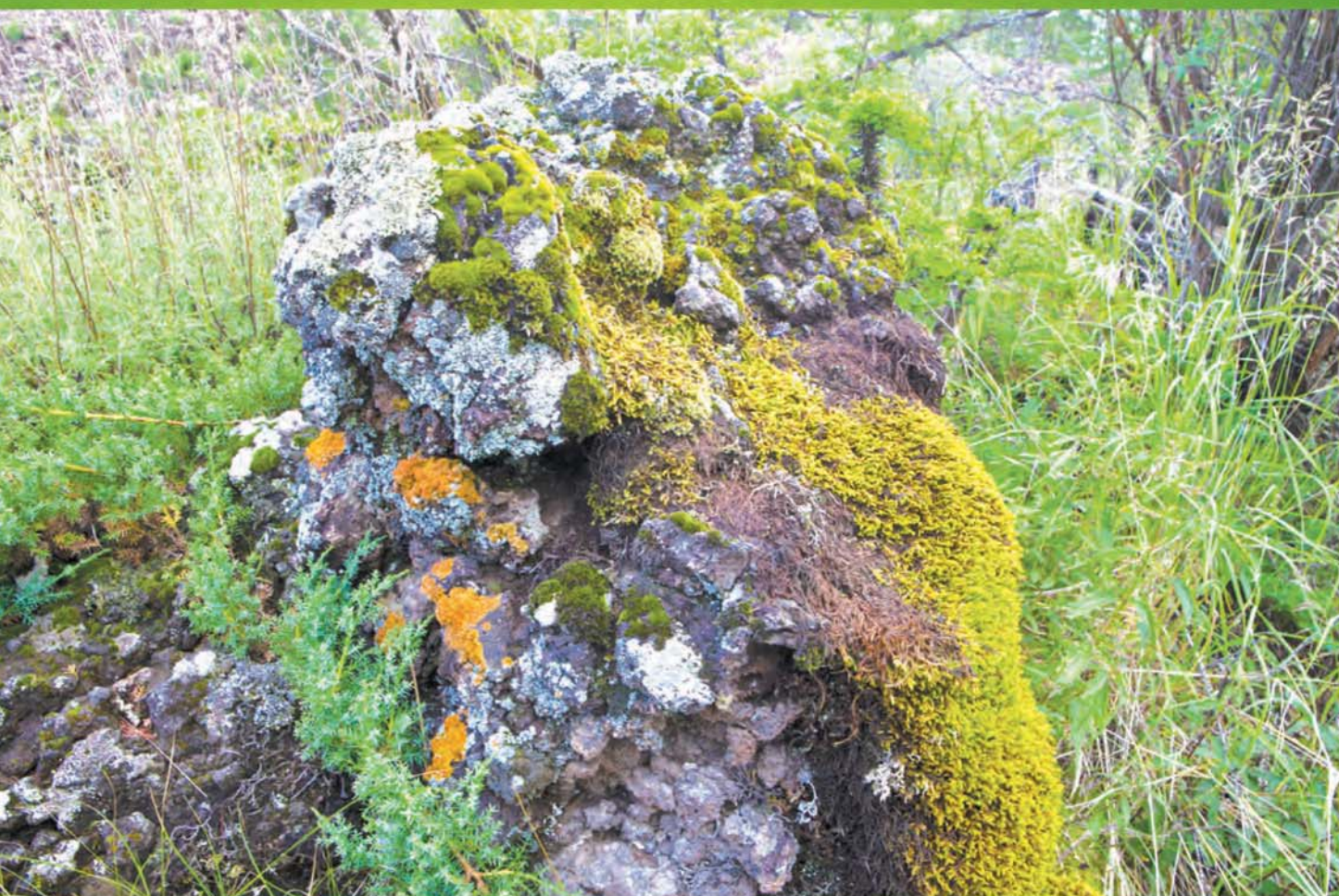


ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

生态学报

Acta Ecologica Sinica



第32卷 第6期 Vol.32 No.6 **2012**

中国生态学学会
中国科学院生态环境研究中心
科学出版社

主办
出版



中国科学院科学出版基金资助出版

生态学报

(SHENGTAI XUEBAO)

第 32 卷 第 6 期

2012 年 3 月 (半月刊)

目 次

高原草被退化程度的遥感定量监测——以甘肃省玛曲县为例	周坚华,魏怀东,陈芳,等 (1663)
基于着生藻类的太子河流域水生态系统健康评价	殷旭旺,渠晓东,李庆南,等 (1677)
哀牢山常绿阔叶林水源涵养功能及其在应对西南干旱中的作用	杞金华,章永江,张一平,等 (1692)
青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系	杨金鹏,姜勇,胡晓钟 (1703)
增温对青藏高原高寒草甸生态系统固碳通量影响的模拟研究	亓伟伟,牛海山,汪诗平,等 (1713)
三峡水库消落带植物叶片光合与营养性状特征	揭胜麟,樊大勇,谢宗强,等 (1723)
三峡库区澎溪河鱼类时空分布特征的水声学	任玉芹,陈大庆,刘绍平,等 (1734)
强壮前沟藻化感物质分析	冀晓青,韩笑天,杨佰娟,等 (1745)
饥饿对中间球海胆 MYP 基因转录表达的影响	秦艳杰,孙博林,李霞,等 (1755)
贺兰山牦牛冬春季的生境选择	赵宪南,苏云,刘振生,等 (1762)
利用元胞自动机研究一类捕食食饵模型中的斑块扩散现象	杨立,李维德 (1773)
转 <i>Cry1Ab</i> 和 <i>Cry1Ac</i> 融合基因型抗虫水稻对田间二化螟和大螟种群发生动态的影响	李志毅,隋贺,徐艳博,等 (1783)
光谱和光强度对西花蓟马雌虫趋光行为的影响	范凡,任红敏,吕利华,等 (1790)
荧光素对舞毒蛾核型多角体病毒不同地理品系的增效与光保护作用	王树娟,段立清,李海平,等 (1796)
不同利用强度下绿洲农田土壤微量元素有效含量特征	李海峰,曾凡江,桂东伟,等 (1803)
稻田温室气体排放与土壤微生物菌群的多元回归分析	秦晓波,李玉娥,石生伟,等 (1811)
黄土高原典型区域土壤腐殖酸组剖面分布特征	党亚爱,李世清,王国栋 (1820)
紫色土菜地生态系统土壤 N_2O 排放及其主要影响因素	于亚军,王小国,朱波 (1830)
中国亚热带典型天然次生林土壤微生物碳源代谢功能影响因素	王芸,欧阳志云,郑华,等 (1839)
基于 K-均值算法模型的区域土壤数值化分类及预测制图	刘鹏飞,宋轩,刘晓冰,等 (1846)
淹水条件下秸秆还田的面源污染物释放特征	杨志敏,陈玉成,张赞,等 (1854)
推迟拔节水对小麦氮素积累与分配和硝态氮运移的影响	王红光,于振文,张永丽,等 (1861)
江苏省冬小麦渍害的风险区划	吴洪颜,高苹,徐为根,等 (1871)
草原植物根系起始吸水层深度测定方法及其在不同群落状态下的表现	郭宇然,王炜,梁存柱,等 (1880)
亚热带 6 种树种细根序级结构和形态特征	熊德成,黄锦学,杨智杰,等 (1888)
高寒草原植物群落种间关系的数量分析	房飞,胡玉昆,张伟,等 (1898)
菊花近缘种属植物幼苗耐阴特性分析及其评价指标的确定	孙艳,高海顺,管志勇,等 (1908)
南方菟丝子寄生对喜旱莲子草生长及群落多样性的影响	王如魁,管铭,李永慧,等 (1917)
基于 cDNA 克隆的亚热带阔叶林和针叶林生态系统担子菌漆酶基因多样性及其群落结构研究	陈香碧,苏以荣,何寻阳,等 (1924)
细柄阿丁枫和米槠细根寿命影响因素	黄锦学,凌华,杨智杰,等 (1932)
基于 TM 遥感影像的森林资源线性规划与优化配置研究	董斌,陈立平,王萍,等 (1943)
基于 CFD 的城市绿地空间格局热环境效应分析	刘艳红,郭晋平,魏清顺 (1951)
专论与综述	
生态补偿效率研究综述	赵雪雁 (1960)
研究简报	
黄河三角洲石油生产对东营湿地底栖动物群落结构和水质生物评价的影响	陈凯,肖能文,王备新,等 (1970)
期刊基本参数: CN 11-2031/Q * 1981 * m * 16 * 316 * zh * P * ¥ 70.00 * 1510 * 34 * 2012-03	

封面图说: 植物生命演进石——这不是一块普通的火山岩,而是一块集中展示植物“原生演替”过程最有价值的石头。火山熔岩冷却后的玄武岩是无生命无土壤的真正“裸石”,风力使地衣的孢子传入,在一定温湿度环境下,开始出现了壳状地衣,壳状地衣尸体混合了自然风化的岩石碎屑提供的条件使叶状、枝状地衣能够侵入,接着苔藓侵入,是它们启动了土壤的形成,保持了土壤的湿度,并使营养物质反复循环。于是蕨类定居,草丛长了起来,小灌木出现,直到树木生长,最终形成森林。

彩图提供: 陈建伟教授 北京林业大学 E-mail: cites.chenjw@163.com

DOI: 10.5846/stxb201102250220

杨金鹏, 姜勇, 胡晓钟. 青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系. 生态学报, 2012, 32(6): 1703-1712.

Yang J P, Jiang Y, Hu X Z. The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(6): 1703-1712.

青岛沿岸水体原生生物群落与水质状况的关系

杨金鹏^{1,2}, 姜 勇¹, 胡晓钟^{1,*}

(1. 中国海洋大学海洋生物多样性与进化研究所原生动生物学研究室, 青岛 266003;

2. 阿尔弗雷德瓦格纳极地海洋研究所, 黑尔戈兰岛 D-27498)

摘要:于 2007 年 9—10 月间利用改良的 PFU (polyurethane foam unit) 法——BPFU (bottled PFU) 法对青岛沿岸水体中原生生物群落的结构和功能参数进行了快速观测, 进而分析了原生生物群落与水质状况间的相互关系, 并结合理化指标对水体的水质状况进行了评价。期间共观测到原生生物 263 种; 其中硅藻 83 种, 鞭毛虫 59 种, 肉足虫 31 种, 纤毛虫 90 种。结果表明: 用 BPFU 法测定和计算的原生生物群落的结构参数 (种类数、丰度、多样性指数) 和功能参数 (S_{eq} 、 G 、 $T_{90\%}$) 所反映的水质状况和理化指标所反映的基本一致, 证明 BPFU 法适用于海洋近岸水体的快速监测。同时将通过原生生物群落所得的结构参数和功能参数与通过原生动物群落所得的进行了比较, 发现由原生生物群落计算的结构参数和功能参数能更有效、更准确地反映水质的状况。

关键词: BPFU 法; 原生生物群落; 结构参数; 功能参数; 水质监测

The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao

YANG Jinpeng^{1,2}, JIANG Yong¹, HU Xiaozhong^{1,*}

1 Laboratory of Protozoology, Institute of Evolution and Marine Biodiversity, Ocean University of China, Qingdao 266003, China

2 Alfred Wegener Institute for Polar and Marine Research, Helgoland, D-27498, Germany

Abstract: Protistan communities are characterized by high ecological and species diversity due to their short life cycles and by a quick response to environmental changes. Many species respond rapidly to pollutants and often inhabit environments that are unfavorable to most of metazoans and some can even tolerate extremes of environmental conditions to macrofauna. As predominant components of protistan communities, ciliates and flagellates may react more quickly to environmental changes than any other eukaryotic organisms because of their rapid growth and delicate external membranes and can thus serve as bioindicators of water pollution. Polyurethane foam unit (PFU) is an artificial substrate able to host planktonic, periphytic and benthic protistan assemblages. The PFU method has been widely and successfully employed to evaluate freshwater quality all over the world. However, as far as we know, this method has not been used in marine habitats as effective as in freshwater biotopes because of the influence of tidal current and circulation in near-shore area. In order to evaluate the feasibility of using the PFU method to assess coastal water quality, Xu et al. modified the conventional PFU method and presented a bottled PFU (BPFU) system and successfully used to evaluate the water quality in Korean coastal waters. Our study is the first to use the BPFU method for bioassessment in Chinese offshore areas. Three stations in the coastal waters off Qingdao, China were selected as study area from September to October in 2007. Margalef diversity index was calculated by $d = (S-1)/\ln N$. The relationship between the protistan community parameters and marine water quality

基金项目: 国家自然科学基金项目 (40976075)

收稿日期: 2011-02-25; 修订日期: 2011-09-27

* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: xiaozhonghu@ouc.edu.cn

was analyzed. MacArthur and Wilson equilibrium model: $S_t = S_{eq}(1 - e^{-\alpha})$ was applied to assess the colonizing process of protistan communities. A total of 263 species of protists were identified during the survey. Among these were 83 diatoms, 59 flagellates, 31 sarcodines, and 90 ciliates. In terms of species composition, site 1 was dominated mainly by bacterivores (e. g., *Euplotes parabalteatus*, *Uronema marinum* and *Pleuronema coronatum*), site 3 mainly by algivores (e. g., *Strombidinopsis minima*, *Strombidium apolatum* and *Hartmannula augustipilosa*), and site 2 was in an intermediate status. These results are consistent with the environmental conditions: site 3 had the best water quality, site 1 was the most eutrophic site, and site 2 was the moderate one. Furthermore, the colonization processes and functional parameters (i. e. S_{eq} , G and $T_{90\%}$) of communities correlated with the pollution status and could thus clearly discriminate the different classes of water quality as measured by physicochemical indicators. But the Margalef diversity index did not coincide with the water conditions: site 1 had the highest index value (on average 4.16), while site 2 had the lowest (on average 3.00). Nonetheless, this work further suggests the practicability of the BPFU method for biomonitoring of coastal water pollution. Our study also indicates that protistan communities are more effective and accurate than protozoan communities in reflecting water quality.

Key Words: BPFU method; protistan community; structural parameter; functional parameter; bio-monitoring

原生生物是多源发生的、单细胞的、显微级真核生物的集合体,由于其生活周期短暂且对环境变化反应迅速,在研究环境质量控制和管理以及污染的快速生物监测方面的重要性越来越受到广泛的关注^[1-4]。虽然原生动物在自然水域中是重要的生态类群,但原生植物(尤其是硅藻)作为海洋初级生产力的重要组成部分,在微食物网中表现出种类数、丰度和生物量上的主导地位。另外,某些具有植物性特征的鞭毛虫类群(如腰鞭毛虫)在归属上存在争议和矛盾^[5]。因此本研究认为只有将原生生物以统一的整体作为研究对象,才能以其单细胞真核生物的共性成为生态系统中具有重要生态学意义的生态类群,从而更加准确和有效的反映出水体的水质状况。

PFU (polyurethane foam unit) 是在水体中富集微型生物群落的人工介质,它可以富集浮游、周丛和底栖生活的多种微生物类群,其中主要以硅藻、纤毛虫、鞭毛虫和肉足虫等原生生物为优势类群^[2-3]。近年来,许多学者利用 PFU 法富集原生动物群落,对河流、湖泊等淡水水体的水质进行监测评价,并取得了令人满意的结果^[4,6-14],但应用于海洋水体中的研究工作却极少^[1]。因为在海洋环境中,裸露的 PFU 块易受水流等的影响,因此,BPFU 法这一改良方法具有明显的优势,既起到了保护作用,同时有利于微型生物群落在 PFU 块上的富集^[1]。

基于以上原因,在 2007 年秋季,利用 BPFU (bottled PFU) 法^[1]对青岛沿岸 3 个代表性的水体进行了原生生物群落的调查研究工作,以进一步印证 BPFU 法在海洋水体污染评价工作中的可行性和有效性,并且通过原生生物群落的结构参数和功能参数与海洋水体污染状态的相关性规律研究,为海洋水质评价提供新思路,为水质改善和综合治理提供科学依据。

1 材料和方法

1.1 采样站点设置

于 2007 年 9 月 18 日至 10 月 8 日期间,选择青岛沿岸 3 个具有代表性的水体作为采样站点(图 1):站点 1 位于小港码头,这里地处胶州湾口,属于半封闭水体,受潮汐和海浪的影响较其他站点小,和外海的交换循环作用也较弱,主要污染源来自码头船只的油污和附近居民区的生活污水;站点 2 位于栈桥,这里是旅游景点,且周围是城市繁华地段,水体状况受一定人为因素影响;站点 3 位于小麦岛,位置相对偏僻,距离市区较远。站点 2 和站点 3 有相似的水深和沉积物等特征,但站点 3 的水体属于开放水体,受潮汐和海浪的影响以及与外海的交换循环作用更强。

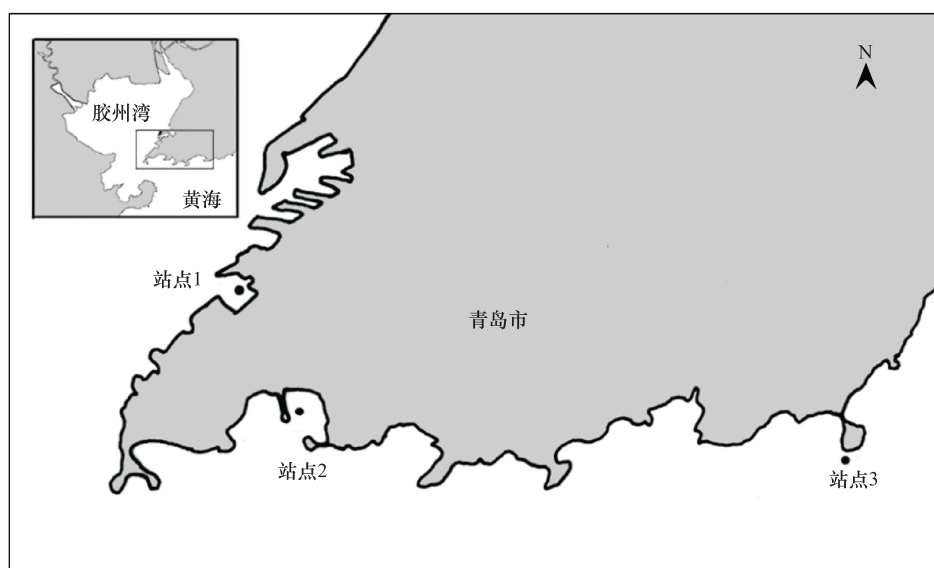


图1 2007年秋季青岛沿岸水体调查期间采样站点示意图

Fig. 1 A sketch map of the sampling sites at Qingdao coastal areas during the autumn of 2007

1.2 BPFU 的挂放、采集与处理

BPFU 系统采用直径约 7.5 cm, 高度约 13.5 cm 的圆柱状塑料瓶, 将其底部切掉, 并将其四周切出 4 个切口 (长约 10 cm、宽约 3 cm)。每个瓶中放置两个尺寸约为 5 cm×6.5 cm×7.5 cm 孔径约为 250—350 μm 的海绵块, 海绵块要提前用蒸馏水浸泡约 24 h, 使用前将水挤榨出来。具体工作方法详见文献^[1]。在每个站点将 6 个 BPFU 系统捆成一束, 用绳悬挂在漂浮平台上, 使其位于水下 0.5 m 左右。之后于第 2、4、6、10、14、20 天分别将 3 个站点的 BPFU 取回实验室, 每个站点每次采集 1 个 BPFU。将每个 BPFU 中的 2 个海绵块里的海水分别挤到不同的大烧杯中进行沉降, 然后用吸管分别吸取 3 滴 (2 滴于底层, 1 滴于中层) 于载玻片上, 盖上盖玻片在显微镜下 (×400) 进行观察鉴定, 并使用显微照相系统对每一物种进行拍照记录。所有样品的观察工作在 24 h 内完成。

1.3 定量样品的采集与换算

在每个站点采集 BPFU 的同时, 用定量采水器采集 1 L 表层海水, 倒入已装有 50 mL 鲁格氏液的塑料桶中固定, 带回实验室倒入 1 L 的大量筒中静置、沉降 48 h 后, 虹吸管小心抽掉上清液, 余下 25 mL 沉淀物转入 30 mL 定量瓶中。计数前将样品充分混匀然后吸取 0.1 mL 注入 0.1 mL 的计数框, 在 400×显微镜下测定个体大小并分别记录硅藻、纤毛虫和鞭毛虫的数量以及总数 (肉足虫因为很难固定且在水体中丰度很低所以忽略不计)。每个样品记数 3 次, 取平均值, 并换算出原生生物群落的丰度。公式为 $N = 250n$, 公式中 N 为原生生物群落的丰度 (个/L); n 为记数的平均值。

1.4 多样性指数

多样性指数 d 值按 Margalef 多样性指数公式 $d = (S - 1) \ln N$ 进行计算。

公式中 d 为多样性指数; S 为种类数; N 为丰度 (个/L)。 d 值的高低表明种类多样性的丰富与贫乏, 由此可反映水质的优劣程度。

1.5 原生生物群落的功能参数

原生生物群落的功能参数得自由 MacArthur 和 Wilson 建立的微型生物富集平衡模型: $S_t = S_{eq} (1 - e^{-Gt})$ 。

公式中 3 个功能参数即 S_{eq} 、 G 和 $T_{90\%}$ 由计算机程序 M-W 求得。 S_t 表示在 t 时间的种类数; S_{eq} 表示达到富集平衡时刻的种类数; G 是富集率常数; $T_{90\%}$ 表示达到 90% S_{eq} 所用的时间。

1.6 理化指标的测定与统计分析

在每个站点,现场用 Hach 水质分析仪 (Hydrolab-MS5) 测定水体的温度、盐度、pH 值和溶解氧,并将原样海水带回实验室,由 Hach DR5000 型紫外分光光度计测定海水的氨态氮 ($\text{NH}_3\text{-N}$)、硝态氮 ($\text{NO}_3\text{-N}$)、亚硝态氮 ($\text{NO}_2\text{-N}$) 和活性磷酸盐 ($\text{PO}_4\text{-P}$) 的含量。

2 结果

2.1 理化指标

调查期间 3 个站点的理化指标见表 1。在这些指标中,温度在 3 个站点非常相近,pH 值和盐度在站点 1 比其它两个站点低,主要因为站点 1 水体相对比较封闭,与外海的交换循环作用较弱,并且有大量生活污水排入其中。另外,站点 1 表现出明显较低的溶解氧浓度和较高的 N 和 P 的浓度,而站点 3 的溶解氧最高,N 和 P 浓度最低。从理化指标的结果来看,3 个站点中站点 1 的水质最差,站点 3 的水质相对最好。

表 1 调查期间 3 个站点的环境理化指标

Table 1 Environmental physical chemical indexes in three sampling sites during the survey period

参数 Parameters	站点 Site		
	1	2	3
温度 Temperature/ $^{\circ}\text{C}$	22.85 $\pm$ 1.05	22.86 $\pm$ 1.26	23.17 $\pm$ 1.31
盐度 Salinity	27.99 $\pm$ 1.53	30.33 $\pm$ 0.18	30.58 $\pm$ 0.34
酸碱度 pH	7.88 $\pm$ 0.16	8.25 $\pm$ 0.03	8.29 $\pm$ 0.05
溶氧 DO/(mg/L)	3.08 $\pm$ 1.10	6.10 $\pm$ 0.39	6.38 $\pm$ 0.46
氨氮 $\text{NH}_3\text{-N}$ /(mg/L)	0.75 $\pm$ 0.22	0.42 $\pm$ 0.31	0.26 $\pm$ 0.22
硝氮 $\text{NO}_3\text{-N}$ /(mg/L)	0.80 $\pm$ 0.20	0.60 $\pm$ 0.40	0.60 $\pm$ 0.20
亚硝氮 $\text{NO}_2\text{-N}$ /(mg/L)	0.10 $\pm$ 0.05	0.06 $\pm$ 0.02	0.05 $\pm$ 0.03
磷酸盐 $\text{PO}_4\text{-P}$ /(mg/L)	0.77 $\pm$ 0.55	0.37 $\pm$ 0.32	0.27 $\pm$ 0.13

2.2 原生物群落的种类组成

硅藻、纤毛虫、鞭毛虫和肉足虫构成了 BPFU 系统富集的微型生物群落的主要类群。此次调查期间在站点 1 共检出 169 种原生生物,站点 2 共检出 121 种原生生物,站点 3 共检出 118 种原生生物,3 个站点共观察到 263 种原生生物,其中硅藻 83 种(中心藻纲 28 种,羽纹藻纲 55 种),占总种数的 31.6%;纤毛虫 90 种,占总种数的 34.2%;鞭毛虫 59 种(植鞭类 10 种,动鞭类 49 种),占总种数的 22.4%;肉足虫 31 种,占总种数的 11.8%。对于占总种类数最多的纤毛虫,分布如下:腹毛目 29 种,侧口目 11 种,盾纤目 9 种,丁丁虫目 9 种,寡毛目 8 种,管口目 6 种,异毛目 5 种,缘毛目 3 种,前口目 2 种,刺钩目 2 种,吸管虫目 2 种,膜口目 2 种,合膜目 1 种,原纤目 1 种。

站点 1 原生生物群落明显表现为硅藻种类较少,而主要以细菌为食的肉足类和动鞭类种类均比其他站点多。站点 2 和站点 3 的群落组成比较相似,表现为硅藻为优势类群,鞭毛虫中植鞭类较多,肉足虫非常罕见(图 2)。纤毛虫为原生生物群落中的优势类群,其种名录见表 2。结果显示,站点 1 的纤毛虫种类数明显高于其他站点,其中以捕食细菌的腹毛类、侧口类和盾纤类为主,优势种为游仆虫(e. g., *Euplotes parabalteatus*)、海洋尾丝虫(*Uronema marinum*)、冠帆口虫(*Pleuronema coronatum*)和漫游虫多个种(*Litonotus* spp.)。站点 2 和站点 3 的纤毛虫种类数差别不大,以捕食硅藻的寡毛类和管口类为主,优势种为最小拟盗虫(*Strombidinopsis minima*)、侧偏急游虫(*Strombidium apolatum*)和细小哈特曼虫(*Hartmannula angustipilosa*)。

2.3 原生物群落的个体丰度(N)

水体中原生生物的个体丰度的高低往往被作为判断水体富营养化程度的一个重要指标。普遍认为在受有机污染较严重的水体,耐污种类形成优势种群而具有很高的个体丰度。调查期间 3 个站点的原生生物个体丰度如图 3 所示。从图中可以看出站点 1 的个体丰度明显高于另外 2 个站点,平均值为 7.5×10^5 个/L,纤毛虫为主要优势种类,其丰度在第 14 天迅速降低,与徐奎栋的研究中清洁站点的情况相吻合^[1]。而站点 2、3 之

间的个体丰度差别不大,平均值分别为 1.3×10^5 个/L 和 6.8×10^4 个/L。

表 2 调查期间各站点纤毛虫种名录
Table 2 Species list of ciliates in three sampling sites

种名 Species	站点 Site			种名 Species	站点 Site		
	1	2	3		1	2	3
结节壳吸管虫 <i>Acineta tuberosa</i>	+	-	+	斜叶虫未定种 4 <i>Loxophyllum</i> sp. 4	-	+	-
裂口虫未定种 <i>Amphileptus</i> sp.	+	-	-	林奇虫未定种 <i>Lynchella</i> sp.	-	+	-
条纹小双虫 <i>Amphisiella annulata</i>	+	-	-	蚤状中缢虫 <i>Mesodinium pulex</i>	-	-	+
异列虫未定种 <i>Anteholosticha</i> sp.	+	+	-	寡毛类未定种 <i>oligotrich</i> sp.	+	-	-
博格偏角毛虫 <i>Apokeronopsis bergeri</i>	-	+		弯直管虫 <i>Orthodonella hamatus</i>	-	-	+
厚偏角毛虫 <i>Apokeronopsis crassa</i>	-	-	+	盐尖毛虫 <i>Oxytricha saltans</i>	+	-	-
怀特偏角毛虫 <i>Apokeronopsis wrighti</i>	+	-	+	弗州拟尾丝虫 <i>Parauronema virginianum</i>	+	-	-
阿库盾纤虫 <i>Aspidisca aculeata</i>	+	+	+	佛氏环须虫 <i>Peritromus faurei</i>	+	-	-
后口虫未定种 <i>Boveria</i> sp.	+	-	-	海洋小瓶虫 <i>Pithites pelagicus</i>	+	-	-
蠕状心口虫 <i>Cardiostomatella vermiformis</i>	+	-	-	盐扁体虫 <i>Placus salinus</i>	+	+	+
小心毛虫 <i>Caryotricha minuta</i>	-	-	+	冠帆口虫 <i>Pleuronema coronatum</i>	+	+	-
柱纤口虫 <i>Chaenea teres</i>	+	-	-	帆口虫未定种 <i>Pleuronema</i> sp.	-	+	+
摩涅齿管虫 <i>Chlamyodon mnemosyne</i>	+	-	-	玻氏原头盘虫 <i>Prodiscocephalus borrori</i>	+	+	+
篷体虫未定种 <i>Chlamydonella</i> sp.	-	+	-	缩原克鲁虫 <i>Protocruzia contrax</i>	+	-	+
卡氏拟篷体虫 <i>Chlamydonellopsis calkinsi</i>	-	+	-	美丽原腹柱虫 <i>Protogastrostyla pulchra</i>	+	+	-
突口虫未定种 <i>Condylostoma</i> sp.	+	-	-	泡状伪小双虫 <i>Pseudoamphisiella alveolata</i>	+	-	-
悬游双眉虫 <i>Diophrys appendiculata</i>	+	-	-	盾纤类未定种 1 <i>scuticociliatids</i> sp. 1	+	-	-
寡毛双眉虫 <i>Diophrys oligothrix</i>	-	-	+	盾纤类未定种 2 <i>scuticociliatids</i> sp. 2	+	-	-
双眉虫未定种 <i>Diophrys</i> sp.	+	-	-	盾纤类未定种 3 <i>scuticociliatids</i> sp. 3	+	-	+
生芽斑吸管虫 <i>Ephelota gemmipara</i>	+	-	-	盾纤类未定种 4 <i>scuticociliatids</i> sp. 4	+	+	+
耳状额斜虫 <i>Epiclintes auricularis</i>	+	-	-	扁旋游虫 <i>Spirostrombidium platum</i>	+	-	-
卡龙游仆虫 <i>Euplotes charon</i>	+	-	-	冠须虫未定种 <i>Stephanopogon</i> sp.	-	-	+
小游仆虫 <i>Euplotes minuta</i>	+	-	-	细壳虫未定种 <i>Stenosemella</i> sp.	-	+	-
拟波罗的游仆虫 <i>Euplotes parabalteatus</i>	+	+	+	喇叭虫未定种 <i>Stentor</i> sp.	+	-	-
拉氏游仆虫 <i>Euplotes raikovi</i>	+	-	-	最小拟盗虫 <i>Strombidinopsis minima</i>	-	+	+
稀毛游仆虫 <i>Euplotes rariseta</i>	+	+	+	侧偏急游虫 <i>Strombidium apolatum</i>	-	-	+
中华游仆虫 <i>Euplotes sinica</i>	+	+	-	拟卡氏急游虫 <i>Strombidium paracalkinsi</i>	+	+	-
扇形游仆虫 <i>Euplotes vannus</i>	+	-	-	拟楔尾急游虫 <i>Strombidium parastylifer</i>	+	-	-
前口虫未定种 <i>Frontonia</i> sp.	+	-	-	具沟急游虫 <i>Strombidium sulcatum</i>	+	-	+
细小哈特曼虫 <i>Hartmannula angustipilosa</i>	-	+	+	急游虫未定种 <i>Strombidium</i> sp.	+	-	-
异毛类未定种 <i>heterotrichs</i> sp.	+	-	-	爵氏急纤虫 <i>Tachysoma dragescoi</i>	-	+	-
紧缩全列虫 <i>Holosticha diademata</i>	+	+	+	卵圆急纤虫 <i>Tachysoma ovata</i>	+	-	-
异佛氏全列虫 <i>Holosticha heterofoissneri</i>	-	+	+	红色趋角虫 <i>Thigmokeronopsis rubra</i>	-	+	-
全列虫未定种 <i>Holosticha</i> sp.	-	-	+	丁丁虫类未定种 <i>Tintinnids</i> sp.	-	+	-
海洋长吻虫 <i>Lacrymaria marina</i>	+	-	+	波罗的拟铃虫 <i>Tintinnopsis baltica</i>	+	-	-
薄铃虫未定种 <i>Leprotintinnus</i> sp.	+	+	+	百系拟铃虫 <i>Tintinnopsis beroidea</i>	+	-	-
漫游虫未定种 1 <i>Litonotus</i> sp. 1	+	-	-	管状拟铃虫 <i>Tintinnopsis tubulosa</i>	-	+	-
漫游虫未定种 2 <i>Litonotus</i> sp. 2	+	+	+	拟铃虫未定种 <i>Tintinnopsis</i> sp. 1	+	-	-
漫游虫未定种 3 <i>Litonotus</i> sp. 3	+	-	-	拟铃虫未定种 <i>Tintinnopsis</i> sp. 2	+	-	-
漫游虫未定种 4 <i>Litonotus</i> sp. 4	+	-	+	拟铃虫未定种 <i>Tintinnopsis</i> sp. 3	-	+	-
漫游虫未定种 5 <i>Litonotus</i> sp. 5	+	-	-	收缩瘦尾虫 <i>Uroleptus retractilis</i>	+	+	+
漫游虫未定种 6 <i>Litonotus</i> sp. 6	-	+	+	海洋尾丝虫 <i>Uronema marinum</i>	+	-	-
斜叶虫未定种 1 <i>Loxophyllum</i> sp. 1	+	-	-	钟虫未定种 1 <i>Vorticella</i> sp. 1	+	-	-
斜叶虫未定种 2 <i>Loxophyllum</i> sp. 2	+	-	-	钟虫未定种 2 <i>Vorticella</i> sp. 2	+	+	-
斜叶虫未定种 3 <i>Loxophyllum</i> sp. 3	+	-	-				

+ 表示存在;- 表示没有

2.4 原生生物群落的多样性指数(*d*)

生物多样性指数是群落生态学研究中的一个重要内容,是应用生物学指标评价环境的一个重要参数。Margalef 多样性指数 *d* 值可以较符合客观条件的反映水体的污染程度及其变化趋势,通常污染越严重,*d* 值越

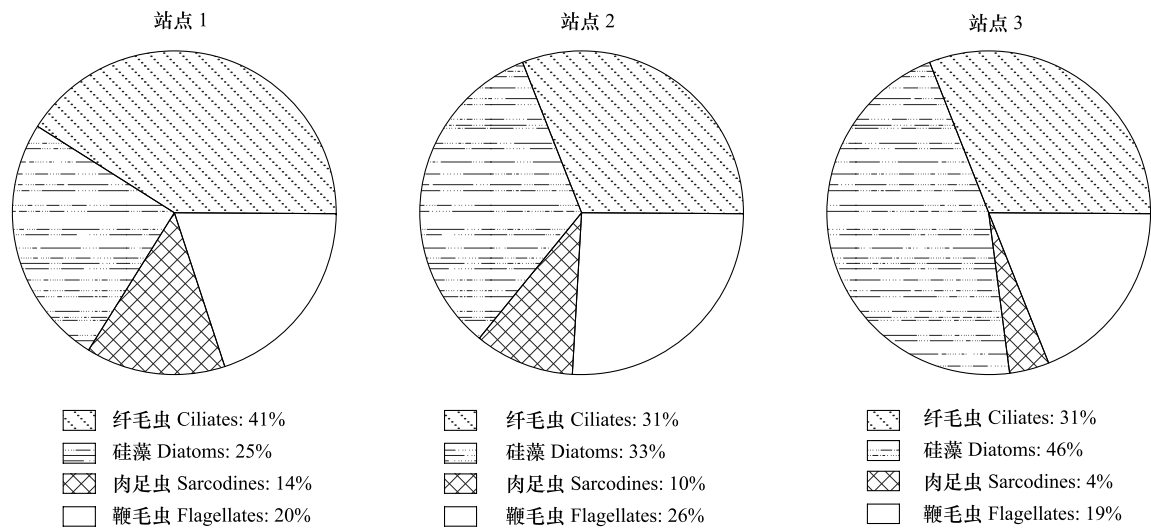


图 2 3 个站点原生生物群落种类组成示意图

Fig. 2 Species composition of protistan communities in three sampling sites

低^[6]。从表 3 可以看出,通过原生生物群落计算的 Margalef 多样性指数,站点 1 在 2.65—5.96 之间,平均值为 4.16,高于另两个站点。站点 2 在 1.56—5.53 之间,平均值为 3.00,在 3 个站点中最低。站点 3 在 2.13—4.64 之间,平均值为 3.37。

相比较而言,通过原生动物群落计算的 Margalef 多样性指数,站点 1 在 1.39—3.48 之间,平均值为 2.68,在 3 个站点中最高。站点 2 在 0.65—3.63 之间,平均值为 1.72。站点 3 在 0.56—2.24 之间,平均值为 1.42,站点 2 大于站点 3。

2.5 原生生物群落的富集过程

BPFU 系统原生生物群落的富集过程如图 4 所示。从图上可以看出,站点 1 在第 6 天达到一个高峰,随后略有下降,在第 14 天达到最大值。站点 2 在第 10 天达到最大值,在第 14 天明显下降,随后又略有上升。站点 3 在第 10 天达到最大值,然后逐渐下降。可见,站点 1 达到平衡所需的时间比另两个站点更长。

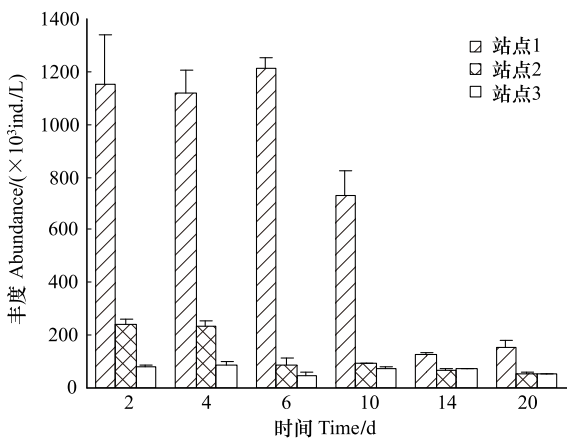


图 3 3 个站点原生动物的个体丰度

Fig. 3 Individual abundance of protist in three sampling sites

表 3 各站点原生生物群落和原生动物群落的多样性指数

采样时间 Time/d	原生生物 Protist			原生动物 Protozoa		
	站点 Site 1	站点 Site 2	站点 Site 3	站点 Site 1	站点 Site 2	站点 Site 3
2	3.35	1.56	2.40	1.39	0.65	0.56
4	2.65	1.70	2.13	2.32	1.14	0.72
6	4.09	3.31	3.87	3.27	1.89	2.24
10	3.64	5.53	4.64	2.43	3.63	2.11
14	5.26	2.45	4.11	3.19	0.81	1.28
20	5.96	3.42	3.04	3.48	2.17	1.58
$\bar{X}\pm\text{SD}$	4.16±1.24	3.00±1.47	3.37±1.00	2.68±0.79	1.72±1.11	1.42±0.70

作为 BPFU 系统原生生物中一部分的原生动物群落的富集过程如图 5 所示。相比较来看,站点 1 在第 6 天达到最大值,第 14 天达到另一个高峰,之后开始下降。站点 2 在第 10 天达到最大值,在第 14 天明显下降,之后又有所回升。站点 3 在第 6 天达到最大值,随后开始下降,到第 20 天略有上升。可见,站点 2 达到平衡所需的时间最长。

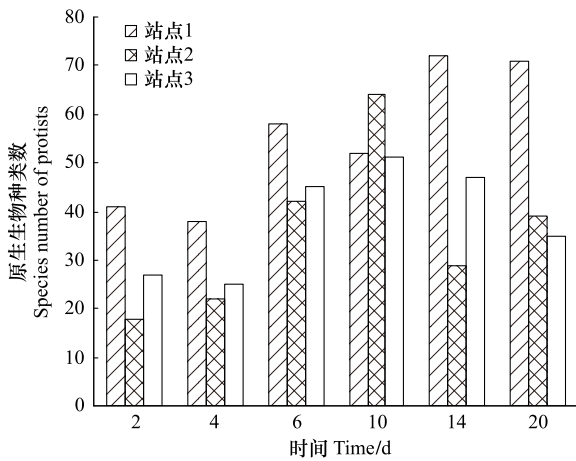


图 4 各站点原生生物群落富集过程

Fig. 4 Colonization of protistan communities in three sampling sites

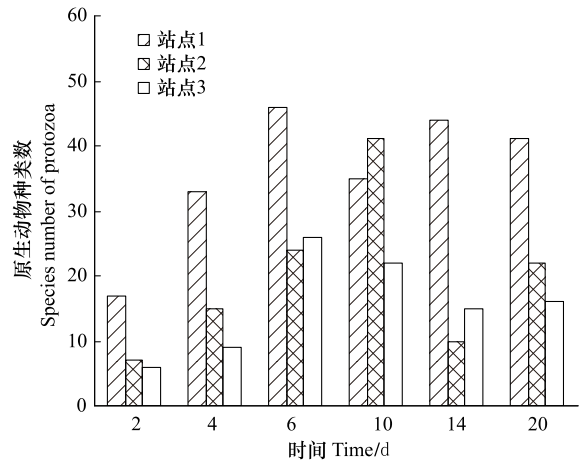


图 5 各站点原生动物群落富集过程

Fig. 5 Colonization of protozoan communities in three sampling sites

2.6 原生生物群落的功能参数

基于 MacArthur-Wilson 平衡方程,利用计算机软件 M-W 得到 BPFU 系统原生生物群落的 3 个功能参数即平衡期的种类数(S_{eq})、群集常数(G)和达到 90% S_{eq} 所用的时间($T_{90\%}$)。站点 1 的 S_{eq} 最大,站点 2 和站点 3 的 S_{eq} 非常接近,站点 2 略低于站点 3。 G 值表示原生生物在 BPFU 系统上的富集速率,3 个站点中站点 1 最低,其次是站点 2,站点 3 的 G 值最高。 $T_{90\%}$ 是与 G 值呈负相关的功能参数,站点 1 的 $T_{90\%}$ 最高,为 7.8648。站点 3 的 $T_{90\%}$ 最低,为 6.1217(表 4)。

同时,根据原生动物群落的数据得到 3 个站点的功能参数。站点 1 的 S_{eq} 最大,站点 2 的 S_{eq} 高于站点 3。站点 1 的 G 值最高,其次是站点 3,站点 2 最低。站点 1 的 $T_{90\%}$ 最低,其次是站点 3,站点 2 最高(表 4)。可见,由原生动物群落得到的功能参数所体现的规律与由原生生物群落所得到的并不一致。

表 4 各站点原生生物群落和原生动物群落的功能参数

Table 4 Functional parameters of protistan and protozoan communities in three sampling sites

站点 Site	原生生物 Protist			原生动物 Protozoa		
	S_{eq}	G	$T_{90\%}$	S_{eq}	G	$T_{90\%}$
1	67.2001	0.2928	7.8648	42.3061	0.3645	6.3177
2	43.7197	0.3059	7.5258	24.1532	0.3250	7.0838
3	44.4090	0.3761	6.1217	18.9500	0.3340	6.8937

2.7 理化指标和群落参数的关系

为了突出原生生物群落所反映出的 3 个站点的水质状况,在图 6 中阐释了主要的理化指标(NO_3^- , NH_3 , PO_4^{3-} 和 DO)和群落参数($T_{90\%}$ 和 d)的关系。站点 2 和站点 3 相比,表现出较高的 N、P 浓度,溶解氧略低于站点 3,从 2 个站点的群落参数来看,站点 2 的 d 值低于站点 3, $T_{90\%}$ 高于站点 3,能很好的反映出两个站点间污染水平的差别。站点 1 是 3 个站点中 N、P 浓度最高而溶解氧最低的,暗示出该站点的水质状况最差,该站点的 $T_{90\%}$ 在 3 个站点中最大, d 值也是 3 个站点中最高的,表明原生生物群落功能参数 $T_{90\%}$ 能非常准确的区分

不同污染水平水体的水质状况,而多样性指数虽然通常能在群落的水平对水体的污染状况给予综合评价,但在某些特殊的污染水体例如有机污染物浓度较高的水体,往往会表现出较高的多样性指数。

3 讨论

3.1 原生生物群落相比原生动物群落的精确性

在本研究中不仅调查了原生生物群落的各种参数,还根据物种数和个体丰度两项数据中属于原生动物的部分研究了3个站点原生动物群落的多样性指数 d 值、富集过程和功能参数。通过与原生生物群落的数据比较发现:3个站点的原生动物群落的 d 值,站点1高于其他站点,与原生生物群落的结果一致,但站点2大于站点3的结果与原生生物群落相反,虽然可能存在因某些鞭毛虫种类在归属上引起的误差,仍暗示出原生动物群落的 d 值对于水质状况相近的水体进行生物评价时,存在不稳定性。另外,原生动物群落的 d 值明显小于原生生物群落的 d 值,而徐奎栋等在韩国近海的研究中原生动物群落的 d 值却很高^[1],但由于计算 d 值的方法不同,所以不具有可比性。

从原生动物群落的富集过程来看,站点2在第10天达到物种数的最大值,晚于站点1和站点3的第6天。这也与原生动物群落的功能参数所反映的规律相符合:站点1和站点3的 G 值大于站点2,从这个结果来看,根据原生动物群落的数据,站点2的水质状况是3个站点中最差的,这显然与得到的理化指标结果并不一致。

以上结果说明,虽然前人的工作多次证明在淡水环境,PFU中的原生动物群落可以很好的评价污染水平和监测水质状况^[6-15],但在影响因素更加复杂多变的海洋环境中,其精确性和稳定性却并不理想。相比而言,原生生物群落包括了原生植物这一海洋中重要的初级生产力部分,体现出作为生态类群的统一性和完整性,在海洋水体污染的生物监测和评价工作中具有更大的优势和精确性。

3.2 BPFU法对于海洋水体生物评价的有效性

在淡水生态系统,PFU法已经被证明是评价污染状况的一种好方法。PFU中原生动物群落的结构和功能参数被证实和水质相关:物种数和多样性随着污染浓度的升高而降低,功能参数也与不同的污染水平相对应,为生物评价提供了进一步的证据^[1-2]。与淡水环境相比,海洋生态系统的潮流和交换循环作用是完全不同的影响因素。有研究显示,在近海区域,侵蚀作用对裸露的PFU块有一定影响,原生动物在富集过程中可能从PFU块中被挤出来,使微型生物群落很难达到平衡^[1]。对于海洋污染的生物监测,BPFU法具有明显的潜力和优势。BPFU系统吸收了PFU法的优点,并改善了它的缺点,带有四条切口的塑料瓶不仅让PFU块避免受野外状况的影响,还能使微型生物群落更容易在PFU块上富集和达到平衡^[1]。

在整个调查过程中,共观察到263种原生生物。3个站点的群落结构参数与各站点的水质状况密切相关,从站点1到站点3所表现出的群落组成异养性向自养性的转化以及个体丰度的减少,都充分反映出3个站点水体水质状况的差异。虽然通常认为受污染胁迫严重的水体种类数较低,但在本研究中,站点1的原生生物种类数却明显高于其他站点,应是由于生活污水中丰富的氮、磷等营养盐和有机污染物使水中的细菌、藻类等大量繁殖,异养性原生动物也因有丰富的饵料而生长加快^[2],加上秋季适宜的水温,都为丰富的原生生物种类提供了条件。可见,物种数并不总是一个有效的参数,因为它可能受一些其他因素影响。Margalef物种多样性指数是一个简单的生态参数,它概括了群落的物种数和丰度,不仅使群落结构分析简化,而且能很有

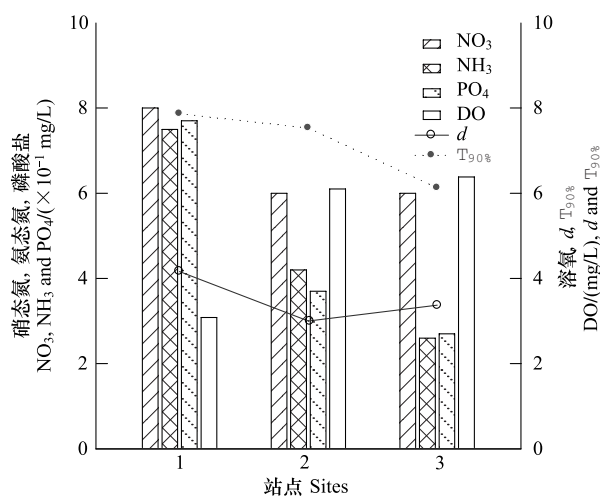


图6 各站点主要理化指标和群落参数的关系

Fig. 6 Relationship between main physicochemical indexes and community parameters

效的区分水质状况^[9]。从本研究的结果来看,通过多样性指数 d 值能区分出站点 2 和站点 3 之间的水质状况,而站点 1 的 d 值高于其他站点,与其高物种数的情况相符合,也再次说明该水体中有丰富的有机营养物质,有一定程度的有机污染。

功能参数无疑是预测水生生态系统负荷能力或同化能力最好的方法,虽然它们在污染评价中并不常用。在 3 个功能参数中, S_{eq} 是与污染水平相符合的足够敏感的参数,也是毒性试验中的一个重要参数; G 值能用来区分清洁水体、轻度富营养化水体和严重污染水体。通常,轻度富营养水体的 G 值更高,清洁水体和严重污染水体的 G 值较低; $T_{90\%}$ 是与 G 值呈负相关的功能参数^[1-2]。本研究的结果显示,除了站点 1 的 S_{eq} 明显高于其他站点外,3 个站点所有的功能参数数据与水体状况非常符合并且能清楚的区分各站点的污染水平。从站点 1 到站点 3, G 值依次增大, $T_{90\%}$ 依次减小,清楚的显示出 3 个站点水质状况的优劣。在徐奎栋等的研究中已经证实, S_{eq} 与 Margalef 多样性指数(d)显著相关^[1]。本研究中站点 1 的物种数、多样性指数 d 和 S_{eq} 都是 3 个站点中最高的,暗示出这 3 个参数之间存在着一定的内在联系。

总之,通过对青岛近岸主要水体的调查结果表明,BPFU 法是一种对海洋水体水质进行常规调查快速、有效和经济的方法。虽然当有机污染和营养盐足够丰富的时候,多样性指数 d 值和 S_{eq} 可能会较高,只要将各种结构参数和功能参数结合起来进行综合分析,就可以对处于不同污染水平的水体进行准确而有效的评价和监测。

References:

- [1] Xu K D, Choi J K, Yang E J, Lee K C, Lei Y L. Biomonitoring of coastal pollution status using protozoan communities with a modified PFU method. *Marine Pollution Bulletin*, 2002, 44(9): 877-886.
- [2] Shen Y F, Zhang Z S, Gong X J. *Modern Biomonitoring Techniques Freshwater Protozoa*. Beijing: China Architecture Industry Press, 1990.
- [3] Cairns J Jr, Lanza G R, Parker B C. Pollution related to structural and functional changes in aquatic communities with emphasis on freshwater algae and protozoa. *Proceedings of the Academy of Natural Sciences of Philadelphia*, 1972, 124: 79-127.
- [4] Xu M Q, Cao H. Ecological basis and application of PFU protozoan community in bio-monitoring with relation to water quality. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1540-1547.
- [5] Song W B. *Protistology*. Qingdao: China Ocean University Press, 2007.
- [6] Xu M Q, Wood B. Preliminary study of protozoa of Lough Neagh, Northern Ireland. *Biology and Environment*, 1999, 99B(2): 103-108.
- [7] Han L, Shi X L, Liu G J, Tan X L, Han H L. Preliminary studies on protozoans community diversity in the water area of the Sun Island in Harbin. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 2007, 31(2): 272-277.
- [8] Shen Y F, Gu M R, Feng W S. Assessment of water system in Changde City based on microbial communities. *Chinese Journal of Applied Ecology*, 1991, 2(2): 168-173.
- [9] Tan X L, Shi X L, Liu G J, Bai X. The regular changes of protozoan community diversity in an artificial lake in Harbin, China. *Acta Ecologica sinica*, 2005, 25(10): 2650-2657.
- [10] Xu M Q. A study on applying PFU protozoan community to monitor the self-purification effectiveness of the Beijing wastewater canal. *Acta Ecologica Sinica*, 1991, 11(1): 80-85.
- [11] Xu M Q. Evaluation of self-purification efficiency of Fuhe Stream Baiyangdian Lake through zooplankton. *Acta Hydrobiologica Sinica*, 1996, 20(3): 212-219.
- [12] Xu M Q, Zhai J J, Shao Y Y. Water quality in Beijing Tonghui River, using PFU protozoan communities as indicators. *Chinese Journal of Zoology*, 1998, 33(40): 1-7.
- [13] Xu M Q, Zhu J, Cao H. The relationship between the protozoan community diversity and the water quality in the Baiyangdian Lake. *Acta Ecologica Sinica*, 2001, 21(7): 1114-1120.
- [14] Xu R L, Sun Y X, Yang C S, Lan C Y, Huang M H. PFU protozoan communities and their colonization in a treatment system of Pb-Zn mine tailing water. *Chinese Journal Applied and Environmental Biology*, 1999, 5(4): 357-361.
- [15] Xu R L, Bai Q S, Xie R W. PF Unit protozoan community characteristics and the relation with the water quality in the Guangzhou Reach of the Pearl River. *Acta Ecologica Sinica*, 2002, 22(4): 479-489.

参考文献:

- [2] 沈韞芬, 章宗涉, 龚循矩. 微型生物监测新技术. 北京: 中国建筑工业出版社, 1990.
- [4] 许木启, 曹宏. PFU 原生动物群落生物监测的生态学原理与应用. 生态学报, 2004, 24(7): 1540-1547.
- [5] 宋微波. 原生生物学. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2007.
- [7] 韩蕾, 施心路, 刘桂杰, 谭晓丽, 韩宏蕾. 哈尔滨太阳岛水域原生动物群落变化的初步研究. 水生生物学报, 2007, 31(2): 272-277.
- [8] 沈韞芬, 顾曼如, 冯伟松. 用微型生物群落评价常德市水系的研究. 应用生态学报, 1991, 2(2): 168-173.
- [9] 谭晓丽, 施心路, 刘桂杰, 白昕. 哈尔滨人工湖泊中原生动物群落变化规律. 生态学报, 2005, 25(10): 2650-2657.
- [10] 许木启. 利用 PFU 原生动物群落监测北京排污河净化效能的研究. 生态学报, 1991, 11(1): 80-85.
- [11] 许木启. 从浮游动物群落结构与功能的变化看府河-白洋淀水体的自净效果. 水生生物学报, 1996, 20(3): 212-220.
- [12] 许木启, 翟家骥, 邵永怡. 利用 PFU 原生动物群落多样性快速监测北京惠通河水质. 动物学杂志, 1998, 33(4): 1-7.
- [13] 许木启, 朱江, 曹宏. 白洋淀原生动物群落多样性变化与水质关系研究. 生态学报, 2001, 21(7): 1114-1120.
- [14] 徐润林, 孙逸湘, 阳承胜, 蓝崇钰, 黄铭洪. 铅锌尾矿废水处理系统中 PFU 原生动物群落变化特征及其与水质净化的关系. 应用与环境生物学报, 1999, 5(4): 357-361.
- [15] 徐润林, 白庆笙, 谢瑞文. 珠江广州市段 PFU 原生动物群落特征及其与水质的关系. 生态学报, 2002, 22(4): 479-485.

ACTA ECOLOGICA SINICA Vol. 32, No. 6 March, 2012 (Semimonthly)

CONTENTS

Quantitatively monitoring undergoing degradation of plateau grassland by remote sensing data; a case study in Maqu County, Gansu Province, China	ZHOU Jianhua, WEI Huaidong, CHEN Fang, et al (1663)
Using periphyton assemblages to assess stream conditions of Taizi River Basin, China	YIN Xuwang, QU Xiaodong, LI Qingnan, et al (1677)
Water-holding capacity of an evergreen broadleaf forest in Ailao Mountain and its functions in mitigating the effects of Southwest China drought	QI Jinhua, ZHANG Yongjiang, ZHANG Yiping, et al (1692)
The relationship between protistan community and water quality along the coast of Qingdao	YANG Jinpeng, JIANG Yong, HU Xiaozhong (1703)
Simulation of effects of warming on carbon budget in alpine meadow ecosystem on the Tibetan Plateau	QI Weiwei, NIU Haishan, WANG Shiping, et al (1713)
Features of leaf photosynthesis and leaf nutrient traits in reservoir riparian region of Three Gorges Reservoir, China	JIE Shenglin, FAN Dayong, XIE Zongqiang, et al (1723)
Spatio-temporal distribution of fish in the Pengxi River arm of the Three Gorges reservoir	REN Yuqin, CHEN Daqing, LIU Shaoping, et al (1734)
Analysis on allelochemicals in the cell-free Filtrates of <i>Amphidinium carterae</i>	JI Xiaoqing, HAN Xiaotian, YANG Baijuan, et al (1745)
Effect of starvation on expression patterns of the MYP gene in <i>Strongylocentrotus intermedius</i>	QIN Yanjie, SUN Bolin, LI Xia, et al (1755)
Habitat selection of feral yak in winter and spring in the Helan Mountains, China	ZHAO Chongnan, SU Yun, LIU Zhensheng, et al (1762)
Using cellular automata to study patchy spread in a predator-prey system	YANG Li, LI Weide (1773)
Effects of insect-resistant transgenic <i>Bt</i> rice with a fused <i>Cry1Ab+Cry1Ac</i> gene on population dynamics of the stem borers, <i>Chilo suppressalis</i> and <i>Sesamia inferens</i> , occurring in paddyfield	LI Zhiyi, SUI He, XU Yanbo, et al (1783)
Effect of spectral sensitivity and intensity response on the phototaxis of <i>Frankliniella Occidentalis</i> (Pergande)	FAN Fan, REN Hongmin, LU Lihua, et al (1790)
The synergistic action and UV protection of optical brightener on three different geographic isolates of Asian Gypsy Moth Nucleopolyhedrovirus (LdMNPV)	WANG Shujuan, DUAN Liqing, LI Haiping, et al (1796)
The availability of trace elements in an oasis soil under different utilization intensity in an arid area in China	LI Haifeng, ZENG Fanjiang, GUI Dongwei, et al (1803)
Multivariate regression analysis of greenhouse gas emissions associated with activities and populations of soil microbes in a double-rice paddy soil	QIN Xiaobo, LI Yu'e, SHI Shengwei, et al (1811)
Distribution characteristics of humus fraction in soil profile for the typical regions in the Loess Plateau	DANG Ya'ai, LI Shiqing, WANG Guodong (1820)
N ₂ O emissions from vegetable farmland with purple soil and the main factors influencing these emissions	YU Yajun, WANG Xiaoguo, ZHU Bo (1830)
Relationships between carbon source utilization of soil microbial communities and environmental factors in natural secondary forest in subtropical area, China	WANG Yun, OUYANG Zhiyun, ZHENG Hua, et al (1839)
Numerical soil classification using fuzzy K-means algorithm and predictive soil mapping at regional scale	LIU Pengfei, SONG Xuan, LIU Xiaobing, et al (1846)
Releasing characteristics of nonpoint source pollutants from straws under submerging condition	YANG Zhimin, CHEN Yucheng, ZHANG Yun, et al (1854)
Effects of delayed irrigation at jointing stage on nitrogen accumulation and its allocation, and NO ₃ -N migration in wheat	WANG Hongguang, YU Zhenwen, ZHANG Yongli, et al (1861)
Risk division on winter wheat suffering from spring wet damages in Jiangsu Province	WU Hongyan, GAO Ping, XU Weigen, et al (1871)
Determination of the initial depth of water uptake by roots of steppe plants in restored and overgrazed communities, Inner Mongolia, China	GUO Yuran, WANG Wei, LIANG Cunzhu, et al (1880)
Fine root architecture and morphology among different branch orders of six subtropical tree species	XIONG Decheng, HUANG Jinxue, YANG Zhijie, et al (1888)
Numerical analysis of inter-specific relationships in Alpine steppe community in Bayanbulak	FANG Fei, HU Yukun, ZHANG Wei, et al (1898)
Analysis of shade-tolerance and determination of evaluation indicators of shade-tolerance in seedlings of <i>Chrysanthemum grandiflorum</i> and its closely related genera	SUN Yan, GAO Haishun, GUAN Zhiyong, et al (1908)
Effect of the parasitic <i>Cuscuta australis</i> on the community diversity and the growth of <i>Alternanthera philoxeroides</i>	WANG Rukui, GUAN Ming, LI Yonghui, et al (1917)
Diversity and community structure of basidiomycete laccase gene from subtropical broad-leaved and coniferous forest ecosystems based on cDNA cloning	CHEN Xiangbi, SU Yirong, HE Xunyang, et al (1924)
Fine root longevity and controlling factors in subtropical <i>Alingia grilipes</i> and <i>Castanopsis carlesii</i> forests	HUANG Jinxue, LING Hua, YANG Zhijie, et al (1932)
Linear programming and optimal distribution of the forest resources based on TM remote sensing images	DONG Bin, CHEN Liping, WANG Ping, et al (1943)
Urban green space landscape patterns and thermal environment investigations based on computational fluid dynamics	LIU Yanhong, GUO Jinping, WEI Qingshun (1951)
Review and Monograph	
Review of the ecological compensation efficiency	ZHAO Xueyan (1960)
Scientific Note	
The effects of petroleum exploitation on water quality bio-assessment and benthic macro-invertebrate communities in the Yellow River Delta wetland, Dongying	CHEN Kai, XIAO Nengwen, WANG Beixin, et al (1970)

《生态学报》2012 年征订启事

《生态学报》是中国生态学学会主办的自然科学高级学术期刊,创刊于 1981 年。主要报道生态学研究原始创新性科研成果,特别欢迎能反映现代生态学发展方向的优秀综述性文章;研究简报;生态学新理论、新方法、新技术介绍;新书评介和学术、科研动态及开放实验室介绍等。

《生态学报》为半月刊,大 16 开本,280 页,国内定价 70 元/册,全年定价 1680 元。

国内邮发代号:82-7 国外邮发代号:M670 标准刊号:ISSN 1000-0933 CN 11-2031/Q

全国各地邮局均可订阅,也可直接与编辑部联系购买。欢迎广大科技工作者、科研单位、高等院校、图书馆等订阅。

通讯地址:100085 北京海淀区双清路 18 号 电 话:(010)62941099; 62843362

E-mail: shengtaixuebao@rcees.ac.cn 网 址: www.ecologica.cn

编辑部主任 孔红梅 执行编辑 刘天星 段 靖

生 态 学 报

(SHENGTAI XUEBAO)

(半月刊 1981 年 3 月创刊)

第 32 卷 第 6 期 (2012 年 3 月)

ACTA ECOLOGICA SINICA

(Semimonthly, Started in 1981)

Vol. 32 No. 6 2012

编 辑	《生态学报》编辑部 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085 电话:(010)62941099 www.ecologica.cn shengtaixuebao@rcees.ac.cn	Edited by	Editorial board of ACTA ECOLOGICA SINICA Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China Tel:(010)62941099 www.ecologica.cn Shengtaixuebao@rcees.ac.cn
主 编	冯宗炜	Editor-in-chief	FENG Zong-Wei
主 管	中国科学技术协会	Supervised by	China Association for Science and Technology
主 办	中国生态学学会 中国科学院生态环境研究中心 地址:北京海淀区双清路 18 号 邮政编码:100085	Sponsored by	Ecological Society of China Research Center for Eco-environmental Sciences, CAS Add:18, Shuangqing Street, Haidian, Beijing 100085, China
出 版	科 学 出 版 社 地址:北京东黄城根北街 16 号 邮政编码:100071	Published by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China
印 刷	北京北林印刷厂	Printed by	Beijing Bei Lin Printing House, Beijing 100083, China
发 行	科 学 出 版 社 地址:东黄城根北街 16 号 邮政编码:100717 电话:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net	Distributed by	Science Press Add:16 Donghuangchenggen North Street, Beijing 100717, China Tel:(010)64034563 E-mail:journal@cspg.net
订 购	全国各地邮局	Domestic	All Local Post Offices in China
国外发行	中国国际图书贸易总公司 地址:北京 399 信箱 邮政编码:100044	Foreign	China International Book Trading Corporation Add:P. O. Box 399 Beijing 100044, China
广告经营 许 可 证	京海工商广字第 8013 号		



ISSN 1000-0933
CN 11-2031/Q

国内外公开发行

国内邮发代号 82-7

国外发行代号 M670

定价 70.00 元