

秦皇岛海域浮游植物的群落结构特征

于海洋, 崔磊, 潘霖, 刘丰华, 岑竞仪, 吕颂辉

(暨南大学 赤潮与海洋生物学研究中心, 广东 广州 510632)

摘要: 2014年4~9月对秦皇岛海域进行了调查, 共鉴定出浮游植物3门33属70种, 以硅藻门为主, 7、8月份浮游植物种类数最多, 约40种。在整个调查期间, 浮游植物丰度在不同站位和月份之间差异较大, 平均值为 2.42×10^8 个/ m^3 , 浮游植物优势种有北方委氏藻、尖刺拟菱形藻、丹麦细柱藻、微小原甲藻等, 优势种种类数9月最多, 6月最少。浮游植物多样性指数为1.27~3.6, 均匀度为0.31~0.73, 6月份群落结构较单一, 其他月份群落结构较稳定。

关键词: 浮游植物; 秦皇岛; 种类组成; 生物多样性

中图分类号: Q178.53 文献标识码: A 文章编号: 1000-3096(2016)05-0066-10
doi: 10.11759/hyxx 20151203002

浮游植物是海洋生态系统中的初级生产者, 在能量流动和物质循环过程中起着重要作用, 其通过光合作用制造有机物, 成为食物链的第一环节, 浮游植物种类和数量的变化不仅可以影响到其他海洋生物的生存, 还会影响到整个海洋生态系统的平衡^[1]。当海水环境发生变化时, 藻类种类和数量也会灵敏地发生相应的改变, 因此浮游植物的群落结构变化特征在某种程度上可以反映出海区生态环境的基本情况^[2]。

秦皇岛地处河北省东北部, 沿岸有洋河、戴河、新河和新开河等河流的入海口。随着近年经济和社会的高速发展, 入海河流携带越来越多的陆源污染物进入大海, 秦皇岛海域污染日益严重, 海区生态环境日益恶化, 造成赤潮频发, 严重影响了当地渔业和旅游业的发展。据统计, 2013年秦皇岛海域共发生了5次赤潮, 累计受灾面积达到39.06 km²^[3]。

虽然2014年以前, 对秦皇岛海域浮游植物群落结构特征的研究已有报道^[4-7], 但对2014年夏季该海域的浮游植物调查情况尚无公开资料。本文根据2014年4~9月对秦皇岛海域沿岸的浮游植物调查, 对浮游植物的种类组成、细胞丰度、优势种的分布及其变化、多样性指数和物种均匀度等进行了分析, 以期为进一步研究该海域浮游生物群落状况和预防赤潮发生提供依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间和采样站位的设置

2014年4~9月, 每月1次对秦皇岛海域(39.7°~

39.9°N, 119.4°~119.8°E)进行现场采集浮游植物样品。如图1所示, 调查分别在新开河口、新河口、戴河口和洋河口各设1个断面, 每个断面5个采样站位, 共布设20个采样点, 每个断面由大陆向外海延伸10 n mile。

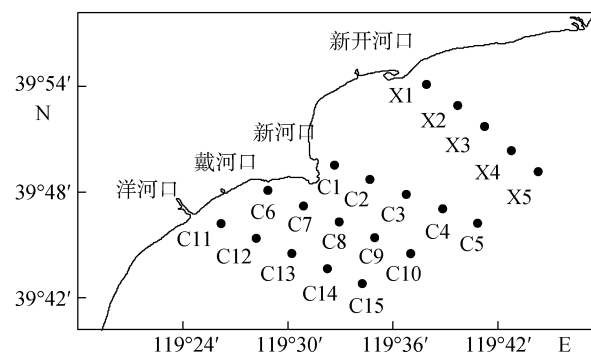


图1 秦皇岛海域采样站位分布

Fig. 1 Sampling stations in Qinhuangdao coastal waters

1.2 温度和盐度的测定方法

用“多参数水质分析仪”(YSI6600)在出海现场测定水体温度(T)和盐度(S), 采用标准 GB17378.4。每到一个采样点, 用绳子捆绑水质分析仪, 将其下沉海水里, 在不同水深记录对应的盐度值和温度值,

收稿日期: 2015-12-24; 修回日期: 2016-02-02

基金项目: 国家海洋公益性行业科研专项项目(201305003)

[Foundation: National public marine scientific research projects, No.201305003]

作者简介: 于海洋(1990-), 男, 山东济宁人, 硕士研究生, 研究方向: 海洋环境与赤潮, 电话: 18819432425, E-mail: yuhuyang@foxmail.com; 吕颂辉, 通信作者, E-mail: lusonghui1963@163.com

以距海底 1m 深时的数据作为该采样点底层水的温盐值,以距海水表面 1m 深时的数据作为该采样点表层水的温盐值。

1.3 样品采集和处理

用体积为 5 L 的有机玻璃采水器,在每个站位取表层水和底层水各 1 L,分别装进容积为 1 L 的聚乙烯塑料瓶中,其中表层水是离海水表面 1 m 深的海水,底层水是离海底 1 m 深的海水。现场加鲁哥氏液 10 mL 于每个装海水的塑料瓶当中,摇晃均匀,带回实验室。采集的样品静置 24 h 后用虹吸管将上层清液吸掉,保留下层藻液,浓缩至 15 mL。静置时用锡箔纸将量筒口包住,以防鲁哥氏液挥发和空气中杂质进入样品中。

1.4 样品计数和分类鉴定

取 0.1 mL 样品于浮游植物计数板上,在光学显微镜下进行计数和种类鉴定。计数时,根据 0.1 mL 样品中每一种类的数量,按比例计算出每升海水中的浮游植物数量。根据相关文献^[8-12]对浮游植物种类进行鉴定。

1.5 多样性、均匀度和优势度的计算

利用 Shannon-Wiener 多样性指数^[13]对浮游植物的多样性进行分析,其公式为:

$$H' = -\sum_{i=1}^s P_i \log_2 P_i \quad (P_i = N_i/N)$$

Pielou 均匀度公式^[14]: $J = H'/\log_2 S$

Mcnaughton 优势度指数^[15]: $Y = f_i \times P$

式中, N_i 是第 i 种在样品中的个体数量, N 为样品中所有种类个体总数; $P_i = N_i/N$ 为第 i 种在样品中的数量比例; S 是总种类数; f_i 表示该种在所有样品中出现的频率。若 $Y > 0.02$, 则认为该物种是优势种。浮游植物的多样性指数和均匀度是反映一个生物群落生态结构特征的指标,为研究该海域浮游植物群落动态提供依据。

2 结果与分析

2.1 海水温盐变化特征

2014 年 4~9 月秦皇岛海域水温和盐度的平均值的月际变化如图 2 所示。调查期间,该海域海水温度变化较大,最低的是 4 月份的 11.7°C,最高的是 8 月份的 24.5°C,4~8 月海水温度逐月上升,直到 9 月份有略微下降。而随着时间推移,海水盐度变化不明显,基本维

持在 29 左右(图 2)。海水盐度的影响因子主要有降水、蒸发和河川径流,受温度影响不大,稳定性较高^[16]。

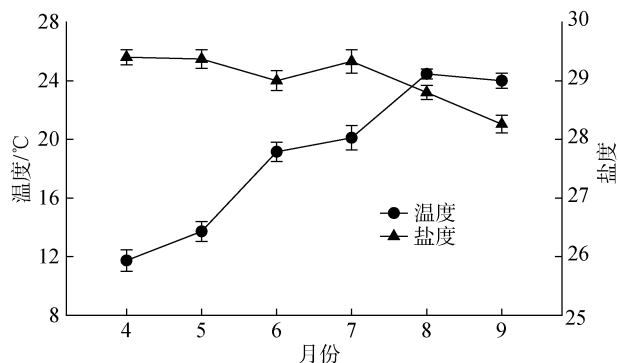


图 2 秦皇岛海域温度和盐度月际变化

Fig. 2 Intermontly variation of temperature and salinity in the Qinhuangdao coastal area

2.2 浮游植物种类组成及其月际变化

2.2.1 浮游植物种类组成

经鉴定,秦皇岛沿岸海域共有浮游植物 3 门 33 属 70 种,大部分属广温性物种。其中,硅藻门种类数最多,有 23 属 43 种;其次是甲藻门,共有 9 属 25 种;种类数最少的是金藻门,共鉴定出 1 属 2 种。

硅藻门中,又以角毛藻属的种类最多,共 10 种,常见的种类有柔弱角毛藻(*Chaetoceros debilis*)、冕孢角毛藻(*Chaetoceros subsecundus*)等;其次以根管藻属和菱形藻属居多,常见的种类有尖刺拟菱形藻(*Nitzschia pungens*)、柔弱根管藻(*Rhizosolenia delicatula*)、中华根管藻(*Rhizosolenia sinensis*)等。在甲藻门中,种类最多的是多甲藻属,其次是原甲藻属、裸甲藻属和角藻属,常见的种类有二次原多甲藻(*Peridinium bipes*)、反曲原甲藻(*Prorocentrum sigmodes*)、海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)、叉状角藻(*Ceratium furca*)等。本次鉴定中,金藻门仅有 2 种,分别是六异刺硅鞭藻(*Distephanus speculum*)和小等刺硅鞭藻(*Dictyocha fibula*),都属于硅鞭藻属。所有浮游植物种类和航次分布见表 1。

2.2.2 月际变化

如图 3 所示,表层水中,4、5、6 月 3 个月份的浮游植物种类数基本持平且维持在较低的水平,从 7 月份开始种类数大幅增长,达到 44 种,8 月和 9 月虽有下降但是幅度不是太大,远高于 4~6 月的水平。从 3 个门的组成分布上看,硅藻门的种类数目占到了一半以上,其次是甲藻门,金藻门种类仅在 6、7 月份有少量出现。

表 1 秦皇岛海域各调查区域浮游植物种类组成

Tab. 1 Species composition of phytoplankton in the survey area of the Qinhuangdao coastal waters

种类	4月		5月		6月		7月		8月		9月	
	表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层
硅藻门	Bacillariophyta											
薄壁几内亚藻							+		+	+	+	
北方娄氏藻	+	+	+	+			+	+	+	+	+	+
笔尖型根管藻							+		+		+	
冰河星杆藻							+	+				
并基角毛藻								+	+	+	+	+
布氏双尾藻	+	+							+	+		
布纹藻			+				+		+		+	+
丹麦细柱藻							+	+	+	+	+	+
短角弯角藻							+	+	+	+	+	+
短楔形藻							+			+		+
范氏角毛藻							+			+	+	
蜂腰双壁藻	+	+	+	+			+	+		+		
佛氏海毛藻							+	+		+	+	+
刚毛根管藻											+	+
圆海链藻	+	+								+		+
尖刺拟菱形藻							+	+	+	+	+	+
具槽帕拉藻							+					
菱形海线藻								+		+	+	
罗氏角毛藻							+		+			
洛氏角毛藻									+	+	+	
洛氏菱形藻								+		+		
冕孢角毛藻							+	+	+	+	+	+
拟菱形藻							+				+	
柔弱根管藻											+	
聚生角毛藻							+	+	+			+
柔弱角毛藻			+				+	+	+	+	+	+
双孢角毛藻							+			+		
斯氏根管藻				+	+	+	+			+	+	
塔形冠盖藻							+					
透明辐杆藻								+	+	+	+	
微小细柱藻						+	+	+	+		+	
斜纹藻			+	+	+	+					+	
新月菱形藻	+	+	+	+	+	+	+			+	+	+
旋链角毛藻							+	+	+	+	+	
圆筛藻									+	+	+	+
窄隙角毛藻								+	+	+	+	
长海毛藻							+				+	
长角弯角藻							+	+			+	+
长菱形藻	+	+		+			+			+		
中华根管藻				+		+	+				+	
中华盒形藻							+	+	+	+	+	+
中肋骨条藻	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+

续表

种类	4月		5月		6月		7月		8月		9月	
	表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层	表层	底层
硅藻门	Bacillariophyta											
舟形藻			+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
甲藻门	Pyrrophyta											
春膝沟藻							+		+			
倒卵形鳍藻	+	+	+	+	+	+						
多纹膝沟藻			+		+	+			+			
二刺原多甲藻	+	+	+	+			+	+		+		+
反曲原甲藻		+			+		+	+	+	+	+	
海洋原甲藻							+	+	+	+	+	
具刺膝沟藻											+	
剧毒卡尔藻								+				
里昂原多甲藻											+	
链状裸甲藻											+	
裸甲藻	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+
歧散原多甲藻										+		
梭角藻										+		+
锥形原多甲藻		+					+				+	
塔玛亚历山大藻										+	+	
下沟藻								+			+	
血红哈卡藻										+		
夜光藻	+	+	+	+	+	+	+		+			+
锥状斯氏藻				+	+	+	+					
透明原多甲藻	+	+	+									
微小原甲藻					+	+	+	+	+	+	+	+
五角原多甲藻										+	+	
三角角藻									+	+	+	+
叉状角藻								+		+	+	+
大角角藻												+
金藻门	Chrysophyta											
六异刺硅鞭藻								+				
小等刺硅鞭藻				+	+	+	+					

注：“+”表示物种在该月和该水层有出现

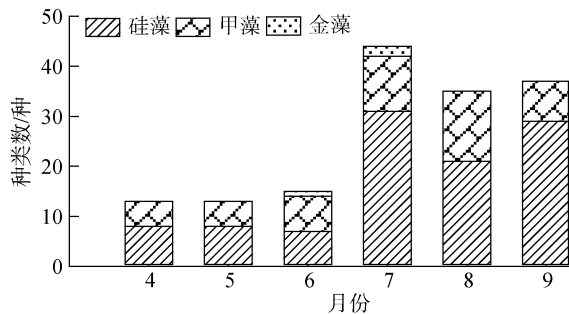


图3 表层水浮游植物种类数目月际变化

Fig. 3 Intermonthly variation in the number of phytoplankton species in the surface water

如图4所示，底层水中，从4月开始随着时间推移，浮游植物种类数目缓慢下降，进入7月份以后逐渐增多，在8月份达到种类数目最大值42种，后在9月份有一定幅度降低，4、5、6月3个月份的浮游植物种类数要低于7、8、9月3个月份的种类数。从3个门的组成分布上看，同样以硅藻种类居多，其次是甲藻，最少的是金藻。

2.3 浮游植物的丰度及其月际变化

2.3.1 浮游植物丰度的平面分布

2014年4~9月，浮游植物丰度的平均值为 $2.42 \times$

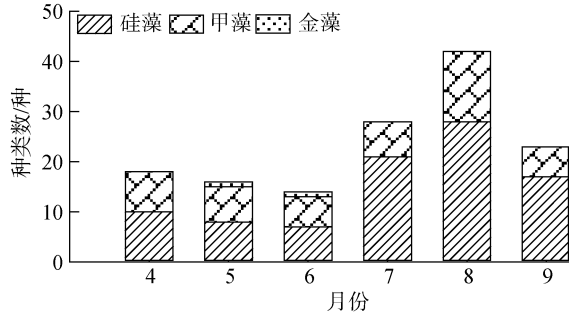


图 4 底层水浮游植物种类数目际变化

Fig. 4 Intermonthly variation in the number of phytoplankton species in the bottom water

10^8 个/ m^3 ，其中表层水为 2.65×10^8 个/ m^3 ，底层水为 2.2×10^8 个/ m^3 。浮游植物丰度的最大值出现在 7 月份 C6 站位的表层水，达到 1.71×10^9 个/ m^3 ；最小值出现在 5 月份 C1 站位的表层水，丰度仅为 5.65×10^5 个/ m^3 。浮游植物的丰度值不同月份和站位之间差别很大。

浮游植物丰度的平面分布大致呈现出从大陆到外海逐渐减少的趋势，但 5 月份的丰度平面分布这一规律则不太明显。同一月份的表、底层水浮游植物丰度分布趋势大致相同，不同断面之间的浮游植物丰度差异不太明显，如图 5、图 6 和图 7 所示。

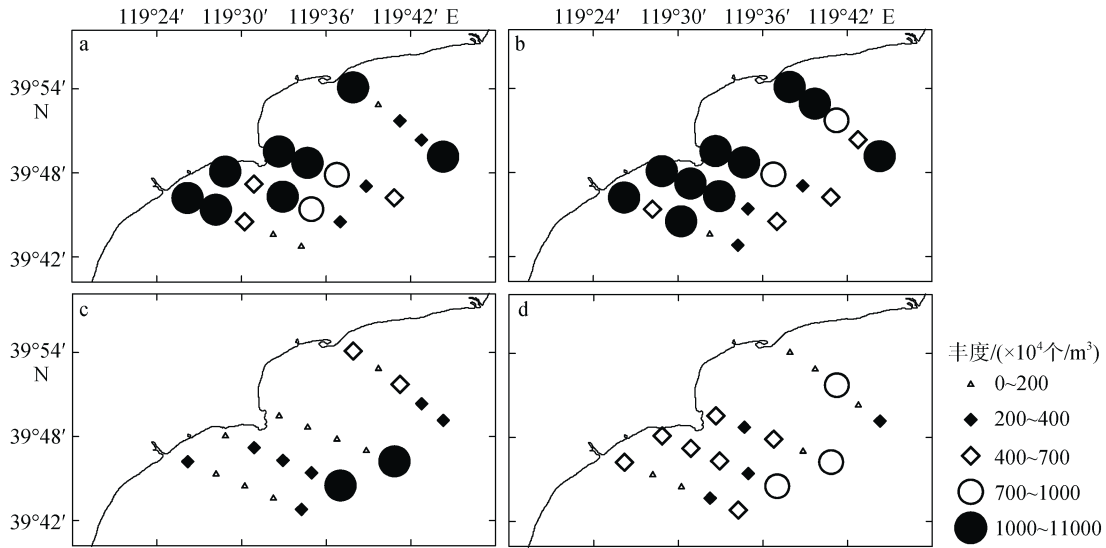


图 5 4、5 月份表、底层水浮游植物丰度分布

a. 4 月份表层水; b. 4 月份底层水; c. 5 月份表层水; d. 5 月份底层水

Fig. 5 Distribution of phytoplankton in surface water (a) and bottom water (b) in April and in surface water (c) and bottom water (d) in May

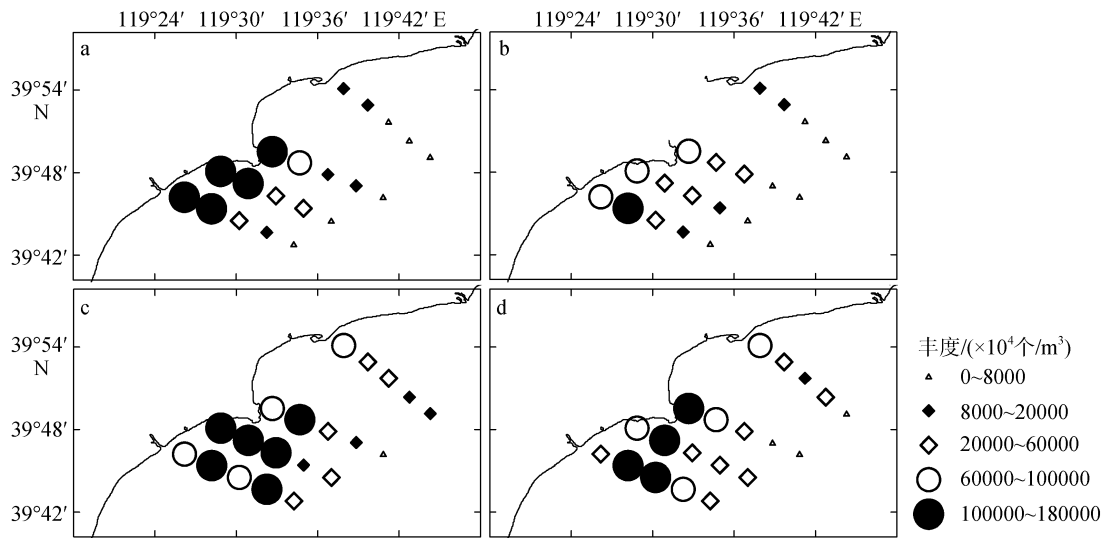


图 6 6、7 月份表、底层水浮游植物丰度分布

a. 6 月份表层水; b. 6 月份底层水; c. 7 月份表层水; d. 7 月份底层水

Fig. 6 Distribution of phytoplankton in surface water (a) and bottom water (b) in June and in surface water (c) and bottom water (d) in July

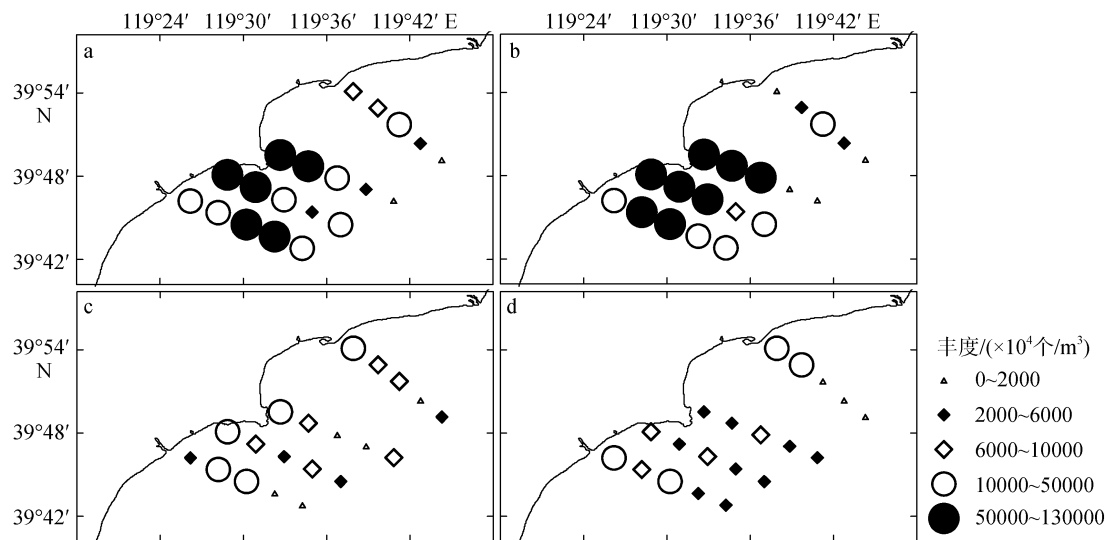


图 7 8、9 月份表、底层水浮游植物丰度分布

a. 8 月份表层水; b. 8 月份底层水; c. 9 月份表层水; d. 9 月份底层水

Fig. 7 Distribution of phytoplankton in surface water (a) and bottom water (b) in August and surface water (c) and bottom water (d) in September

2.3.2 月际变化

在本次调查中, 浮游植物的丰度月际变化幅度比较大。如图 8 和图 9 所示, 表、底层水丰度的月际变化规律大致是相同的, 即在 4 月和 5 月维持低水平, 进入 6 月以后开始大幅增加, 7 月份丰度继续增大, 直到 8 月和 9 月开始回落。其中在 4、5、8、9 月份, 表层水和底层水的浮游植物丰度值差别不大, 6、7 两个月表层和底层丰度有较大差别, 表层水丰度高于底层水。表层水和底层水浮游植物丰度的最大值都出现在 7 月份, 分别为 6.78×10^8 个/ m^3 和 5.58×10^8 个/ m^3 ; 最小值都出现在 5 月份, 分别为 3.84×10^6 个/ m^3 和 $3.93 \times$

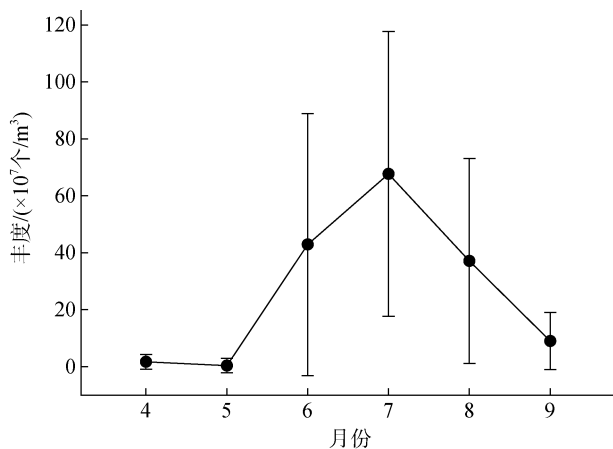


图 8 表层水浮游植物丰度月际变化

Fig. 8 Intermontly variation of phytoplankton levels in surface water

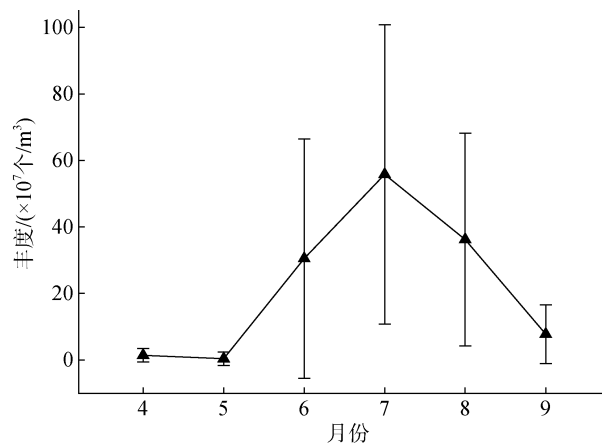


图 9 底层水浮游植物丰度月际变化

Fig. 9 Intermontly variation of phytoplankton levels in bottom water

10^6 个/ m^3 。最大值和最小值之间差两个数量级, 浮游植物丰度的月际变化幅度很明显。

2.4 浮游植物优势种类及其变化

浮游植物优势种的种类在同一月份的表层水和底层水之间差异不大, 而在不同月份之间差异较大。在 4 月份, 表层水和底层水的优势种种类一样, 均为 3 种, 分别是北方娄氏藻、裸甲藻和中肋骨条藻; 5 月份的优势种表层水中有 6 种, 底层水 7 种; 进入 6 月份, 优势种个数达到最少, 表层水仅为 2 种, 底层水也仅为 3 种; 7 月份以后, 优势种种类数逐渐增加, 9 月份优势种数达到最多, 表层水为 8 种, 底层水有

7种。后3个月份比前3个月份优势种的种类要多, 优势度要低。

北方娄氏藻在各个月份均有出现, 并且是4、5、7和9月份的优势种, 4月份底层水此种藻优势度最高达到0.47。丹麦细柱藻从7月份开始成为优势种, 一直持续到9月份都保持高优势度, 在7月份底层水达到最大优势度0.28, 而在4、5月份样品中并无此种藻出现。尖刺拟菱形藻从7月份开始出现, 在7月份表层水达到最大优势度0.5, 并且一直作为优势种持续到9月份。夜光藻是本海域经常引发赤潮的物种^[17-18], 在本次调查中的所有月份均有出现, 但仅在5月份为优势种。在整个调查期间, 优势度最高值出现在4月份表层水的中肋骨条藻和裸甲藻, 均为0.63。

2.5 多样性指数和均匀度

在本次调查期间, 秦皇岛海域浮游植物多样性指数在1.27~3.6范围之间, 平均值为2.4, 表层水多样性指数平均值是2.39, 底层水多样性指数平均值是2.41; 均匀度在0.31~0.73之间, 平均值0.53, 表层水浮游植物均匀度为0.52, 底层水为0.54。

如图10和11所示, 多样性指数和均匀度的月际变化均表现出基本相同的走势, 但表层水浮游植物多样性指数在5月份略有下降, 而均匀度却略有上升。在表层水中, 进入6月份, 多样性指数和均匀度达到最低, 分别为1.27和0.3, 之后逐月升高, 在9月份达到最高值, 分别为3.6和0.73。在底层水中, 5月份两种指标都有大幅上升, 其中均匀度在5月更是达到最高值0.67, 6月份急剧下降, 两种指标分别到达最低值1.6和0.43, 之后逐月升高, 并且多样性指数在9月份达到最大值3.17。

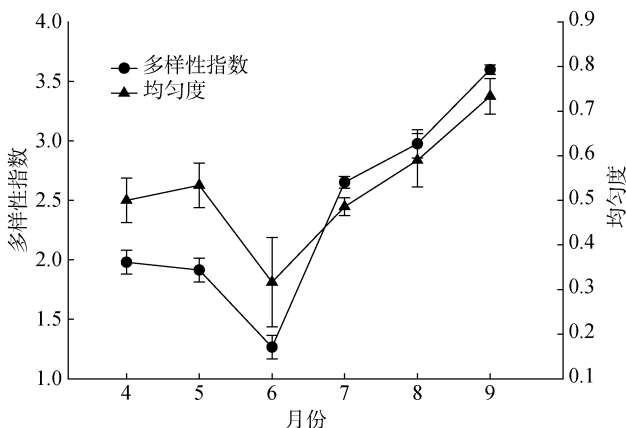


图10 表层水浮游植物多样性指数和均匀度月际变化
Fig. 10 Intermontly variation of the diversity index and evenness of phytoplankton in surface water

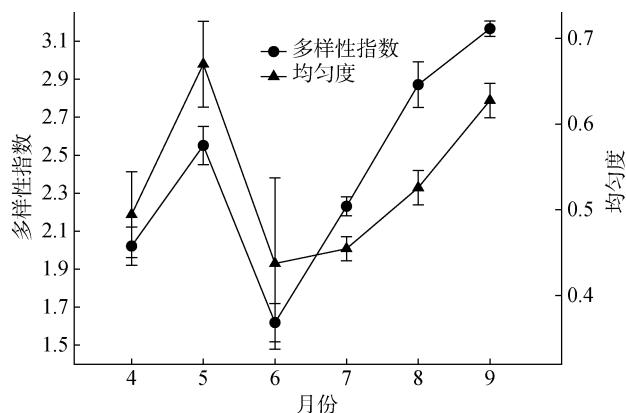


图11 底层水浮游植物多样性指数和均匀度月际变化
Fig. 11 Intermontly variation of the diversity index and evenness of phytoplankton in bottom water

3 讨论

3.1 浮游植物种类和丰度

本调查航次涉及海域距离秦皇岛市区较近, 沿岸又有许多河流的入海口, 营养物质输入较多^[19], 因此浮游植物种类比较丰富, 共鉴定出藻类70种。由春季进入夏季, 海水温度从4月份的11.7℃升高至8月份的24.5℃(图2), 这有利于浮游植物的繁殖和生长, 所以在表层水和底层水都表现出了从7月份开始浮游植物种类数目大幅增加的趋势(图3和图4)。和中国部分其他海域相似^[20-25], 秦皇岛海域硅藻种类数目较多, 共鉴定出硅藻43种, 占藻类种类数约60%, 其次是甲藻和金藻, 这一规律在表层水和底层水没有表现出太大差异, 在不同月份之间也差异不大。

浮游植物丰度在靠近大陆的站位比较高, 在远离大陆的站位比较低(图5、图6和图7), X1、C1、C6和C11站位是离大陆和河流入海口最近的4个站点(图1), 这些站点的浮游植物丰度往往是各自断面最大的一个, 这是因为靠近岸边的海水由于城市污水排放等原因营养物质比较丰富, 而越远离岸边, 海水受人类活动和外界因素的影响就越小, 营养物质含量较低^[23], 因此浮游植物丰度分布呈现出从近岸到远岸逐渐降低的趋势。其中7月和8月的C12、C13和C14站位浮游植物丰度值较同月相邻站位高出很多, 如7月份的C12站位表层水浮游植物丰度达 1.12×10^9 个/m³, 结合现场观测情况, 推测可能是由于这些站点位于当地养殖区内, 海水营养物质异常丰富, 造成了藻类丰度很大。

4、5月份秦皇岛海域海水温度处于15℃以下(图2),不利于浮游植物的生长,因此这2个月份的浮游植物丰度维持在低水平。进入6月份以后,海水温度升高到20℃左右,光照强度增加,环境变得适于藻类繁殖生长,使得其代谢能力加强,由夜光藻和微小原甲藻引发的赤潮大面积暴发^[23],因此浮游植物丰度呈现暴发式增长。而7月份以后,藻类丰度有一定回落,但由于正值夏季,仍比4、5月2个月份的丰度高出一个数量级。张建乐^[6]在2004年对秦皇岛沿岸海域出海调查共鉴定出浮游植物21属55种,慕建东等^[4]在2010年5~9月对该海域进行出海调查共鉴定出浮游植物46属96种,以硅藻和甲藻居多,这与本研究调查结果类似;2004年藻类丰度平均为 4.1×10^9 个/m³,2010年藻类丰度均值是 $6.2 \times 10^4 \sim 4129.53 \times 10^4$ 个/m³,而本研究调查结果为 2.42×10^8 个/m³,可见浮游植物数量与2010年相比增长幅度很大,但低于2004年水平。

3.2 优势种、多样性指数和均匀度

浮游生物多样性指数和均匀度越高,群落稳定性和生态多样性就越好。6月份的优势种数目达到最低,以微小原甲藻、中肋骨条藻等为主,在此期间该海域暴发了由微小原甲藻引起的赤潮^[21],其优势度达到0.32,丰度值达到 1.39×10^8 个/m³,远大于其他藻在此月份的优势度和丰度值,因此6月份的浮游植物丰度是在上升,处于较高水平,而该月份的多样性和均匀度却是在很低水平(图8、图9、图10和图11)。6月份群落结构受到季节交替和赤潮的影响,其稳定性是本调查期间最弱的。进入7月份以后,赤潮褪去^[23],浮游植物群落多样性逐渐转好,丰度和种类数目都在增加,各物种优势度差异不大,群落稳定性较好。综合各指标来看,藻类群落的结构稳定性排序是9月>8月>7月>5月>4月>6月。张建乐^[5]在2007年5~10月对秦皇岛近岸海域进行出海调查的结果显示,浮游植物多样性指数和均匀度平均值分别只有1.162和0.333,而在本调查期间浮游植物的多样性指数和均匀度平均值分别为2.4和0.53,可见该海域浮游植物群落生态结构稳定性有明显好转。

4 结论

现场出海采样调查共鉴定出浮游植物3门33属70种,其中硅藻23属43种,甲藻9属25种,金藻1属2种。常见种类有尖刺拟菱形藻、丹麦细柱藻、裸甲藻等。浮游植物种类数表层水7月份最多,4月

和5月份最少;底层水8月份最多,6月份最少。浮游植物丰度分布不同站位和不同月份之间差异较明显,大致规律是离岸越远,丰度越小。整个调查期间浮游植物丰度的平均值为 2.42×10^8 个/m³,其中表层水为 2.65×10^8 个/m³,底层水为 2.2×10^8 个/m³。

浮游植物优势种的种类和数目在同一月份的表、底层水之间差异不大,而在不同月份之间差异较大。9月份优势种数达到最多,6月份最少。常见的优势种有北方娄氏藻、尖刺拟菱形藻、丹麦细柱藻、微小原甲藻等。通过对多样性指数和均匀度分析表明,9月份的群落稳定性最好,6月份最差,其他月份群落结构水平较为理想。

致谢:本研究得到了国家海洋局秦皇岛海洋环境监测中心站的指导与帮助,在此表示感谢!

参考文献:

- [1] 孙萍,李瑞香,李艳,等. 2005年夏末渤海网采浮游植物群落结构[J]. 海洋科学进展, 2008, 26(3): 354-363.
Sun Ping, Li Ruixiang, Li Yan, et al. The net-phytoplankton community structure of the Bohai Sea in late summer, 2005 [J]. Advances in Marine Science, 2008, 26(3): 354-363.
- [2] 冯士筭,李凤歧,李少菁. 海洋科学导论[J]. 北京:高等教育出版社,1999:272-349.
Feng Shizuo, Li Fengqi, Li Shaojing. Introduction to ocean science[J]. Beijing: Higher Education Press, 1999: 272-349.
- [3] 河北省海洋局. 2013年河北省海洋状况公报[R]. 石家庄:河北省海洋局,2014:1-28.
Bureau of Oceanography of Hebei Province. Bulletin of Ocean State of Hebei Province [R]. Shi Jiazhuang: Bureau of Oceanography of Hebei Province, 2014: 1-28.
- [4] 慕建东,郑向荣,赵振良,等. 秦皇岛海域赤潮期间浮游植物的生态特征[J]. 中国水产科学, 2015, 22(2): 288-301.
Mu Jiandong, Zheng Xiangrong, Zhao Zhenliang, et al. Ecological characteristics of phytoplankton in Qinhuangdao coastal area during the red-tide period [J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2015, 22(2): 288-301.
- [5] 张建乐,陈海. 北戴河养殖海域浮游植物的种类组成和时空分布特征[J]. 海洋通报, 2010, 29(4): 407-411.
Zhang Jianle, Chen Hai. Species composition and quantity variation of phytoplanktons from aquaculture ground in the coastal waters of Beidaihe [J]. Marine Science Bulletin, 2010, 29(4): 407-411.
- [6] 张建乐,张秋丰. 秦皇岛沿岸浮游植物与赤潮生物的

- 初步研究[J]. 河北渔业, 2007, (7): 7-12.
Zhang Jianle, Zhang Qiufeng. A study on phytoplankton and red tide causative species in the coastal water of Qinhuangdao[J]. Journal of Fishery of Hebei, 2007, (7): 7-12.
- [7] 李洪波, 刘述锡, 林凤翱, 等. 河北沿岸微微型浮游植物的分布特征[J]. 海洋科学, 2012, 36(7): 49-55.
Li Hongbo, Liu Shuxi, Lin Fengao, et al. Distribution characteristics of picophytoplankton in coastal area of Hebei [J]. Marine Sciences, 2012, 36(7): 49-55.
- [8] 程兆第, 高亚辉. 中国海藻志: 第五卷; 硅藻门: 第二册; 羽纹纲 I[M]. 北京: 科学出版社, 2012: 1-173.
Cheng Zhaodi, Gao Yahui. Flora algarum marinarum sinicarum (tomus V) : Bacillariophyta No.2; Pennatae I [M]. Beijing: Science Press, 2012: 1-173.
- [9] 程兆第, 高亚辉. 中国海藻志: 第五卷; 硅藻门: 第三册; 羽纹纲 [M]. 北京: 科学出版社, 2013: 1-252.
Cheng Zhaodi, Gao Yahui. Flora algarum marinarum sinicarum (tomus V) : Bacillariophyta No.3; Pennatae [M]. Beijing: Science Press, 2013: 1-252.
- [10] 郭皓. 中国近海赤潮生物图谱[M]. 北京: 海洋出版社, 2004: 1-107.
Guo Hao. Illustrations of Planktons Responsible for the Blooms in Chinese Coastal Waters [M]. Beijing: Ocean Press, 2004: 1-107.
- [11] 郭玉洁, 钱数本. 中国海藻志: 第五卷; 硅藻门: 第一册; 中心纲[M]. 北京: 科学出版社, 2003: 1-493.
Guo Yujie, Qian Shuben. Flora algarum marinarum sinicarum (tomus V) : Bacillariophyta No.1; Centricae[M]. Beijing: Science Press, 2003: 1-493.
- [12] 林永水. 中国海藻志: 第六卷; 甲藻门: 第一册; 甲藻纲角藻科[M]. 北京: 科学出版社, 2009: 1-93.
Lin Yongshui. Flora algarum marinarum sinicarum (tomus) : Pyrrophyta No.1; Ceratiaceae[M]. Beijing: Science Press, 2009: 1-93.
- [13] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana II: University of Illinois Press, 1949: 1-54 .
- [14] Pielou E C. An Introduction to Mathmatical Ecology [M]. New York: Wiley—Interscience, 1969.
- [15] 孙军, 刘东艳. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用[J]. 海洋学报, 2004, 26(1): 62-75.
Sun Jun, Liu Dongyan. The application of diversity indices in marine phytoplankton studies[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(1): 62-75.
- [16] 刘东艳, 孙军, 陈洪涛, 等. 2001 年夏季胶州湾浮游植物群落结构的特征[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2004, 33(3): 366-374.
Liu Dongyan, Sun Jun, Chen Hongtao, et al. The phytoplankton community in summer 2001 in Jiaozhou Bay, China[J]. Journal of Ocean University of Qingdao, 2004, 33(3): 366-374.
- [17] 王素凤. 秦皇岛近海养殖区域夜光藻种群动态与环境温度的关系[J]. 中国环境管理干部学院学报, 2003, (3): 52-54.
Wang Sufeng. Relationship between variations in Noctiluca miliaris suriray population and the temperature in cultivated area of Qinhuangdao seawater[J]. Journal of EMCC, 2003, (3): 52-54.
- [18] 郗艳娟, 吴新民, 郑向荣, 等. 赤潮生物夜光藻及其相关海水理化因子研究[J]. 河北渔业, 2010, (8): 44-46.
Xi Yanjuan, Wu Xinmin, Zheng Xiangrong, et al. Research on red tide organisms Noctiluca and their associated physical and chemical factors of seawater[J]. Journal of Fishery of Hebei, 2010, (8): 44-46.
- [19] 国家海洋局. 2014 年中国海洋环境状况公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2015: 1-50.
National bureau of Oceanography. Bulletin of Ocean Environmental State of China 2014[R]. Beijing: National bureau of Oceanography, 2015: 1-50.
- [20] 栾莎, 管相忠, 双秀芝, 等. 2009 年春季辽东湾网采浮游植物群落结构[J]. 海洋科学, 2012, 36(5): 57-64.
Luan Sha, Guan Xiangzhong, Shuang Xiuzhi, et al. Investigation of net-phytoplankton community structure in Liaodong Bay in spring of 2009[J]. Marine Sciences, 2012, 36(5): 57-64.
- [21] 徐加涛, 吴建新, 阎斌伦, 等. 高公岛近岸海域浮游植物群落特征[J]. 海洋科学, 2012, 36(2): 24-28.
Xu Jiatao, Wu Jianxin, Yan Binlun, et al. Community characteristics of phytoplankton near Gaogong island area [J]. Marine Sciences, 2012, 36(2): 24-28.
- [22] 刘莲, 任敏, 华敏敏, 等. 象山港西部海域夏季浮游植物生态学研究: 种类组成及年际变化[J]. 海洋科学, 2013, 37(5): 94-99.
Liu Lian, Ren Min, Hua Minmin, et al. Studies on the ecology of phytoplankton in summer in western Xiangshan Bay . Species composition and inter-annual variations[J]. Marine Sciences, 2013, 37(5): 94-99.
- [23] 国家海洋局. 2014 年中国海洋灾害公报[R]. 北京: 国家海洋局, 2015: 1-32.
National bureau of Oceanography. Bulletin of Ocean Disasters of China 2014[R]. Beijing: National bureau of Oceanography, 2015: 1-32.
- [24] 刘凤娇, 李顺兴, 郑凤英, 等. 近海污染物对海洋浮游植物生长及生化组成影响的比较研究[J]. 海洋科学, 2014, 38(5): 66-71.
Liu Fengjiao, Li Shunxing, Zheng Fengying, et al. Comparison of the effects of coastal pollutants on the growth and biochemical composition of marine phytoplankton[J]. Marine Sciences, 2014, 38(5): 66-71.
- [25] 王为民, 陈洪举, 梁生康, 等. 夏季强降雨对胶州湾

浮游硅藻群落结构的影响[J]. 海洋科学, 2014, 38(2): 46-52.
Wang Weimin, Chen Hongju, Liang Shengkang, et al.

The influence of heavy rainfall on the community structure of planktonic diatom in Jiaozhou Bay in summer[J]. Marine Sciences, 2014, 38(2): 46-52.

Characteristics of the phytoplankton community structure in the Qinhuangdao coastal area

YU Hu-yang, CUI Lei, PAN Lin, LIU Feng-hua, CEN Jing-yi, LÜ Song-hui
(Research center for Harmful Algae and Marine Biology, Jinan University, Guangzhou 510632, China)

Received: Dec. 24, 2015

Key words: phytoplankton; Qinhuangdao; species composition; biodiversity

Abstract: The community structure of phytoplankton in the Qinhuangdao coastal area was assessed from April to September, 2014. In total, 3 phyla, 33 genera, and 70 species of phytoplankton were identified. Bacillariophyta contained the largest number of species. July and August had more species than any other month. The average level of phytoplankton during the investigation was 2.42×10^8 cells·m⁻³, which varied significantly between different stations and months. The dominant species were *Lauderia borealis*, *Nitzschia pungens*, *Leptocylindrus danicus*, and *Prorocentrum minimum*, etc. The number of dominant species was the highest in September and the lowest in June. The diversity index ranged from 1.27 to 3.60, and the evenness ranged from 0.31 to 0.73. The community structure was stable in all months except June.

(本文编辑: 梁德海)