

文章编号: 1004 - 7271(2005)04 - 0383 - 07

长江口九段沙附近水域浮游动物生态特征

张锦平¹, 徐兆礼², 汪 琴¹, 陈亚瞿²

(1. 上海市环境监测中心, 上海 200030; 2. 中国水产科学研究院东海水产研究所
农业部海洋与河口渔业重点开放实验室, 上海 200090)

摘要:根据 1998 - 2000 年长江口九段沙附近水域(30° ~ 32°N, 121°27' ~ 122°30'E)丰水期枯水期 6 个航次的海洋调查资料,对长江口水域浅水 III 型(网目孔径 0.077 mm)和浅水 I 型(网目孔径 0.505mm)浮游动物生态特征的变动趋势进行了研究。结果表明:丰水期盐度与浮游动物总丰度有很显著的线性关系,总丰度随着盐度的增加而增加;枯水期盐度与总丰度的关系不明显。同一季节温度与总丰度之间的关系不明显,但从总丰度的季节变化可见,不同水温环境下总丰度的差异依然明显。各年多样性指数(H')值均小于 2;丰水期和枯水期大型浮游动物 H' 值无论涨潮还是落潮均要大于小型浮游动物。本调查水域浮游动物种类组成简单,种间分布不均匀,优势种突出,主要由淡水生态类型、河口半咸水生态类型、沿岸生态类型和 offshore 生态类型的种类组成。

关键词:长江口;九段沙;浮游动物

中图分类号:S 922.93 文献标识码:A

Ecological characteristics of zooplankton near the Jiuduansha waters of the Yangtze River estuary

ZHANG Jin-ping¹, XU Zhao-li², WANG Qin¹, CHEN Ya-qu²

(1. Shanghai Environmental Monitoring Center, Shanghai 200030, China;

2. Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, Ministry of Agriculture of China,

East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090 China)

Abstract: Ecological characteristics of zooplankton near the Jiuduansha Waters of the Yangtze River estuary were investigated with the data obtained in six cruises from 1998 to 2000. Samplings from I net (mesh 0.505mm) and III net (mesh 0.077mm) were conducted in drought stage (December) and flood stage (August) separately. It was found that the total abundance of zooplankton was linearly correlated with the salinity in flood stage, showing an increasing total abundance with the increasing of salinity. However, the same correlation was not found in drought stage. In one season, the total abundance was not significantly correlated with temperature (R is 0.087 for flood stage and 0.107 for drought stage), although it varied with the temperature, showing clear seasonal changes. The diversity index was consistently below 2 over years. In both flood stage and drought stage, in spite of flood tide or ebb tide, the sampling with big net always showed a higher diversity index than the sampling with small net. This indicated low zooplankton species diversity, uneven distribution among different species and superiority of the

收稿日期:2005-06-16

基金项目:长江口深水航道治理工程项目

作者简介:张锦平(1965-),男,上海市人,高级工程师,主要从事环境生态学研究。Tel:021-64395930, E-mail: zhangjp@semc.com.cn

通讯作者:徐兆礼(1958-),女,浙江温岭人,研究员,主要从事海洋浮游动物及海洋生态学方面的研究。Tel:021-65686991, E-mail:

xiaomin@public4.sta.net

dominant species. According to their ecological characteristics, the zooplankton near the Jiuduansha Waters can be categorized into 4 kinds of ecological groups: fresh water group, estuary brackish-water group, coastal group and oceanic group.

Key words: the Yangtze River estuary; Jiuduansha Waters; zooplankton

河口区浮游动物在河口生态系统结构和生源要素循环中起重要作用,其动态变化影响许多鱼类和无脊椎动物的种群生物量。长江河口是世界最大河口之一,关于长江河口的浮游动物自 1985 年以来,有关学者已经进行过一些调查研究^[1-8],还有其它一些相关研究^[9-15]。上个世纪 90 年代后期,随着长江口深水航道的建设,长江口九段沙附近水域浮游动物生态环境可能发生一定的变化。本文研究长江口九段沙附近水域浮游动物生态特征。作为对九段沙湿地自然保护区整体环境资料研究的一个部分,有助于提高对该水域生态系统结构与功能的认识,为生态健康的评价和区域变化研究提供重要基础资料。

1 材料与方法

1.1 调查区域、采样时间与方法

本研究区的地理位置位于长江口深水航道附近(30°~32°N, 121°27'~122°30'E)水域。采样时间为丰水期:1998 年 8 月、1999 年 8 月和 2000 年 7 月;枯水期:1998 年 12 月、1999 年 12 月和 2000 年 12 月。设置 20 个采样站位(见图 1),涨、落潮分别各采集一次。样品同时采用浅水 I 型浮游生物网(大网)(网长 145 cm,网口内径 50 cm,网口面积 0.2 m²,孔径 0.505 mm)和浅水 III 型网(小网)(网长 140 cm,网口内径 37 cm,网口面积 0.08 m²,孔径 0.077 mm)垂直拖网采集。所采集样品用 5% 福尔马林溶液固定。样品运回实验室以后,进行分类、鉴定和计数。丰度(单位:ind/L) = 全网个数/滤水量,滤水量的大小与网型及水深有关,具体采样及计算方法见《海洋调查规范》。

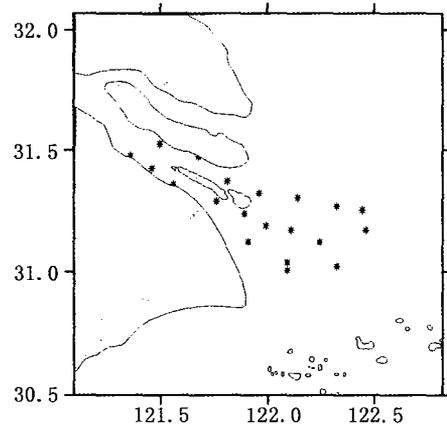


图 1 采样站位

Fig. 1 Locations of sampling stations

1.2 数据处理

各生态特征值均参考相关文献^[16,17]通过自编程序在计算机上采用如下计算公式处理得到:

$$(1) \text{优势度 } Y = \frac{n_i}{N} \cdot f_i$$

上式中, n_i 为第 i 种的丰度, f_i 是该种在各站位中出现的频率, N 为总丰度。取浮游动物优势度 $Y \geq 0.01$ 的种^[3]为本文优势种。

(2) Shannon-Wiener 多样性指数:

$$H' = 3.3219(\lg N - \frac{1}{N} \sum_{i=1}^S n_i \lg n_i)$$

$$(3) \text{均匀度: } J' = \frac{H'}{H'_{\text{Max}}} = \frac{H'}{\log S}$$

(2)和(3)式中, S 为种类数, n_i 为第 i 种的丰度, N 为总丰度, H' 为实际多样性指数, $H'_{\text{Max}} = \log_2 S$ 。其它数据分析用 SPSS 10.0 统计软件包分析,相关分析采用简单相关分析,回归分析采用逐步回归分析^[18,19]。

2 结果

2.1 种类组成

经鉴定本调查水域3年共出现浮游动物90种(不含14种浮游幼体(虫))(见表1),分为13大类,以桡足类为主,其次为轮虫类(表1)。各年丰水期种类数均高于枯水期。

表1 浮游动物各类群种类数

Tab.1 Number of species of Zooplankton group

类群	1998		1999		2000	
	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期	丰水期	枯水期
水母类 Medusae	1	1	2		1	1
原生动物 Protozoa	9	2	2	3	1	
轮虫类 Rotifera	4	4	14	11	12	8
枝角类 Cladocera	5	2	2	1	4	3
桡足类 Copepoda	10	15	13	14	15	9
十足类 Decapoda	4	2	1	1	2	2
糠虾类 Mysidacea		2	1	1	1	
磷虾类 Euphipoda		1		1	1	1
端足类 Amphipoda	1	1	2	1	1	1
等足类 Isopoda					1	
涟虫类 Cumacea					1	1
多毛类 Polychaeta			1	1	1	1
毛颚类 Chaetognatha	3	1	3	2	5	2
总种类数 Total species number	37	31	41	36	46	29
浮游幼虫 Meroplankton	7	4	8	4	10	5

2.1.1 丰水期

浮游动物种类数呈逐年递增趋势(图2),1998年有37种,其中桡足类10种,原生动物9种;1999年41种,其中轮虫类最多为14种,其次为桡足类13种;2000年有46种,其中桡足类15种,轮虫类12种。

对于不同的网型,各年小网的种类数均大于大网的种类数。如1998年涨潮大网有6种,小网有24种;落潮大网6种,小网22种;1999年涨潮大网有12种,小网有29种;落潮大网8种,小网23种;2000年涨潮由于大网中轮虫的种数增加,因此两者相差不大,大网有22种,小网有24种;落潮大网13种,小网32种,两者相差很大。出现这种情况主要是因为小网中出现了很多原生动物、轮虫和枝角类这些身体较小的小型浮游动物。

2.1.2 枯水期

各年出现最多的均为桡足类,其次为轮虫。1999年出现的浮游动物最多为36种,其中桡足类14种,轮虫11种;其次为1998年有31种,其中桡足类15种,轮虫9种;2000年29种,其中桡足类为9种,其次为轮虫类8种(图2)。

对于不同的网型,除了2000年落潮外,各年小网的种类数均大于大网的种类数。如1998年涨潮大网有9种,小网有17种;落潮大网14种,小网37种;1999年涨潮大网有8种,小网有30种;落潮大网13种,小网21种;2000年涨潮大网有14种,小网有20种;落潮大网13种,小网12种,两者相差不大。导致

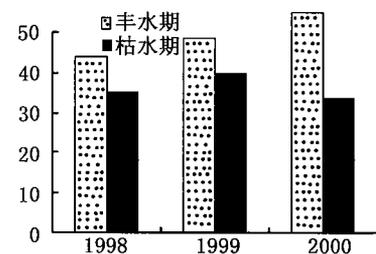


图2 丰水期和枯水期种类数

Fig.2 Species numbers in flood stage and drought stage

这种差别的原因与丰水期相同。

整体而言,潮水对浮游动物出现的种类数影响不大。

2.2 浮游动物数量变化

2.2.1 丰水期

如表 2 所示,3 年总丰度涨潮和落潮的变化趋势为 1999 年(12.30,13.98 ind/L) > 2000 年(2.59,4.10 ind/L) > 1998 年(2.87,2.01 ind/L),年际变化明显。对于不同的网型,小网的丰度总是大于大网,且相差很大。涨潮时大网年平均丰度为 0.54 ind/L,小网为 11.30 ind/L;落潮时大网年平均丰度为 0.31 ind/L,小网为 13.09 ind/L,两者相差几十倍。对于不同的潮水来说,除了 1998 年,1999 年和 2000 年均落潮丰度(13.98,4.10 ind/L)大于涨潮(12.30,2.59 ind/L)丰度。

2.2.2 枯水期

3 年总丰度涨潮和落潮的变化趋势为 1998 年(3.01,2.34 ind/L) > 1999 年(2.17,1.82 ind/L) > 2000 年(0.61,0.45 ind/L),且丰度变化比丰水期平缓。与丰水期相同小网丰度要大于大网,涨潮时大网年平均丰度为 0.23 ind/L,小网丰度为 3.63 ind/L;落潮时大网年平均丰度为 0.43 ind/L,小网丰度为 2.64 ind/L,相差几倍。3 年均落潮丰度大于涨潮丰度。

总之,不管涨潮落潮,8 月份大网和小网的平均丰度要大于 12 月份。大网平均丰度季节差异不明显。但是,小网的平均丰度 8 月(11.30,13.09 ind/L)要比 12 月(3.63,2.64 ind/L)大的多。特别是 1999 年,8 月的平均丰度要比 12 月份高几倍(表 2)。

表 2 总丰度的年际变化
Tab.2 Total abundance variations over years (ind/L)

季节	网型	1998		1999		2000		平均	
		涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮	涨潮	落潮
丰水期	大网	0.05 ± 0.13	0.09 ± 0.13	1.10 ± 1.43	0.58 ± 0.77	0.48 ± 0.95	0.26 ± 0.56	0.54	0.31
	小网	5.69 ± 8.04	3.93 ± 6.99	23.51 ± 26.99	27.38 ± 44.92	4.71 ± 6.12	7.94 ± 10.19	11.30	13.09
	平均	2.87	2.01	12.30	13.98	2.59	4.10		
枯水期	大网	0.49 ± 2.02	1.09 ± 4.79	0.11 ± 0.12	0.13 ± 0.18	0.07 ± 0.09	0.07 ± 0.10	0.23	0.43
	小网	5.53 ± 4.80	3.58 ± 4.88	4.22 ± 7.77	3.51 ± 7.10	1.14 ± 0.92	0.82 ± 0.78	3.63	2.64
	平均	3.01	2.34	2.17	1.82	0.61	0.45		

2.3 优势种

2.3.1 丰水期

丰水期 3 年共有优势种 11 种,其中涨潮时出现 9 种,落潮时出现 8 种。1998 年只出现 2 种,1999 年出现 4 种,而 2000 年则出现了 8 种(表 3)。大网的优势种数比小网多,增加的主要是一些个体较大的种,且以近岸生态类型的种类为多,而小网中的原生动物的轮虫等淡水种在大网中出现较少。

2.3.2 枯水期

枯水期 3 年共有优势种 8 种,其中涨潮时出现 8 种,落潮时出现 6 种。1998 年只出现 4 种,1999 年 7 种,而 2000 年出现了 5 种(表 4)。大网和小网的优势种基本一致,且都以近岸生态类型的种类占优势。原生动物的轮虫等淡水种在大网中出现较少。本期中华哲水蚤为优势种,显示出外海水的入侵。

2.4 多样性指数分布特征

本调查水域浮游动物种类组成简单,种间分布不均匀,优势种突出。各年多样性指数和均匀度均值均小于 2。无论涨潮落潮丰水期和枯水期大网的多样性指数值均要大于小网。

丰水期 3 年多样性指数大网均值涨潮为 1.67,落潮为 1.77;小网涨潮为 1.50,落潮为 1.52。均匀度大网均值涨潮为 0.72,落潮为 1.05;小网涨潮为 0.56,落潮为 0.94。

枯水期 3 年多样性指数大网均值涨潮为 1.63,落潮为 1.48;小网涨潮为 1.15,落潮为 1.27。均

匀度大网均值涨潮为 0.76, 落潮为 0.73; 小网涨潮为 0.50, 落潮为 0.59。

表 3 丰水期优势种优势度

Tab.3 Dominant species zooplankton in flood stage

潮汐	种 类	1998		1999		2000	
		大网	小网	大网	小网	大网	小网
涨潮	火腿许水蚤 <i>Schmachria poplesia</i>	0.06	0.03	0.54			
	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>			0.05	0.27	0.03	
	亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>			0.04			
	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i>			0.03		0.02	
	背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>					0.05	
	琴形箭虫 <i>Sagitta lyra</i>					0.01	
	海龙箭虫 <i>Sagitta nagae</i>					0.03	
	镰型臂尾轮虫 <i>Brachionus falcatus</i>						0.01
	蓴花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>						0.01
落潮	火腿许水蚤 <i>Schmachria poplesia</i>	0.48	0.02	0.43	0.01	0.01	
	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>			0.03		0.03	
	背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>					0.25	0.01
	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i>			0.07		0.02	
	亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>			0.01			
	长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>					0.01	
	海龙箭虫 <i>Sagitta nagae</i>					0.01	
	累枝虫 <i>Epistylidae</i>		0.01				

表 4 枯水期优势种优势度

Tab.4 Dominant species of zooplankton in drought stage

潮汐	种 类	1998		1999		2000	
		大网	小网	大网	小网	大网	小网
涨潮	火腿许水蚤 <i>Schmachria poplesia</i>	0.01	0.03	0.03		0.27	
	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.01	0.01	0.19	0.01	0.03	0.01
	四刺窄腹剑水蚤 <i>Limnithona tetraspina</i>		0.01				
	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.01		0.06		0.04	
	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i>			0.12		0.12	
	聚缩虫 <i>Zoothamnidae</i>				0.07		
	累枝虫 <i>Epistylidae</i>				0.01		
落潮	蓴花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>				0.01		0.01
	中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>		0.06	0.11	0.02		0.06
	真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.03	0.01	0.08		0.03	
	火腿许水蚤 <i>Schmachria poplesia</i>	0.02	0.01	0.03		0.22	
	虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i>			0.16		0.11	
	聚缩虫 <i>Zoothamnidae</i>				0.09		
蓴花臂尾轮虫 <i>Brachionus calyciflorus</i>				0.01			

3 讨论

3.1 不同环境因子对总丰度的影响

3.1.1 盐度

盐度是影响浮游动物生长和发育的重要的环境因子,特别是在河口咸淡水交汇区,盐度变化剧烈,不同类型浮游动物在不同盐度范围内生活,而一些生理耐受性较强的种类在河口区分布范围较广。丰

水期盐度与浮游动物总丰度呈显著的正相关关系($R = 0.439, P < 0.01$), 丰度随盐度的增加而增加, 这与以前的研究相同。而在枯水期, 盐度与丰度的相关关系不明显。主要原因是枯水期径流量小, 盐度变化不大, 环境条件稳定, 不同生态类型的种类具有同等的生存机会, 因此线性关系不显著。

3.1.2 水温

水温是影响浮游动物数量波动和分布的重要因素之一。据资料分析, 在东海近海及长江口羽状锋区内, 浮游动物数量随着春、夏期间水温升高而增多, 表温变化范围约为 $10 \sim 28\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。7-8月为浮游动物丰度的高峰期, 9月后丰度开始下降。在本次调查中, 同一季节温度与丰度之间的关系不明显($P > 0.05$)。但由表2可见, 不同水温环境下总丰度的差异依然明显, 其原因主要是调查范围较小, 温差太小的缘故。在平面分布上没有特别明显的关系。

3.2 浮游动物与群落多样性指数的关系

图3为调查水域的多样性指数分布模式示意图, 从图中可以直观的看出以下几点: (1) 大网和小网的分布形式不同, 小网在调查水域的西部多样性指数较大网高。而在调查水域的东部大网多样性指数要比小网高。产生这种现象的主要原因是大网和小网所采获的对象不同, 在西部水域主要集中了轮虫、枝角类甚至原生动类等淡水类群的种类, 而这些种类个体普遍较小, 大网不易采到, 所以小网采到的种类要比大网多, 因此多样性指数较高。而在东部水域大型的浮游动物特别是桡足类成为大网的主要采集对象, 小网的采集能力有所降低, 因此大网多样性指数较高。(2) 随着丰水期、枯水期以及涨潮、落潮的交替, 不同生态类型混杂的中间混合区域向东西两个方向移动, 其移动的幅度大小受到长江径流和潮水强度的影响, 长江径流影响较大, 而潮水影响较小。在丰水期混合区域向东延伸, 枯水期向西收缩即向长江口门收缩。涨潮时向西移动, 落潮时向东偏移。由此引起大网和小网多样性指数大小的差别。

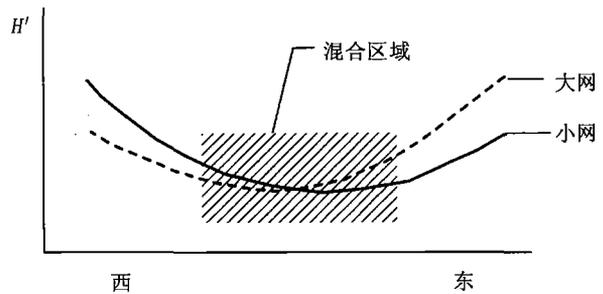


图3 多样性指数分布示意图

Fig.3 Sketch of the distribution of diversity index (H')

3.3 长江口浮游动物主要生态类群划分

由于浮游动物营随波逐流的生活方式, 故其空间分布与海流水团关系至为密切, 并可作为海流水团的良好指示生物。本调查的长江口浮游动物可以划分为如下生态类群。

3.3.1 淡水类群

镰型臂尾轮虫、萼花臂尾轮虫、汤匙华哲水蚤和广布中剑水蚤等均可以作为淡水水系指示种, 主要分布于盐度小于2的水域。其中轮虫类主要出现于小网中。

3.3.2 河口半咸水类群

虫肢歪水蚤、火腿许水蚤、江湖独眼钩虾等种类常分布于半咸水性质的河口水域内, 适盐范围 $2 \sim 10$ 。这些河口性种类常因径流强度的不同而变化, 丰水期相对于枯水期其分布位置要向口外移动, 如虫肢歪水蚤丰水期可分布至 $122.5\text{ }^{\circ}\text{E}$, 而枯水期仅分布于 $122\text{ }^{\circ}\text{E}$ 以西水域。

3.3.3 沿岸类群

长江口羽状锋内所栖息的大部分种类皆为沿岸性种类。适合盐度范围为 $10 \sim 25$ 之间。此类指示种主要有真刺唇角水蚤、海龙箭虫、中华假磷虾、中华刺糠虾等。这些种类向东部水域的扩展分布可以反映出长江径流向东伸展的范围和强度。

3.3.4 外海类群

本调查水域由于范围较小, 受暖流影响的范围较小, 出现的外海种类数量很少。主要有肥胖箭虫等。其数量的多少及分布范围能够反映出台湾暖流的强度及长江冲淡水的作用强度。

由于本调查水域范围较小, 没有出现以前发现的黄海混合水及黄海冷水水系指示种。

非常感谢李备军、朱梦杰等同志相关样品的采集工作,李丁成同学协助数据处理。

参考文献:

- [1] 朱启琴. 长江口、杭州湾浮游动物生态调查报告[J]. 水产学报, 1988, 12(2): 110 - 123.
- [2] 陈亚瞿, 徐兆礼, 王云龙, 等. 长江河口锋区浮游动物生态研究 I 生物量及优势种的平面分布[J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 49 - 58.
- [3] 陈亚瞿, 徐兆礼, 王云龙, 等. 长江河口锋区浮游动物生态研究 II 种类组成、群落结构、水系指示种[J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 59 - 63.
- [4] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 等. 长江河口锋区浮游动物生态研究 III 优势种的垂直分布[J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 64 - 70.
- [5] 徐兆礼, 王云龙, 蒋 玫, 等. 长江河口锋区桡足类优势种聚集特征的研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 20 - 23.
- [6] 徐兆礼, 王云龙, 白雪梅, 等. 长江口浮游动物生态研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 51 - 55.
- [7] 徐兆礼, 洪 波, 朱明远, 等. 东海赤潮高发区春季浮游动物生态特征的研究[J]. 应用生态学报, 2003, 13(7): 1081 - 1085.
- [8] 郭沛勇, 沈焕庭, 刘阿成, 等. 长江口浮游动物的种类组成、群落结构及多样性[J]. 生态学报, 2003, 23(5): 892 - 900.
- [9] 徐兆礼, 陈亚瞿, 朱明远, 等. 夜光藻 (*Noctiluca scintillans*) 与浮游生物关系的数学模型[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊): 64 - 68.
- [10] 戴国梁. 长江口及其邻近水域底栖动物生态特点[J]. 水产学报, 1991, 15(2): 104 - 114.
- [11] 俞连福, 李长松, 陈卫忠, 等. 长江口中华绒螯蟹蟹苗数量分布及其资源保护对策[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊): 34 - 38.
- [12] 徐兆礼, 沈新强, 陈亚瞿, 等. 杭州湾洋山岛周围海域浮游动物分布特征[J]. 水产学报, 2003, 27(增刊): 68 - 75.
- [13] 王幼槐, 倪 勇. 上海市长江口区渔业资源及其利用[J]. 水产学报, 1984, 8(2): 147 - 160.
- [14] 唐文乔, 诸廷俊, 陈家宽, 等. 长江口九段沙湿地的鱼类资源及其保护价值[J]. 上海水产大学学报, 2003, 12(3): 193 - 200.
- [15] 刘 凯, 张敏宝, 陈东坡, 等. 长江凤鲚资源变动及其最大持续产量的研究[J]. 上海水产大学学报, 2003, 13(4): 298 - 303.
- [16] 徐兆礼, 陈亚瞿. 东黄海秋季浮游动物优势种聚集强度与鲐鲚渔场的关系[J]. 生态学杂志, 1989, 8(4): 13 - 15.
- [17] 马克平. 生物多样性研究的原理与方法[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1994. 141 - 165.
- [18] 陈希孺. 王松桂. 近代回归分析[M]. 合肥: 安徽教育出版社, 1987. 212 - 217.
- [19] 中国科学院计算中心概率论统计编著. 概率统计计算[M]. 北京: 科学出版社, 1979. 105 - 144.