

兴化湾浮游动物群落季节变化和水平分布

徐晓群^{1,2}, 曾江宁^{1,*}, 寿鹿¹, 曾淦宁³, 胡锡钢¹

(1. 国家海洋局第二海洋研究所, 海洋生态系统与生物地球化学重点实验室 杭州 310012;

2. 厦门大学海洋与环境学院, 厦门 361005; 3. 浙江工业大学化材学院海洋技术专业, 杭州 310014)

摘要: 兴化湾为福建北部最大的海湾, 于 2006 年对该海湾浮游动物群落进行了四季 9 个站位的调查。共检出浮游动物及幼虫 124 种, 其中春季 42 种, 夏季 89 种, 秋季 71 种, 冬季 20 种; 分属近岸暖温、近岸暖水和广布外海 3 个生态类群; 优势种 15 种, 春季以水母和桡足类占优势, 夏季以水母占优势, 秋季以水母、桡足类和箭虫占优势, 冬季则以桡足类占优势。不同季节兴化湾浮游动物生物量湿重和丰度水平分布特征变化明显, 并与温度和盐度呈显著相关。聚类分析显示兴化湾浮游动物群落夏季类群和秋季类群相似度较高, 各季节水平分布基本可分为湾口区 and 湾内区两大类群。与 20 世纪 80 年代相比, 尽管本次调查浮游动物群落没有表现出显著差异, 但随着电厂等大规模工程的投产, 兴化湾海域生态系统健康面临着极大威胁, 其环境压力需引起持续关注。

关键词: 兴化湾; 浮游动物; 季节变化; 水平分布

Seasonal variation and horizontal distribution of zooplankton community in Xinghuawan Bay

XU Xiaogun^{1,2}, ZENG Jiangning^{1,*}, SHOU Lu¹, ZENG Ganning³, HU Xigang¹

1 Second Institute Oceanography SOA, Key Laboratory of Marine Ecosystem and Biogeochemistry of SOA, Hangzhou 310012, China

2 College of Oceanography and Environmental Sciences, Xiamen University, Xiamen 361005, China

3 Major of Marine Technology, College of Chemical Engineering and Materials Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China

Abstract: Xinghuawan Bay is the biggest bay in northern Fujian Province of China. A comprehensive investigation on the population of zooplankton was conducted at 9 stations seasonally in 2006. Total 124 zooplankton species with 10 larvae were identified during the investigation. Among which 42, 89, 71, and 20 species occurred in spring, summer, autumn, and winter, respectively. All these zooplankton could be divided into three ecotypes, including offshore warm-water group, offshore warm-temperature group and eurytopic group. There were 15 dominant species during sampling period. Among which jellyfish dominated the community in spring, summer and autumn, copepods dominated in spring, autumn and winter, chaetognaths dominated in autumn. Seasonal variations of horizontal distribution of biomass and abundance of zooplankton were significantly correlated with both water temperature and salinity. Community cluster analysis indicated the similarity of the summer and autumn groups of zooplankton, and mouth area group and inner bay group could be divided in all seasons. Although the zooplankton communities in this study had not represented significant difference compared to the pattern in the 1980s, the health of marine ecosystem of Xinghuawan Bay is threatened by increasing economic activities (e.g. power plants) now and should pay more concern.

Key Words: Xinghuawan Bay; zooplankton; seasonal variation; horizontal distribution

基金项目: 国家专项资助项目 (908-ZC-II-04, 908-02-04-02); 海洋公益性行业科研专项资助项目 (200805069, 200705015); 国家海洋局第二海洋研究所基本科研业务费专项资助项目 (JT0806, JG200817); 国家海洋局青年基金资助项目 (2008113)

收稿日期: 2008-12-01; **修订日期:** 2009-04-14

* 通讯作者 Corresponding author E-mail: jiangningz@126.com

<http://www.ecologica.cn>

浮游动物是海洋食物网中连接浮游植物和鱼类等高等动物的中间环节,是生态系统中物质循环和能量传递的枢纽^[1-3],其分布与渔场分布有密切联系^[4],并且在环境污染监测中起重要作用^[5]。随着沿海区域经济大力发展,近岸海域生态带的环境压力越来越大,研究海湾的生态变化对正确认识和评估人类活动,实现资源和环境的可持续发展有着重要意义。

兴化湾是福建省最大的海湾和重要的水产养殖海湾,其生态环境变化的相关研究较少。本文根据 2006 年该海湾浮游动物调查资料,结合同步水文数据分析其季节变化特征,并与 20 世纪 80 年代中期资料进行比较,分析兴化湾 20a 来浮游动物的变化及原因,为该海湾的生态系统研究积累基础资料,以及综合评价人类活动对该海域环境的影响提供科学的依据。

1 材料与方法

1.1 研究区域

兴化湾(119°00'—119°37' E, 25°14'—25°37' N)位于福建省北部沿海,为一半封闭海湾,面积为 1500 km²(图 1)。该海湾三面环陆,略呈长方形(28km ×23km),由西北向东南方向展布,西北侧有木兰溪和荻芦溪等注入。湾口分布着南日岛等十几个大小岛屿,通过兴化水道和南日水道与台湾海峡相连^[6]。

1.2 取样及样品处理

在该湾中共设置 9 个采样站位(图 1)。分别于 2006 年 2 月(冬季)、4 月(春季)、7 月(夏季)和 10 月(秋季)进行了 4 次浮游动物取样。采用 505μm 孔径的浅水型浮游生物网从底至表垂直拖网进行浮游动物样品采集。样品装入 600ml 的塑料瓶中,加甲醛溶液

(终浓度 5%)固定。实验室挑去杂质后测定样品湿重生物量,解剖镜下进行种类鉴定^[7-10]及计数。各站水温 and 盐度分别进行表、中、底分层采样,用 YSI 6600 多参数水质监测仪进行现场测定。

1.3 数据处理

优势度计算公式为:

$$Y = (n_i / N) \times f_i$$

式中, Y 为优势度; N 为该海湾出现的所有浮游动物种类的总个体数; n_i 为第 i 种的个体数; f_i 为该种在各站点出现的频率。当 $Y > 0.02$ 时,即为浮游动物优势种^[11]。

群落聚类分析采用统计分析软件 PRIMER 5.0,先对物种丰度作 4 次方根转换和标准化处理,而后计算样品间的 Bray - Curtis 相似性距离并建立相似性矩阵。

浮游动物的季节差异以及生物量和丰度与温度、盐度的相关性分析采用 Statistic 6.0 软件分别进行 Turkey 多重比较以及回归分析。

2 结果与分析

2.1 温度和盐度

兴化湾海域水温变化十分明显,夏季最高,春季和秋季次之,冬季最低。全年实测水温最高为 30.8 (夏季 S4 表层),最低为 11.6 (冬季 S2 底层)。春季和夏季表层水温平面分布表现出湾内高、湾口低的特征,从湾的东北向西南方向逐渐递减;秋、冬季则表现出由湾底低、湾口高,从湾东北向西南逐渐递减(图 2)。

受夏季台湾暖流的侵入,以及福建沿岸流等入湾径流量减少的影响,兴化湾夏季盐度明显高于其他季节。全年实测盐度最高 33.8,最低 29.6(冬季 S8)。各站盐度平均值的季节变化为夏季(32.5) > 秋季(31.5) > 春季(30.9) > 冬季(30.2),总体呈现出湾内低、湾口高的分布特征,由东北向西南方向逐渐递增(图 3)。

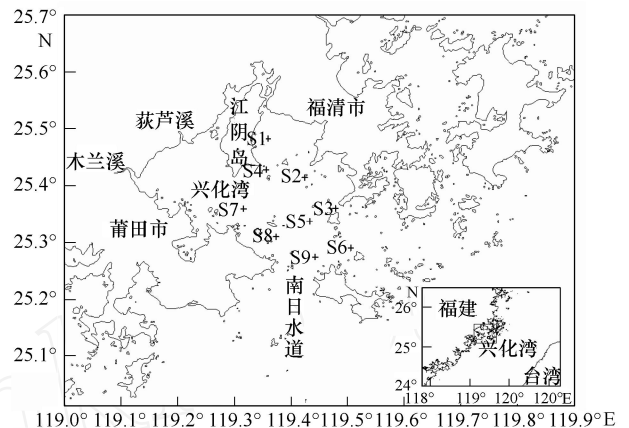


图 1 兴化湾浮游动物采样站位

Fig 1 Sampling stations in Xinghuawan Bay

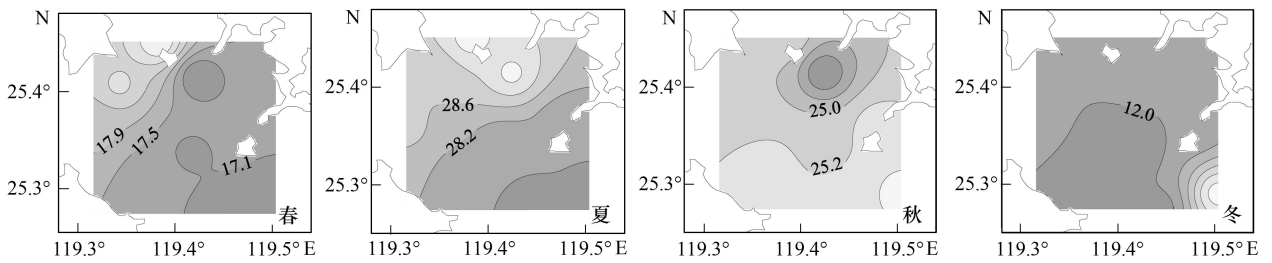


图 2 兴化湾海域四季表层温度 / 水平分布

Fig 2 Horizontal distribution of surface temperature / in different seasons in Xinghua Bay

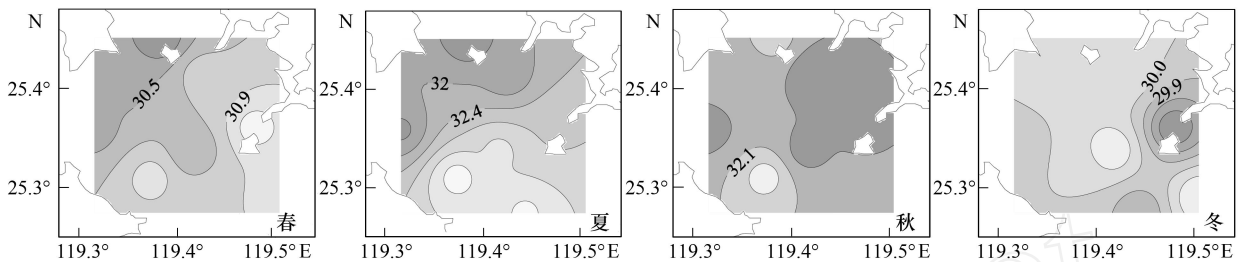


图 3 兴化湾海域四季表层盐度水平分布

Fig 3 Horizontal distribution of surface salinity in different seasons in Xinghua Bay

2.2 浮游动物种类组成和群落结构

2.2.1 种类组成

四季共鉴定出 16 大类 124 种浮游动物,其中水螅水母 36 种,桡足类 34 种,浮游幼虫(包括仔鱼)10 种,腹足类 7 种、十足类 6 种,管水母类和浮游多毛类 5 种、端足类 4 种、毛颚类、被囊类、介形类各 3 种,栉水母类、糠虾类、涟虫类各 2 种,磷虾类、枝角类各 1 种(表 1, 2)。

浮游动物种类数有明显的季节变化,夏季种类最多(89 种),其次为秋季(71 种),冬季种类最少(20 种)。四季浮游动物的种类数为:夏 > 秋 > 春 > 冬。

表 1 兴化湾浮游动物种类组成和季节变化

Table 1 Species composition and seasonal variations of zooplankton in Xinghua Bay

	桡足类 Copepoda	水母类 Hydromedusae	十足类 Decapoda	毛颚类 Chaetognatha	浮游幼体 Larvae	其它 Others	总数 Total number
冬季 Spring	9	1	1	1	3	5	20
春季 Summer	14	12	2	2	6	6	42
夏季 Autumn	19	36	6	2	10	16	89
秋季 Winter	22	16	2	3	7	21	71

表 2 兴化湾浮游动物种类名录

Table 2 Species list of zooplankton in Xinghua Bay

种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
水螅水母类 Hydromedusae				
1. 日本长管水母 <i>Sarsia nipponica</i> Uchida				+
2. 马来杯水母 <i>Clytia malayense</i> Kramp	+	+		
3. 半球杯水母 <i>Phialidium hemisphaerium</i> L.	+	+	+	
4. 大腺似杯水母 <i>Phialella macrogona</i> Xu, Huang et Wang	+	+		
5. 厚伞马拉水母 <i>Malagazzia condensum</i> Kramp	+	+		
6. 和平水母 <i>Eirene</i> sp.	+			

续表

种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
7. 芽口枝管水母 <i>Proboscicactyla omate</i> McCrady	+			
8. 四叶小舌水母 <i>Liriope tetraphylla</i> Chamisso et Eysenhardt	+	+		
9. 八蕊水母 <i>Eutima gegenbauri</i> Haeckel		+	+	
10. 人芯真瘤水母 <i>Aequorea conica</i> Browne		+		
11. 澳洲多管水母 <i>Aequorea australis</i> Uchida		+		
12. 锡兰和平水母 <i>Eirene ceylonensis</i> Browne		+		
13. 乌氏美螳水母 <i>Phialidium uchidai</i> Kramp		+	+	
14. 印度八拟杯水母 <i>Eirene brevigona</i> Kramp		+		
15. 短腺和平水母 <i>Phialucium mbenga</i> Agassiz et Mayer		+	+	
16. 中型八拟杯水母 <i>Octophialucium medicum</i> Kramp		+		
17. 短柄灯塔水母 <i>Turritopsis lata</i> Von Lendenfeld		+		
18. 灯塔水母 <i>Turritopsis nutricula</i> McCrady		+		
19. 异摇篮水母 <i>Cunina peregrina</i> Bigelow		+	+	
20. 耳状囊水母 <i>Eephyra aurata</i> Forbes		+		
21. 不列颠高手水母 <i>Bougainvillia britannica</i> Forbes		+		
22. 八手筐水母 <i>Aeginura grimaldii</i> Maas		+		
23. 两手筐水母 <i>Solmundella bidentaculata</i> Quoy et Gaimard		+	+	
24. 马来沙水母 <i>Sanderia malayensis</i> Goette		+		
25. 子茎美螳水母 <i>Phialidium mcraayi</i> Brooks		+		
26. 印度感棒水母 <i>Laodicea indica</i> Browne		+		
27. 拟帽水母 <i>Paratima digitalis</i> Kramp et Damas		+		
28. 十字盘状水母 <i>Staurodiscus gotol</i>		+		
29. 真瘤水母 <i>Eutima levuka</i> Agassiz et Mayer		+		
30. 弯真瘤水母 <i>Eutima curva</i> Browne		+		
31. 五假恙螳水母 <i>Pseudocyrtia pentata</i> Mayer		+		
32. 大球潜水母 <i>Merga macrobulbosa</i> Xu, Huang et Chen		+		
33. 藪枝螳水母 <i>Obelia</i> spp.		+	+	
34. 半口壮丽水母 <i>Aglauna hanistan</i> Pilon et L'Évêque			+	
35. 顶突介穗水母 <i>Podocoryne apicata</i> Kramp			+	
36. 真拟杯水母 <i>Phialucium mbenga</i> Agassiz et Mayer			+	
管水母类 Siphonophora				
37. 马蹄水母 <i>Hippopodius hippopus</i> Forskal		+	+	
38. 五角水母 <i>Muggiaea atlantica</i> Cunningham	+		+	
39. 双生水母 <i>Diphyes chamissonis</i> Huxley	+	+	+	
40. 拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i> Lens et Van Riemsdijk	+	+	+	
41. 华丽盛装水母 <i>Agalma elegans</i> Sars		+	+	
栉水母类 Ctenophora				
42. 球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i> Moser	+	+	+	
43. 瓜水母 <i>Beroë cucumis</i> Fabricius	+	+		
多毛类 Polychaeta				
44. 太平洋浮蚕 <i>Tamopteris pacifica</i> Lzuka		+	+	
45. 游蚕 <i>Pelagobis longicirrata</i> Greeff		+		
46. 凯氏浮蚕 <i>Tamopteris kefersteini</i>		+		
47. 箭蚕 <i>Sagitella kowalevskii</i> Wagner			+	
48. 多毛类 <i>Polychaeta</i> spp.		+	+	
介型类 Ostracoda				
49. 针刺真浮萤 <i>Euconchoecia aculeata</i> Scott		+		
50. 小型海萤 <i>Cypridina nana</i> Poulsen			+	
51. 尖尾海萤 <i>Cypridina acuminata</i> Müller		+		
枝角类 Cladocera				
52. 肥胖三角溞 <i>Evadne tergestina</i> Claus		+		
桡足类 Copepoda				
53. 中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i> Brødsky	+	+	+	+

续表

种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
54. 小哲水蚤 <i>Nannocalanus minor</i> Claus			+	
55. 亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcerassus</i> Giesbrecht	+		+	+
56. 强真哲水蚤 <i>Eucalanus crassus</i> Giesbrecht	+	+	+	
57. 小拟哲水蚤 <i>Paracalanus parvus</i> Claus	+	+		
58. 针刺拟哲水蚤 <i>Paracalanus aculeatus</i> Giesbrecht	+	+	+	+
59. 海洋伪镖水蚤 <i>Pseudodiaptomus marinus</i> Sato		+		
60. 微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i> Giesbrecht	+	+	+	+
61. 科氏唇角水蚤 <i>Labidocera kroeyeri</i> Brady			+	
62. 双刺唇角水蚤 <i>Labidocera bipinnata</i> Tanaka			+	
63. 真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i> Giesbrecht	+	+	+	+
64. 太平洋纺锤水蚤 <i>Acartia pacifica</i> Steuer	+	+	+	+
65. 钝筒角水蚤 <i>Pontellopsis yamadae</i> Mori		+		
66. 精致真刺水蚤 <i>Euchaeta concinna</i> Dana	+	+	+	+
67. 海洋真刺水蚤 <i>Euchaeta marina</i> Prestandrea		+	+	+
68. 瘦尾胸刺水蚤 <i>Centropages tenuinervis</i> Thompson et Scott		+	+	
69. 墨氏胸刺水蚤 <i>Centropages monurrichi</i> Willey	+			
70. 叉胸刺水蚤 <i>Centropages furcatus</i> Dana			+	
71. 小唇角水蚤 <i>Labidocera minuta</i> Giesbrecht			+	
72. 汤氏长足水蚤 <i>Calanopia thompsoni</i> A. Scott			+	
73. 伯氏平头水蚤 <i>Candacia bradyi</i> A. Scott		+	+	
74. 锥形宽水蚤 <i>Tenora turbinata</i> Dana		+		
75. 椭圆形长足水蚤 <i>Calanopia elliptica</i> Dana		+		
76. 驼背隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gibber</i> Giesbrecht		+		
77. 微驼隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gracilis</i> Giesbrecht			+	
78. 普通波水蚤 <i>Undinula vulgaris</i> Dana		+	+	
79. 异尾宽水蚤 <i>Tenora discaudata</i> Giesbrecht		+		
80. 捷氏歪水蚤 <i>Tortanus derugini</i> Smimov				+
81. 黑点叶剑水蚤 <i>Sapphirina nigramaculata</i> Claus	+	+		
82. 长腹剑水蚤 <i>Oithona</i> sp.			+	
83. 伪长腹剑水蚤 <i>Oithona fallax</i> Farran	+			
84. 小突大眼剑水蚤 <i>Corycaeus lubbocki</i> Giesbrecht	+			
85. 近缘大眼剑水蚤 <i>Corycaeus affinis</i> Monurrichi	+		+	
86. 猛水蚤 <i>Harpacticoida</i> spp.			+	
糠虾类 Mysidacea				
87. 短额刺糠虾 <i>Acanthysis brevis</i> Wang et Liu			+	
88. 漂浮小井糠虾 <i>Iella pelagicus</i> Li	+	+		+
涟虫类 Cumacea				
89. 三叶针尾涟虫 <i>Diastylis tricincta</i> Zimmer	+	+	+	+
90. 细长涟虫 <i>Iphinoe tenera</i> Lomakina	+		+	+
端足类 Amphipoda				
91. 尖头巾蚧 <i>Tullbergella cuspidata</i> Bovallius		+		
92. 半弯灵蚧 <i>Phrosina senilunata</i> Risso		+		
93. 江湖独眼钩虾 <i>Monoculodes linnophilus</i> Tattersall	+	+	+	+
94. 裂颚蛮蚧 <i>Lestrignonius schizogeneios</i> Stebbing			+	
磷虾类 Euphausiacea				
95. 中华假磷虾 <i>Pseudeuphausia sinica</i> Wang et Chen	+	+	+	+
96. 宽额假磷虾 <i>Pseudeuphausia latifrons</i> S. O. Sars			+	
十足类 Decapoda				
97. 日本毛虾 <i>Acetes japonicus</i> Kishinouye	+	+		+
98. 毛虾 <i>Acetes</i> sp.	+	+	+	
99. 亨生莹虾 <i>Lucifer hansenii</i> Nobili		+	+	
100. 中型莹虾 <i>Lucifer intermedius</i> Hansen		+		
101. 莹虾 <i>Lucifer</i> sp.		+		

续表

种类 Species	春季 Spring	夏季 Summer	秋季 Autumn	冬季 Winter
102 疣背宽额虾 <i>Latreutes planirostris</i> de Haan		+		
毛颚类 Chaetognatha				
103 肥胖箭虫 <i>Sagitta enflata</i> Grassi		+	+	
104 拿卡箭虫 <i>Sagitta nagae</i> Alvarino	+		+	
105 百陶箭虫 <i>Sagitta bedoti</i> Beraneck	+	+	+	+
被囊类 Tunicata				
106 长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i> Vogt		+	+	
107 异体住囊虫 <i>O. dioica</i> Fol	+		+	+
108 小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i> Quog et Gaimard		+	+	
腹足类 Gastropoda				
109 长轴螺 <i>Penclis reticulata</i> d Orbigny			+	
110 马蹄螺 <i>Limacina trochiformis</i> d Orbigny		+	+	
111 胖螺 <i>L. inflata</i> d Orbigny			+	
112 泡螺 <i>L. bulimoides</i> d Orbigny			+	
113 尖笔帽螺 <i>Creseis acicula</i> Rang			+	
114 扁卷螺 <i>Planorbis cristatus</i>			+	
115 其他螺 <i>Pteropoda</i> spp.			+	
浮游幼体 Pelagic larva				
116 筒螳辐射幼虫 <i>Tubularia actinula</i>		+		
117 藤壶幼虫 <i>Balanus</i> larva		+		
118 桡足类无节幼体 <i>Copepoda nauplius</i> larva	+	+	+	
119 磷虾类幼体 <i>Euphausiacea</i> larva	+	+	+	+
120 磁蟹蚤状幼虫 <i>Porcellana zoea</i> larva		+	+	
121 短尾类幼虫 <i>Brachyura</i> larva	+	+	+	+
122 长尾类幼虫 <i>Macrura</i> larva	+	+	+	+
123 口足类阿利玛幼体 <i>Squillidae alima</i> larva		+	+	
124 仔鱼 <i>fish</i> larva	+	+	+	
125 鱼卵 <i>fish</i> egg	+	+		

2.2.2 生态类群

根据兴化湾浮游动物种类的生态习性和分布特点,可将其划分为近岸暖温、近岸暖水和广布外海 3 个生态类群。其中,近岸暖温种不多,适应相对低温的环境,主要有五角水母 (*Maggiaea atlantica*)、中华哲水蚤 (*Calanus sinicus*)、中华假磷虾 (*Pseudeuphausia sinica*)等。近岸暖水种数多,分布广,数量大,为该浮游动物区系中最主要组成部分,代表种有球型侧腕水母 (*Pleurobrachia globosa*)、拟细浅室水母 (*Lensia subtiloides*)、太平洋纺锤水蚤 (*Acartia pacifica*)、锥形宽水蚤 (*Tanora turbinata*)、微刺哲水蚤 (*Canthocalanus pauper*)、汤氏长足水蚤 (*Calanopia thompsoni*)、针刺真浮萤 (*Euconchoecia aculeata*)和百陶箭虫 (*Sagitta bedoti*)等。该类群主要出现于夏、秋季水温较高的季节,冬、春季数量骤减。广布外海类群种类较多,但丰度较低,夏秋季随外海高盐水进入湾口,主要种包括四叶小舌水母 (*Liriope tetraphylla*)、半口壮丽水母 (*Aglaura henistama*)、精致真刺水蚤 (*Euchaeta concinna*)、强真哲水蚤 (*Eucalanus crassus*)、亚强真哲水蚤 (*Eucalanus subcrassus*)、中型莹虾 (*Lucifer intermedius*)等。

2.2.3 优势种

该海湾四季共出现浮游动物优势种 (优势度 > 0.02) 15 种,其中水母类 3 种,桡足类 7 种,毛颚类 2 种,被囊类 2 种,介形类 1 种 (表 3)。优势种春季出现 6 种,其中中华哲水蚤优势度最高;夏季出现 5 种,其中拟细浅室水母优势度最高;秋季出现 11 种,其中微刺哲水蚤和亚强真哲水蚤优势度最高;冬季出现 2 种,中华哲水蚤优势度最高。

由表 3 还可看出,拟细浅室水母和球型侧腕水母为春、夏、秋三季共有优势种,中华哲水蚤为冬春两季共有优势种,微刺哲水蚤为春秋两季共有优势种,小齿海樽 (*Doliolum denticulatum*)为春夏两季共有优势种,其他

为季节单一性优势种。

表 3 浮游动物四季优势种及其优势度

优势种 Dominant species	春 Spring	夏 Summer	秋 Autumn	冬 Winter
拟细浅室水母 <i>Lensia subtiloides</i>	0.02	0.14	0.03	
球型侧腕水母 <i>Pleurobrachia globosa</i>	0.02	0.02	0.04	
蕨枝螅水母 <i>Obelia</i> sp.		0.04		
海洋真刺水蚤 <i>Euchaeta marina</i>			0.03	
微刺哲水蚤 <i>Canthocalanus pauper</i>	0.02		0.10	
微驼隆哲水蚤 <i>Acrocalanus gracilis</i>			0.02	
亚强真哲水蚤 <i>Eucalanus subcrassus</i>			0.10	
真刺唇角水蚤 <i>Labidocera euchaeta</i>	0.04			0.03
中华哲水蚤 <i>Calanus sinicus</i>	0.20			0.35
锥形宽水蚤 <i>Temora tubinata</i>			0.06	
拿卡箭虫 <i>Sagitta nagae</i>			0.07	
肥胖箭虫 <i>S. enflata</i>			0.03	
小齿海樽 <i>Doliolum denticulatum</i>	0.03	0.03		
尖尾海萤 <i>Cypridina acuminata</i>		0.08		
长尾住囊虫 <i>Oikopleura longicauda</i>			0.04	

2.3 浮游动物湿重生物量的水平分布和季节差异

兴化湾浮游动物湿重生物量存在显著的季节差异 ($F_{3,32} = 6.58, P = 0.0014$) (图 4), 平均值为秋季 (478.0 mg/m^3) > 夏季 (455.1 mg/m^3) > 春季 (147.7 mg/m^3) > 冬季 (7.3 mg/m^3)。浮游动物湿重生物量水平分布不均匀: 春季湾中较高, 湾口较低; 夏季, 湾口西南侧高, 湾中东北侧较低; 秋季, 湾口和湾顶南北两侧高, 湾中部较低; 冬季, 湾内生物量普遍较低, 湾顶较高 (图 5)。

2.4 浮游动物丰度的水平分布和季节差异

兴化湾浮游动物丰度同样存在显著季节差异 ($F_{3,32} = 12.00, P = 0.00002$) (图 6), 四季平均值为 184.8 ind/m^3 , 平均值为秋季 (477 ind/m^3) > 夏季 (207.9 ind/m^3) > 春季 (61.4 ind/m^3) > 冬季 (3.7 ind/m^3)。丰度的水平分布也不均匀: 春季, 湾口和湾顶较高, 湾中部较低; 夏季, 湾口较高, 湾中湾顶较低; 秋季, 湾口西南侧较高, 湾顶东北部较低; 冬季湾内浮游动物的丰度普遍很低, 湾口东北侧相对较高。

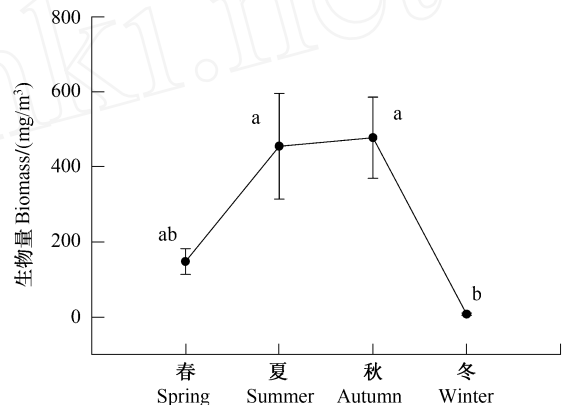


图 4 浮游动物湿重生物量季节差异
Fig 4 Variation of zooplankton biomass during four seasons

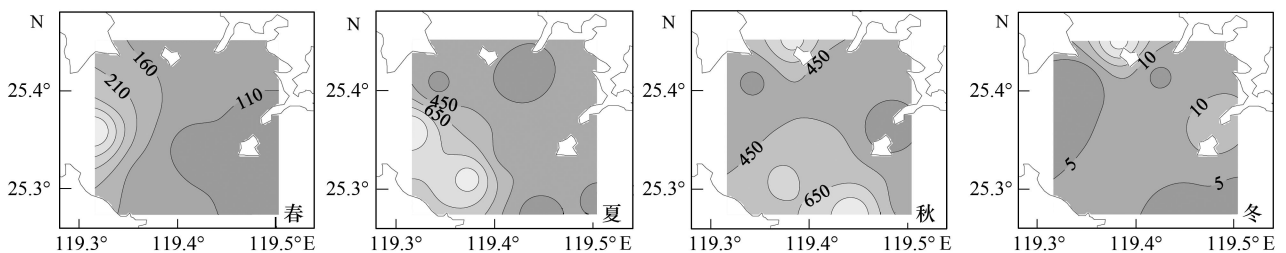


图 5 兴化湾浮游动物湿重生物量 / (mg/m^3) 的季节分布
Fig 5 Variation of zooplankton biomass during four seasons in Xinghuawan Bay

2.5 浮游动物丰度和生物量与温度和盐度的相关性

由于温度和盐度都会对浮游动物的分布产生影响,将四季各站位浮游动物的生物量和丰度与同步调查的温度和盐度进行一元线性回归分析,结果显示生物量和丰度分布与温度和盐度均显著相关(图8)。

2.6 浮游动物群落聚类分析

通过对不同季节各站位物种丰度四次方根数据为基础的系統聚类分析,可以浮游动物划分为4大类,春季类群、夏季类群、秋季类群和冬季类群,且夏季类群和秋季类群之间的相似性比其他季节的相似度高(图9)。

从图中各季节站位的浮游动物分布来看,基本可划分为2大类群,湾口区与湾内区。其中,夏季各站位相

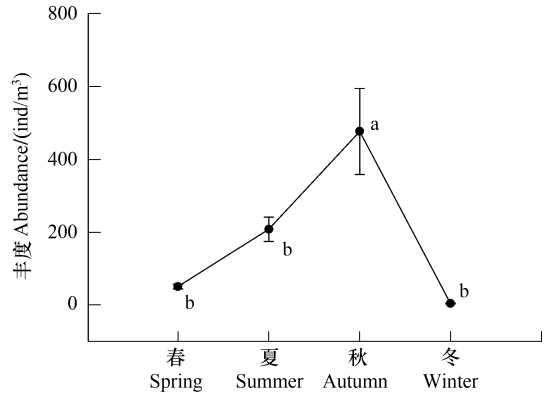


图6 浮游动物丰度的季节差异

Fig 6 Variation of zooplankton abundance during four seasons

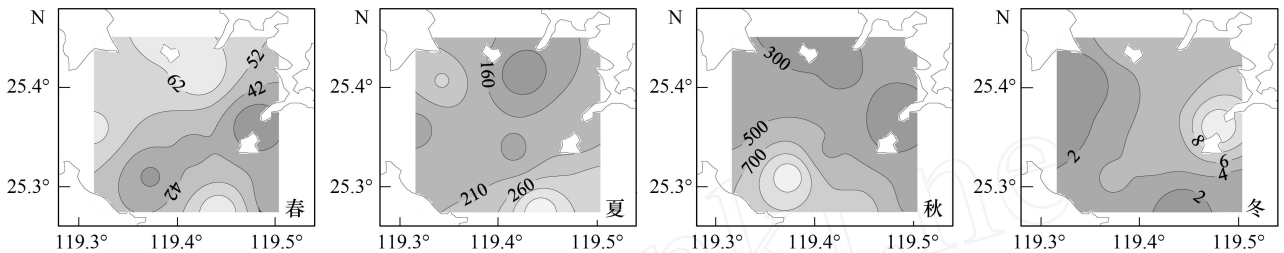


图7 浮游动物丰度/(ind/m³)分布

Fig 7 Variation of zooplankton abundance/(ind/m³) during four seasons

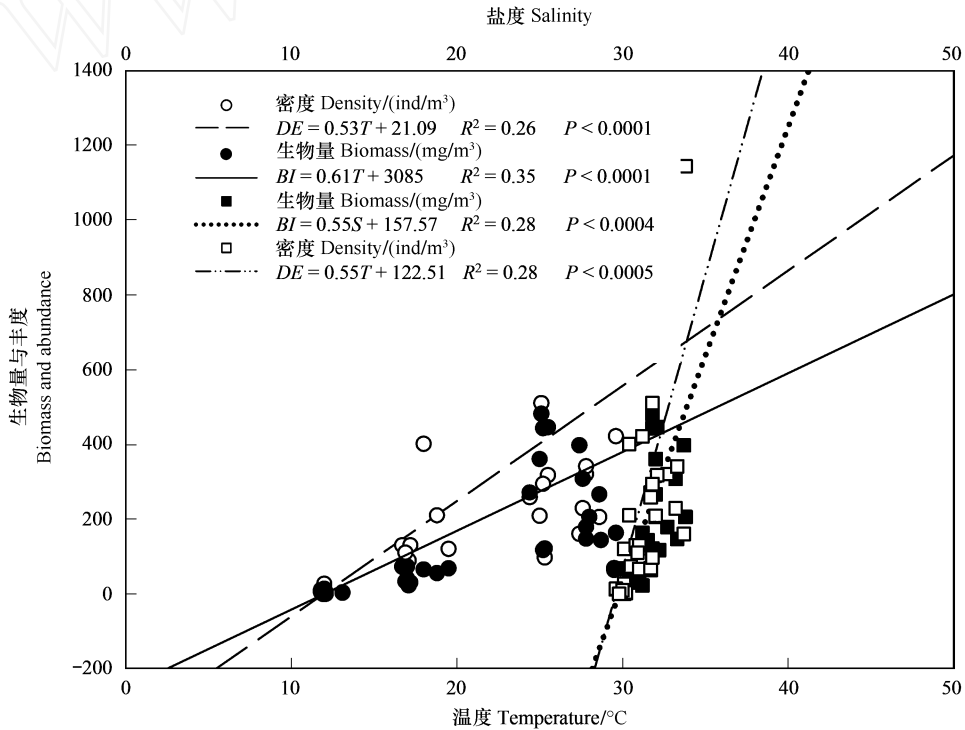


图8 温度、盐度与浮游动物生物量和丰度的关系

Fig 8 Correlations between zooplankton biomass and abundance with temperature and salinity

似度最高,冬季差异较大。

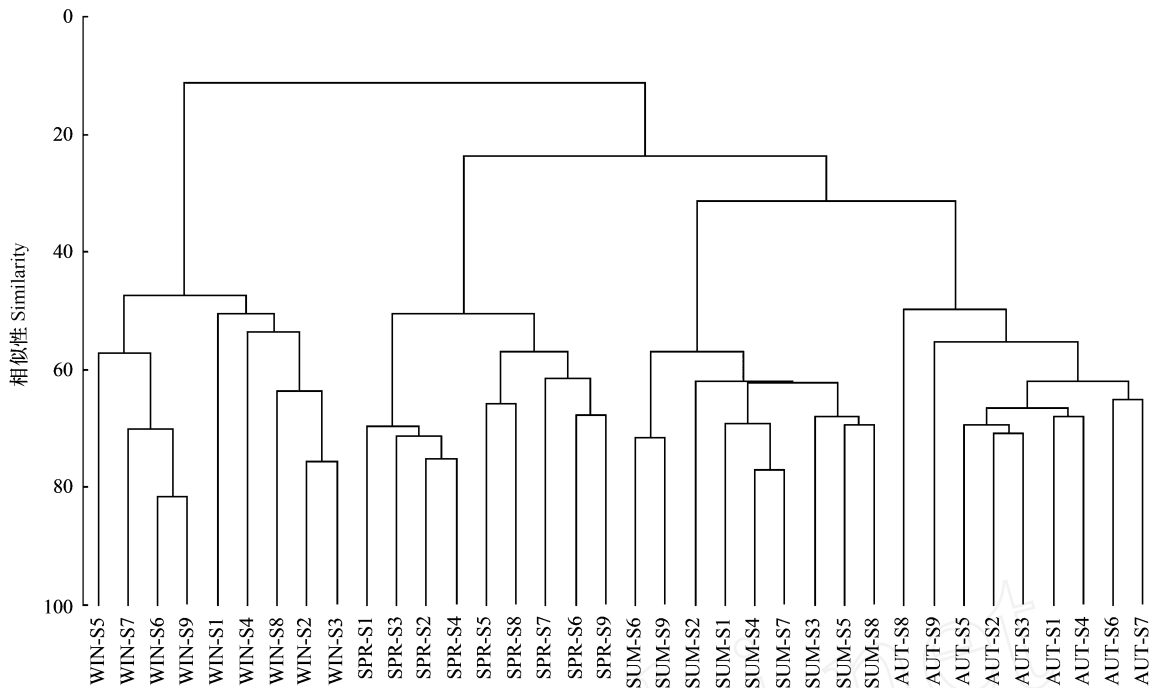


图 9 兴化湾浮游动物群落系统聚类图

Fig. 9 The hierarchical cluster dendrogram of zooplankton in Xinghuawan Bay

3 讨论

历史上对兴化湾浮游动物群落四季变化的报道仅见于 20 世纪 80 年代^[6],本次调查结果显示,兴化湾夏、冬季浮游动物种类数、生物量和丰度与 80 年代基本一致,春、秋季差异明显(表 4)。由于浮游动物生长受水温的影响很大,2006 年春季调查时间为 4 月初,海区表层水温比 80 年代调查时低 3.7,因此浮游动物种类、生物量和丰度都相对较低;秋季调查时间为 10 月初,水温比 80 年代调查时高 4.7,因此种类数、生物量和丰度都相对较高,与夏季接近。80 年代调查表明兴化湾浮游动物优势种为:拟细浅室水母、五角水母、球型侧腕水母、锥形宽水蚤、中华哲水蚤、微刺哲水蚤、真刺唇角水蚤、肥胖箭虫和中华假磷虾,与本次调查种类基本相同(表 3)。浮游动物种类组成上两次调查均以桡足类和水螅水母占为主,其他各类群相对较少(表 5)。

表 4 不同年份浮游动物种类数、生物量、丰度的比较

Table 4 Species number, biomass, abundance of zooplankton in different years

	1984 - 04—1985 - 02					2006 - 02—2006 - 10				
	温度 Temperature /	盐度 Salinity	种类数 Species	生物量 Biomass /(mg/m ³)	丰度 Abundance /(ind/m ³)	温度 Temperature /	盐度 Salinity	种类数 Species	生物量 Biomass /(mg/m ³)	丰度 Abundance /(ind/m ³)
春	21.3	29.3	50	192	322.7	17.6	30.7	42	147.7	50.6
夏	29.2	33.7	81	180	174.6	28.3	32.6	89	455.1	207.9
秋	20.6	30.3	48	73	63.4	25.3	32.0	71	478.0	477.1
冬	10.8	30.1	16	22	21.2	12.1	30.0	20	7.3	3.7

与其以北的福清湾和以南的九龙江口比较,兴化湾浮游动物群落生态特征有较大不同。九龙江口盐度低,年平均盐度仅为 12.3,浮游动物数量大,仅桡足类数量年平均就达 643.6 ind/m³。其生态类群有淡水、河口、沿岸及大洋广布生态类群组成,且以河口生态类群的种类占优势^[12]。福清湾盐度较高,年平均为 27.2,浮游动物生物量(春季 67.7mg/m³,秋季 87.7mg/m³)和丰度(春季 161 ind/m³,秋季平均为 83 ind/m³)均低于兴

化湾,生态类群分河口低盐类群、近岸暖温类群、近岸暖水类群和广布外海类群,其中,近岸暖水类群占优势,广布性外海类群种数和数量都较少^[13]。兴化湾海域盐度高,表层盐度年平均达 32.3^[6],难见河口低盐类群,而广布性外海类群终年出现,并且在夏、秋季种类多,数量大,不同于其他海湾浮游动物群落的特征。

桡足类是浮游动物中丰度最高的类群,对浮游动物丰度分布起决定性作用^[7]。夏季台湾海峡上升流区覆盖福建沿岸中北部海域,兴化湾湾口的南日岛周围水域属上升流强盛区^[16-17]。夏季高盐的外海水大举入侵湾内,带入强真哲水蚤、亚强真哲水蚤等高盐种。秋季,外海水逐渐势力减弱,大陆径流相对增强^[16],此时如锥形宽水蚤等一些低盐河口种开始出现在湾中。湾口区(S9)仍受台湾暖流影响,分布着普通波水蚤(*Undinula vulgaris*)、精致真刺水蚤(*Euchaeta concinna*)、伯氏平头水蚤(*Candacia bradyi*)等外海高盐种。冬季浙闽沿岸流强劲,周边地区径流较小,整个海湾主要受南下浙闽沿岸流控制。由于浙闽沿岸流受陆源污染严重,水质较差,因此湾内仅见中华哲水蚤、真刺唇角水蚤等少数几种大中型桡足类,且数量很少。

水母类、海樽等胶体浮游动物由于含水量高,决定着海湾的浮游动物生物量。夏季水温最高,海区出现大量其他季节罕见的暖水性较强的水母,如澳洲多管水母(*Aequorea australis*)、锡兰和平水母(*Eirene ceylonensis*)、拟杯水母(*Phialucium* sp.)、厚伞玛拉水母(*Malagazzia condensum*)、锥形多管水母、半球杯水母(*Phialidium hen isphaerium*)、四叶小舌水母等。秋季(10月)水温仍然较高,水母丰度仍相对较高,但种类与夏季相比发生明显变化:多管水母、杯水母、和平水母等大个体基本消失,取而代之的则是高丰度的菱枝螅水母(*Obelia* sp.)、顶突介穗水母(*Podocoryne apicata*)、半口壮丽水母等小个体水母,使得湾内生物量甚至高于夏季。冬季水温最低,湾内水母等基本绝迹,生物量为全年最低。当春季水温回升,许多消失的暖水种,如拟细浅室水母、球型侧腕水母等又复出现,湾内生物量也随之回升。

人类活动对全球海洋生态系统产生的巨大影响,尤其是水体富营养化、渔业过度捕捞等改变了资源可利用性和海洋食物网结构,进而影响整个海洋生态系统^[17-18]。本文研究发现,人类活动下 20a 来兴化湾浮游动物群落没有发生明显变化。分析原因主要有以下几个方面:首先,兴化湾外海域属于台湾海峡强流区^[14-15],潮汐作用强烈,而湾内陆地径流小,因此浮游动物分布主要受南下的浙闽沿岸水和北上的台湾海峡暖流水的交替消长所控制。其次,兴化湾的大气重金属沉降研究表明,兴化湾周边工业尚处在发展中,海湾受人类影响较小,与国内外不同研究区域相比,大气沉降重金属通量相对较低^[19]。兴化湾海水营养状况研究也表明,除木兰溪、秋芦溪两河口附近海域为富营养状态,湾内全年海域平均为贫营养状态^[20]。

4 结论

兴化湾浮游动物受外海水影响剧烈,特别在湾口,以外海广布类群占优势。受强水动力影响,加之周边污染尚不严重,浮游动物群落 20a 变化不显著。虽然目前兴化湾海域总体生态环境状况较好,但未来几年随着周边大型核电厂、围垦工程、港口工程将陆续建设和投入运行,其环境压力仍需引起广泛关注。

References:

[1] Shen G Y, Shi B Z. Marine Ecology. Beijing: Science Press, 2002: 37-46

<http://www.ecologica.cn>

表 5 不同年份浮游动物种类组成

Table 5 Species composition of zooplankton in different years

组成 Composition	1984 - 04—1985 - 02		2006 - 02—2006 - 10	
	种数 Species	%	种数 Species	%
桡足类 Copepoda	37	35.6	34	27.4
水母类 Medusae	41	39.4	43	34.7
十足类 Decapoda	4	3.8	6	4.8
毛颚类 Chaetognatha	7	6.7	3	2.4
糠虾类 Mysidacea	2	1.9	2	1.6
端足类 Amphipoda	1	1.0	4	3.2
介形类 Ostracoda	2	1.9	3	2.4
磷虾类 Euphausiacea	1	1.0	1	0.8
异足类 Heteropoda	4	3.8	7	5.6
被囊类 Tunicata	3	2.9	3	2.4
枝角类 Cladocera	2	1.9	1	0.8
多毛类 Polychaeta	-	-	5	8.1
涟虫 Cumanacea	-	-	2	4.0
浮游幼体 Pelagic larva	8	7.7	10	1.6
总数 Total Number	104	100	124	100

- [2] Yang Z, Kong F X. Effects of zooplankton grazing on colony formation in algae: a review. *Acta Ecologica Sinica*, 2005, 25(8): 2083 - 2089.
- [3] Sun J, Liu D Y, Wang Z L, Shi X Y, Li R X, Zhu M Y. The effects of zooplankton grazing on the development of red tides. *Acta Ecologica Sinica*, 2004, 24(7): 1514 - 1522.
- [4] Ware D M, Thomson R E. Bottom - up Ecosystem trophic dynamics determine fish production in the northeast pacific. *Science*, 2005, 308: 1280 - 1284.
- [5] Warwick R M. The nematode/copepod ratio and its use in pollution ecology. *Marine Pollution Bulletin*, 1981, 12(10): 329 - 333.
- [6] Edition Committee of the Bay Chorography in China. *The bay chorography in China*. Beijing: China Ocean Press, 1994: 7: 236 - 239.
- [7] Zheng Z, Li S J, Xu Z Z. *Marine planktology*. Beijing: Ocean Press, 1984.
- [8] Zheng Z, Zhang S Z, Li S. *Pelagic copepoda in China seas*. Shanghai Science & Technology Press, 1965.
- [9] Zheng Z, Li S, Li S J, Chen B Y. *Pelagic copepoda in China seas*. Shanghai Science & Technology Press, 1982.
- [10] Zhang J B. *Pelagic siphonophora in China seas*. Beijing: China Ocean Press, 2005.
- [11] Xu Z L, Wang Y L, Chen Y Q, Shen H T. An ecological study on zooplankton in maximum turbid zone of estuarine area of Changjiang (Yangtze) River. *Journal of Fishery Sciences of China*, 1995, 2(1): 39 - 48.
- [12] Huang J Q, Zhen Z. Effect of Salinity on the distribution of copepods in Jiulong River estuary. *Acta Oceanologica Sinica*, 1986, 8(1): 83 - 91.
- [13] Lin J Z. Abundance and distribution of zooplankton in Fuqing Bay and its neighboring waters. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2008, 27(1): 58 - 63.
- [14] Ye A L, Chen Z Y, Yu Y F. Numerical study of three - dimensional semidiurnal tidal waves in the Taiwan Strait and its adjacent areas. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1985, 16(1): 439 - 450.
- [15] Zeng G N, Qi Y Q, Hu J Y, Hong H S. Advances in the M_2 tide wave research in the Taiwan Strait. *Advances in Marine Science*, 2004, 22(4): 508 - 518.
- [16] Weng X C, Zhang Q L, Yan T Z, Wang C M. Analysis of water masses in the middle and northern Taiwan strait in spring and summer. *Oceanologia et Limnologia Sinica*, 1992, 03(23): 235 - 244.
- [17] Vitousek P M, Mooney H A, Lubchenco J, Melillo J M. Human domination of earth's ecosystem. *Science*, 1997, 227(5325): 494 - 499.
- [18] Micheli F. Eutrophication, fisheries, and consumer - resource dynamics in marine pelagic ecosystems. *Science*, 285: 1396 - 1399.
- [19] Wu C X, Qi S H, Su Q K, Fang M, Wang W. Atmospheric deposition of heavy metals to Xinghua Bay, Fujian province. *Environmental Chemistry*, 2006, 25(6): 781 - 784.
- [20] Hu Q H. Distribution of D N and D I P in seawater and assessments on nutrient level for Xinghua Bay. *Marine Environmental Science*, 2001, 20(4): 45 - 48.

参考文献:

- [1] 沈国英, 施并章. 海洋生态学, 第二版. 北京: 科学出版社, 2002: 37 - 46.
- [2] 杨州, 孔繁翔. 浮游动物诱发藻类群体的形成. *生态学报*, 2005, 25(8): 2083 - 2089.
- [3] 孙军, 刘东艳, 王宗灵, 石晓勇, 李瑞香, 朱明远. 浮游动物摄食在赤潮生消过程中的作用. *生态学报*, 2004, 24(7): 1514 - 1522.
- [6] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志, 第七分册. 北京: 海洋出版社, 1994.
- [7] 郑重, 李少菁, 许振祖. *海洋浮游生物学*. 北京: 海洋出版社, 1984.
- [8] 郑重, 张松踪, 李松. *中国海洋浮游桡足类, 上卷*. 上海: 上海科技出版社, 1965.
- [9] 郑重, 李松, 李少菁, 陈柏云. *中国海洋浮游桡足类, 中卷*. 上海: 上海科学技术出版社, 1982.
- [10] 张金标. *中国海洋浮游管水母类*. 北京: 海洋出版社, 2005.
- [11] 徐兆礼, 王云龙, 陈亚瞿, 沈焱庭. 长江口最大浑浊带区浮游动物的生态研究. *中国水产科学*, 1995, 2(1): 39 - 48.
- [12] 黄加祺, 郑重. 盐度对九龙江口桡足类分布的影响. *海洋学报*, 1988, 8(1): 83 - 91.
- [13] 林君卓. 福清湾及附近海域浮游动物的数量和分布. *台湾海峡*, 2008, 27(1), 58 - 63.
- [14] 叶安乐, 陈宗镛, 于宜法. 台湾海峡及其附近海域三维半日潮波的数值研究. *海洋与湖沼*, 1985, 16(1): 439 - 450.
- [15] 曾淦宁, 齐义泉, 胡建宇, 洪华生. 台湾海峡 M_2 分潮潮波研究进展. *海洋科学进展*, 2004, 22(4): 508 - 518.
- [16] 翁学传, 张启龙, 颜廷壮, 王从敏. 台湾海峡中、北部海域春、夏水团分析. *海洋与湖沼*, 1992, 03(23): 235 - 244.
- [19] 吴辰熙, 祁士华, 苏秋克, 方敏, 王伟. 福建省兴化湾大气沉降中重金属的测定. *环境化学*, 2006, 25(6): 781 - 784.
- [20] 胡晴晖. 兴化湾水域 D N、D I P 分布及营养状态评价. *海洋环境科学*, 2001, 20(4): 45 - 48.