

庙岛群岛南部海域浮游生物群落特征初步分析

王媛媛^{1,2}, 李捷¹, 石洪华², 杨帆¹, 张宇¹

(1. 青岛理工大学 环境与市政工程学院, 山东 青岛 266033; 2. 国家海洋局 第一海洋研究所, 山东 青岛 266061)

摘要: 于 2012~2013 年 4 个航次对庙岛群岛南部海域进行了浮游生物调查。利用多元统计分析方法对浮游植物和浮游动物的群落特征进行了分析。调查结果显示, 浮游植物共发现 131 种, 硅藻为该海域主要浮游植物优势种; 浮游动物共发现 25 种成体, 13 种幼体, 桡足类为该海域主要浮游动物类群。对浮游植物和浮游动物的 CLUSTER 聚类结果表明, 二者的群落结构季节间差异均较显著, 秋季和冬季的浮游植物群落较相似, 春季和冬季的浮游动物群落较相似。MDS 标序结果表明, 夏季的浮游植物群落间的差异较显著, 而浮游动物群落则为秋季。浮游植物群落的季节变化为硅-甲藻群落(秋季)→硅藻群落(冬季)→硅藻群落(春季)→硅-甲藻群落(夏季); 浮游动物群落的季节变化为毛颚动物群落(秋季)→毛颚动物-桡足类群落(冬季)→桡足类群落(春季)→浮游幼体-毛颚动物群落(夏季)。

关键词: 浮游生物; 群落特征; 庙岛群岛

中图分类号: Q948.8 文献标识码: A

doi: 10.11759/hyhx20151006001

文章编号: 1000-3096(2016)06-0030-11

海洋生态系统初级生产力主要来源于浮游植物^[1-2], 并以浮游动物作为中位种, 通过上行和下行效应对能量流动进行调控^[3-4], 因此了解二者的群落结构特征及其相互作用关系对于海洋生态系统生物群落的研究至关重要^[5-6]。由于海岛与大陆隔离, 且具有海陆二相性, 是相对复杂的研究区域, 因此关于海岛周边海域浮游生物群落结构的研究相对较少^[7-8]。ZHENG 等^[9]和韦章良等^[10]主要分别对该海域浮游植物、浮游动物与环境因子的关系进行了相关分析, 但未对该海域浮游生物的群落特征进行详细分析, 尤其是季节间的差异。庙岛群岛位于中国山东烟台长岛县, 处于黄渤海交汇处。本研究通过历时一年 4 个航次对庙岛群岛南部海域中浮游生物群落进行了现场调查, 并利用多元统计方法对其群落结构进行了初步分析, 以期为海岛周边海域系统浮游生物的研究提供基础参考。

1 材料与方法

1.1 站位布设与样品采集分析

样品采集于 2012 年 11 月、2013 年 3 月、5 月和 8 月进行, 根据各个调查站位水深情况按照《海洋调查规范》[2007]采集样品, 在长岛周边海域设置 21 个站位(图 1)。水深为 5~27 m。采用浅水型浮游生物网, 自底至表垂直拖曳采集浮游动物。采用浅水型浮游生物网采集浮游植物。用于检测浮游植物的

水样立即转移至 0.5L 的 PE(聚乙烯)瓶中, 加入终浓度为 5%的甲醛水溶液, 于常温避光保存, 实验室采用 Utermöhl^[11]方法分析鉴定。浮游动物样品用 5%的福尔马林溶液固定, 常温避光保存, 实验室分析鉴定。

1.2 数据处理

优势种由公式 $y=f_i \times p_i$ 确定。式中, y 为优势度, f_i 为 i 种在采样点中出现的频率, p_i 为 i 种占总数量的比例, $y > 0.02$ 时, 定为优势种^[12]。

数据分析均在 PRIMER v6 与 EXCEL 上进行。运用 Surfer 8.0 绘制平面分布图。

2 结果

2.1 浮游植物群落结构

2.1.1 类群组成及细胞丰度

调查期间, 在庙岛群岛南部海域表中底三层共

收稿日期: 2016-01-24; 修回日期: 2016-03-11

基金项目: 山东省自然科学基金项目(ZR2013DM003); 国家科技基础性工作专项项目(2012FY112500); 海洋公益性行业科研专项项目(201505001)

[Foundation: Natural Science Foundation of Shandong Province, No. ZR2013DM003; National Science and Technology Basic Work, No. 2012FY112500; Special Fund for Marine Public Welfare Industry Research, No. 201505001]

作者简介: 王媛媛(1991-), 女, 硕士研究生, 主要从事海洋环境与生态研究, E-mail: 18766215168@163.com; 李捷, 通信作者, E-mail: fstum@tom.com

发现 131 种浮游植物(浮游植物中文名和拉丁名命名参考文献[13]), 其中, 春季 41 种, 夏季 41 种, 秋季 94 种, 冬季 82 种。硅藻 92 种, 甲藻 36 种, 金藻 2

种, 另外, 还有一种未定类的三裂醉藻(*Ebria tripartita* (Schumann) Lemmermann)。硅藻物种数所占比例为 70.23%, 成为该海域主要浮游植物群落组成部分。

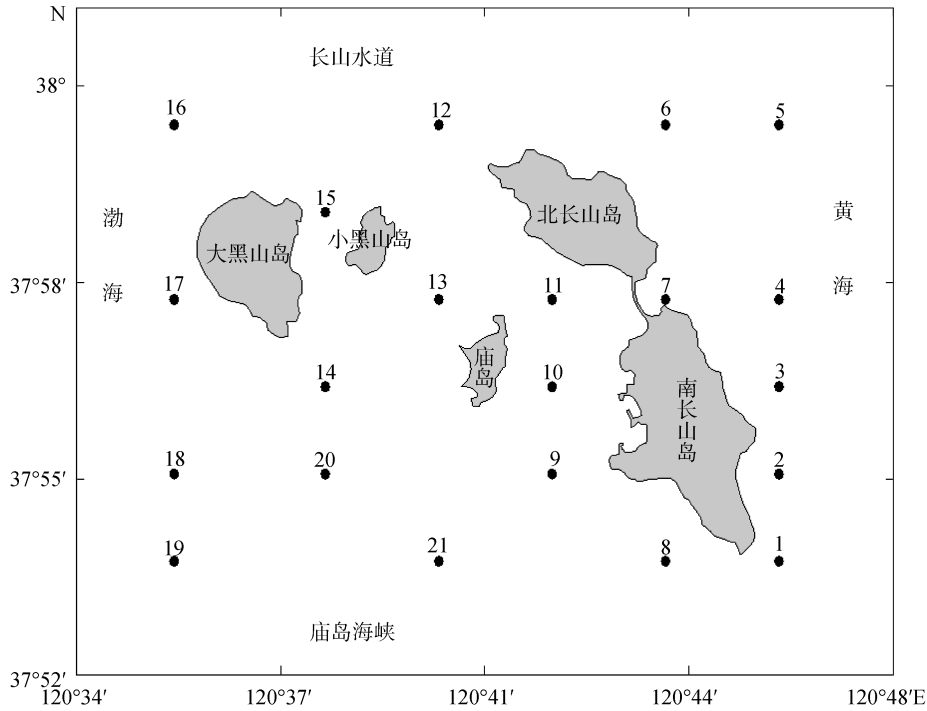


图 1 庙岛群岛南部海域位置及调查站位

Fig. 1 Location of southern waters of Miaodao Archipelago and sampling stations

春季, 浮游植物细胞丰度为 $2.47 \times 10^8 \sim 2.78 \times 10^9$ 个/ m^3 , 平均为 7.11×10^8 个/ m^3 ; 夏季浮游植物细胞丰度为 $0.29 \times 10^6 \sim 3.67 \times 10^6$ 个/ m^3 , 平均为 1.45×10^6 个/ m^3 ; 秋季浮游植物细胞丰度为 $4.72 \times 10^6 \sim 9.41 \times 10^6$ 个/ m^3 , 平均为 6.65×10^6 个/ m^3 ; 冬季浮游植

物细胞丰度为 $1.14 \times 10^8 \sim 3.60 \times 10^8$ 个/ m^3 , 平均为 2.03×10^8 个/ m^3 。

2.1.2 优势种

四季共发现 13 种优势种(表 1), 其中春季 1 种, 夏季 5 种, 秋季 5 种, 冬季 5 种。

表 1 庙岛群岛南部海域浮游植物优势种及其优势度

Tab. 1 Dominant phytoplankton species in southern waters of Miaodao Archipelago

优势种	拉丁文	春季	夏季	秋季	冬季
柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	0.996			
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve		0.47	0.49	0.26
裸甲藻	<i>Gymnodinium</i> sp.		0.17		
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.		0.04		
离心列海链藻	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve		0.02		0.04
具齿原甲藻	<i>Prorocentrum dentatum</i>		0.02		
三角角藻	<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch			0.12	
柔弱伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden			0.04	
梭形角藻	<i>Ceratium fusus</i>			0.03	
小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i>			0.02	
太平洋海链藻	<i>Thalassiosira pacifica</i> Gran & Angst				0.52
加拉星平藻	<i>Asteroplanus karianus</i>				0.10
圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier				0.03

2.1.3 群落结构分析

基于浮游植物生物丰度矩阵进行四次方根转换和 Bray-Curtis 相似性计算, 经 Simprof 检验后进行 CLUSTER 聚类 and MDS 标序^[14], 结果见图 2。MDS 标序图的 S(胁强系数)为 0.1, 处于可信范围内^[15]。由图 2 可知, 浮游植物群落的季节性差异非常显著。由 CLUSTER 聚类图还可得出,

与其他三个季节相比, 夏季的浮游植物群落是差异最大的, 其次是春季, 秋季和冬季的浮游植物群落最为相似。同时, 通过 MDS 标序图可知, 夏季的浮游植物群落间的差异是比较明显的, 其次为秋季, 春季和冬季浮游物群落间的差异较小。同时利用相似性百分比分析(SIMPER)可了解各组的特征种^[14], 结果如下。

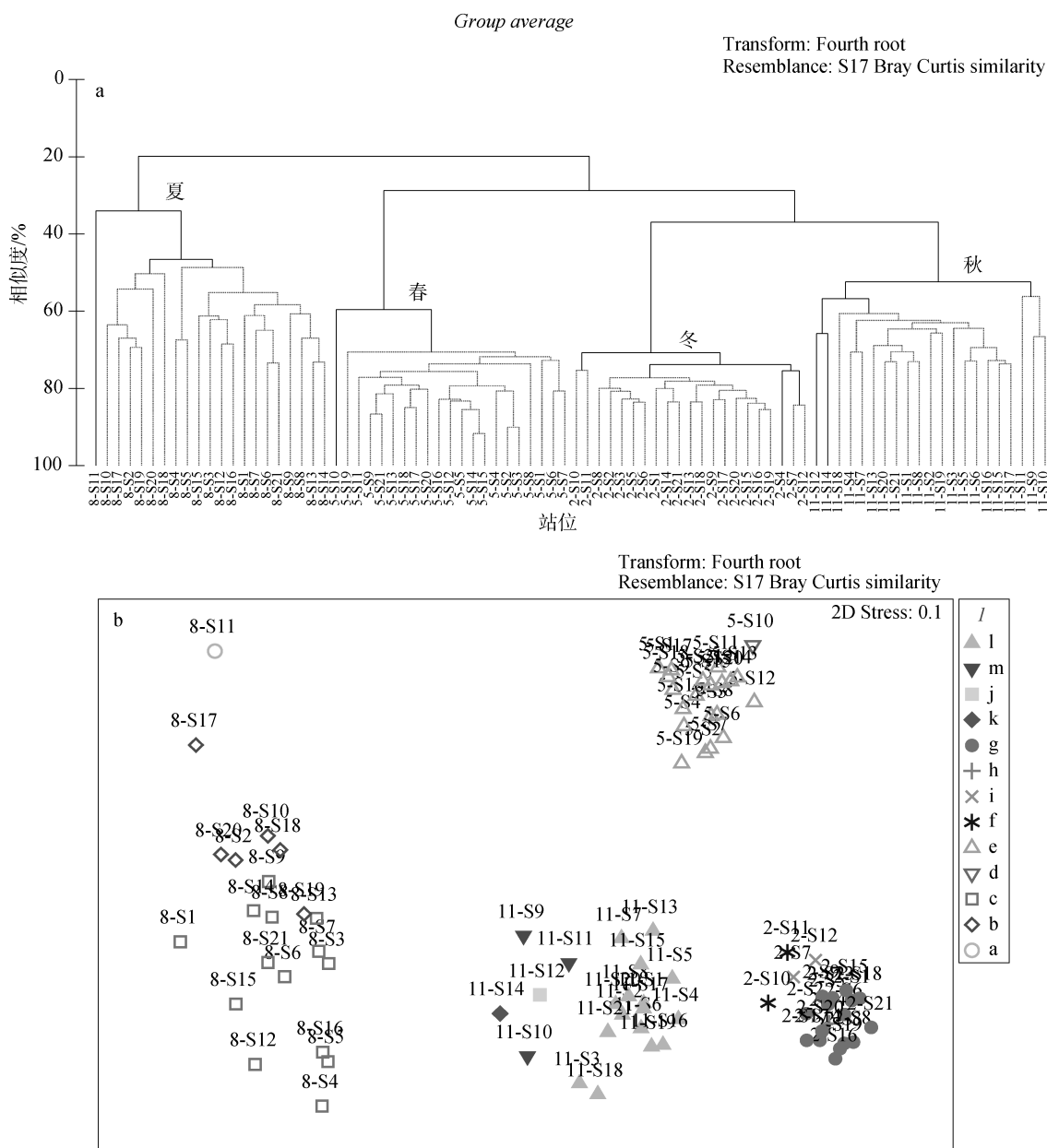


图 2 浮游植物群落的 CLUSTER 聚类(a)和 MDS 标序(b)

Fig. 2 Cluster and MDS plots of phytoplankton communities

2.2 浮游动物群落结构

2.2.1 类群组成及细胞丰度

调查期间, 四季一共发现 25 种浮游动物(成体),

浮游动物(幼体) 13 种。浮游动物成体春季出现 7 种, 夏季 14 种, 秋季 19 种, 冬季 10 种; 浮游动物(幼体) 春季出现 7 种, 夏季 12 种, 秋季 4 种, 冬季 3 种。

表 2 浮游植物 I 组的特征种

Tab. 2 Characteristic species of phytoplankton Group I

物种	Ipqk 学名	贡献率(%)	累积贡献率(%)
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	11.27	11.27
三角角藻	<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch	6.93	18.20
梭形角藻	<i>Ceratium fusus</i>	5.22	23.42
柔弱伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i> (Cleve) Heiden	5.18	28.60
小等刺硅鞭藻	<i>Dictyocha fibula</i> Ehrenberg	4.95	33.55
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.	4.89	38.44
斜纹藻	<i>Pleurosigma</i> sp.	4.68	43.11
距端假管藻	<i>Pseudosolenia calcar-avis</i> (Schultze) Sundström	4.38	47.49
螺旋环沟藻	<i>Gyrodinium spirale</i>	3.90	51.39

注: Group l(11-S1、11-S2、11-S3、11-S4、11-S5、11-S6、11-S7、11-S8、11-S13、11-15、11-S16、11-S17、11-S18、11-S19、11-S20、11-S21); 平均相似度: 64.10

表 3 浮游植物 m 组的特征种

Tab. 3 Characteristic species of phytoplankton Group m

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	18.56	18.56
三角角藻	<i>Ceratium tripos</i> (Müller) Nitzsch	9.14	27.7
斜纹藻	<i>Pleurosigma</i> sp.	8.68	36.38
梭形角藻	<i>Ceratium fusus</i>	8.09	44.47
舟形藻	<i>Navicula</i> sp.	8.06	52.53

注: Group m(11-S9、11-S10、11-S11); 平均相似度: 59.66 ; Group j(11-S12)(无特征种); Group k(11-S14)(无特征种)

表 4 浮游植物 g 组的特征种

Tab. 4 Characteristic species of phytoplankton Group g

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
太平洋海链藻	<i>Thalassiosira pacifica</i> Gran & Angst	12.06	12.06
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	10.69	22.75
加拉星平藻	<i>Asteroplanus karianus</i>	7.95	30.70
离心列海链藻	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	6.91	37.61
圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier	5.79	43.40
柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	4.36	47.76
布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i> (West) Grunow	4.04	51.80

注: Group g(2-S1、2-S2、2-S3、2-S5、2-S6、2-S8、2-S9、2-S13、2-S14、2-S15、2-S16、2-S17、2-S18、2-S19、2-S20、2-S21); 平均相似度: 78.65; Group h(2-S4)(无特征种)

表 5 浮游植物 i 组的特征种

Tab. 5 Characteristic species of phytoplankton Group i

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
太平洋海链藻	<i>Thalassiosira pacifica</i> Gran & Angst	12.02	12.02
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	10.69	22.71
加拉星平藻	<i>Asteroplanus karianus</i>	8.18	30.89
圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier	6.77	37.66
离心列海链藻	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	6.52	44.18
柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	5.34	49.52
尖刺伪菱形藻	<i>Pseudo-nitzschia pungens</i> (Grunow ex Cleve) Hasle	4.23	53.75

注: Group i(2-S7、2-S12); 平均相似度: 84.31

表 6 浮游植物 f 组的特征种

Tab. 6 Characteristic species of phytoplankton Group f

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
太平洋海链藻	<i>Thalassiosira pacifica</i> Gran & Angst	16.38	16.38
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	13.19	29.57
离心列海链藻	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	8.31	37.88
加拉星平藻	<i>Asteroplanus karianus</i>	8.12	46.00
圆海链藻	<i>Thalassiosira rotula</i> Meunier	6.92	52.93

注: Group f(2-S10、2-S11); 平均相似度: 75.31

表 7 浮游植物 e 组的特征种

Tab. 7 Characteristic species of phytoplankton Group e

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i> (Cleve) Hasle	53.70	53.70

注: Group e(5-S1、5-S2、5-S3、5-S4、5-S5、5-S6、5-S7、5-S8、5-S9、5-S11、5-S12、5-S13、5-S14、5-S15、5-S16、5-S17、5-S18、5-S19、5-S20、5-S21); 平均相似度: 75.29; Group d(5-S10)(无特征种)

表 8 浮游植物 c 组的特征种

Tab. 8 Characteristic species of phytoplankton Group c

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	18.91	18.91
裸甲藻	<i>Gymnodinium</i> sp.	14.42	33.33
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.	12.17	45.50
离心列海链藻	<i>Thalassiosira eccentrica</i> (Ehrenberg) Cleve	10.32	55.81

注: Group c(8-S1、8-S3、8-S4、8-S5、8-S6、8-S7、8-S8、8-S9、8-S12、8-S13、8-S14、8-S15、8-S16、8-S21); 平均相似度: 55.89

表 9 浮游植物 b 组的特征种

Tab. 9 Characteristic species of phytoplankton Group b

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
具槽帕拉藻	<i>Paralia sulcata</i> (Ehrenberg) Cleve	32.54	32.54
圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.	18.94	51.48

注: Group b(8-S2、8-S10、8-S17、8-S18、8-S19、8-S20); 平均相似度: 57.49; Group a(8-S11), 无特征种

成体中, 桡足类 10 种(40%), 水母类 5 种(20%), 端足类 3 种(12%), 糠虾类 3 种(12%), 毛颚动物 1 种(4%), 涟虫类 1 种(4%), 磷虾类 1 种(4%), 多毛类 1 种(4%)。桡足类是该海域的第一大浮游动物群落, 其次为水母类。浮游动物(幼体)主要出现在夏季和春季。

春季, 浮游动物丰度为 66.33 ~ 5287.50 个/m³, 平均为 1952.74 个/m³; 夏季浮游动物丰度为 72.86 ~ 2156.82 个/m³, 平均为 352.51 个/m³; 秋季浮游动物丰度为 11.88 ~ 294.80 个/m³, 平均为 87.38 个/m³; 冬季浮游动物丰度为 33.25 ~ 137.73 个/m³, 平均为 79.95 个/m³。

2.2.2 优势种

四季共发现 5 种优势种, 分别为强壮箭虫

(*Sagitta crassa*)、墨式胸刺水蚤(*Centropages mcmurrici*)、中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、蛇尾类长腕幼虫(*Ophiopluteus* larva)和糠虾幼体(*Mysidacea* larva), 其中春季 2 种, 夏季 3 种, 秋季 1 种, 冬季 3 种(表 10)。

2.2.3 群落结构分析

基于浮游动物生物丰度矩阵进行四次方根转换和 Bray-Curtis 相似性计算, 经 Simprof 检验后进行 CLUSTER 聚类和 MDS 标序^[14], 结果见图 3。MDS 标序图的 S(胁强系数)为 0.15, 处于可信范围内^[15]。由图 3 可知, 浮游动物群落季节性差异非常显著。由 CLUSTER 聚类图还可得出, 春季和冬季的浮游动物群落较相似, 而夏季和秋季的相似, 且夏秋的相似度高于春冬。同时, 通过 MDS 标序图

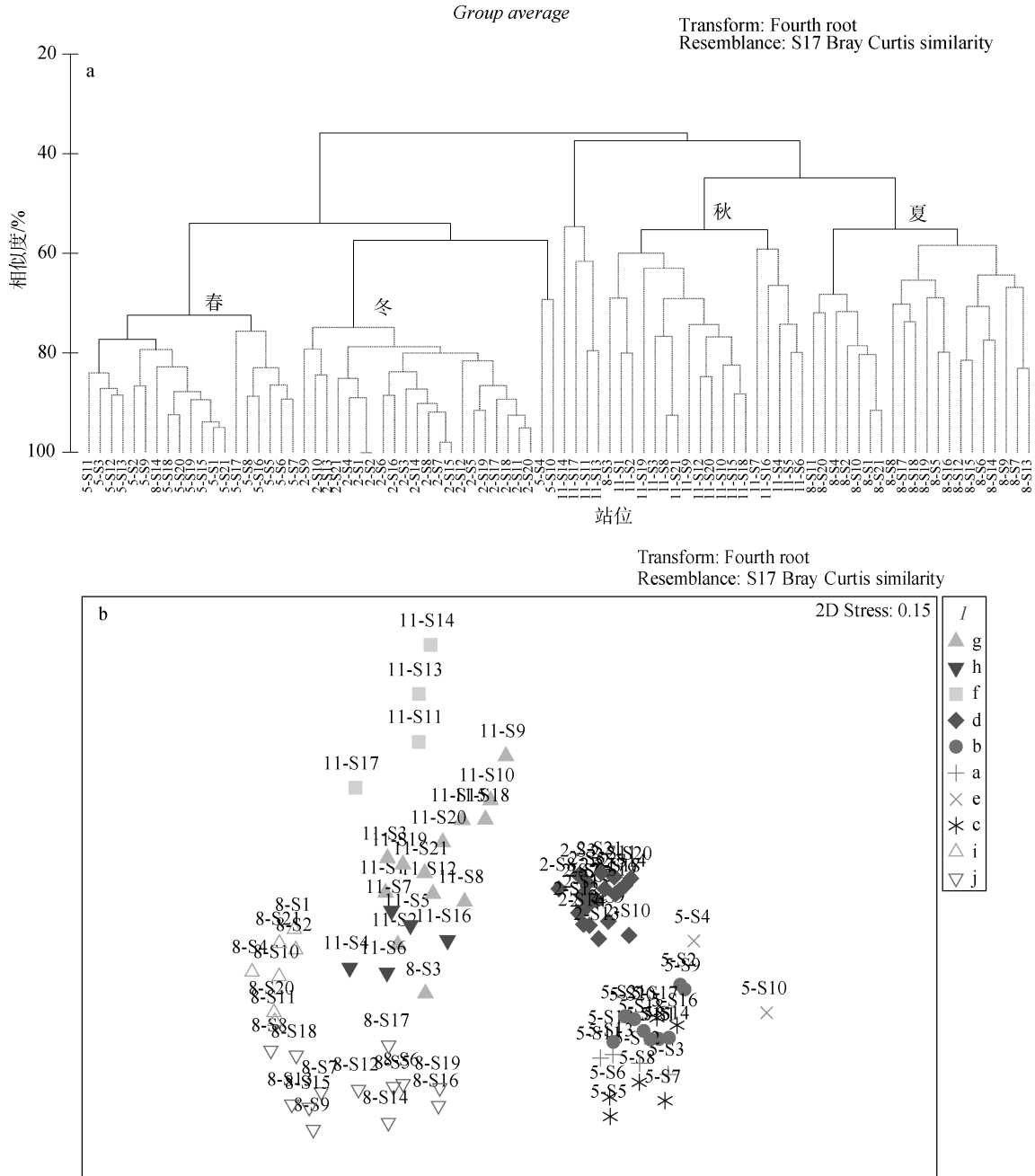


图 3 浮游动物群落的 CLUSTER 聚类(a)和 MDS 标序(b)
 Fig. 3 Cluster and MDS plots of zooplankton communities

表 10 庙岛群岛南部海域浮游动物优势种及其优势度
 Tab. 10 Dominant species in southern waters of Miaodao Archipelago

名称	春季	夏季	秋季	冬季
强壮箭虫		0.38	0.56	0.46
墨式胸刺水蚤	0.55			0.02
中华哲水蚤	0.42			0.28
蛇尾类长腕幼虫		0.46		
糠虾幼体		0.03		

可知, 秋季的浮游动物群落间的差异是最大的, 其次为夏季, 春季和冬季浮游动物群落间的差异较小。同时利用相似性百分比分析(SIMPER)可了解各组的特征种^[14], 结果见表 11~表 20。

2.3 浮游植物与浮游动物丰度之间的关系

图 4 为浮游植物细胞丰度与浮游动物丰度的四季变化, 由图 4 知, 二者的变化趋势相似, 均在春季达到最大值。且对每个季节的浮游植物与浮游动

表 11 浮游动物 g 组的特征种

Tab. 11 Characteristic species of zooplankton Group g

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	59.07	59.07
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	26.23	85.30
糠虾幼体	Mysidacea larva	8.51	93.82

注: Group g(11-S1、11-S2、11-S3、11-S8、11-S9、11-S10、11-S12、11-S15、11-S18、11-S19、11-S20、11-S21、8-S3); 平均相似度: 67.17

表 12 浮游动物 h 组的特征种

Tab. 12 Characteristic species of zooplankton Group h

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	44.83	44.83
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	19.55	64.38
糠虾幼体	Mysidacea larva	6.71	71.09
栉水母	Ctenophora	5.95	77.04
虫戎亚目 SP.	Hyperidea sp.	5.50	82.54
真刺唇角水蚤	<i>Labidocera euchaeta</i>	4.34	86.88
桡足类无节幼虫	Nauplius larva	3.18	90.06

注: Group h(11-S4、11-S5、11-S6、11-S7、11-S16); 平均相似度: 66.39

表 13 浮游动物 f 组的特征种

Tab. 13 Characteristic species of zooplankton Group f

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	93.47	93.47

注: Group f(11-S11、11-S13、11-S14、11-S17); 平均相似度: 61.07

表 14 浮游动物 d 组的特征种

Tab. 14 Characteristic species of zooplankton Group d

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	33.92	33.92
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	31.21	65.13
墨氏胸刺水蚤	<i>Centropages mcmurrichi</i>	27.46	92.59

注: Group d(2-S1、2-S2、2-S3、2-S4、2-S5、2-S6、2-S7、2-S8、2-S9、2-S10、2-S11、2-S12、2-S13、2-S14、2-S15、2-S16、2-S17、2-S18、2-S19、2-S20、2-S21); 平均相似度: 79.96

表 15 浮游动物 b 组的特征种

Tab. 15 Characteristic species of zooplankton Group b

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
墨氏胸刺水蚤	<i>Centropages mcmurrichi</i>	48.62	48.62
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	30.68	79.29
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	14.59	93.88

注: Group b(5-S1、5-S2、5-S9、5-S14、5-S15、5-S18、5-S19、5-S20、5-S21); 平均相似度: 84.39

表 16 浮游动物 a 组的特征种

Tab. 16 Characteristic species of zooplankton Group a

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
墨氏胸刺水蚤	<i>Centropages mcmurrichi</i>	38.17	38.17
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	22.49	60.66
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	13.35	74.01
桡足类无节幼虫	Nauplius larva	9.50	83.51
小毛猛水蚤	<i>Microsetella norvegica</i>	8.07	91.59

注: Group a(5-S3、5-S11、5-S12、5-S13); 平均相似度: 85.74

表 17 浮游动物 e 组的特征种

Tab. 17 Characteristic species of zooplankton Group e

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
墨氏胸刺水蚤	<i>Centropages mcmurrichi</i>	42.59	42.59
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	29.09	71.67
桡足类无节幼虫	Nauplius larva	16.10	87.77
小毛猛水蚤	<i>Microsetella norvegica</i>	12.23	100.00

注: Group e(5-S4、5-S10); 平均相似度: 69.24

表 18 浮游动物 c 组的特征种

Tab. 18 Characteristic species of zooplankton Group c

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	40.29	40.29
墨氏胸刺水蚤	<i>Centropages mcmurrichi</i>	31.88	72.17
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	16.39	88.57
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	5.52	94.08

注: Group c(5-S5、5-S6、5-S7、5-S8、5-S16、5-S17); 平均相似度: 81.74

表 19 浮游动物 i 组的特征种

Tab. 19 Characteristic species of zooplankton Group i

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	40.22	40.22
拟长腹剑水蚤	<i>Oithona similis</i>	26.34	66.56
糠虾幼体	Mysidacea larva	24.52	91.08

注: Group i(8-S1、8-S2、8-S4、8-S10、8-S11、8-S20、8-S21); 平均相似度: 72.76

表 20 浮游动物 j 组的特征种

Tab. 20 Characteristic species of zooplankton Group j

物种	拉丁文	贡献率(%)	累积贡献率(%)
强壮箭虫	<i>Sagitta crassa</i>	30.85	30.85
糠虾幼体	Mysidacea larva	16.71	47.56
拟长腹剑水蚤	<i>Oithona similis</i>	12.67	60.22
疣足幼虫	Nectochaete larva	7.65	67.88
阿利玛幼虫	Alima larva	7.28	75.16
中华哲水蚤	<i>Calanus sinicus</i>	5.07	80.23
小毛猛水蚤	<i>Microsetella norvegica</i>	4.49	84.72
稚鱼	Fish larva	3.25	87.97
小拟哲水蚤	<i>Paracalanus parvus</i>	2.75	90.72

注: Group j(8-S5、8-S6、8-S7、8-S8、8-S9、8-S12、8-S13、8-S14、8-S15、8-S16、8-S17、8-S18、8-S19); 平均相似度: 62.83

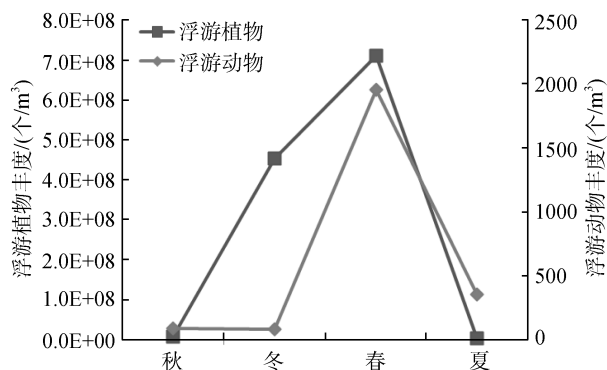


图4 浮游植物与浮游动物丰度季节变化

Fig. 4 Seasonal variation of phytoplankton and zooplankton abundances

物丰度进行回归分析,结果显示,仅春季二者丰度之间有一定的相关性($R^2=0.369$, $P=0.004$).

3 讨论与结论

浮游植物共发现 131 种,硅藻为该海域主要浮游植物群落;浮游动物共发现 25 种成体,13 种幼体,桡足类为该海域主要浮游动物群落。浮游植物群落的变化为硅藻-甲藻群落(秋季) 硅藻群落(冬季) 硅藻(春季) 硅藻-甲藻群落(夏季);浮游动物群落的变化为毛颚动物群落(秋季) 毛颚动物-桡足类群落(冬季) 桡足类群落(春季) 浮游幼体-毛颚动物群落(夏季)。

该海域四季浮游植物与浮游动物群落之间的差异较显著,每个季节均有其独特的群落结构。秋季,浮游植物群落主要以具槽帕拉藻和三角角藻为主要贡献种,浮游动物群落主要以强壮箭虫和中华哲水蚤为主要优势种。冬季,浮游植物群落主要以太平洋海链藻和具槽帕拉藻为主要贡献种,浮游动物群落主要以强壮箭虫和中华哲水蚤为主要贡献种。春季,柔弱几内亚藻以绝对优势成为浮游植物最主要的群落,根据其优势度与细胞丰度,我们可判定春季发生了柔弱几内亚藻赤潮,浮游动物群落主要以墨氏胸刺水蚤和中华哲水蚤为主要贡献种。夏季,浮游植物群落主要以具槽帕拉藻、裸甲藻和圆筛藻为主要贡献种,浮游动物主要以强壮箭虫、拟长腹剑水蚤和糠虾幼体为主要贡献种。

浮游植物群落和浮游动物群落的变化很明显。秋季,浮游植物群落主要为硅藻-甲藻共同控制的群落,具槽帕拉藻为第一优势种,而进入冬季后,太平洋海链藻为第一优势种,除了温度的影响之外,

还有海流的影响。冬季随黄海暖流进入渤海的太平洋海链藻与渤海本地种具槽帕拉藻^[16]的竞争关系最为显著,而数据结果显示太平洋海链藻的竞争力更强,从而太平洋海链藻取代在夏秋季为第一优势种的具槽帕拉藻而成为冬季第一优势种。且甲藻在冬季出现的很少,冬季浮游植物群落主要为硅藻群落。同样,墨氏胸刺水蚤和中华哲水蚤也为受黄海暖流影响的外海性种类^[17],同样也在冬季成为第二和第三优势种。随着温度的升高,春季浮游植物群落变为柔弱几内亚藻控制的群落,而浮游动物群落依然受到黄海暖流的影响,墨氏胸刺水蚤和中华哲水蚤成为第一、第二优势种。而进入夏季之后,适于在较高温度下生长的甲藻大量繁殖^[18],浮游植物群落由春季的硅藻群落发展为硅藻-甲藻共同控制的群落。而浮游动物群落中则出现了大量的浮游动物幼体,且成为优势种,浮游动物幼体的出现与温度是非常密切的^[19]。对于温带海域来说,通常浮游动物幼体大量出现在温度较高的夏季^[20]。同时,这种高水温环境抑制中华哲水蚤的生长和繁殖^[21-22],其丰度显著下降。

不同海域的浮游生物由于海水温度、盐度、营养盐等的不同从而具有不同的群落特征。陈洪举^[23]对黄海和东海浮游动物群落结构和多样性的研究显示黄海的浮游动物群落偏温带类型,而东海的浮游动物群落则属于暖水性群落。本研究中浮游动物也属于偏温带类型的群落,但每个季节的优势种和特征种均具有其显著的特征,季节间差异较大。戴明等^[24]对海南岛以南海域浮游植物群落特征的研究表明该海域浮游植物群落具有独特的热带开阔海域生物区系特征。而本研究中浮游植物群落偏温带类型,同样地,每个季节的优势种与特征种也各具特色,差异较大。

参考文献:

- [1] 赵冉,孙军,白洁. 2006年秋季长江口及其邻近水域浮游植物群集[J]. 海洋科学, 2010, 34(4): 36-39.
Zhao Ran, Sun Jun, Bai Jie. Phytoplankton assemblages in Yangtze River Estuary and its adjacent water in autumn, 2006[J]. Marine Sciences, 2010, 34(4): 36-39.
- [2] 孙军. 海洋浮游植物与生物碳汇[J]. 生态学报, 2011, 31(18): 5372-5378.
Sun Jun. Marine phytoplankton and biological carbon sink[J]. Acta Ecologica Sinica, 2011, 31(18): 5372-5378.
- [3] 李超伦,王荣. 莱州湾夏季浮游桡足类的摄食研究[J]. 海洋与湖沼, 2000, 31(1): 15-22.
Li Chaolun, Wang Rong. Copepods feeding activities in

- the Laizhou Bay, Bohai Sea, in summer[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2002, 2000, 31(1): 15-22.
- [4] Davies C H, Armstrong A J, Baird M, *et al.* Over 75 years of zooplankton data from Australia[J]. *Ecology*, 2015, 95(11): 3229-3229.
- [5] Gipsi Lima-Mendez, Karoline Faust, Nicolas Henry, *et al.* Determinants of community structure in the global plankton interactome[J]. *Science*, 2015, 348(6237): 1262073.
- [6] 张武昌, 张翠霞, 王荣, 等. 黄、东海春季和秋季微型浮游动物对浮游植物的摄食压力[J]. *海洋科学*, 2011, 35(1): 36-39.
Zhang Wuchang, Zhang Cuixia, Wang Rong, *et al.* Grazing pressure of microzooplankton on phytoplankton in spring and autumn in the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Marine Sciences*, 2011, 35(1): 36-39.
- [7] 石洪华, 郑伟, 丁德文, 等. 典型海岛生态系统服务及价值评估[J]. *海洋环境科学*, 2009, 28(6): 743-748.
Shi Honghua, Zheng Wei, Ding Dewen, *et al.* Valuation and ecosystem services of typical island[J]. *Marine Environmental Science*, 2009, 28(6): 743-748.
- [8] Gurney L J, Pakhomov E A, Christensen V. An ecosystem model of the Prince Edward Island archipelago[J]. *Ecological Modelling*, 2014, 294: 117-136.
- [9] Zheng W, Li F, Shi H, *et al.* Spatiotemporal heterogeneity of phytoplankton diversity and its relation to water environmental factors in the southern waters of Miaodao Archipelago, China[J]. *Acta Oceanologica Sinica*, 2016, 35(2): 46-55.
- [10] 韦章良, 柴召阳, 石洪华, 等. 渤海长岛海域浮游动物的种类组成与时空分布[J]. *上海海洋大学学报*, 2015, 24(4): 550-559.
Wei Zhangliang, Chai Zhaoyang, Shi Honghua, *et al.* Species composition, abundance and distribution of zooplankton along the coast of Chang Island in the Bohai Sea, China[J]. *Journal of Shanghai Ocean University*, 2015, 24(4): 550-559.
- [11] 孙军, 刘东艳, 钱树本. 一种海洋浮游植物定量研究方法——Utermöhl 方法的介绍及其改进[J]. *黄渤海海洋*, 2002, 20(2): 105-112.
Sun Jun, Liu Dongyan, Qian Shuben. A Quantative Research and Analysis Method for Marine Phytoplankton: An Introduction to Utermöhl Method and Its Modification[J]. *Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas*, 2002, 20(2): 105-112.
- [12] Lampitt R S, Wishner K F, Turley C M, *et al.* Marine snow studies in the Northeast Atlantic Ocean: distribution, composition and role as a food source for migrating plankton[J]. *Marine Biology*, 1993, 116(116): 689-702.
- [13] 孙军, 刘东艳. 中国海区常见浮游植物种名更改初步意见[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(3): 271-286.
Sun Jun, Liu Dongyan. The preliminary notion on nomenclature of common phytoplankton in China seas waters[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2002, 33(3): 271-286.
- [14] Clarke K R, Gorley R N. PRIMER v6: User Manual/Tutorial [M]. Plymouth: PRIMER-E Ltd. 2006.
- [15] Clarke K R. Non-parametric multivariate analyses of changes in community structure[J]. *Australian Journal of Ecology*, 1993, 18: 117-143.
- [16] 孙军, 刘东艳, 杨世民, 等. 渤海中部和渤海海峡及邻近海域浮游植物群落结构的初步研究[J]. *海洋与湖沼*, 2002, 33(5): 461-471.
Sun Jun, Liu Dongyan, Yang Shimin, *et al.* The preliminary study on phytoplankton community structure in the central Bohai Sea and the Bohai Strait and its adjacent area[J]. *Oceanologia Et Limnologia Sinica*, 2002, 33(5): 461-471.
- [17] 毕洪生, 孙松, 高尚武, 等. 渤海浮游动物群落生态特点 . 种类组成与群落结构[J]. *生态学报*, 2000, 20(5): 715-721.
Bi Hongsheng, Sun Song, Gao Shangwu, *et al.* The ecological characteristics of the zooplankton community in the Bohai Sea . species composition and community structure[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2000, 20(5): 715-721.
- [18] 傅明珠, 孙萍, 孙霞, 等. 锦州湾浮游植物群落结构特征及其对环境变化的响应[J]. *生态学报*, 2014, 34(13): 3650-3660.
Fu Mingzhu, Sun Ping, Sun Xia, *et al.* Phytoplankton community structure and its ecological responses to environmental changes in Jinzhou Bay, China. *Acta Ecologica Sinica*, 2014, 34(13): 3650-3660.
- [19] M. van der Gaag, G. van der Velde, S. Wijnhoven, *et al.* Temperature dependent larval occurrence and spat settlement of the invasive brackish water bivalve *Mytilopsis leucophaeata* (Conrad, 1831) (Dreissenidae)[J]. *Journal of Sea Research*, 2014, 87: 30-34.
- [20] 刘镇盛. 长江口及其邻近海域浮游动物群落结构和多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2012.
Liu Zhensheng. Community Structure and Biodiversity of Zooplankton in the Changjiang Estuary and its Adjacent Waters[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2012.
- [21] 蒲新明. 中华哲水蚤夏季在南黄海的生活策略[D]. 青岛: 中国科学院海洋研究所, 2003.
Pu Xinming. Life Strategy of *Calanus sinicus* in the southern Yellow Sea in summer[D]. Qingdao: Graduate University of Chinese Academy of Sciences Institute of Marine Research, 2003.
- [22] Wang R, Zou T, Wang K. The Yellow Sea cold bottom water an overwintering site for *Calanus sinicus* (Co-

- pepods, Crustacea][J]. Journal of Plankton Research, 2003, 25(2): 169-183.
- [23] 陈洪举. 黄、东海浮游动物群落结构和多样性研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2010.
Chen Hongju. Studies on community structure and biodiversity of zooplankton in the Yellow Sea and the East China Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
- [24] 戴明, 李纯厚, 张汉华, 等. 海南岛以南海域浮游植物群落特征研究[J]. 生物多样性, 2007, 15(1): 23-30.
Dai Ming, Li Chunhou, Zhang Hanhua, et al. Characteristics of phytoplankton community in the southern waters of Hainan Island. Biodiversity Science, 2007, 15(1): 23-30.

Preliminary analysis of the characteristics of plankton community in southern waters of Miaodao Archipelago

WANG Yuan-yuan^{1, 2}, LI Jie¹, SHI Hong-hua², YANG Fan¹, ZHANG Yu¹

(1. College of Environmental and Municipal Engineering, Qingdao University of Technology, Qingdao 266033, China; 2. First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Qingdao 266061, China)

Received: Jan. 25, 2016

Key words: plankton; community characteristics; Miaodao Archipelago

Abstract: In this study, we conducted a detailed field survey in 2012~2013 on the plankton resources in the southern waters of the Miaodao Archipelago (four voyages). Using multivariate statistical analysis techniques, we analyzed the community characteristics of phytoplankton and zooplankton. We identified a total of 94 phytoplankton taxa, with diatoms being the main phytoplankton species. Moreover, we identified 25 species of adult zooplankton and 13 species of larval zooplankton, with copepoda being the main zooplankton species. Our cluster analysis results for phytoplankton and zooplankton showed significant seasonal differences in the community structures. The autumn and winter phytoplankton community structures were similar, as were the winter and spring zooplankton community structures. Multidimensional scaling analysis results showed that the summer phytoplankton community structure differed significantly from those in the other seasons. However, the largest seasonal difference for zooplankton was in autumn. The seasonal variation of the phytoplankton community was as follows: diatom–dinoflagellate community (autumn) → diatom community (winter) → diatom community (spring) → diatom–dinoflagellate community (summer). However, the seasonal variation of the zooplankton community was as follows: chaetognatha community (autumn) → chaetognatha–copepods community (winter) → copepods community (spring) → larva–chaetognatha community (summer).

(本文编辑: 梁德海)