

DOI: 10.5846/stxb201503190530

殷晓龙, 徐兆礼. 长江口南支、北支、北港及口外水域浮游动物群聚相似性的研究. 生态学报, 2016, 36(18): - .

Yin X L, Xu Z L. Similarity analysis of zooplankton assemblages among different zones in the Yangtze River estuary. Acta Ecologica Sinica, 2016, 36(18): - .

# 长江口南支、北支、北港及口外水域浮游动物群聚相似性的研究

殷晓龙<sup>1,2</sup> 徐兆礼<sup>1,\*</sup>

1 中国水产科学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

2 上海海洋大学海洋科学学院, 上海 201306

**摘要:** 依据 2009—2010 年春、秋季在长江口南支、北支、北港以及口外水域的海洋综合调查资料, 基于聚类、排序等多元分析方法, 对长江口不同水域的浮游动物群聚进行相似性分析。春季, 长江口水域的浮游动物群聚在 40% 相似性程度上可以明显分为口外和口内两组, 分别记为 I、II 组。位于口外水域的 I 组受外海水团和长江径流的影响, 浮游动物以近海种、沿岸种和河口种为主, 如中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*, 35.30 ind/m<sup>3</sup>)、真刺唇角水蚤 (*Labidocera euchaeta*, 34.59 ind/m<sup>3</sup>)、虫肢歪水蚤 (*Tortanus vermiculus*, 42.46 ind/m<sup>3</sup>)。位于长江口内的 II 组可以进一步分为 II-1、II-2 和 II-3 三个组。受长江径流的影响, 口内水域的浮游动物群聚以河口种为主, 主要优势种为中华哲水蚤 (*Sinocalanus sinensis*)。秋季, 长江口水域可明显分为 III、IV、V、VI 四个组, 由于外海势力和长江径流都增大, 导致不同水域的水环境差异更大, 浮游动物群聚的差异也相对增大。其中, III 组 (北港水域) 以河口种为主, 主要种类为虫肢歪水蚤, 丰度为 3.08 ind/m<sup>3</sup>; IV 组 (北支水域) 因受长江径流影响较小, 盐度较高, 以沿岸种为主, 主要种类为针刺拟哲水蚤 (*Euconchoecia aculeata*), 丰度为 4.97 ind/m<sup>3</sup>; V 组 (口外水域) 受外海水团和台湾暖流的影响, 以外海种和近海种为主, 外海种主要有亚强次真哲水蚤 (*Subeucalanus subcrassus*) 等, 近海种主要有中华哲水蚤等; 受长江径流的强烈影响, VI 组 (南支水域) 以淡水种为主, 主要种类为汤匙华哲水蚤 (*Sinocalanus dorrii*), 其优势度高达 0.93, 是该水域的关键种。可以看出, 盐度和水团是导致长江口浮游动物群聚在不同水域产生差异的主要因素。

**关键词:** 长江口; 浮游动物; 相似性; 水团

## Similarity analysis of zooplankton assemblages among different zones in the Yangtze River estuary

YIN Xiaolong<sup>1,2</sup>, XU Zhaoli<sup>1,\*</sup>

1 Ministry of Agriculture Key and Open Laboratory of Marine and Estuary Fisheries, East China Sea Fisheries Research Institute, Chinese Academy of Fisheries Sciences, Shanghai 200090, China

2 College of Marine Sciences, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China

**Abstract:** Similarity analyses were performed on zooplankton communities in the South Branch (SB), North Branch (NB), North Channel (NC), and offshore area (OS) of the Yangtze River estuary based on the survey conducted during spring and autumn from 2009 to 2010. According to the results of the hierarchical cluster analysis and non-metric multidimensional scaling. The zooplankton species occurring in this estuary in spring can be divided into two communities: I and II. Community I in OS is significantly different from community II. Community I was dominated by offshore zooplankton

**基金项目:** 国家自然科学基金项目 (41176131); 海洋公益性行业科研专项经费项目 (201305027) The foundation was financially supported by the project of National Natural Science foundation (41176131); Marine public welfare scientific research funding (201305027)

收稿日期: 2015-03-19; 修订日期: 2016-04-08

\* 通讯作者 Corresponding author. E-mail: 1075527784@qq.com

species, e.g., *Calanus sinicus* (density of 35.30 ind/m<sup>3</sup>), which may be due to the effect of water masses. Few estuarine and coastal species were also observed during this period. As a result of the Yangtze River runoff, community II was dominated by estuarine species; this community can be further divided into community II-1 (NC), II-2 (NB), and II-3 (SB). *Sinocalanus sinensis* was the most dominant species across these subcommunities, present at varying densities. The differences in estuarine communities were mainly caused by the adaption of *S. sinensis* to freshwater environment. In autumn, the communities of the Yangtze River could be distinctly divided into four clusters: III, IV, V, and VI. Owing to the stronger runoff and the offshore water mass, there were considerable differences from the dominant species which led to form the different communities. Estuarine species prevailed in community III (NC), with *Tortanus vermiculus* observed as the dominant species (3.08 ind/m<sup>3</sup>). Due to the small impact of the Yangtze River Runoff and with a high salinity in the waters of NB, community IV was mainly composed of coastal species. Furthermore, owing to the effects of offshore currents and water mass, community V (OS) was dominated by offshore species such as *Calanus sinicus* and marine species such as *Subeucalanus subcrassus* and *Sagitta enflata*. As a result of the stronger runoff of the Changjiang River, freshwater species dominate community VI (SB). *Sinocalanus dorrii* was the key species of community VI, with a high dominance (0.93). Thus, salinity and water masses were considered key factors to cause differences in zooplankton communities in the Yangtze River Estuary, and the differences between the offshore area and the estuarine areas were larger than those in the estuarine areas.

**Key Words:** Yangtze River Estuary; zooplankton; similarity; water mass

长江河口是世界上最重要的河口之一,受长江冲淡水、外海水及沿岸流等水团影响,水文环境复杂。长江口分为三级分汊,呈现四门入海的格局。南支水域受长江径流影响较明显,因此显示出明显的淡水特性;北支水域受长江径流的影响较小,主要受潮流的影响,因此盐度约为南支的十几倍乃至上百倍,显示出一定的海水特性<sup>[1-3]</sup>。长江口相邻的各水域水文环境差异如此明显,使得浮游动物群聚呈现较高的多样性,结构复杂。

徐兆礼<sup>[4]</sup>研究了影响长江口北支水域浮游动物分布格局的主要因素。徐兆礼等<sup>[5]</sup>(2005)还对长江口南港水域以及邻近外海水域浮游动物优势种的生态特征进行了研究,站位多集中于口外近海水域。刘守海等<sup>[6]</sup>(2013)2007—2008年春、夏季对长江口水域进行监测,主要集中在口外和南支水域。陈洪举等<sup>[7]</sup>(2009)在2006年对长江口及邻近海域的调查站位也是主要集中在长江口外水域。张锦平等<sup>[8]</sup>(2005)报道了长江口九段沙附近水域浮游动物群落特征。这些研究在中、小尺度上揭示了长江口浮游动物群聚的许多重要生态特征,但目前已有研究多局限于长江口某一水域,没有对南、北分支及口外水域浮游动物群聚进行较为全面的比较。

本文通过对长江口南、北分支和口外水域的春、秋两季浮游动物的调查,揭示在长江口的复杂水文条件下不同水域浮游动物群聚的相似性,以期丰富对河口浮游动物与环境的认识,特别是河口区盐度对浮游动物群聚的影响。

## 1 材料与方法

### 1.1 采样区域和方法

2009—2010年期间对长江口水域进行调查,春季调查设置25个站位,秋季调查设置21个站位。N1—N6站位位于北支水域,春季,B1—B9站位位于南支北港水域(为便于描述,后文简称北港水域),S1—S6为近南支南岸水域(为便于描述,后文简称南支水域),C1—C4位于长江口外水域(图1)。尽管两季调查站位位置不完全一致,但均包含在四块水域内,在各自的水域具有一定的代表性。浮游动物采集使用浅水I型浮游生物网,自底至表垂直拖拽采集。采集及标本处理均按照《海洋调查规范》进行,经5%福尔马林溶液固定后称量、鉴定和统计。个体丰度单位为 ind/m<sup>3</sup>。

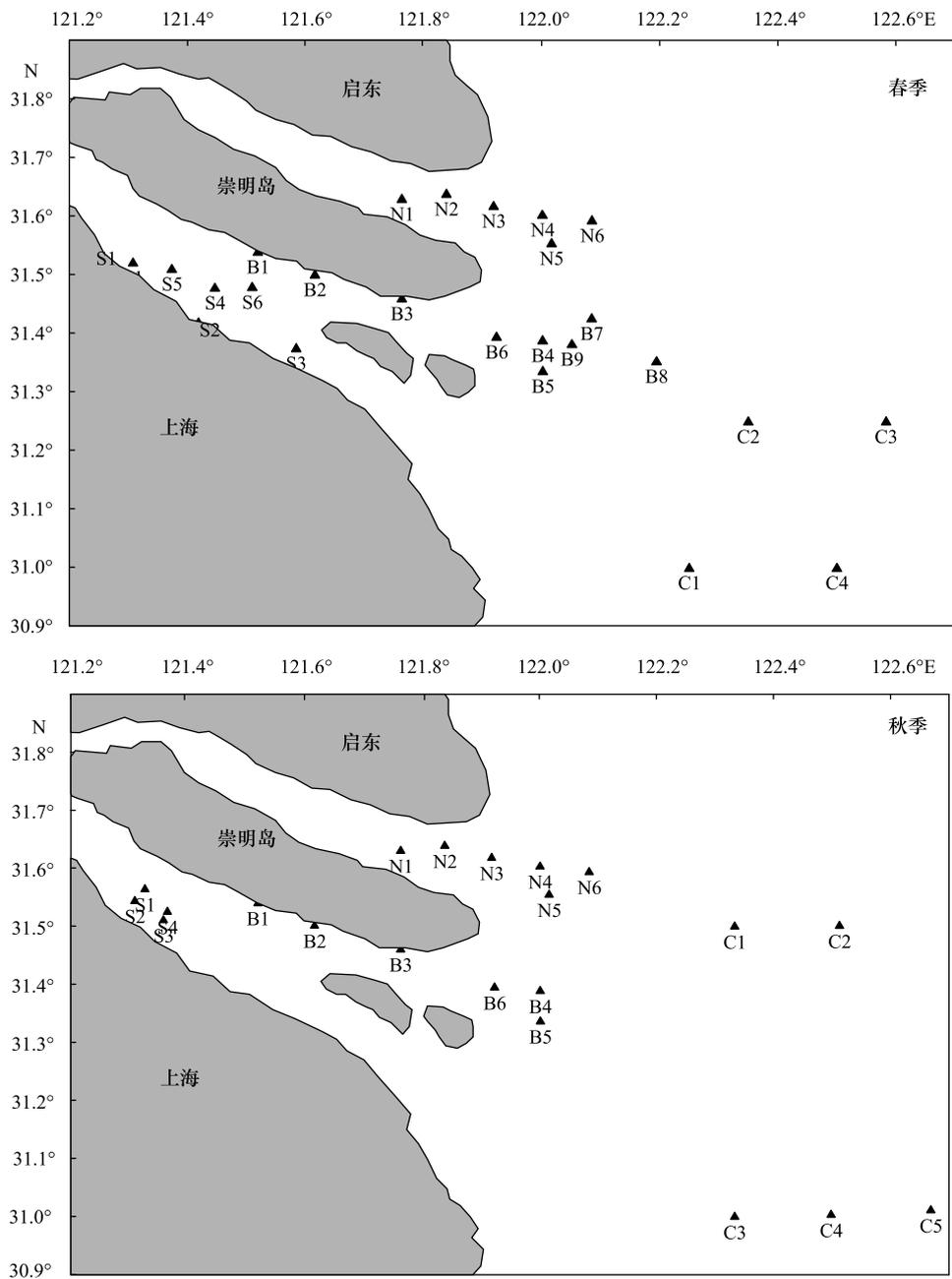


图 1 长江口调查海域及站位分布  
 Fig.1 Investigation sea area and sampling stations

1.2 数据处理

聚类分析以各调查站位每种浮游动物的丰度为指标,站位为样本,用 PRIMER5.0 软件进行 Q 型聚类分析<sup>[9-10]</sup>。为平衡优势种和非优势种在群聚中的作用,计算前对原始数据矩阵进行四次方根变换,再计算 Bray-Curtis 距离,建立距离矩阵,最后采用类平均法进行聚类,并作树状图。为了验证聚类结果的可信程度,在此基础上进行了非线性多维标度排序分析(NMDS)。

检验 NMDS 结果好坏可以用胁强系数(stress)来衡量,通常认为,stress<0.2 时,可用 NMDS 的二维点图表示,其图形有一定的解释意义;stress<0.1 时,可以认为是一个好的排序,当 stress <0.05 时,具有很好的代表性<sup>[11-12]</sup>。

优势种判别采用优势度公式  $Y=(n_i/N) \times f_i$ ,式中: $n_i$ 为第 i 种的丰度, $f_i$ 是第 i 种在个站位中出现的频率, $N$

为总丰度。取浮游动物优势度  $Y \geq 0.02$  的种为本文优势种,绘制累积优势度曲线辅助分析。

累积优势度为物种丰度占总丰度百分数的累加值,累积优势度曲线 (Dominance curve, K-dominance) 根据各种浮游动物丰度由大到小排序,该曲线广泛应用于群聚结构的数据分析,能够较直观地表示群聚的物种多样性和丰度百分比。

## 2 结果及分析

### 2.1 长江口不同水域环境特征比较

春季南支和北港水域盐度极低,均值分别为 0.05 和 0.25,基本为淡水环境;北支水域盐度均值较高,为 12.59;长江口外水域盐度最高,均值达 17.75(表 1)。相比较盐度而言,温度的差异较小,只有口外水域的站位调查时受天气影响水温略低(表 1)。

秋季四个水域的水温均有降低,各水域间水温相差不大。南支水域盐度均值为 0.07,基本为淡水环境;北港略高,为 1.87;北支水域盐度均值达 15.09;口外水域盐度最高,为 23.13,为高盐水环境。北支水域受长江径流和潮汐影响较小,北港水域受影响较大,因此,虽然北支与北港水域相邻,其盐度相差却较大。

表 1 长江口不同水域温度盐度的比较

Table 1 Temperature and salinity of different areas of Changjiang River Estuary

	春季 Spring				秋季 Autumn			
	南支 SB	北支 NB	北港 NC	长江口外 OS	南支 SB	北支 NB	北港 NC	长江口外 OS
温度/°C Temperature/°C	22.92±0.11	21.86±0.08	21.69±0.18	18.74±0.51	15.98±0.14	16.23±0.07	16.51±0.09	14.36±0.16
盐度/Salinity	0.05	12.59	0.25	17.75	0.07	15.09	1.87	23.13
盐度变化范围 Salinity range	0.02—0.09	10.17—20.82	0.07—0.32	12.5—30.0	0.04—0.13	12.22—18.06	0.56—2.81	16.28—31.69

SB:南支水域 NB:北支水域 NC:北港水域 OS:长江口外水域

### 2.2 长江口不同水域浮游动物聚类、排序结果分析

春季的浮游动物群聚聚类 and 排序结果显示,在 40%相似性水平上可以把长江口浮游动物划分为 2 个组,分别为 I 组(口外站位)和 II 组(口内站位)。而在 63%相似性水平上,河口浮游动物群落可进一步划分为 3 组,II-1 组为北港水域浮游动物群聚,II-2 组为北支水域浮游动物群聚,II-3 组为南支水域浮游动物群聚。秋季浮游动物群聚聚类 and 排序结果可以在 30%相似性水平上将浮游动物分为四个组,其中 III 组对应北港水域浮游动物群聚,IV 组对应北支水域浮游动物群聚,V 组对应长江口外水域浮游动物群聚,VI 组对应南支水域浮游动物群聚(图 2)。排序图也显示,春季时各站位可分为两组,C1—C4 距离比较近,其他站位距离较近;而秋季时,各站位明显分为四组,其中 S1—S4 的距离较近,C1—C5 距离较近,N1—N6 的距离较近,B1—B6 的距离较近(图 3)。

### 2.3 长江口不同水域浮游动物累积优势度

春季,长江口外水域的 I 组的优势度相对较低,最主要种的丰度百分比为 57.1%。而南支、北支和北港水域组成的 II 组优势度曲线相对较高。南支的 II-3 组与北港的 II-2 组的浮游动物优势度曲线上升趋势相近,优势种类优势度较高。相比较而言,北支水域的 II-2 组的优势度曲线较低,优势种不突出,群聚多样性较高。

秋季,南支水域的 VI 组浮游动物优势度曲线最高,其最高单种所占丰度百分比为 94.93%,物种的多样性最低;其次为北支水域的 IV 组,北港水域的 III 组的浮游动物优势度最低,最主要优势种的丰度百分比仅为 29.07%。在物种排序 50%之后,北港水域 III 组与长江口外水域的 V 组优势度曲线上升趋势基本一致。除南支水域的 VI 组外,秋季时其他水域的浮游动物群聚的优势度曲线均低于春季,且秋季不同水域浮游动物群聚的差异比春季时更为明显。

### 2.4 长江口不同水域的浮游动物种类组成的比较

春季长江口外水域的 I 组以近海种为主,如中华哲水蚤(35.30ind/m<sup>3</sup>),也出现了沿岸种,如真刺唇角水

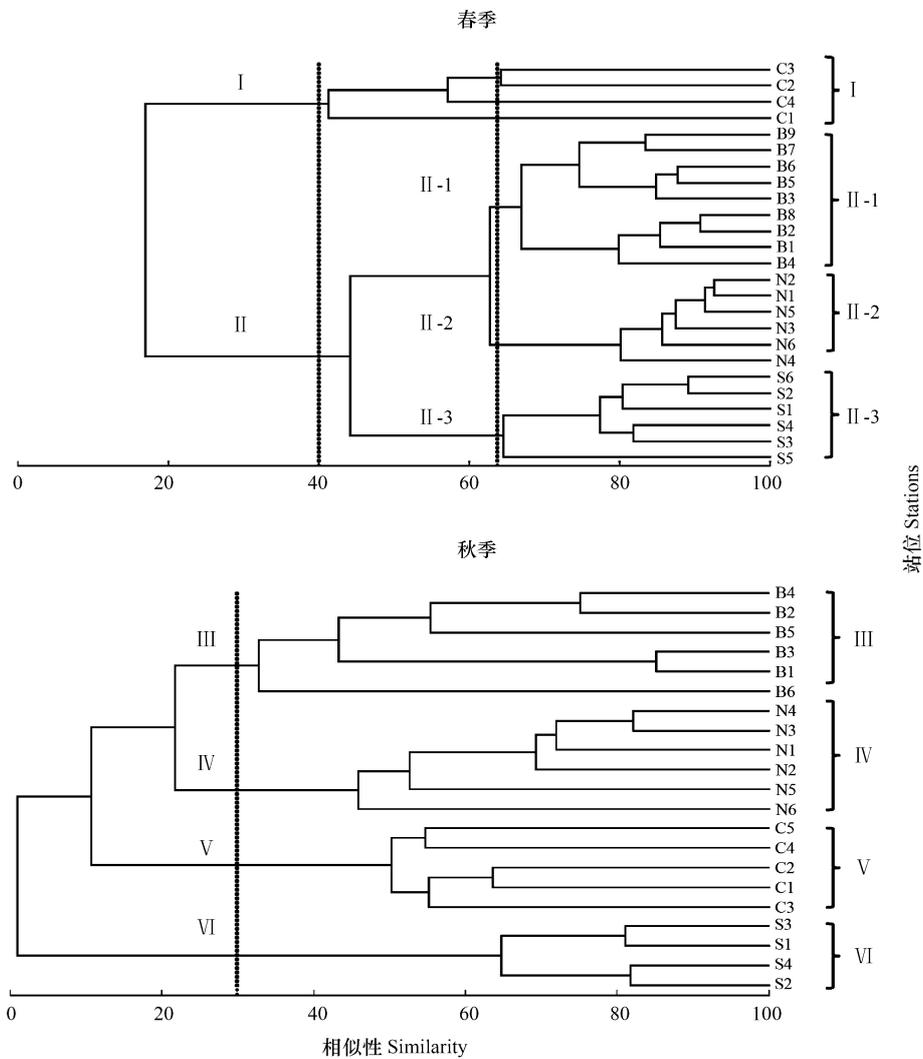


图 2 长江口水域浮游动物群聚聚类

Fig.2 Hierarchical clustering of zooplankton community in Changjiang River estuary

蚤 ( $34.59 \text{ ind/m}^3$ ) ; 口内站位 II 组以河口种为主, 中华华哲水蚤为最主要种类, 其平均丰度达到  $217.70 \text{ ind/m}^3$  ; II-1 组的中华华哲水蚤丰度高达  $367.76 \text{ ind/m}^3$  ; II-2 组仍以中华华哲水蚤为主 ( $59.18 \text{ ind/m}^3$ ) , 同时也有部分沿岸种出现, 如真刺唇角水蚤 ( $2.52 \text{ ind/m}^3$ ) ; II-3 组中华华哲水蚤 ( $151.14 \text{ ind/m}^3$ ) 的丰度占比仍最高, 但是还出现了部分淡水种, 如细巧华哲水蚤 ( $10.14 \text{ ind/m}^3$ ) (表 2)。

秋季时 III 组以河口种为主, 如虫肢歪水蚤 ( $3.08 \text{ ind/m}^3$ ) ; IV 组以沿岸种为主, 如针刺拟哲水蚤 ( $4.97 \text{ ind/m}^3$ ) , 也出现了部分河口种 ; V 组以外海种为主, 如亚强次真哲水蚤、精致真刺水蚤等, 丰度均在  $10 \text{ ind/m}^3$  以内 ; VI 组以淡水种为主, 最主要的是汤匙华哲水蚤, 丰度高达  $48.43 \text{ ind/m}^3$  (表 2)。

### 2.5 长江口不同水域浮游动物的主要优势种比较

春季, I 组的优势种为虫肢歪水蚤、中华哲水蚤等, 优势度不突出, 虫肢歪水蚤虽然是优势种, 但是仅在 C1 站位大量出现。II 组的优势种为中华华哲水蚤、虫肢歪水蚤和火腿许水蚤, 其中中华华哲水蚤优势度达到 0.82。II-1 组、II-2 组、II-3 组的最主要优势种虽然相同, 均为中华华哲水蚤, 且优势度均高于 0.5 (表 2), 但是中华华哲水蚤在北港水域 II-1 组中丰度高达  $367.76 \text{ ind/m}^3$ , 为三个水域最丰富的, 在盐度略高的北支水域 II-2 组中丰度为  $59.18 \text{ ind/m}^3$ , 在纯淡水的南支水域 II-3 组丰度为  $151.14 \text{ ind/m}^3$  (表 2)。

秋季, 四个群聚之间的优势种区别较为明显。V 组的优势种为虫肢歪水蚤、细巧华哲水蚤等, 相比较春季



续表

物种名 Species name	丰度 Abundance(ind./m <sup>3</sup> )								
	春季 Spring					秋季 Autumn			
	I	II	II-1	II-2	II-3	III	IV	V	VI
短棒真浮萤 <i>Euconchoecia chierchiaie</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—
肥胖箭虫 <i>Sagitta inflata</i>	—	—	—	—	—	—	—	2.97	—
弓角基齿哲水蚤 <i>Clausocalanus arcuicornis</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.7	—
规则箭虫 <i>Sagitta regularis</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.14	—
广布中剑水蚤 <i>Mesocyclops heuckarti</i>	—	0.93	—	—	3.25	—	—	—	—
海龙箭虫 <i>Sagitta nagae</i>	6.27	—	—	—	—	—	—	1.82	—
黑褐新糠虾 <i>Neomysis awatschensis</i>	0.75	0.10	—	0.33	—	—	—	0.43	—
火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i>	0.42	15.71	5.11	5.87	41.44	0.56	0.42	1.58	—
尖额唇角水蚤 <i>Labidocera acuta</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.02	—
箭蚕 <i>Sagitella kowalevskii</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.09	—
江湖独眼钩虾 <i>Monoculodes limnophilus</i>	—	—	—	—	—	—	0.24	0.24	—
精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	—	—	—	—	—	—	—	6.62	—
宽额假磷虾 <i>Pseudeuphausia latifrons</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.13	—
丽隆剑水蚤 <i>Oncaea venusta</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—
卵形光水蚤 <i>Lucicutia ovalis</i>	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—
卵圆涟虫 <i>Bodotria ovalis</i>	—	0.10	—	0.33	—	—	—	—	—
盲蚕 <i>Typhloscolex muelleri</i>	—	—	—	—	—	0.19	—	—	—
美丽大眼剑水蚤 <i>Corycaeus speciosus</i>	—	0.14	—	0.21	—	—	—	0.09	—
美丽拟节糠虾 <i>Hemisirella pulchra</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—
米粒近镖水蚤 <i>Tropodiatomus oryzanus</i>	—	0.38	—	—	1.32	—	—	—	—
拟额大眼剑水蚤 <i>Corycaeus rostratus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	1.35
拟皮鳃螺 <i>Pneumodermopsis ciliata</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—
拟长腹剑水蚤 <i>Oithona similis</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.04	—
挪威小毛猛水蚤 <i>Microsetella norvegica</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.41	—
鸟喙尖头蚤 <i>Penilia avirostris</i>	—	1.24	4.63	—	4.33	—	—	—	—
漂浮囊糠虾 <i>Gastrosaccus pelagicus</i>	0.1	—	—	—	—	—	—	0.99	—
平大眼剑水蚤 <i>Corycaeus dahlī</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.02	—
平滑真刺水蚤 <i>Euchaeta plana</i>	0.1	—	—	—	—	—	—	0.29	—
强额拟哲水蚤 <i>Paracalanus crassirostris</i>	—	—	—	—	—	—	—	1.73	—
强卷螺 <i>Agadina simpsoni</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—
强壮箭虫 <i>Sagitta crassa</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—
球状许水蚤 <i>Schmackeria forbesi</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	0.81
日本新糠虾 <i>Neomysis japonica</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.07	—
柔弱磷虾 <i>Euphausia tenera</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—
三叶针尾涟虫 <i>Diastylis tricineta</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.14	—
舌状叶镖水蚤 <i>Phyllodiatomus tunguidus</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	0.2
双毛纺锤水蚤 <i>Acartia biflora</i>	—	0.24	—	—	0.83	0.19	0.42	—	—
水蚤 <i>Naiades cantrainii</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.03	—
斯氏小泉 <i>Hyperietta stephensi</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—
太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i>	—	—	—	—	—	—	0.19	0.56	—
太平洋磷虾 <i>Euphausia pacifica</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.78	—
太平洋矛 <i>Lanceola pacifica</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.09	—
太平洋撬虫 <i>Krohnitta pacifica</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.02	—
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	48.43
微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.58	—

续表

物种名 Species name	丰度 Abundance(ind./m <sup>3</sup> )								
	春季 Spring					秋季 Autumn			
	I	II	II-1	II-2	II-3	III	IV	V	VI
微驼隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gracilis</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.36	—
微型箭虫 <i>Sagitta minima</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.08	—
伪长腹剑水蚤 <i>Oithona fallax</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.09	—
吴氏真刺水蚤 <i>Euchaeta wolfendeni</i>	0.19	—	—	—	—	—	—	—	—
细螯虾 <i>Leptochela gracilis</i>	0.05	—	—	—	—	—	—	0.23	—
细巧华哲水蚤 <i>Sinocalanus tenellus</i>	—	2.90	0.19	—	10.14	2.36	—	—	—
小基齿哲水蚤 <i>Clausocalanus minor</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.29	—
小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.17	—
小型箭虫 <i>Sagitta neglecta</i>	0.98	—	—	—	—	—	—	0.22	—
小型磷虾 <i>Euphausia nana</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.2	—
小哲水蚤 <i>Nannocalanus minor</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.22	—
凶形箭虫 <i>Sagitta ferox</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.31	—
亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	—	—	—	—	—	—	—	8.88	—
亚洲异针尾涟虫 <i>Dimorphostylis asiatica</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.68	—
叶须虫 <i>Phyllodoce laminosa</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.09	—
英勇剑水蚤 <i>Cyclops strenuus</i>	—	0.78	—	—	2.74	—	—	—	—
泳蚕 <i>Plotohelmis capitata</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.07	—
缘齿厚壳水蚤 <i>Scolecithrix nicobarica</i>	0.49	—	—	—	—	—	—	1.13	—
长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>	11.83	0.31	—	0.24	0.83	—	—	—	—
长额磷虾 <i>Euphausia diomedea</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.01	—
长轴螺 <i>Peraclis reticulata</i>	0.15	0.17	—	0.17	—	—	—	0.01	—
针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i>	0.19	—	—	—	—	1.42	4.97	1.11	—
针刺真浮萤 <i>Euconchoecia aculeata</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.11	—
真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	34.59	0.75	—	2.52	0.09	0.46	2.25	6.26	—
中华华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i>	—	217.70	367.76	59.18	151.14	2.36	0.15	—	1.1
中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	0.44	—	—	—	—	—	—	6.7	—
中华原镖水蚤 <i>Eodiaptomus sinensis</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	35.30	—	—	—	—	—	0.15	5.25	—
柱形宽水蚤 <i>Temora stylifera</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.07	—

“—”表示在该水域该季节未出现；\* I 表示春季长江口外水域, II 表示春季北港水域, III 表示春季北支水域, IV 表示春季南支水域, V 表示秋季北港水域, VI 表示秋季北支水域, VII 表示秋季长江口外水域, VIII 表示秋季南支水域

而言,秋季时优势种类数增多且优势度较为平均。VI 组的最主要优势种为针刺拟哲水蚤,优势度为 0.52, VII 组的优势种较多,最主要的优势种为亚强次真哲水蚤,优势度仅为 0.15,各优势种的优势度均不高,分布较为平均。VIII 组的优势种为汤匙华哲水蚤,优势度高达 0.93(表 3)。

表 3 长江口春秋季不同水域的主要优势种比较

Table 3 Dominant species comparisons of different areas in the Changjiang River estuary

种名 Species	优势度 Y								
	春季 Spring					秋季 Autumn			
	I	II	II-1	II-2	II-3	III	IV	V	VI
中华华哲水蚤 <i>Sinocalanus sinensis</i>	—	0.82	0.92	0.52	0.70	0.22	—	—	—
火腿许水蚤 <i>Schmackeria poplesia</i>	—	0.06	—	0.05	0.19	0.05	0.05	—	—
细巧华哲水蚤 <i>Sinocalanus tenellus</i>	—	—	—	—	0.05	0.22	—	—	—
虫肢歪水蚤 <i>Tortanus vermiculus</i>	0.31	0.09	0.07	0.39	—	0.29	—	—	—
真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.25	—	—	0.02	—	—	0.23	0.11	—

续表

种名 Species	优势度 Y									
	春季 Spring					秋季 Autumn				
	I	II	II-1	II-2	II-3	III	IV	V	VI	
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.26	—	—	—	—	—	—	0.09	—	—
长额刺糠虾 <i>Acanthomysis longirostris</i>	0.09	—	—	—	—	—	—	—	—	—
海龙箭虫 <i>Sagitta nage</i>	0.05	—	—	—	—	—	—	0.03	—	—
汤匙华哲水蚤 <i>Sinocalanus dorrii</i>	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.93
针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i>	—	—	—	—	—	0.13	0.52	—	—	—
背针胸刺水蚤 <i>Centropages dorsispinatus</i>	—	—	—	—	—	—	0.09	0.07	—	—
亚强次真哲水蚤 <i>Subeucalanus subcrassus</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.15	—	—
中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.11	—	—
精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.11	—	—
肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i>	—	—	—	—	—	—	—	0.05	—	—

\* I 表示春季长江口外水域, II 表示春季北港水域, III 表示春季北支水域, IV 表示春季南支水域, V 表示秋季北港水域, VI 表示秋季北支水域, VII 表示秋季长江口外水域, VIII 表示秋季南支水域

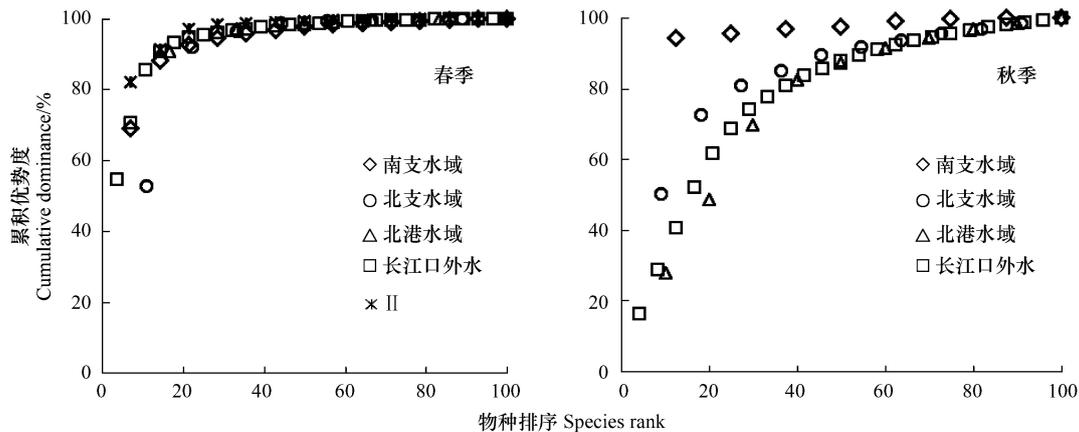


图 4 长江口不同水域浮游动物丰度累积优势度曲线

Fig 4 K-dominance curves by zooplankton abundance in 4 areas of Changjiang River estuary

SB: 南支水域 NB: 北支水域 NC: 北港水域 OS: 长江口外水域 II: 群落 II

### 3 讨论

#### 3.1 长江口浮游动物空间分布和水团的关系

由于环境特征的不同,长江口的不同水域的浮游动物组成差异较为明显,尤其在秋季时,长江口内与口外水域的浮游动物组成差异明显,而长江口内不同分支之间也具有明显的差异。

春季长江口外水域的 I 组为近海种和沿岸种混合的群聚,主要种类为虫肢歪水蚤、中华哲水蚤、真刺唇角水蚤等。多种生态类群种类并存,这是口外水域浮游动物群聚明显区别于口内其他水域的标志。这一特征的形成与长江口外水域属于多个水团交汇的区域有关:虫肢歪水蚤(河口种)仅出现在受长江径流影响特别明显的 C1 站位,而苏北沿岸流带来了真刺唇角水蚤(沿岸种)与中华哲水蚤(近海种)等种类<sup>[13-14]</sup>。另一方面,长江口内水域的浮游动物主要以河口种为主。虽然口内不同的水域之间的差异相比口外水域小,各水域间仍有明显区别。中华哲水蚤作为河口种,在本研究中主要聚集在北港水域,推测中华哲水蚤对低盐水体选择性更强。淡水种细巧华哲水蚤的出现表明了南支水域浮游动物群聚更多地受到淡水水团影响。北支盐度远高于南支及北港水域,因而北支水域浮游动物中还出现了少量的沿岸种真刺唇角水蚤。

秋季长江口不同的水域之间的浮游动物有更加明显的差异。受长江汛期径流量增大的影响<sup>[15]</sup>,南支水

域与其他水域浮游动物群聚的差异性最为明显,属于明显的淡水类群,汤匙华哲水蚤是南支水域浮游动物的关键种。受到外海水团增强的影响,北港水域的浮游动物同时出现了淡水种、河口种和沿岸种<sup>[16]</sup>,但是主要是以河口种为主,显示出河口特征。北支水域浮游动物为河口种和沿岸种的混合群聚,主要以沿岸种为主,河口种数量比北港水域少。由于长江径流经过北支水域的分流比越来越小,加之北支盐水倒灌现象<sup>[17]</sup>,导致北支水域盐度较高,因此出现的多为针刺拟哲水蚤、真刺唇角水蚤等沿岸种,也有少量的河口种。长江口外水域受外海水团和台湾暖流携带作用的影响,出现的多为适应盐度较高的种类。

综上所述,长江口不同水域浮游动物的差别与水团活动关系密切。受长江径流、外海水团等因素的影响,春季时,长江口外水域与口内分汊的相似性最小,而由于地理位置等因素影响,口内分汊的相似性较大。秋季时,长江口不同水域的水文特征差异增大,因此导致浮游动物群聚的差异显著,空间变化较大。

### 3.2 长江口不同水域主要优势种组成与盐度的关系

影响浮游动物分布最重要的非生物因素除了水团还有盐度<sup>[5,7]</sup>。盐度是影响长江口浮游动物群聚组成的主要因素。在盐度较低的南支水域,春季和秋季群聚都显示为单一优势种,且丰度相对较高。相反,由于长江口外海域盐度较高,同时受外海水团与长江径流交汇作用,长江口外水域的优势种则较为均匀丰富(图4)。这类现象在长江口外受外海水团影响区域出现较普遍,朱延忠对长江口及附近水域的研究也发现这一现象<sup>[18]</sup>。

秋季长江口不同水域之间的优势种差异较为明显。北港水域受长江径流量影响较大,盐度相对北支低,优势种以河口种为主。北支水域受长江径流较小,盐度与北支的差别较大,优势种为沿岸种。长江口外水域受台湾暖流北上与外海水团相互作用的影响<sup>[19]</sup>,优势种既有外海种,也有近海种。南支水域淡水水团的指示种之一的汤匙华哲水蚤<sup>[15]</sup>在南支水域作为唯一优势种出现,这与其他水域明显不同。这是由于秋季时长江径流量增大,长江冲淡水充满南支的结果。

盐度不同导致了长江口不同水域的浮游动物优势种组成差异,南支与北港水域受径流影响盐度较低,出现的多为淡水种和河口种。北支水域受长江径流影响小盐度高,优势种为沿岸种和河口种,而长江口外水域受外海水团和台湾暖流共同作用,春季时优势种为不同生态类群的混合,秋季时优势种则为近海与外海种。

### 3.3 长江径流在长江口浮游动物群聚形成过程中的特殊作用

春季时长江口外水域的优势种中虽然有沿岸种虫肢歪水蚤,但是虫肢歪水蚤仅在 C1 站位大量出现。C1 站位虽然位于长江口外水域,但是由于该站位正对长江冲淡水下泄位置,由此推测春季时长江口外水域出现河口种,可能与长江径流下泄产生的携带作用有关。这也进一步说明,长江径流除了影响长江口水域的盐度之外,在长江口浮游动物群聚特征形成过程中还具有特殊的作用。

表 4 长江口不同水域浮游动物群聚结构的主要特征

Table 4 Community structure features of different areas in the Changjiang River

地点 Location	春季 Spring	秋季 Autumn
南支 South Branch	淡水种和河口种,以河口种为主	淡水种
北支 North Branch	沿岸种和河口种,以河口种为主	沿岸种为主,出现少量河口种
北港 North Channel	淡水种和河口种,以河口种为主	河口种为主,出现少量淡水种和沿岸种
长江口外 Offshore Area	沿岸种和近海种,近海种为主	近海种和外海种

### 3.4 结论

长江口不同水域的浮游动物群聚的差异主要受水团和盐度的影响。春季时,长江径流流经的南支水域和北港水域盐度较低,因此浮游动物主要是淡水种和河口种,以河口种为主,而北支水域受径流影响较小,因此盐度相对南支水域和北港水域较高,出现的多为沿岸种和河口种。长江口外水域受外海水团影响,且同时处于多个水团交汇处,因此出现以近海种为主,同时也有部分沿岸种。

秋季时,长江径流和外海水团势力都增强,因此导致长江口不同水域的浮游动物群聚差异更加明显。南支水域受长江径流增大的影响,以淡水种为主,北支水域受径流影响小,以沿岸种为主,同时也有少量河口种。北港水域出现较多河口种,少量淡水种与沿岸种。而长江口外水域处于外海水团和长江径流交汇处,同时受台湾暖流影响,盐度较高,出现的多为近海种和外海种。

#### 参考文献 (References):

- [ 1 ] 罗秉征, 沈焕庭. 三峡工程与河口生态环境. 北京: 科学出版社, 1994.
- [ 2 ] 曹民雄, 高正荣, 胡金义. 长江口北支水道水沙特性分析. 人民长江, 2003, 34(12): 34-36.
- [ 3 ] 郑金秀, 胡菊香, 彭建华, 汪红军. 长江口南北支浮游动物群落生态学研究. 生态环境学报, 2011, 20(6/7): 1102-1106.
- [ 4 ] 徐兆礼. 长江口北支水域浮游动物的研究. 应用生态学报, 2005, 16(7): 1341-1345.
- [ 5 ] 徐兆礼. 长江口邻近水域浮游动物群落特征及变动趋势. 生态学杂志, 2005, 24(7): 780-784.
- [ 6 ] 刘守海, 项凌云, 刘材材, 王金辉. 2007-2008 年春季长江口水域浮游动物生态分布特征研究. 海洋通报, 2013, 32(2): 184-190.
- [ 7 ] 陈洪举, 刘光兴. 2006 年夏季长江口及其邻近水域浮游动物的群落结构. 北京师范大学学报: 自然科学版, 2009, 45(4): 393-398.
- [ 8 ] 张锦平, 徐兆礼, 汪琴, 陈亚瞿. 长江口九段沙附近水域浮游动物生态特征. 上海水产大学学报, 2005, 14(4): 383-389.
- [ 9 ] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure. Australian Journal of Ecology, 1993, 18(1): 117-143.
- [ 10 ] Brazner J C, Beals E W. Patterns in fish assemblages from coastal wetland and beach habitats in Green Bay, Lake Michigan: a multivariate analysis of abiotic and biotic forcing factors. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 1997, 54(8): 1743-176.
- [ 11 ] Khalaf M A, Kochzius M. Changes in trophic community structure of shore fishes at an industrial site in the Gulf of Aqaba, Red Sea. Marine Ecology Progress Series, 2002, 239: 287-299.
- [ 12 ] 厉红梅, 蔡立哲, 林丽珠, 姚建彬. 深圳湾潮间带底栖动物群落结构的等级聚类与非度量多维标度排序. 厦门大学学报: 自然科学版, 2001, 40(3): 735-740.
- [ 13 ] 徐兆礼, 王云龙, 白雪梅, 陈亚瞿. 长江口浮游动物生态研究. 中国水产科学, 1999, 6(5): 55-58.
- [ 14 ] 徐韧, 李亿红, 李志恩, 王金辉. 长江口不同水域浮游动物数量特征比较. 生态学报, 2009, 29(4): 1688-1696.
- [ 15 ] 陈亚瞿, 徐兆礼, 王云龙, 胡方西, 韩明宝, 严宏昌. 长江口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. 中国水产科学, 1995, 2(1): 59-63.
- [ 16 ] 高倩, 徐兆礼, 庄平. 长江口北港和北支浮游动物群落比较. 应用生态学报, 2008, 19(9): 2049-2055.
- [ 17 ] 陈沈良, 陈吉余, 谷国传. 长江口北支的涌潮及其对河口的影响. 华东师范大学学报: 自然科学版, 2003, (2): 74-80.
- [ 18 ] 朱延忠, 刘录三, 郑丙辉, 王瑜. 春季长江口及毗邻海域浮游动物空间分布及与环境因子的关系. 海洋科学, 2011, 35(1): 59-65.
- [ 19 ] 刘兴泉, 尹宝树, 侯一筠. 长江口及其邻近海区环流和温、盐结构动力学研究 II. 环流的基本特征. 海洋与湖沼, 2008, 39(4): 312-320.