第 39 卷 第 8 期 海 洋 学 报 Vol. 39, No. 8
2017 年 8 月 Haiyang Xuebao August 2017

尹洁慧,张光涛,李超伦,等. 北黄海獐子岛海域浮游动物群落年际变化[J].海洋学报,2017,39(8):78—88, doi:10.3969/j.issn.0253-4193.2017.08.008

Yin Jiehui, Zhang Guangtao, Li Chaolun, et al. Interannual variations of zooplankton in Zhangzi Island, North Yellow Sea[J]. Haiyang Xuebao, 2017, 39(8): 78—88, doi: 10.3969/j.issn.0253-4193.2017.08.008

北黄海獐子岛海域浮游动物群落年际变化

尹洁慧[1],张光涛[2],李超伦[3],王世伟[2],万艾勇[2]

(1. 烟台大学 海洋学院,山东 烟台 264005;2. 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站,山东 青岛 266071;3. 中国科学院海洋研究所 海洋生态与环境科学重点实验室, 山东 青岛 266071)

摘要: 本文比较了海洋普查期间(1959 年 1—12 月)和 2009—2010 年獐子岛海域附近站位的浮游动物的种类组成、优势种、丰度、生物多样性,结果显示,北黄海区域浮游动物群落物种组成未发生较大的变化,在獐子岛海域以及整个北黄海,中华哲水蚤和强壮箭虫的优势种地位没有发生变化,细足法蚊也一直出现且为冬春季的优势种;太平洋磷虾在 2009—2010 年獐子岛海域虽然全年均有出现,但是全年均不是优势种,而在 1959 年的獐子岛海域,作为优势种出现在 4 月和 11 月;1959 年与 2009 年相较,腹针胸刺水蚤在春夏季优势种的地位被沃氏纺锤水蚤所取代。2009 年浮游动物丰度(131.26 ind/m^3)比 1959 年(78.90 ind/m^3)高;浮游动物多样性指数(H')均在夏秋季高于冬春季节,且年平均多样性指数也有所提高。

关键词: 浮游动物;优势种;丰度;生物多样性;獐子岛

中图分类号: Q958.8 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-4193(2017)08-0078-11

1 引言

北黄海主要指位于山东半岛、辽东半岛和朝鲜半岛之间的半封闭区域,獐子岛海域位于辽东半岛东侧,黄海北部,是北黄海重要的组成部分,该地区的物理环境较为复杂,冬季受到黄海暖流的影响,夏季则受黄海冷水团影响[1]。该地区的河流都是季节性河流,冬季呈现枯水,夏季出现洪水。相对于南黄海而言,北黄海区域的浮游动物研究资料相对较少,针对獐子岛海域的生态研究更是很少有报道,背景资料缺乏。

北黄海拥有我国最大的虾夷扇贝养殖基地和以大连獐子岛集团为代表的海水养殖企业,是我国重要的水产品生产基地[2]。近些年北黄海出现了一系列的生态问题,如水母和被囊类等胶质生物的大量发生等[3],使得该地区的生态研究受到了关注。

浮游动物是海洋食物链中承上启下的关键环节,是具有调控作用的关键功能群,浮游动物群落的组成及其变化直接影响着海洋生态系统能流、物流的方向和效率[4]。以往关于獐子岛海域浮游动物的资料几乎没有,北黄海浮游动物的研究主要集中于个别月份,如 20 世纪 50—60 年代北黄海烟威鲐鱼渔场及邻近水域的浮游动物的初步研究[5],80—90 年代北黄海浮游动物的垂直移动规律和小长山群岛浮游动物以及大连湾的桡足类和枝角类研究[6—8]。近些年,对北黄海浮游动物的研究[9—12]主要是季度月的调查,北黄海的周年调查起源于 1958—1959 年全国海洋综合普查,至今没有再进行过周年调查。

收稿日期: 2016-10-09;**修订日期:** 2017-04-19。

基金项目: 国家自然科学青年基金(41506153);中科院海洋所海洋生态与环境科学实验室开放基金项目;中国科学院战略性先导科技专项(A 类)(XDA11020701)。

作者简介: 尹洁慧(1986—),女,内蒙古呼伦贝尔市人,博士,主要从事海洋浮游动物研究。E-mail:yinjiehui@sohu.com

本文以獐子岛海域为代表,比较 1958－1959 年北黄海大面站位的浮游动物周年数据以及所对应獐子岛附近站位浮游动物的周年数据与 2009 年所进行的獐子岛海域浮游动物周年调查的数据,以浮游动物种类、优势种、丰度及物种多样性为指标,研究北黄海獐子岛海域浮游动物群落的变化,为解决生态问题提供一些背景资料。

2　材料与方法

2.1　调查时间及站位布设

1959 年 1－12 月海洋普查在北黄海布设的大面站位(图 1a)所示,共计 67 个站位,獐子岛海域对应的站位为图中所圈站位,共计 4 个,2009 年獐子岛海域调查站位 13 个(图 1b)。

2.2　样品采集及测定方法

样品采用标准大型浮游生物网(网口面积为 0.5 m^2,孔径为 500 μm),进行从底到表的垂直拖网,获取的浮游动物用 5%的甲醛溶液进行固定。

2.3　数据分析

将各站位大型浮游生物网采集样品作定量分析,根据采样时的滤水体积,各种类的丰度(abundance)以每立方米水体中的个体数(ind/m^3)表示。

使用多元统计软件 PRIMER V5.2 (Plymouth Routines In Multivariate Ecological Research)进行生物多样性分析,其中种类多样性指数采用香农－威弗指数(Shannon-Weaver Index)[13],公式为:

$$H' = \sum_{i=1}^{S}(P_i)\log_2 P_i, \qquad (1)$$

式中,H'为群落的多样性指数,P_i 为样品中属于第 i 种的个体比例,如样品总个体为 N,第 i 种的个体数为 n_i 则 $P_i = n_i/N$。

丰富度指数(Margalef's index,D),它综合了样品中种类数目和丰度的信息,表示一定动物丰度中的物种数,计算公式为:

$$D = (S-1)/\log_2 N, \qquad (2)$$

式中,N 为丰度。

均匀度指数(Pielou's evenness index,J)计算公式为:

$$J' = H'/\log_2 S. \qquad (3)$$

浮游动物的优势种根据每个种的优势度值(Y)来确定,优势度值根据各物种出现的频数及个体数量来计算[13],其中 $Y=(n_i/N)\times f_i$,式中,n_i 为第 i 种的个体数,N 为所有种类总个体数,f_i 为出现频率,

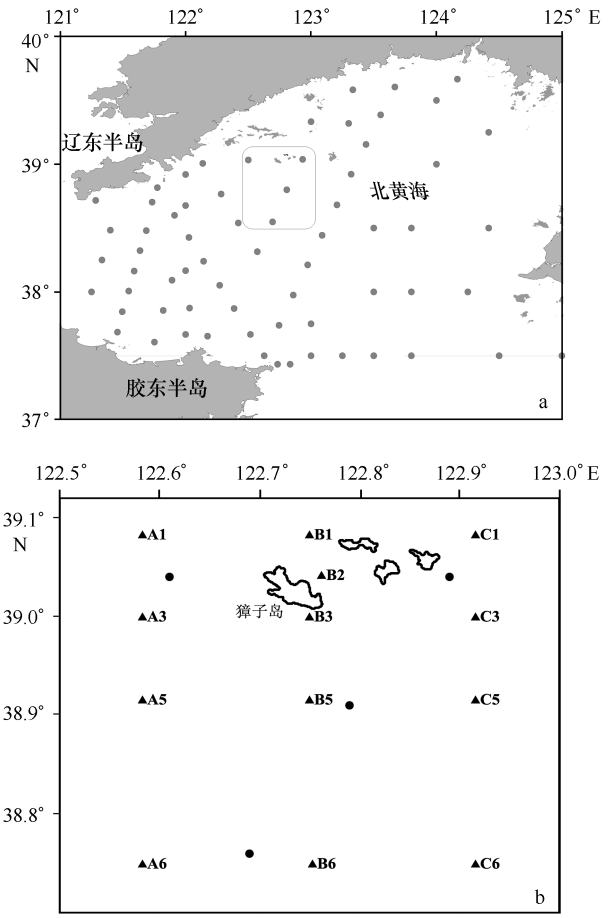


图 1　采样站位图

Fig.1　Sample sites of cruises

a.1959 年北黄海大面站位,方框为 2009 年调查区域;b. 2009－2010 年獐子岛调查区域,·代表 1959 年位于獐子岛海域附近的站位

a.Sites in 1959 in North Yellow Sea. The circled area located around Zhangzi Island waters. b.Sites around Zhangzi Island from 2009－2010. · means sites around Zhangzi Island in 1959

$Y \geqslant 0.02$的种类为优势种[14]。

3　结果

3.1　浮游动物种类组成

1959 年海洋普查期间(表 1A)共出现浮游动物 51 种,浮游幼虫 10 种,由于多毛类、糠虾、十足目、涟虫目等都没有记录到具体的种,所以与实际组成相比,种类数偏低。全年均有出现的浮游动物有中华哲水蚤(*Calanus sinicus*)、强壮箭虫(*Sagitta crassa*)、真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)、太平洋磷虾(*Euphausia pacifica*)、细足法蛾(*Themisto gracilipes*)、涟虫、糠虾、钩虾,出现频率较多的物种有百陶箭虫(*Sagitta bedoti*)、腹针胸刺水蚤(*Centropages abdom-*

inalis)、双刺唇角水蚤(*Labidocera bipinnata*)、汤氏长足水蚤(*Calanopia thompsoni*)、瘦尾胸刺水蚤(*Centropages tenuiremis*)、宽额假磷虾(*Pseudeuphausia latifrons*)、细螯虾(*Leptochela gracilis*)、四辐枝管水母(*Proboscidactyla flavicirrat*)、脆弱似杯水母(*Phialella fragilis*)、半球美螅水母(*Clytia hemisphaerica*)、五角水母(*Muggiaea atlantica*)、长尾类幼体、磁蟹蚤状幼体、鱼卵。

海洋普查期间对应的獐子岛海域的 4 个站位共出现浮游动物 31 种(表 1B),浮游幼虫 6 种,糠虾目、十足目、涟虫目没有记录到具体的种。其中桡足类种类最多 12 种,占种类组成的 38.7%,毛颚类 3 种,占种类组成的 9.7%,磷虾类 2 种,占种类组成的 6.5%,刺胞动物 6 种,占种类组成的 19.4%,栉水母 1 种,占种类组成的 3.2%。其中中华哲水蚤、强壮箭虫在全年均有出现,出现频率较多的物种包括细足法蛾、双刺唇角水蚤、太平洋磷虾、腹针胸刺水蚤、钩虾。水母类主要集中在夏秋季。由于此区域内覆盖的站位较少,所以种类组成相对较为单一。

2009 年的调查中,獐子岛海域共出现浮游动物共 29 种(表 1C),其中桡足类 11 种,占种类组成的 30.6%;毛颚类 3 种,占种类组成的 8.3%;水螅水母类、栉水母类、枝角类、被囊类、莹虾类各 2 种,占种类组成的 5.5%;糠虾类、磷虾类、端足类、原生动物各 1 种,占种类组成的 2.7%。由于布设站位海域面积较小,浮游动物种类组成较为简单,中华哲水蚤、强壮箭虫、双刺唇角水蚤、细足法蛾、太平洋磷虾在全年均有出现。一些广温广盐的枝角类如鸟喙尖头溞、肥胖三角溞,主要在夏秋季的 7—10 月出现,一些暖温带种如肥胖箭虫、百陶箭虫、中型莹虾主要在 10 月、11 月在调查海域出现。水母在 7 月、9 月,10 月及 11 月出现,其中 10 月、11 月出现了瓜水母的爆发。在整个调查过程中,没有发现真正意义上的暖水种。

表 1 浮游动物种类组成

Tab.1 Species composition of zooplankton

A. 1959 年北黄海大面站位

门类	物种	月份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
原生动物门	夜光虫 *Noctiluca scintillans*								+				
毛颚动物门	强壮箭虫 *Sagitta crassa*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	百陶箭虫 *Sagitta bedoti*	+	+	+	+	+	+		+	+	+	+	+
	肥胖箭虫 *Sagitta enflata*										+	+	+
节肢动物门	洪氏纺锤水蚤 *Acartia hongi*			+			+			+			
	克氏纺锤水蚤 *Acartia omorii*			+		+	+						+
	太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*								+				
	毛虾 *Acetes chinensis*			+	+								
	腹针胸刺水蚤 *Centropages abdominalis*		+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	背针胸刺水蚤 *Centropages dorsispinatus*			+	+					+	+	+	+
	日本角剑水蚤 *Corycaeus japonicus*	+				+	+			+		+	+
	瘦尾胸刺水蚤 *Centropages tenuiremis*	+		+			+	+	+	+	+	+	+
	汤氏长足水蚤 *Calanopia thompsoni*				+		+	+	+	+	+	+	+
	中华哲水蚤 *Calanus sinicus*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	涟虫 Cumacea	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	太平洋磷虾 *Euphausia pacifica*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	钩虾 Gammarid	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	双刺唇角水蚤 *Labidocera bipinnata*						+	+	+	+	+	+	+
	真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	细螯虾 *Leptochela gracilis*	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+	+
	莹虾 Lucifer										+		+

续表 1

门类	物种	月份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	糠虾 Mysidacea	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	拟长腹剑水蚤 *Oithona similis*	+				+	+						+
	羽长腹剑水蚤 *Oithona plumifera*	+											
	小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus*						+			+			
	瘦尾筒角水蚤 *Pontellopsis tenuicauda*							+	+	+	+		+
	宽额假磷虾 *Pseudeuphausia latifrons*	+			+	+	+	+				+	+
	钳形歪水蚤 *Tortanus forcipatus*									+		+	+
	刺尾歪水蚤 *Tortanus spinicaudatus*							+	+		+	+	+
	细足法蜾 *Themisto gracilipes*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	介形虫 Ostracoda					+							
	双手水母 *Amphinema dinema*					+							
刺胞动物门	高手水母 *Bougainvillia*.sp							+	+	+	+	+	
	半球美螅水母 *Clytia hemisphaerica*						+	+	+	+	+	+	+
	双生水母 *Diphyes chamissonis*									+			
	耳状囊水母 *Euphysa aurata*		+			+	+		+			+	+
	四叶小舌水母 *Liriope tetraphylla*											+	+
	四手触丝水母 *Lovenella assimilis*										+	+	+
	五角水母 *Muggiaea atlantica*					+	+		+	+	+	+	+
	薮枝螅水母 Obelia						+				+		
	四辐枝管水母 *Proboscidactyla flavicirrat*	+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
	脆弱似杯水母 *Phialella fragilis*		+			+	+	+	+	+	+	+	+
	卡拟杯水母 *Phialella carolinae*				+								
	八斑芮氏水母 *Rathkea octopunctata*		+	+			+	+		+			
	嵊山秀氏水母 *Sugiura chengshanense*						+	+		+	+	+	
栉水母动物门	瓜水母 *Beroe cucumis*											+	
	球型侧腕水母 *Pleurobrachia globosa*										+		
软体动物门	乌贼 Sepioidea								+				
环节动物门	沙蚕 Nereis succinea								+				+
	多毛类 Polychaete										+		+
幼体类	阿利玛幼虫 Alima larvae						+	+	+	+			
	短尾类幼虫 Brachyura zoea larvae					+							
	鱼卵 Fish eggs	+	+			+	+	+	+	+	+		
	长尾类幼虫 Macrura larvae	+		+	+	+	+		+	+		+	+
	大眼幼体 Megalopa larvae					+	+					+	+
	无节幼体 Nauplius				+	+	+						+
	长腕幼体 Ophiopluteus larvae					+		+					
	住囊虫幼体 *Oikopleura longicauda* larvae					+							
	磁蟹蚤状幼虫 Porcellana zoea larvae			+		+	+	+	+	+	+		
	多毛类幼体 Polychaeta larvae			+	+	+	+		+	+			

B. 1959 年獐子岛海域

门类	物种	月份											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
毛颚动物门	强壮箭虫 *Sagitta crassa*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	百陶箭虫 *Sagitta bedoti*	+		+						+	+	+	
	肥胖箭虫 *Sagitta enflata*										+		+
节肢动物门	洪氏纺锤水蚤 *Acartia hongi*			+			+						
	克氏纺锤水蚤 *Acartia omorii*			+		+	+						
	中华哲水蚤 *Calanus sinicus*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	汤氏长足水蚤 *Calanopia thompsoni*				+				+	+	+		
	腹针胸刺水蚤 *Centropages abdominalis*			+	+	+	+	+	+	+			+
	瘦尾胸刺水蚤 *Centropages tenuiremis*								+	+	+		+
	日本角剑水蚤 *Corycaeus japonicus*					+	+						
	涟虫 Cumacea			+			+	+		+			
	太平洋磷虾 *Euphausia pacifica*	+	+		+		+	+	+	+	+	+	+
	钩虾 Gammarid	+	+	+	+		+	+	+	+	+		+
	双刺唇角水蚤 *Labidocera bipinnata*						+	+	+	+	+	+	
	真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*								+		+	+	+
	细螯虾 *Leptochela gracilis*						+	+		+	+		
	莹虾 Lucifer										+		+
	糠虾 Mysidacea								+	+	+		
	拟长腹剑水蚤 *Oithona similes*					+	+						
	瘦尾简角水蚤 *Pontellopsis tenuicauda*									+		+	
	宽额假磷虾 *Pseudeuphausia latifrons*								+				
	刺尾歪水蚤 *Tortanus spinicaudatus*								+				
	细足法蜾 *Themisto gracilipes*	+	+	+	+		+	+	+	+	+	+	+
刺胞动物门	高手水母 *Bougainvillia*.sp								+	+			
	半球美螅水母 *Clytia hemisphaerica*						+		+	+		+	
	耳状囊水母 *Euphysa aurata*		+										
	五角水母 *Muggiaea atlantica*									+	+		
栉水母门	脆弱似杯水母 *Phialella fragilis*						+		+	+	+		
	四辐枝管水母 *Proboscidactyla flavicirrata*									+	+	+	
	球型侧腕水母 *Pleurobrachia globosa*										+		
幼虫类	阿利玛幼虫 Alima larva								+	+			
	短尾类幼虫 Brachyura megalopa larva												
	部分仔鱼,鱼卵 Fish eggs						+						
	长尾类幼虫 Macrura larva			+	+		+		+	+		+	
	长腕类幼体 Ophiopluteus larvae					+							
	磁蟹蚤状幼虫 Porcellana zoea larva			+		+							

C. 2009－2010 年獐子岛海域

门类	物种	月份									
		7	8	9	10	11	12	2	3	4	6
原生动物门	夜光虫 *Noctiluca scintillans*				+	+			+	+	+
毛颚动物门	强壮箭虫 *Sagitta crassa*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	百陶箭虫 *Sagitta bedoti*					+					
	肥胖箭虫 *Sagitta enflata*					+		+			
节肢动物门	沃氏纺锤水蚤 *Acartia omorri*						+	+	+	+	+
	太平洋纺锤水蚤 *Acartia pacifica*	+	+	+			+	+			
	长额刺糠虾 *Acanthomys longirostris*							+		+	+
	中华哲水蚤 *Calanus sinicus*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	腹针胸刺水蚤 *Centropages abdominalis*	+					+	+			
	近缘大眼水蚤剑水蚤 *Corycaeus affinis*	+	+	+	+	+	+				
	太平洋磷虾 *Euphausia pacifica*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	太平洋真宽水蚤 *Eurytemora pacific*					+					
	猛水蚤 Harpacticoid			+	+	+	+		+	+	+
	双刺唇角水蚤 *Labidocera bipinnata*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
	真刺唇角水蚤 *Labidocera euchaeta*	+	+	+	+		+				
	中型莹虾 *Lucifer intermedius*				+						
	亨生莹虾 *Lucifer hanseni*				+						
	拟长腹剑水蚤 *Oithona similis*				+		+		+	+	+
	小拟哲水蚤 *Paracalanus parvus*	+	+	+	+	+	+	+	+		
	瘦尾筒角水蚤 *Pontellopsis tenuicauda*			+	+		+			+	
	鸟喙尖头溞 *Penetia avirostris*	+	+	+	+						
	肥胖三角溞 *Pseudevadne tergestina*	+	+	+							
	细足法蜮 *Themisto gracilipes*	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
刺胞动物门	双枝薮枝螅 *Obelia bidentata*					+					
	四辐枝管水母 *Proboscidactyla flavicirrat*	+		+	+	+					
栉水母动物门	瓜水母 *Beroe cucumis*				+	+					
	球型侧腕水母 *Pleurobrachia globosa*					+					
半索动物门	小齿海鳟 *Doliolum denticulatum*				+						
	梭形纽鳃樽 *Salpa fusiformis*				+						
幼体类	阿利玛幼虫 Alima larva	+	+	+	+						
	海星幼体 Asteroidea larva						+				
	短尾类幼虫 Brachyura megalopa larva	+	+	+	+	+	+			+	+
	仔鱼,鱼卵 fish egg	+	+	+	+	+		+			
	长尾类幼虫 Macrura larva	+	+								
	海蛇尾长腕类幼体 Ophiopluteus larvae									+	
	磁蟹蚤状幼虫 Porcellana zoea larva	+	+	+							

3.2 浮游动物优势种

中华哲水蚤和强壮箭虫是海洋普查北黄海大面站位中全年的优势种(2A)。中华哲水蚤的优势度在7月份最高(0.67),在其余月份较为平均(0.26～0.47)。强壮箭虫的优势度最高出现在1月(0.66),2月份(0.64)和11月份(0.60)优势度值也较高,在其他月份优势度值在0.15～0.55。细足法蜮除2月、9—11月外为优势种,最高值出现在5月和7月值为0.06,整体优势度较低,其余月份优势度值范围为0.02～0.04。腹针胸刺水蚤作为优势种,主要出现在春夏季(3—7月),优势度最高值(0.12)出现在5月,其他月份优势度范围为0.02～0.11;双刺唇角水蚤(*Labidocera bipinnata*)作为优势种只出现在9月,优势度为0.05。

如表2B,中华哲水蚤和强壮箭虫在海洋普查过程对应的獐子岛站位中也是全年的优势种,中华哲水蚤的优势度(0.71)在7月份最高,仅4月和9月优势度在0.3以下,强壮箭虫优势度在1月、2月较高,分别达到了0.70和0.64,细足法蜮除1月、2月、9月外,其余月份均作为优势种出现,腹针胸刺水蚤作为优势种,主要出现在春夏季(3—7月),优势度最高(0.40)出现在4月,太平洋磷虾为4月、12月的优势种,双刺唇角水蚤、沃氏纺锤水蚤(*Acartia omorii*)、拟长腹剑水蚤(*Oithona similis*)、长尾类幼体只在个别月份作为优势种出现,五角水母为9月份优势种。

在2009年獐子岛海域附近站位的调查中,中华哲水蚤和强壮箭虫是海域全年的优势种,如表2C。中华哲水蚤的优势度在6月、7月、8月的时候分别达到了0.93、0.86、0.70。强壮箭虫的优势度次之,在10月和11月的时候优势度分别为0.52和0.42。细足法蜮是冬春季的优势种,优势度最高达到0.26,双刺唇角水蚤、沃氏纺锤水蚤、夜光虫、长腕类幼体是春季的优势种,它们的优势度最高分别达到了0.06、0.07、0.03和0.23。鸟喙尖头溞较偏好低盐的环境,作为优势种主要出现在受冲淡水影响后的9月,优势度为0.02。

表2 浮游动物优势种及其优势度

Tab.2 Dominant zooplankton species and dominance

A. 1959年北黄海海域

物种	1959											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
中华哲水蚤	0.26	0.27	0.37	0.31	0.32	0.47	0.67	0.35	0.31	0.36	0.34	0.33
强壮箭虫	0.66	0.64	0.55	0.50	0.40	0.28	0.15	0.48	0.47	0.54	0.60	0.33
细足法蜮	0.02		0.03	0.03	0.06	0.05	0.06	0.04				0.02
腹针胸刺水蚤			0.02	0.11	0.12	0.11	0.05					
双刺唇角水蚤									0.05			

B. 1959年獐子岛海域

物种	1959											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
中华哲水蚤	0.30	0.34	0.48	0.29	0.35	0.36	0.71	0.35	0.24	0.47	0.45	0.35
强壮箭虫	0.70	0.64	0.44	0.12	0.27	0.27	0.08	0.46	0.39	0.45	0.50	0.52
细足法蜮			0.02	0.03	0.03	0.08	0.05	0.08		0.03	0.03	0.02
腹针胸刺水蚤			0.05	0.40	0.26	0.17	0.12					
太平洋磷虾				0.15								0.09
双刺唇角水蚤								0.02	0.12			
沃氏纺锤水蚤					0.03							
拟长腹剑水蚤						0.05						
长尾类幼体								0.04	0.14			
五角水母									0.03			

C. 2009—2010 年獐子岛海域

物种	2009 年						2010			
	7 月	8 月	9 月	10 月	11 月	12 月	2 月	3 月	4 月	6 月
中华哲水蚤	0.86	0.70	0.64	0.35	0.34	0.59	0.58	0.58	0.29	0.93
强壮箭虫	0.10	0.24	0.26	0.52	0.42	0.34	0.37	0.24	0.19	0.03
鸟喙尖头溞			0.02							
细足法蜾						0.04	0.03	0.03	0.26	
双刺唇角水蚤								0.03	0.06	0.02
沃氏纺锤水蚤								0.07	0.07	
长腕类幼体									0.23	
夜光虫									0.03	

3.3　浮游动物丰度周年变化

海洋普查期间大面站位的浮游动物丰度在 12 月份丰度最高(134.95 ind/m^3)(图 2),5 月份丰度(60.18 ind/m^3)最低。浮游动物丰度在 8－12 月期间,值在 100 ind/m^3 以上,从 1－7 月,浮游动物丰度低于 100 ind/m^3,范围在 60.18～96.10 ind/m^3 之间,浮游动物全年平均丰度为 94.58 ind/m^3。

海洋普查期间獐子岛海域浮游动物丰度呈双周期波动,主高峰值出现在 9 月,丰度为 167.2 ind/m^3,次高峰值出现在 1 月,丰度为 140.4 ind/m^3,浮游动物丰度全年平均值为 78.9 ind/m^3,全年最低值出现在 5 月,其值为 56.0 ind/m^3。

2009 年獐子岛海域浮游动物丰度呈现双周期波动,浮游动物丰度主峰值出现在 6 月,丰度值为 531.6 ind/m^3,次高峰出现在 7 月与 12 月,其值分别为 142.1 ind/m^3 和 133.1 ind/m^3,这与优势种中华哲水蚤和强壮箭虫在全年的丰度高峰值的分布一致。浮游动物丰度的最低值(38.19 ind/m^3)均出现 8 月,浮游动物丰度年平均值为 131.3 ind/m^3。

3.4　浮游动物多样性指数

海洋普查期间,无论在北黄海大面站位还是与獐子岛海域相对应的区域,均呈现多样性指数(H')和均匀度指数(J')趋势一致,种类数量(S)和丰富度指数(D)一致的趋势。在大面站位(图 3a),浮游动物种类数在 6 月、9 月、12 月为 36 种,种类数最多,在冬季 2 月种类数最少为 17 种,多样性指数和均匀度指数在 5 月份值最高,分别为 1.19 和 0.60,多样性指数在 2 月份最低,值为 0.78,均匀度指数在 1 月份最低,值

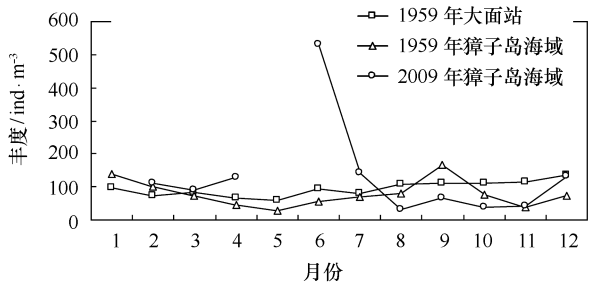


图 2　北黄海及獐子岛海域浮游动物丰度年际变化

Fig.2　Interannual variations of zooplankton abundance in North Yellow Sea and Zhangzi Island

为 0.42,丰富度指数在 9 月值最高,为 1.18,冬季 2 月份值最低为 0.66。

由于獐子岛附近站位较少,所以浮游动物种类数不高,生物多样性也相应的不高,浮游动物在 9 月份种类最多(图 3b),为 21 种,冬季 1、2 月份种类最少,仅有 6 种,这与站位较少有很大关系。浮游动物生物多样性指数,6 月最高,为 1.55,丰富度指数 10 月最高为 1.49,均匀度指数较为平均,全年在 0.42～0.82 波动,这主要与北黄海区域浮游动物种类较单一有关。

在獐子岛海域 2009－2010 年的调查中(图 3c),年平均多样性指数为 1.39,丰富度指数为 0.95,均匀度指数为 0.49,呈现多样性指数、均匀度分布趋势一致,种类数量和丰富度一致的趋势,全年 10 月份种类数最多,丰富度指数最高为 1.56,多样性指数和均匀性指数最高值出现在 4 月,分别为 1.81 和 0.67。

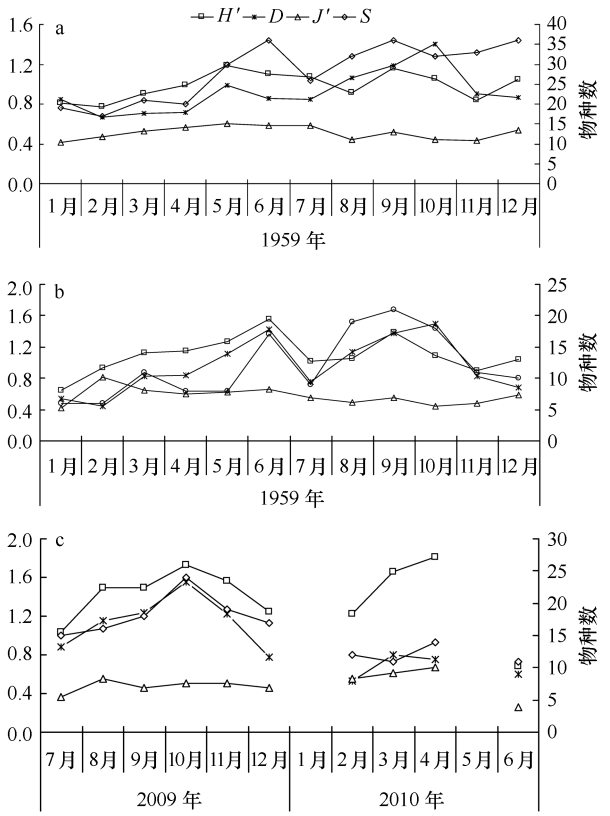


图 3 浮游动物多样性周年变化

Fig.3 Annual variations of zooplankton diversity

a.1959 年北黄海海域，b.1959 年獐子岛海域，c.2009－2010 年獐子岛海域

a.North Yellow Sea in 1959, b. Zhangzi Island area in 1959, c. Zhangzi Island area from 2009 to 2010

4 讨论

4.1 浮游动物组成的年际变化

由于 1959 年海洋普查调查中有很多浮游动物种类并没有具体到种，且为周年调查，不方便与季度调查进行细致的比较，并且这种季度调查的年间变化已有学者总结过[15]，我们主要比较北黄海区域在从 1959 年到 2009 年在獐子岛海域浮游动物的时间方面的变化，以及獐子岛海域与整个北黄海区域的浮游动物优势种种类和丰度在空间上的区别。

在以往的关于北黄海季度月调查的研究中，2006－2007 年调查的站位较多与 1959 年大体相似，调查中北黄海的浮游动物被划成 4 个类群，主要包括(Ⅰ)半咸水河口群落，(Ⅱ)辽宁近岸低盐群落，(Ⅲ) 黄海冷水团群落，(Ⅳ)山东半岛近岸群落[8－9]。而在北黄海海洋普查的浮游动物种类也大致分属于这 4 个群落。2009 年，在獐子岛海域设置了 13 个站位，站位数和覆盖面积较小，浮游动物种类数也相对较少，但浮游动物种类分别分属于这 4 个群落(表 1C)，例如中华哲水蚤、细足法蜥等在 7－8 月黄海冷水团丰度较高的种类属于种群Ⅲ，鸟喙尖头溞(*Penetia avirostris*)、肥胖三角溞(*Pseudevadne tergestina*)等低盐类群属于种群Ⅰ，沃氏纺锤水蚤、拟长腹剑水蚤主要在春季出现，他们属于群落Ⅱ，所以在浮游动物组成方面，浮游动物种群和种类总数大体上没有变化。

海洋普查时期，对应獐子岛海域浮游动物共 31 种，2009 年浮游动物共 29 种，而且在种类组成方面，均是桡足类占绝对优势，分别占了种类总数的 38.7% 和 30.6%。在 1959 年普查期间，枝角类在獐子岛海域内的站位没有出现，水母出现的种类较为多样化，包括半球美螅水母、脆弱似杯水母、五角水母、耳状囊水母(*Euphysa aurata*)，而在 2009 年调查中，在受冲淡水影响的月份内，出现了两种枝角类(鸟喙尖头溞、肥胖三角溞)，水母爆发月份，水母种类单一化，仅包括瓜水母(*Beroe cucumis*)和球型侧腕水母(*Pleurobrachia globosa*)，可见獐子岛海域浮游动物的主要类群并未发生较大变化。

4.2 浮游动物优势种的年际变化

在优势种组成方面，中华哲水蚤和强壮箭虫一直都是獐子岛海域以及整个北黄海全年的优势种[9－12]，中华哲水蚤在这两年均是在夏季 6、7 月的时候优势度值较高(图 4a)，全年优势度值平均值 2009－2010 年相对较高；强壮箭虫在这两年中冬季(12 月、1 月)丰度值较高，全年优势度平均值 1959 年相对较高。细足法蜥一直作为该海域冬春季优势种出现；在 1959 年海洋普查期间，獐子岛海域太平洋磷虾全年大部分月份均有出现，并为 4 月和 12 月的优势种，而 2009 年在獐子岛海域，太平洋磷虾虽然全年均有出现，但是从未作为优势种出现；1959 年，腹针胸刺水蚤在海洋普查期间是春夏季的优势种，而在 2009 年这种优势种的地位已被沃氏纺锤水蚤取代。

4.3 浮游动物丰度的年际变化

1959 年海洋普查北黄海大面站位浮游动物丰度，1－7 月较低，8 月－12 月较高，而具体到獐子岛海域，在 1959 年与 2009 年浮游动物丰度均呈现双周期波动，高峰均出现在夏季和冬季(图 2)。北黄海大面站位，獐子岛海域 1959 年及 2009 年浮游动物的平均丰度分别为 94.58 ind/m^3、78.90 ind/m^3 和 131.26 ind/m^3。虽然獐子岛海域浮游动物丰度在 1959 年和 2009 年均呈现双周期波动，但是在时间上獐子岛海

域浮游动物的丰度是增加的,1959 年獐子岛海域浮游动物丰度最高值为 167.2 ind/m^3,而 2009 年獐子岛海域浮游动物丰度最高值为 531.63 ind/m^3,丰度增幅较大。在空间上,相对于整个北黄海,2009 年獐子岛海域的丰度也是偏高的,1959 年北黄海大面站位的浮游动物丰度最高值仅 134.95 ind/m^3。

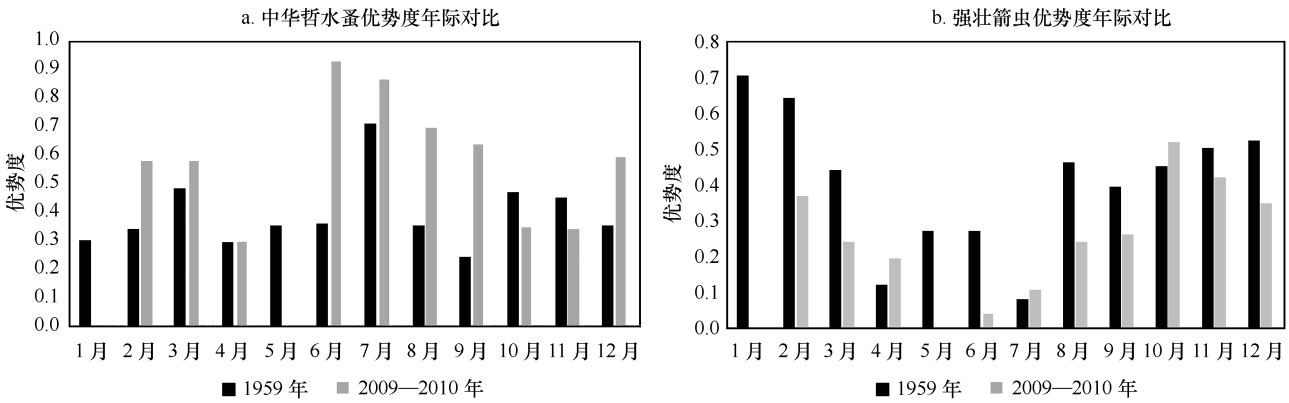


图 4　优势种优势度年际变化

Fig.4　Interannual varitions of dominant species dominance

4.4　浮游动物多样性的年际变化

在浮游动物多样性方面,无论是海洋普查北黄海大面站位还是獐子岛海域在 1959 年与 2009 年的调查,浮游动物种类数均是在夏秋季高于冬春季(图 3),黄海冷水团的存在以及夏季径流的增加,使得环境因子(温度、盐度)变化更加多样化,增加了浮游动物的种类数,而随着秋季黄海冷水团的逐渐减弱,一些暖水种进入海域,使得生物多样性得以提高。1959 年獐子岛海域浮游动物的生物多样性指数周年平均值为 1.09,最高出现在 6 月,2009 年平均值为 1.35,最高值出现在 4 月,整体上獐子岛海域的生物多样性指数有所升高。

参考文献:

[1]　鲍献文, 李娜, 姚志刚, 等. 北黄海温盐分布季节变化特征分析[J]. 中国海洋大学学报, 2009, 39(4): 553－562.
Bao Xianwen, Li Na, Yao Zhigang, et al. Seasonal variation characteristics of temperature and salinity of the North Yellow Sea[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(4): 553－562.

[2]　张继红, 方建光, 王诗欢. 大连獐子岛海域虾夷扇贝养殖容量[J]. 水产学报, 2008, 32(2): 236－241.
Zhang Jihong, Fang Jianguang, Wang Shihuan. Carrying capacity for *Patinopecten yessoensis* in Zhang Zidao Island, China[J]. Journal of Fisheries of China, 2008, 32(2): 236－241.

[3]　程家骅, 李圣法, 丁峰元, 等. 东、黄海大型水母暴发现象及其可能成因浅析[J]. 现代渔业信息, 2004, 19(5): 10－12.
Cheng Jiahua, Li Shengfa, Ding Fengyuan, et al. Primary analysis on the jellyfish blooms and its cause in the East China Sea and the Yellow Sea [J]. Modern Fisheries Information, 2004, 19(5): 10－12.

[4]　郑重, 李少菁, 许振祖. 海洋浮游生物学[M]. 北京: 海洋出版社, 1984.
Zheng Zhong, Li Shaojing, Xu Zhenzu. Mairine Zooplankton Biology[M]. Beijing: China Ocean Press, 1984.

[5]　郑重, 郑执中, 王荣, 等. 烟、威鲐鱼渔場及邻近水域浮游动物生态的初步研究[J]. 海洋与湖沼, 1965, 7(4): 329－354.
Zheng Zhong, Zheng Zhizhong, Wang Rong, et al. Ecological investigations on the zooplankton of the mackerel fishing ground off Yantai－Weihai and adjacent waters[J]. Oceanologia et Limnologia Sinica, 1965, 7(4): 329－354.

[6]　王真良, 刘晓丹. 北黄海浮游动物昼夜垂直移动的初步研究[J]. 黄渤海海洋, 1989, 7(4): 50－54.
Wang Zhenliang, Liu Xiaodan. A preliminary research on diel vertical migration of zooplankton in North Huanghai Sea (Yellow Sea)[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1989, 7(4): 50－54.

[7]　王真良. 大连湾水域桡足类的分布[J]. 黄渤海海洋, 1995, 13(1): 47－54.
Wang Zhenliang. Distribution of pelagic copepods in Dalian Bay[J]. Journal of Oceanography of Huanghai & Bohai Seas, 1995, 13(1): 47－54.

[8]　王真良. 小长山岛周围海域浮游动物群落结构的初步研究[J]. 大连水产学院学报, 2003, 18(4): 296－300.
Wang Zhenliang. Preliminary studies on zooplankton community in waters around Xiao Changshan Island[J]. Journal of Dalian Fisheries University, 2003, 18(4): 296－300.

[9] 朱延忠. 夏、冬季北黄海大中型浮游动物群落生态学研究[D]. 青岛：中国海洋大学，2008.
Zhu Yanzhong. Study on the macro-zooplankton and meso-zooplankton community ecology in the North Yellow Sea in summer and winter[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2008.
[10] 姜强. 春、秋季北黄海大中型浮游动物群落生态学研究[D]. 青岛：中国海洋大学，2010.
Jiang Qiang. Study on the macro-zooplankton and meso-zooplankton community ecology in the North Yellow Sea in spring and autumn[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2010.
[11] 杨青，王真良，樊景凤，等. 北黄海秋、冬季浮游动物多样性及年间变化[J]. 生态学报，2012，32(21)：6747－6754.
Yang Qing, Wang Zhenliang, Fan Jingfeng, et al. Zooplankton diversity and its variation in the Northern Yellow Sea in the autumn and winter of 1959, 1982 and 2009[J]. Acta Ecologica Sinica, 2012, 32(21): 6747－6754.
[12] 邹艺伟，杨青，李全宝，等. 北黄海浮游动物群落结构及年间比较[J]. 海洋环境科学，2013，32(5)：683－687.
Zou Yiwei, Yang Qing, Li Quanbao, et al. Community structure and variation of zooplankton in the Northern Yellow Sea[J]. Marine Environmental Science, 2013, 32(5): 683－687.
[13] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana, IL: The University of Illinois Press, 1949: 125.
[14] 孙儒泳. 动物生态学原理[M]. 2 版. 北京：北京师范大学出版社，1992：356－357.
Sun Ruyong. The Principle of Animals Ecology[M]. 2nd ed. Beijing: Beijing Normal University Press, 1992: 356－357.
[15] Yin Jiehui, Zhang Guangtao, Li Chaolun, et al. Community composition, abundance and biomass of zooplankton in Zhangzi Island waters, Northern Yellow Sea[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2016, doi: 10.1007/s00343-017-6135-0. (in Press)

Interannual variations of zooplankton in Zhangzi Island, North Yellow Sea

Yin Jiehui[1], Zhang Guangtao[2], Li Chaolun[3], Wang Shiwei[2], Wan Aiyong[2]

(1. *Ocean College, Yantai University, Yantai* 264005, *China*; 2. *Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Qingdao* 266071, *China*; 3. *Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao* 266071, *China*)

Abstract: The annual zooplankton data for large areas in the Northern Yellow Sea during the marine census period (1959.1－1959.12) was analyzed in comparison to the annual zooplankton data around Zhangzi Island of the year 2009 in the aspects of species composition, dominant species, biological abundance and biodiversity. The results showed that zooplankton community around Zhangzi Island of North Yellow Sea did not exhibit significant changes. *Calanus sinicus* and *Saggita crassa* were observed as firmly dominant species. *Themisto gracilipes* was collected constantly each month, but it was dominant only in the winter and spring. In 2009, *Euphausia pacifica* was sampled in each month, but did not appear as dominant species; however, in 1959, it was observed as the dominant species in April and November. The dominant position of *Centropages abdominalis* in 1959 was replaced by *Acartia omorii* in 2009 in the spring and summer. The average abundance of zooplankton increased from 78.90 ind/m^3 to 131.26 ind/m^3 from 1959 to 2009; the biodiversity index (H') was higher both in the summer and autumn than in the spring and winter in these two years, and the average biodiversity index value also increased.

Key words: zooplankton; dominant species; abundance; biodiversity; Zhangzi Island