

参照文献[20]分别计算Margalef物种丰富度指数 D 、

Pielou均匀度指数 J' 以及Shannon-Wiener多样性指数 H' .参考Palmer的方法^[33]计算浮游植物群落的总耐污指数.使用PREIMER 6.0软件对浮游植物群落数据进行Two-way ANOSIM相似性分析、Bray-Curtis相似性等级聚类分析以及MDS标序的计算.

表1 各采样断面的基本情况

Table 1 Basic characteristics of the sampling sites

采样断面 Sampling section	坐标(纬度, 经度) Coordinate (Latitude and longitude)	基本情况 Brief description
1	29°39.26', 121°14.42'	水浅、河道狭窄;水清澈可见底 Shallow water, narrow river course, clear water, visible bottom
2	29°38.39', 121°19.86'	水浅、河道狭窄;水清澈可见底 Shallow water, narrow river course, clear water, visible bottom
3	29°43.70', 121°24.61'	河道明显变宽,水变浑浊 Widen river course, muddy water
4	29°45.45', 121°25.96'	水浑浊,河面上有很多漂浮物 Muddy water, many floaters
5	29°45.53', 121°27.83'	水浑浊,河面上有漂浮物 Muddy water, some floaters
6	29°48.34', 121°31.00'	水浑浊,含有大量泥沙 Muddy water, large amount of silt
7	29°52.22', 121°34.84'	水浑浊,泥沙量不大 Muddy water, small amount of silt
8	29°52.40', 121°33.52'	水浑浊,泥沙量不大 Muddy water, small amount of silt
9	29°53.54', 121°32.87'	水清,流速很慢 Clearer water, slow flow velocity
10	29°52.48', 121°33.73'	河面宽,水中有泥沙 Wide river course, some silt
11	29°53.68', 121°35.44'	河面宽,水中有泥沙 Wide river course, some silt
12	29°56.72', 121°43.23'	河面宽,泥沙量较大 Wide river course, large amount of silt
13	29°47.44', 121°44.94'	河面宽,泥沙含量高 Wide river course, larger amount of silt

2 结果与分析

2.1 群落种类组成

通过观察甬江干流13个断面周年全部样品,共发现浮游植物114种(属),隶属于6门41科80属.其中以绿藻种类最多,达44属65种;硅藻次之,23属33种;裸藻和蓝藻分别为4属9种及5属5种;甲藻3属3种;黄藻门最少,只有1属1种(表2).

2.2 群落优势种及其变化特点

从浮游植物的种类和数量上看,甬江干流以蓝藻门的颤藻(*Oscillatoria* sp.)为优势种,占浮游植物总量的42.4%;其次为硅藻门的直链藻(*Melosira* sp.),占总量的23.2%.两个优势种的丰度在各采样断面的周年变化见图2.从断面3开始,颤藻的数量出现了明显的单峰型周年变化特点,其峰值以夏秋季为主.相对而言,直链藻只在甬江干流的城区断面(断面7-10)表现突出,其周年的变化规律也呈单峰型.

2.3 群落总丰度季节变化

图3显示了甬江干流各断面浮游植物群落总丰度的年度变化.由此图可见,除断面5表现出双峰型的丰度变化规律外,其他各断面均呈单峰型,且多以春季为高峰季节,只有断面8和9出现了夏秋季高峰.在全部断面中,断面9的浮游植物

表2 甬江干流中的浮游植物名录
Table 2 The speices of phytoplankton found in the Yongjiang River

绿藻门 Chlorophyta 衣藻 <i>Chlamydomonas</i> sp. 椎棍藻 <i>Spondylomorom</i> sp. 实球藻 <i>Pandorina</i> sp. 空球藻 <i>Eudorina</i> sp. 裂壁藻 <i>Schizochlamys</i> sp. 四胞藻 <i>Teyraspora</i> sp. 绿柄球藻 <i>Stylosphaeridium</i> sp. 纺锤藻 <i>Elakatothrix</i> sp. 具盖缢带藻 <i>Desmatractum indutum</i> 绿球藻 <i>Chlorococcum</i> sp. 微芒藻 <i>Micractinium pusillum</i> 微芒藻 <i>Micractinium</i> sp. 多芒藻 <i>Golenkinia</i> sp. 弓形藻 <i>Schroederia</i> sp. 小球藻 <i>Chlorella</i> sp. 纤维藻 <i>Ankistrodesmus</i> sp. 顶棘藻 <i>Chodatella</i> sp. 三角四角藻 <i>Tetraedron trigonum</i> 端尖月牙藻 <i>Selenastrum westii</i> 拟新月藻 <i>Closteriopsis</i> sp. 波古卵囊藻 <i>Oocystis borgei</i> 新月肾形藻 <i>Nephrocytium lunatum</i> 胶囊藻 <i>Gloeocystis</i> sp. 网球藻 <i>Dictyosphaeria</i> sp. 二角盘星藻 <i>Pediastrum duplex</i> 二形栅藻 <i>Scenedesmus dimorphus</i> 斜生栅藻 <i>S. obliquus</i> 四尾栅藻 <i>S. quadricanda</i> 多棘栅藻 <i>S. spinosus</i> 对对栅藻 <i>S. bijuga</i> 丰富栅藻不对称变种 <i>S. abundans</i> var. <i>asymmetrica</i> 尖细栅藻 <i>S. acuminatus</i> 巴西栅藻 <i>S. brasiliensis</i> 武汉栅藻 <i>S. wuhanensis</i> 被甲栅藻 <i>S. armatus</i> 弯曲栅藻 <i>S. cenedesmus arcuatus</i> 齿芽栅藻 <i>S. denticulatus</i> 奥波莱栅藻 <i>S. opoliensis</i> 厚顶栅藻 <i>S. denticulatus</i> 凸头状栅藻 <i>S. producto-capitatus</i> 爪哇栅藻 <i>S. javaensis</i> 锯齿栅藻 <i>S. serratus</i> 丛球韦斯藻 <i>Westella botryoides</i> 线形拟韦斯藻 <i>Westellopsis linearis</i> 河生集星藻 <i>Actinastrum fluviatile</i> 四角十字藻 <i>Crucigenia quadrata</i> 十字藻 <i>Crucigenia</i> sp. 空星藻 <i>Coelastrum</i> sp. 华丽四星藻 <i>Tetrastrum elegans</i> 短刺四星藻 <i>T. staurogeniaeforme</i> 针丝藻 <i>Raphidonemanivale</i> sp. 双胞藻 <i>Geminella</i> sp. 克里藻 <i>Klebsormidium</i> sp. 丝藻 <i>Ulothrix</i> sp. 胶丝藻 <i>Gloeotila</i> sp. 毛枝藻 <i>Stigeoclonium</i> sp. 新月藻 <i>Closterium</i> sp. 宽带鼓藻 <i>Pleurotaenium trabecula</i> 基纳汉棒形鼓藻 <i>Gonatozygon kinahani</i> 纤细角星鼓藻 <i>Staurastrum gracile</i> 鼓藻 <i>Cosmarium</i> sp. 转板藻 <i>Mougeotia</i> sp.	硅藻门 Bacillariophyta 小环藻 <i>Cyclotella</i> sp. 线形圆筛藻 <i>Coscinodiscus lineatus</i> 星脐圆筛藻 <i>C. asteromphalus</i> 圆筛藻 <i>Coscinodiscus</i> sp. 明盘藻 <i>Hyalodiscus</i> sp. 颗粒直链藻 <i>Melosira meneghiniana</i> 冰岛直链藻 <i>M. islarica</i> 颗粒直链藻极狭变种 <i>M. granulata</i> var. <i>angustissima</i> 颗粒直链藻极变种狭螺旋变型 <i>M. granulata</i> var. <i>Angustissima</i> f. <i>spiralis</i> 变异直链藻 <i>M. varians</i> 尤氏直链藻 <i>M. jurgensi</i> 具槽直链藻 <i>M. sulcata</i> 直链藻 <i>Melosira</i> sp. 海链藻 <i>Thalassiosira</i> sp. 短棘藻 <i>Detonula</i> sp. 热带骨条藻 <i>Skeletonema tropicum</i> 井字藻 <i>Eunotogramma</i> sp. 脆杆藻 <i>Fragilaria</i> sp. 针杆藻 <i>Synedra</i> sp. 扇形藻 <i>Rhipilia</i> sp. 美丽星杆藻 <i>Asterionella formosa</i> 苏台德短缝藻 <i>Eunotia sudetica</i> 舟行藻 <i>Navicula</i> sp. 美丽双壁藻 <i>Diploneis purlla</i> 双眉藻 <i>Amphora</i> sp. 桥弯藻 <i>Cymbeua</i> sp. 双菱藻 <i>Surirella</i> sp. 大角管藻 <i>Ceretaulina daemon</i> 扁圆卵形藻 <i>Cocconeis placentula</i> var. <i>euglypta</i> 曲壳藻 <i>Achnanthes</i> sp. 刺冠藻 <i>Corethron</i> sp. 长菱形藻 <i>Nitzschia longissima</i> 菱形藻 <i>Nitzschia</i> sp. 伪菱形藻 <i>Pseudonitzschia</i> sp. 甲藻门 Pyrrophyta 裸甲藻 <i>Gymnodinium</i> sp. 拟多甲藻 <i>Peridiniopsis</i> sp. 角甲藻 <i>Ceratocorys</i> sp. 裸藻门 Euglenophyta 囊裸藻 <i>Polyocinae</i> sp. 奇形扁裸藻 <i>Phacus anomalus</i> 三棱扁裸藻 <i>P. triquetra</i> 扭曲扁裸藻 <i>P. tortus</i> 鱼形裸藻 <i>Euglena pisciformis</i> 旋纹裸藻 <i>E. spirogyra</i> 尖尾裸藻 <i>E. oxyuris</i> 带形裸藻 <i>E. ehrenbergii</i> 裸藻 <i>Euglena</i> sp. 蓝藻门 Cyanophyta 广州平裂藻 <i>Merismopedia cantonensis</i> 色球藻属 <i>Chroococcus</i> sp. 颤藻 <i>Oscillatoria</i> sp. 螺旋藻 <i>Spirulina</i> sp. 念珠藻 <i>Nostoc</i> sp. 黄藻门 Xanthophyta 黄丝藻 <i>Tribonema</i> sp.
---	--

数量是最多的,其主要贡献来自于颤藻;类似的情况也见于其他几个丰度值较高的断面(图2)。

2.4 群落多样性指数

各断面不同季节浮游植物群落的Margalef物种丰富度指数 D 、Pielou均匀度指数 J' 和Shannon-Wiener多样性指数 H' 结

果见表3。

由表3可见,断面1以及断面10-13的几种群落多样性都较低。群落指数较高的多出现在进入城区的各个断面。

2.5 群落相似性

应用Two-way ANOSIM相似性分析法,以各断面四季的

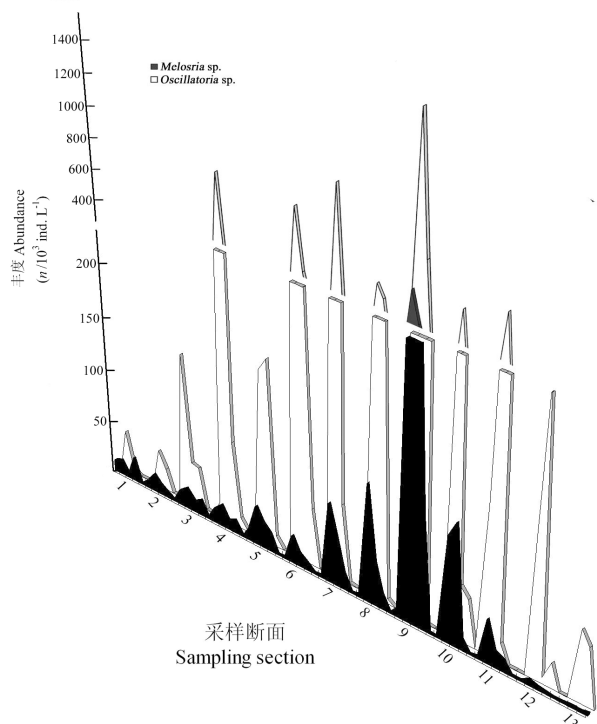


图2 各断面颤藻和直链藻丰度的季节变化

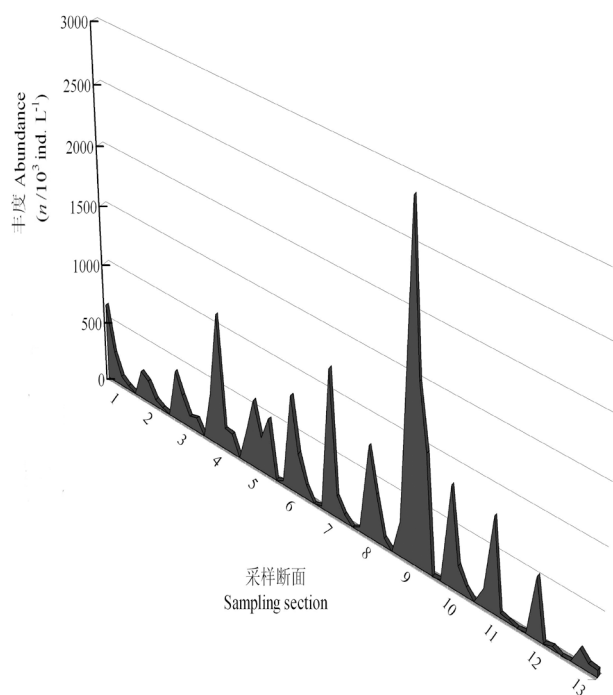
Fig. 2 Seasonal change in the abundance of *Oscillatoria* sp. and *Melosira* sp.

图3 各样点不同季节浮游植物群落丰度的变化

Fig. 3 Seasonal change of phytoplankton abundance at different sampling sections

表3 各断面浮游植物群落的生物多样性指数

Table 3 The biodiversity indexes of phytoplankton community from different sections

采样断面 (季节) Sampling sections (seasons)	<i>D</i>	<i>J'</i>	<i>H'</i> (log ₂)	采样断面 (季节) Sampling sections (seasons)	<i>D</i>	<i>J'</i>	<i>H'</i> (log ₂)
1 (春 Spring)	0.699	0.384	1.175	8 (春 Spring)	1.168	0.854	3.174
(夏 Summer)	1.046	0.549	1.905	(夏 Summer)	1.124	0.616	2.479
(秋 Autumn)	0.839	0.643	2.151	(秋 Autumn)	0.840	0.396	1.426
(冬 Winter)	0.614	0.677	1.914	(冬 Winter)	1.000	0.662	2.355
2 (春 Spring)	1.515	0.784	3.356	9 (春 Spring)	1.785	0.732	3.318
(夏 Summer)	1.227	0.818	3.240	(夏 Summer)	1.544	0.627	2.858
(秋 Autumn)	1.094	0.709	2.643	(秋 Autumn)	1.510	0.536	2.390
(冬 Winter)	0.694	0.783	2.301	(冬 Winter)	1.187	0.543	2.194
3 (春 Spring)	1.604	0.731	3.244	10 (春 Spring)	0.537	0.827	2.118
(夏 Summer)	1.071	0.773	2.873	(夏 Summer)	1.076	0.581	2.327
(秋 Autumn)	0.878	0.694	2.360	(秋 Autumn)	0.717	0.488	1.596
(冬 Winter)	1.454	0.740	3.052	(冬 Winter)	0.788	0.549	1.800
4 (春 Spring)	1.801	0.771	3.539	11 (春 Spring)	0.420	0.443	1.056
(夏 Summer)	1.089	0.489	1.980	(夏 Summer)	0.937	0.636	2.287
(秋 Autumn)	0.871	0.673	2.289	(秋 Autumn)	0.390	0.379	0.939
(冬 Winter)	1.335	0.597	2.451	(冬 Winter)	0.599	0.699	1.941
5 (春 Spring)	1.510	0.778	3.340	12 (春 Spring)	0.354	0.869	1.834
(夏 Summer)	1.016	0.741	2.829	(夏 Summer)	0.364	0.515	1.933
(秋 Autumn)	0.985	0.469	1.732	(秋 Autumn)	0.226	0.683	1.029
(冬 Winter)	1.323	0.521	2.116	(冬 Winter)	0.390	0.628	1.175
6 (春 Spring)	0.976	0.894	3.068	13 (春 Spring)	0.224	0.911	1.253
(夏 Summer)	1.021	0.415	1.621	(夏 Summer)	0.819	0.610	2.016
(秋 Autumn)	0.639	0.545	1.703	(秋 Autumn)	0.667	0.520	1.584
(冬 Winter)	0.719	0.682	2.076	(冬 Winter)	0.616	0.809	1.928
7 (春 Spring)	0.817	0.933	2.952				
(夏 Summer)	0.917	0.469	1.780				
(秋 Autumn)	0.711	0.599	1.921				
(冬 Winter)	0.772	0.671	2.024				

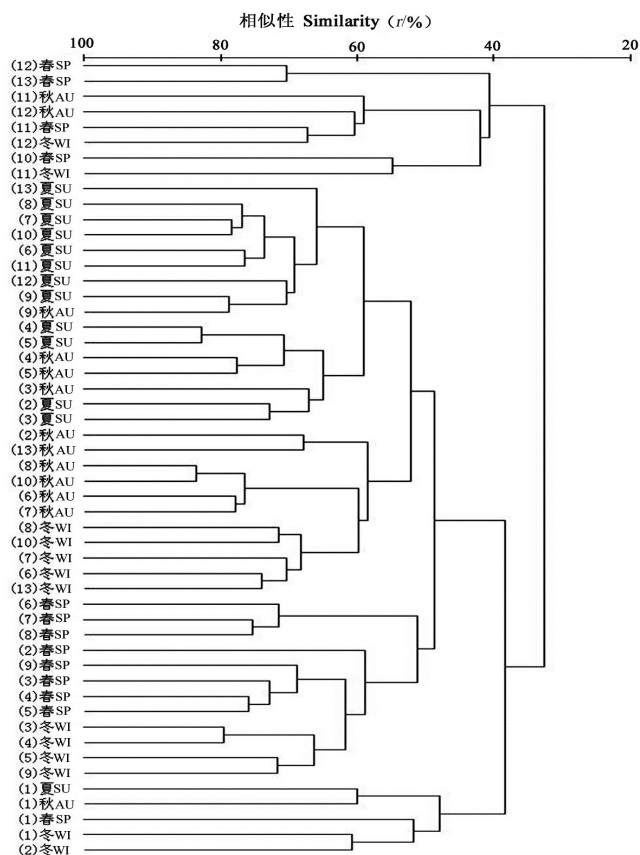


图4 各断面浮游植物群落相似性的聚类分析 (括号内的数字代表采样断面编号)
Fig. 4 The dendrogram for the similarity matrix of phytoplankton communities (Numbers in parentheses indicate sampling sections)

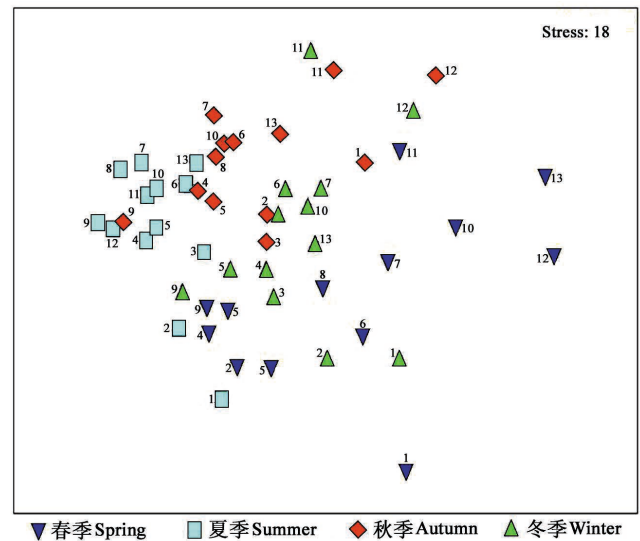


图5 各断面浮游植物群落相似性的MDS标序 (图中数字为采样断面编号)
Fig. 5 The MDS for the similarity matrix of phytoplankton communities (Numbers indicate sampling sections)

浮游植物群落结构为基础,对甬江干流浮游植物群落相似性比较后发现:各断面间和季节间都存在着显著差异,分别为 $R = 0.379$, $P = 0.1\%$ 和 $R = 0.462$, $P = 0.1\%$;季节间差异性大于断面间的差异性.季节间春夏相似性最低,秋冬相似性最高.此结果同样反映在Bray-Curtis相似性等级聚类分析(图4)结果和MDS标序(图5)中.

在相似性系数53%的基础上,综合考虑季节间和断面间的差异大致分为5支(图4),断面10、11、12和13与断面1、2的大部分样品组成了较分散的两支,剩余的分散在另外3大支中.其中,断面2-9的春季与断面3-5、9的冬季等群落构成一支;各断面(除断面1)夏季群落与断面3-5和9的秋季群落构成了另一支;断面2-3、6-8、10、13的秋季群落与断面6-8和10、13冬季群落组成了第三支.

2.6 群落总耐污指数

根据Palmer建议的评判标准^[33]:指数 <15 属轻污染;指数 $15-19$ 属中污染;指数 >20 属重污染.表4为甬江干流各断面浮游植物群落的总耐污指数.从中可以看出甬江干流的大多数断面水环境都受到了一定程度的污染.

表4 不同断面浮游植物群落的总耐污指数
Table 4 The phytoplankton total tolerance index from different sections

采样断面 Sampling section	总耐污指数 Total tolerance index	水环境污染状况 Pollution level of water quality
1	17	中污染 Moderately polluted
2	25	重污染 Heavily polluted
3	33	重污染 Heavily polluted
4	35	重污染 Heavily polluted
5	31	重污染 Heavily polluted
6	24	重污染 Heavily polluted
7	25	重污染 Heavily polluted
8	28	重污染 Heavily polluted
9	33	重污染 Heavily polluted
10	18	中污染 Moderately polluted
11	21	重污染 Heavily polluted
12	17	中污染 Moderately polluted
13	24	重污染 Heavily polluted

3 讨论

3.1 群落组成

由于各种原因,有关甬江水系水生生物的研究极少有正式的公开报道,故我们只能对本研究的结果作横向的比较与分析.

本研究显示甬江干流的浮游植物群落以绿藻种类最多,硅藻次之,裸藻、蓝藻、甲藻等再次之.这一群落组成趋势与香溪河2003年的调查结果^[9]类似,也类似于潭江^[10]、马颊河与徒骇河^[12]、大辽河^[18]、海河干流^[34]和袁河^[13]以及爱沙尼亚的Emajõgi河^[5].这一趋势明显不同于比利时的Meuse河^[4]、Moselle河^[6]以及我国的连江^[11]等以硅藻为主的河流,另外甬江干流浮游植物群落组成也不同于东江以蓝藻为主要成员^[8]的状况.

虽然组成甬江干流浮游植物群落的多个种类来自于绿藻,但2个作用极为明显的优势种却是分别来自蓝藻(颤藻)和硅藻(直链藻),这种现象与国内多条受到一定程度有机污染河流中的情况^[8, 10, 13, 18]相似.

3.2 群落丰度与变化规律

在甬江干流各断面上, 浮游植物群落的丰度在 5.2×10^3 ~ 2.8714×10^6 ind./L内变动, 但绝大多数断面的浮游植物群落丰度都会出现 10^5 ind./L的情况。这样的丰度范围与国内大多数温带和亚热带河流的浮游植物群落丰度^[2, 8-13, 17-19]基本在一个数量级上。

在浮游植物群落丰度的周年变化模式上, 甬江干流各断面也大多呈单峰型, 峰值多出现在春季, 只有城区的几个断面峰值出现在夏秋季, 这种差异应该是与断面的位置、水文条件以及有机质污染状况有关。但文献报道中也有类似的情况出现^[8-9, 18, 34]。

3.3 群落结构对水质的指示性

虽然人们早就试图用生物作为指标来评价或监测相关的环境变化, 并进一步试图寻找到特定的一个或几个指示生物种^[35], 但百年来的探索并没有取得令人满意的结果。因此人们开始转变思路, 选择种群和群落层面上的结构参数作为环境评价和监测指标^[27]。Margalef物种丰富度指数 D 以及Shannon-Wiener群落多样性指数 H' 就是应用广泛的两个参数^[20, 27, 36]。

在水生态系统中, 一般认为Shannon-Wiener群落多样性指数 $H' > 3$ 时为轻污染或无污染; H' 为1-3时为中度污染; H' 在0-1时, 则为重度污染^[27]。具体到甬江干流各断面, 其浮游植物群落 H' 变化多在0.939-3.000范围, 仅在个别断面的部分季节出现过3.0以上的现象(表3), 从这个指标看甬江干流各断面的水质污染程度不尽相同, 总体上已受到中度污染。Pielou均匀度指数(J)反映了浮游植物物种个体数分配的均匀程度。 J 值的范围为0-1, J 大时体现种间个体数分布较均匀; 反之, J 值小反映种间个体数分布欠均匀。 J 值为0-0.3为重污染, 0.3-0.5为中污染, 0.5-0.8为轻污染或无污染^[37]。

如果以Palmer建议的浮游植物群落总耐污指数评判甬江干流的水质状况, 可以发现所有断面都呈中度污染以上, 甚至很多断面都达到重度污染水平(表4)。

比较表3与表4, 可以发现不同的评价指标体系给出的结果有一定差异, 有些差异还非常明显。如在城区部分断面上, H' 值甚至可达3.0以上。对于这种现象, 中度干扰假说(Intermediate disturbance hypothesis)能够给出较满意的解释: 中等程度的干扰频率能维持较高的物种多样性。如果干扰频率过低, 少数竞争力强的物种将在群落中取得完全优势; 如果干扰频率过高, 只有那些生长速度快、侵占能力强的物种才能生存下来; 只有当干扰频率中等时, 物种生存的机会才是最多的, 群落多样性最高^[38]。类似的现象在其他生态系统中也有所表现^[39-41]。根据甬江的数据, 可以说不能简单地用一个或几个指标笼统地对水环境进行评价, 而需要从生物的、化学的、物理的等多学科交叉的层面上进行综合评价, 方能得出科学准确的评价结果。

参考文献 [References]

- 胡韧, 林秋奇, 段舜山, 韩博平. 热带亚热带水库浮游植物叶绿素与磷分布的特征[J]. 生态科学, 2002, **21** (4): 310-315 [Hu R, Lin KQ, Duan SS, Han BP. Distribution of chlorophyll-a and phosphorus in subtropical reservoirs, South China [J]. *Ecol Sci*, 2002, **21** (4): 310-315]
- 李夜光, 李中奎, 耿亚红, 胡鸿钧, 殷春涛, 殷阳叶新, 桂建平. 富营养化水体中N、P浓度对浮游植物生长繁殖速率和生物量的影响[J]. 生态学报, 2006, **26**: 317-322 [Li YG, Li ZK, Geng YH, Hu HJ, Yin CT, Ouyang YX, Gui JP. Effect of N, P concentration on growth rate and biomass of phytoplankton in eutrophical water [J]. *Acta Ecol Sin*, 2006, **26**: 317-322]
- 张乃群, 王正德, 杜敏华, 庞振凌, 李玉英, 胡兰群. 南水北调中线水源区浮游植物与水质研究[J]. 应用与环境生物学报, 2006, **12** (4): 506-510 [Zhang NQ, Wang ZD, Du MH, Pang ZL, Li YY, Hu LQ. Phytoplankton and water quality of water source area of the Middle Line Project of South to North Water Diversion [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2006, **12** (4): 506-510]
- Gosselain V, Descy JP, Everbecq E. The phytoplankton community of the River Meuse, Belgium: seasonal dynamics (year 1992) and the possible incidence of zooplankton grazing [J]. *Hydrobiologia*, 1994, **289**: 179-191
- Piirsoo K, Pall P, Tuvikene A, Viik M. Temporal and spatial patterns of phytoplankton in a temperate lowland river (Emajõgi, Estonia) [J]. *J Plankton Res*, 2008, **30**: 1285-1295
- Descy JP. Ecology of the phytoplankton of the River Moselle: effects of disturbances on community structure and diversity [J]. *Hydrobiologia*, 1993, **249**: 111-116
- Sullivan BE, Prah FG, Small LF, Covert PA. Seasonality of phytoplankton production in the Columbia River: a natural or anthropogenic pattern [J]? *Geochim Cosmochim Acta*, 2001, **65**: 1125-1139
- 江源, 王博, 杨浩春, 刘全儒, 周云龙. 东江干流浮游植物群落结构特征及与水质的关系[J]. 生态环境学报, 2011, **20**: 1700-1705 [Jiang Y, Wang B, Yang HC, Liu QR, Zhou YL. Community structure of phytoplankton and its relation with water quality in Dongjiang River [J]. *Ecol Environ Sci*, 2011, **20**: 1700-1705]
- 况琪军, 胡征宇, 周广杰, 叶麟, 蔡庆华. 香溪河流域浮游植物调查与水质评价[J]. 武汉植物学研究, 2004, **22**: 507-513 [Kuang QJ, Hu ZY, Zhou GJ, Ye L, Cai QH. Investigation on phytoplankton in Xiangxi river watershed and the evaluation of its water quality [J]. *J Wuhan Bot Res*, 2004, **22**: 507-513]
- 唐汇娟. 潭江下游及黄茅海入海口浮游植物现状[J]. 安徽农业科学, 2009, **37**: 10581-10583 [Tand HJ. Status of phytoplankton in lower reaches of Tan river and Huangmao bay [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2009, **37**: 10581-10583]
- 王超, 李新辉, 赖子尼, 谭细畅, 李捷, 李跃飞. 连江浮游植物群落结构的初步研究[J]. 广东农业科学, 2010, **3**: 168-172 [Wang C, Li XH, Lai ZN, Tan XC, Li J, Li YF. Preliminary study on phytoplankton community structure of Lianjiang [J]. *J Guangdong Agric Sci*, 2010, **3**: 168-172]
- 宋芬, 王卫民, 单保庆, 阎里清, 黎洁, 周洁. 马颊河与徒骇河浮游植物群落特征及水质初步评价[J]. 华中农业大学学报, 2011, **30**: 364-370 [Song F, Wang WM, Shan BQ, Yan LQ, Li J, Zhou J. Phytoplankton community characterization and preliminary evaluation on water quality of Majia and Tuhai River in Haihe River basin [J]. *J Huazhong*

- Agric Univ*, 2011, **30**: 364-370]
- 13 张柱, 刘足根, 张萌, 陈宏文, 弓晓峰, 邓道贵. 赣江一级支流浮游植物群落动态特征分析——以袁河为例[J]. 长江流域资源与环境, 2011, **20**: 546-552 [Zhang Z, Liu ZG, Zhang M, Chen HW, Gong XF, Deng DG. Structure and dynamics of phytoplankton community in a tributary of Ganjiang River: a case study in Yuanhe River [J]. *Resour Environ Yangtze Basin*, 2011, **20**: 546-552]
 - 14 孔义军, 杨浩文, 林少君, 雷腊梅, 韩博平. 亚热带城市浅水湖泊富营养化与浮游植物群落的时空特征: 以肇庆星湖为例[J]. 应用与环境生物学报, 2009, **15** (2): 153-160 [Kong YJ, Yang HW, Lin SJ, Lei LM, Han BP. Eutrophication and phytoplankton community structure of Xinghu Lake, a shallow urban lake in South China [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2009, **15** (2): 153-160]
 - 15 孙鲁峰, 徐兆礼, 邢小丽, 康伟. 椒江口海域浮游植物与富营养化的关系[J]. 应用与环境生物学报, 2012, **18** (2): 170-176 [Sun LF, Xu ZL, Xing XL, Kang W. Relationship between phytoplankton and eutrophication in Jiaojiang Estuary [J]. *Chin J Appl Environ Biol*, 2012, **18** (2): 170-176]
 - 16 冯利华, 鲍毅新. 甬江建闸的环境影响分析[J]. 自然灾害学报, 2004, **13** (6): 88-91 [Feng LH, Bao YX. On environmental effect of constructing tidal gate of the Yongjiang River [J]. *J Nat Disasters*, 2004, **13** (6): 88-91]
 - 17 张宜. 以藻类群落结构分析苏州河的水体污染[J]. 上海环境科学, 1990, **9** (6): 34-36 [Zhang Y. Analysis on water pollution in Suzhou River with algae community structures [J]. *Shanghai Environ Sci*, 1990, **9** (6): 34-36]
 - 18 李芳芳, 董芳, 段梦, 王珂, 朱琳. 大辽河水系夏季浮游植物群落结构特征及水质评价[J]. 生态学杂志, 2011, **30**: 2489-2496 [Li FF, Dong F, Duan M, Wang K, Zhu L. Phytoplankton community structure and water quality of Daliaohe river system in summer [J]. *Chin J Ecol*, 2011, **30**: 2489-2496]
 - 19 梁叶, 陈稼, 晏妮, 徐兴华, 付维琪. 贵阳花溪河流域藻类植物调查及多样性评价[J]. 安徽农业科学, 2012, **40** (10): 6079-6082 [Liang Y, Chen Y, Yan N, Xu XH, Fu WQ. Investigation and diversity assessment on algal plant in Huaxi River Basin in Guiyang City [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2012, **40** (10): 6079-6082]
 - 20 章宗涉, 黄祥飞. 淡水浮游生物研究方法[M]. 北京: 科学出版社, 1991
 - 21 金德祥, 陈金环, 黄凯歌. 中国海洋浮游硅藻类[M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1965
 - 22 胡鸿钧, 魏印心. 中国淡水藻类——系统、分类及生态[M]. 北京: 科学出版社, 2006
 - 23 郭树洁, 钱树本. 中国海藻志[M]. 北京: 科学出版社, 2003
 - 24 李家英, 齐雨藻. 中国淡水藻志 第十四卷: 硅藻门(舟行藻科 I) [M]. 北京: 科学出版社, 2010
 - 25 林永水. 中国海藻志 第六卷: 甲藻门(第一册) [M]. 北京: 科学出版社, 2009
 - 26 齐雨藻, 李家英, 谢淑琦, 张子安. 中国淡水藻志 第十卷: 硅藻门(羽纹纲) [M]. 北京: 科学出版社, 2004
 - 27 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩, 顾曼如, 施之新, 魏印心. 微型生物监测新技术[M]. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990
 - 28 杨世民, 董树刚. 中国海域常见浮游硅藻图谱[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2006
 - 29 王全喜. 中国淡水藻志 第十一卷: 黄藻门[M]. 北京: 科学出版社, 2007
 - 30 王兴华. 中国淡水藻志 第八卷: 绿藻门(绿球藻目上)[M]. 北京: 科学出版社, 2004
 - 31 魏印心. 中国淡水藻志 第七卷: 绿藻门[M]. 北京: 科学出版社, 2003
 - 32 中国科学院中国孢子植物志编辑委员会. 中国淡水藻志 第六卷: 裸藻门[M]. 北京: 科学出版社, 1999
 - 33 Palmer CM. A composite rating of algae tolerating organic pollution [J]. *J Phycol*, 1969, **5**: 78-82
 - 34 白明, 张萍. 海河干流浮游植物群落多样性研究[J]. 现代渔业信息, 2010, **25** (11): 6-9 [Bai M, Zhang P. Study on the phytoplankton community diversity in Haihe River [J]. *Mod Fish Inf*, 2010, **25** (11): 6-9]
 - 35 Kolkwitz R, Marsson M. Ökologie der tierischen Saprobien. Beiträge zur Lehre von der biologischen Gewässerbeurteilung [J]. *Intern Revue Hydrobiol Hydrogr*, 1909, **1-2**: 126-152
 - 36 宋辞, 于洪贤. 镜泊湖浮游植物多样性分析及水质评价[J]. 东北林业大学学报, 2009, **37** (4): 40-42 [Song C, Yu HX. Phytoplankton diversity in Jingpo Lake and water quality evaluation [J]. *J North East For Univ*, 2009, **37** (4): 40-42]
 - 37 李干蓉, 陈稼, 刘丛强, 王宝利, 党安志, 汪福顺. 猫跳河流域平水期浮游植物与水质评价[J]. 海南师范大学学报, 2009, **22** (2): 209-213 [Li GR, Chen CA, Liu CQ, Wang BL, Dang AZ, Wang FS. Phytoplankton composition and evaluation of water quality of Maotiao River in normal water season [J]. *J Hainan Norm Univ (Nat Sci)*, 2009, **22** (2): 209-213]
 - 38 Connell JH. Diversity in tropical rain forests and coral reefs [J]. *Science*, 1978, **199**: 1302-1310
 - 39 罗天相, 刘莎. 中度放牧干扰对草地生物多样性影响的思考[J]. 安徽农业科学, 2007, **35**: 6567-6568 [Luo TX, Liu S. Influence of the intermediate grazing disturbance on the biodiversity of grassland ecosystem [J]. *J Anhui Agric Sci*, 2007, **35**: 6567-6568]
 - 40 高伟, 韩孟孟, 辛秀, 杜林梅, 叶功富. 干扰理论及其对森林资源的影响[J]. 中国城市林业, 2009, **7** (5): 16-18 [Gao W, Han MM, Xin X, Du LM, Ye GF. On disturbance theory and its influence on forest resources [J]. *J Chin Urban For*, 2009, **7** (5): 16-18]
 - 41 刘艳红, 赵惠勋. 干扰与物种多样性维持理论研究进展[J]. 北京林业大学学报, 2000, **22** (4): 101-105 [Liu YH, Zhao HX. Advances in theory of disturbance and species diversity preservation [J]. *J Beijing For Univ*, 2000, **22** (4): 101-105]