

烟台四十里湾扇贝养殖区浮游植物群落调查

李希磊, 杨俊丽, 于 潇, 吴 雪, 崔龙波

(烟台大学 生命科学学院, 山东 烟台 264005)

摘要: 2016年4~11月对烟台四十里湾近岸的3个扇贝养殖区浮游植物群落进行了8个航次的调查。调查共鉴定出浮游植物5门67属/种, 其中硅藻门占总种数的65.67%, 菱形藻属种类最多; 其次为甲藻门占13.43%, 角藻属种类最多; 此外还发现27属/种赤潮藻, 提示该海域需加强赤潮防范。Shannon-Winner指数、Margalef指数和均匀度指数分析显示, 该调查海域浮游植物多样性和物种丰富度总体较好, 群落结构较为稳定。

关键词: 四十里湾; 浮游植物; 扇贝养殖

中图分类号: S949 文献标识码: A

DOI: 10.11759/hyxx20180109002

文章编号: 1000-3096(2018)08-0030-08

烟台四十里湾位于烟台市莱山区北部海域, 是烟台重要的海洋渔业基地, 是鱼、虾、蟹以及贝类等的重要繁育场所, 是山东省海湾扇贝的养殖海域之一。但受人类活动等因素的影响该海域环境质量逐年下降, 扇贝养殖状况不稳定, 扇贝养殖状况不佳时只能凭经验探索性的尝试转移到其他海域, 耗费人力、物力和财力。

浮游植物作为海洋的初级生产者和其他生物的物质基础, 其种类组成、丰富度和均匀度直接或间接影响海洋物质和能量交换, 进而影响渔业的发展^[1]。同时, 浮游植物的物种多样性、丰富度和均匀度对水温等环境变化敏感, 可以直接或间接指示环境的改变, 反映水质状况及气候变化^[2, 3]。硅藻是浮游植物的主要组分, 也是养殖扇贝的主要饵料物种; 绿藻、金藻是扇贝幼体的重要饵料^[4]。近年来对于黄海的研究发现四十里湾遭受赤潮危害严重^[5-8], 这不仅影响到海洋生态环境, 更使渔业养殖产业遭受巨大的损失。因此, 对浮游植物的群落结构定期监测可以整体了解海洋生态环境状态, 对海洋生态的健康及海洋渔业的发展有重要意义。

1 材料与方 法

1.1 采样地点与时间

本调查于四十里湾选取3个扇贝养殖区, 分别记为m1、m2和m3(位置如图1)。采样时间为2016年4~11月, 每月中旬采样一次。

1.2 样品采集与处理

样品采集使用有机玻璃采水器, 每个养殖区设

置4个采样点, 每个采样点采集上、下两个水层, 然后将8个水样等量混合。每1000 mL水样加15 mL鲁哥氏液染色固定, 静置24~48 h后浓缩至约40 mL, 使用浮游生物计数板于显微镜下鉴定、计数。

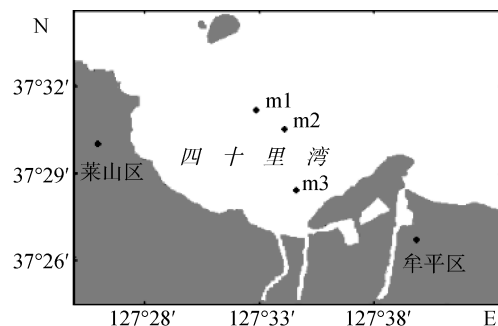


图1 站位分布图

Fig. 1 Station distribution map

1.3 计算方法

浮游植物密度采用《海洋监测规范》^[9]中的浓缩计数法;

优势度 Y 采用 McNaughton 指数^[10]法: $Y = (n_i / N) f_i$ (以优势度 ≥ 0.02 为优势种, 以优势度

收稿日期: 2017-12-21; 修回日期: 2018-03-07

基金项目: 山东省现代农业产业技术体系建设专项资金项目(SDAIT-14) [Foundation: Special fund for the construction of modern agricultural industry technology system of Shandong, No. SDAIT-14]

作者简介: 李希磊(1993-), 男, 山东菏泽, 硕士研究生, 从事海洋生态研究, 电话: 18363857858, E-mail: 18363857858@163.com; 崔龙波, 通信作者, 男, 教授, 博士, 硕士生导师, 从事海洋动物细胞学研究, E-mail: lbcui@163.com

≥0.1 为绝对优势种);

物种多样性 H' 采用 Shannon-Winner 指数^[11]法:

$$H' = -\sum_{i=1}^S P_i \log_2 P_i;$$

均匀度 J 采用 Pielou 指数^[12]法: $J = H' / \log_2 S$;

物种丰富度 D 采用 Margalef 指数^[13]法:

$$D = (S - 1) / \ln N。$$

式中, n_i 为该样品第 i 种的个数, N 为该样品的浮游植物总个数, S 为该样品浮游植物种类数, f_i 为第 i 种的在各样品的出现频率, P_i 为第 i 种的个数与浮游植物

总个数的比值(n_i/N)。

2 结果

2.1 浮游植物物种组成

经观察鉴定, 烟台四十里湾扇贝养殖区共检测到藻类 5 门 44 属 67 种, 其中硅藻门 25 属 44 种, 占 65.67%; 甲藻门 5 属 9 种, 占 13.43%; 绿藻门 8 属 8 种, 占 11.94%; 金藻门 4 属 4 种, 占 5.97%; 隐藻门 2 属 2 种, 占 2.99%(表 1)。

表 1 四十里湾扇贝养殖区浮游植物种类组成

Tab. 1 Species composition of phytoplankton in scallop culture area of Sishili Bay

门	种类名录	SPECIES	种类名录	SPECIES
硅藻	尖布纹藻	<i>Gyrosigma acuminatum</i>	谷皮菱形藻	<i>Nitzschia palea</i>
	布纹藻	<i>Gyrosigma</i> sp.	针状菱形藻	<i>Nitzschia acicularis</i>
	斯托根管藻	<i>Rhizosolenia Stolterfothii</i>	拟螺旋菱形藻	<i>Nitzschia sigmoidea</i>
	翼根管藻	<i>Rhizosolenia alata</i>	长菱形藻	<i>Nitzschia longissima</i>
	长刺根管藻	<i>Rhizosolenia longiseta</i>	卵形藻	<i>Cocconeis</i> sp.
	刚毛根管藻	<i>Rhizosolenia setigera</i>	桥弯藻	<i>Cymbella</i> sp.
	柔弱根管藻	<i>Rhizosolenia delicatula</i>	双壁藻	<i>Diploneis</i> sp.
	中肋骨条藻	<i>Skeletonemaceae costatum</i>	蜂腰双壁藻	<i>Diploneis bombus</i>
	海链藻	<i>Thalassiosira</i> sp.	双眉藻	<i>Amphora</i> sp.
	菱形海线藻	<i>Thalassionema nitzschioides</i>	布氏双尾藻	<i>Ditylum brightwellii</i>
	小环藻	<i>Cyclotella</i> sp.	浮动弯角藻	<i>Eucampia zodiacus</i>
	菱软几内亚藻	<i>Guinardia flaccida</i>	丹麦细柱藻	<i>Leptocylindraceae danicus</i>
	柔弱几内亚藻	<i>Guinardia delicatula</i>	纤细楔形藻	<i>Licmophora gracilis</i>
	翼茧形藻	<i>Amphiprora alata</i>	日本星杆藻	<i>Asterionella japonica</i>
	牟氏角毛藻	<i>Chaetoceros muelleri</i>	异极藻	<i>Gomphonema</i> sp.
	角毛藻	<i>Chaetoceros</i> sp.	羽纹藻	<i>Pinnularia</i> sp.
	新月拟菱形藻	<i>Nitzschia closterium</i>	圆筛藻	<i>Coscinodiscus</i> sp.
	菱形藻	<i>Nitzschia</i> sp.	针杆藻	<i>Synedra</i> sp.
	洛伦菱形藻	<i>Nitzschia lorenziana</i>	方格舟形藻	<i>Navicula cancellate</i>
	尖刺菱形藻	<i>Nitzschia pungens</i>	群生舟形藻	<i>Navicula gregaria</i>
边缘菱形藻	<i>Nitzschia marginulata</i>	帕维舟形藻	<i>Navicula pavillardii</i>	
柔弱伪菱形藻	<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>	舟形藻	<i>Navicula</i> sp.	
甲藻	多甲藻	<i>Peridinium</i> sp.	裸甲藻	<i>Gymnodinium</i> sp.
	三角角藻	<i>Ceratium tripos</i>	膝沟藻	<i>Gonyaulax</i> sp.
	叉角藻	<i>Ceratium furca</i>	原甲藻	<i>Prorocentrum</i> sp.
	长角角藻	<i>Ceratium macroceros</i>	三叶原甲藻	<i>Prorocentrum triestinum</i>
	梭角藻	<i>Ceratium fusus</i>		
绿藻	扁藻	<i>Platymonas</i> sp.	小球藻	<i>Chlorella</i> sp.
	雨生红球藻	<i>Haematococcus pluvialis</i>	衣藻	<i>Chlamydomonas</i> sp.
	平藻	<i>Pedinomonas</i> sp.	翼膜藻	<i>Pteromonas</i> sp.
	渐尖鳍藻	<i>Dinophysis acuminata</i>	<i>Resultor micron</i>	
金藻	单鞭金藻	<i>Chromulina</i> sp.	<i>Octactis Octonaria</i>	
	等鞭金藻	<i>Isochrysis</i> sp.	<i>Calycomonas</i> sp.	
隐藻	蓝隐藻	<i>Chroomonas</i> sp.	隐藻	<i>Cryptomonas</i> sp.

2.2 浮游植物密度

3 个养殖区浮游植物密度为 $1.21 \times 10^7 \sim 58.98 \times 10^7$ 个/ m^3 , 6 月或 8 月份密度最高, 11 月份密度最低,

随季节变化较明显(图 2)。

硅藻和绿藻的密度较大(表 2), 其中硅藻密度最大, 占 48.8%~98.4%, 其次是甲藻和绿藻。硅藻在夏季的 6、7 月份比例较低, 而同期绿藻比例相对较高。

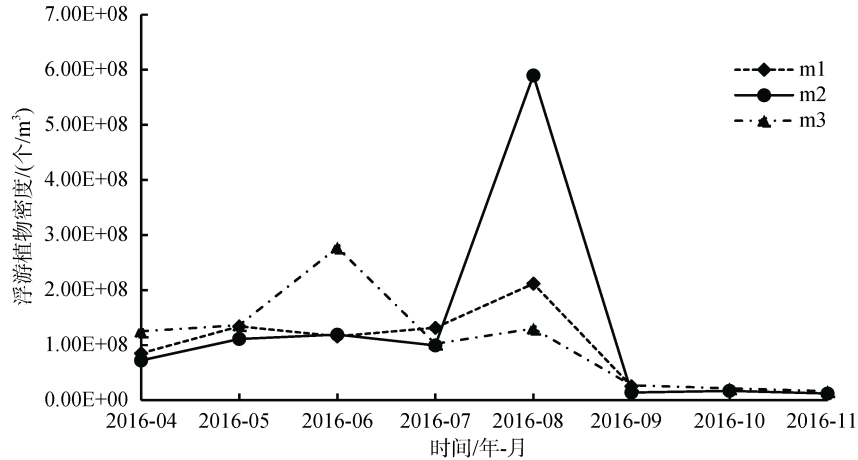


图 2 四十里湾扇贝养殖区浮游植物密度变化趋势

Fig. 2 Variation trend of phytoplankton density in scallop culture area of Sishili Bay

表 2 四十里湾扇贝养殖区主要浮游植物比例

Tab. 2 Proportion of major feeding species in scallop culture area of Sishili Bay

采样时间/年-月	m1		m2		m3	
	硅藻/%	绿藻/%	硅藻/%	绿藻/%	硅藻/%	绿藻/%
2016-04	97.2	2.1	94.9	1.3	95.9	1.1
2016-05	61.6	13.0	91.6	4.3	91.5	6.7
2016-06	64.7	2.2	48.8	6.8	64.9	8.6
2016-07	57.9	17.8	62.3	13.4	66.7	14.3
2016-08	91.2	0.3	98.4	0.1	92.0	1.2
2016-09	97.5	0.8	85.5	0.2	79.7	0.1
2016-10	96.2	0.3	90.0	2.0	87.2	2.6
2016-11	95.7	0.5	74.6	1.2	72.2	4.2

2.3 浮游植物优势种的种类组成及其优势度

浮游植物密度随季节变化, 优势种同样也有明显的月份差异: 4 月份以硅藻门的柔弱几内亚藻为唯一优势种且为绝对优势种; 5 月份以柔弱几内亚藻为绝对优势种, 优势种为硅藻、绿藻和隐藻; 6 月份以硅藻门的斯托根管藻和甲藻门的裸甲藻为绝对优势种, 优势种为硅藻、绿藻和甲藻; 7 月份以硅藻门的柔弱几内亚藻、角毛藻、菱形藻和绿藻门的扁藻为绝对优势种, 优势种为硅藻、绿藻、甲藻和隐藻; 8 月份以硅藻门的柔弱伪菱形藻和斯托根管藻为绝对优势种; 9 月份以硅藻门的细菱形藻和尖刺菱形藻为绝对优势种, 优势种均为硅藻; 10 月份以尖刺菱形

藻为绝对优势种, 优势种为硅藻、绿藻和甲藻; 11 月份以硅藻门的双眉藻和隐藻门的蓝隐藻为绝对优势种, 优势种为硅藻和甲藻(表 3)。

2.4 浮游植物的物种多样性、物种丰富度和均匀度

3 个扇贝养殖区浮游植物的 Shannon 多样性指数范围为 0.35~3.58, Pielou 均匀度指数范围为 0.11~0.90, Margalef 丰富度指数范围为 1.47~3.78(表 4)。

为了解物种多样性、物种丰富度和均匀度的相关性及其季节变化规律, 作者对 3 项指数与水温的相关性进行了分析。结果表明: 3 项指数与水温均呈正相关, 且在 m1 养殖区物种丰富度与水温在 0.05 水平上呈显著正

相关; 物种多样性与均匀度在 0.01 水平上均呈显著正相关, 与丰富度在 0.01 水平上呈显著正相关(m1 养殖区仅
有正相关性, 但不显著); 均匀度与丰富度呈正相关, 且 m2 和 m3 养殖区在 0.01 水平上呈显著正相关(表 5)。

表 3 四十里湾扇贝养殖区浮游植物优势种的种类组成及其优势度

Tab. 3 Composition and dominance of dominant phytoplankton species in scallop culture area of Sishili Bay

优势种	优势度							
	2016-04	2016-05	2016-06	2016-07	2016-08	2016-09	2016-10	2016-11
柔弱几内亚藻	0.93	0.71		0.11		0.04	0.07	
扁藻		0.05	0.06	0.13			0.02	
长菱形藻		0.05	0.08	0.03		0.05	0.03	0.05
蓝隐藻		0.04		0.02				0.14
小球藻		0.03		0.03				
角毛藻			0.08	0.22				
裸甲藻			0.24	0.05				
斯托根管藻			0.33		0.28			
原甲藻			0.07					0.05
中肋骨条藻			0.05					
多甲藻				0.04				
三叶原甲藻				0.07			0.02	
牟氏角毛藻				0.07				
菱形藻				0.12		0.07		0.05
柔弱伪菱形藻					0.65			
尖刺菱形藻						0.15	0.64	
针状菱形藻						0.27		
小环藻							0.02	0.04
圆筛藻							0.04	
边缘菱形藻								0.05
双眉藻								0.27
羽纹藻								0.02
舟形藻								0.05

表 4 四十里湾扇贝养殖区浮游植物物种多样性、物种丰富度和均匀度

Tab. 4 Phytoplankton species diversity, species richness, and uniformity in scallop culture area of Sishili Bay

指数	采样时间	养殖区		
		m1	m2	m3
多样性指数	2016-04	0.35	0.62	0.52
	2016-05	2.36	1.55	1.16
	2016-06	3.07	2.67	2.96
	2016-07	3.58	3.57	3.22
	2016-08	1.67	1.25	1.89
	2016-09	2.63	3.08	3.21
	2016-10	2.00	1.76	2.63
	2016-11	2.57	3.43	3.37
均匀度指数	2016-04	0.11	0.20	0.15
	2016-05	0.61	0.38	0.30
	2016-06	0.68	0.63	0.69
	2016-07	0.83	0.80	0.76

续表

指数	采样时间	养殖区		
		m1	m2	m3
均匀度指数	2016-08	0.39	0.29	0.42
	2016-09	0.67	0.75	0.80
	2016-10	0.66	0.53	0.69
	2016-11	0.57	0.90	0.84
丰富度指数	2016-04	1.59	1.47	1.64
	2016-05	2.42	2.70	2.17
	2016-06	3.73	3.29	3.08
	2016-07	3.29	3.64	3.09
	2016-08	3.19	2.56	2.90
	2016-09	2.92	3.78	3.54
	2016-10	2.56	2.80	3.55
	2016-11	2.87	3.24	3.51

表 5 水温、物种多样性、物种丰富度和均匀度的相关性分析

Tab. 5 Correlation analysis of water temperature, species diversity, species richness, and evenness

养殖区	指数	指数			
		水温	Shannon 多样性	Pielou 均匀度	Margalef 丰富度
m1	水温	1			
	多样性	0.609	1		
	均匀度	0.568	0.990**	1	
	丰富度	0.830*	0.805	0.739	1
m2	水温	1			
	多样性	0.254	1		
	均匀度	0.128	0.979**	1	
	丰富度	0.524	0.911**	0.868**	1
m3	水温	1			
	多样性	0.387	1		
	均匀度	0.310	0.993**	1	
	丰富度	0.413	0.925**	0.937**	1

注: *. 在 0.05 水平(双侧)上显著相关; **. 在 0.01 水平(双侧)上显著相关

3 讨论

3.1 浮游植物的物种组成及密度

浮游植物是水体中各种动物的直接或间接饵料基础,是水体的初级生产者。本调查显示,四十里湾扇贝养殖区所鉴定出的浮游植物在物种组成及优势种上均以硅藻为主,物种组成中硅藻占 65.67%,且硅藻成为优势种的频率达到 88.46%,这与王妍等^[14]、蒋金杰等^[15]和 Hao 等^[16]对四十里湾的研究结果基本一致,上述研究均认为:烟台四十里湾扇贝养殖区浮游植物的生态类型主要以温带近岸种和广温广盐种为主。但本调查在 6~10 月份作为优势种出现的斯托

根管藻、角毛藻属、尖刺菱形藻和柔弱伪菱形藻是硅藻门常见的赤潮藻等^[2],虽然数量较少,但在环境一旦遭受富营养污染等情况下,就有可能迅速繁殖形成赤潮并使水质恶化,对自然生态结构和扇贝养殖带来严重灾难。近年来,中肋骨条藻几乎每年都会发生赤潮且物种密度呈现近岸大于远海的趋势^[17],本文对近岸扇贝养殖区的监测发现:中肋骨条藻并未形成稳定优势且优势度较小,引发赤潮风险较低。另外,在 6 月份成为优势种的裸甲藻属也是甲藻门常见的赤潮藻,且大部分种类可产生神经性贝毒或麻痹性贝毒^[2],只是并未形成稳定优势,形成危害的风险较小。

浮游植物中,硅藻、绿藻、金藻等是双壳贝类的基本饵料,其中硅藻在种类和数量上均占绝对优势^[18]。6、7月份硅藻密度明显降低、绿藻密度略有升高,导致硅藻比例减小、绿藻比例增大,原因可能是夏季海水硅酸盐浓度降低^[19]、大多数中温性硅藻物种因温度升高影响了细胞生理机能^[20],限制了硅藻的生长、繁殖,再加上扇贝生长迅速对硅藻的取食增大,因而导致硅藻密度降低。

本调查结果表明,浮游植物密度变化呈现出夏季>春季>秋季的明显季节特征。蒋金杰等^[15]发现一年中四十里湾海域的浮游植物密度为夏季>早春>秋季>冬季,李斌等^[21]在2006~2010年对四十里湾浮游植物密度进行了连续5年监测,同样发现夏季浮游植物密度高于春、秋季,与本调查结果基本一致。盐度和水温是导致浮游植物密度季节性变化的主要环境因素,夏季水温相对较高,降水又会引起营养物质的输入和海水盐度的下降,浮游植物代谢条件适宜,生长和繁殖活动旺盛,因而密度增加^[2]。夏季正是养殖扇贝迅速生长的时期,高密度的饵料物种可以满足扇贝生长的需求。

3.2 浮游植物的物种多样性、物种丰富度和均匀度

浮游植物的多样性指数、均匀度指数及物种丰富度指数均能在一定程度上反应环境的变化,可作为环境质量评估的依据^[22]。一般认为物种多样性指数大于1为正常,否则则认为受到其他环境因素干扰;均匀度指数大于0.3表示浮游植物多样性较好^[23]。本调查结果显示,除4月份物种多样性指数和均匀度指数较低外,其余月份物种多样性指数均大于1、均匀度指数均大于0.3。因此,作者认为四十里湾扇贝养殖区浮游植物种类多且分布均匀,生物多样性和丰富度较好,群落结构较稳定。蒋金杰等^[14]曾发现四十里湾浮游植物出现绝对优势种(优势度 ≥ 0.1)且物种多样性较低,推测是绝对优势种在浮游植物密度上占高比例所造成,刘述锡等^[24-25]认为调查中检出绝对优势种且种类数较少,会极大降低生物多样性指数,而钱罡等^[26]认为调查海域一旦有优势种的出现就会降低海域的生物多样性,本调查在各月份均发现绝对优势种,但是优势种种类数较多、优势度较小,各物种密度分布较均匀,生物多样性好、群落结构稳定,不易出现个别物种的大量、迅速繁殖,赤潮风险小。

参考文献:

- [1] 朱根海. 2016年春季海南西海岸沿岸海域浮游植物群落特征研究[C]. 中国环境科学学会. 中国环境科学学会学术年会论文集, 1845-1853.
Zhu Genhai. Phytoplankton community characteristics in the coastal of the west coast of hainan in the spring of 2016[C]. The annual meeting of the Chinese Academy of environmental sciences. The collection of papers from the annual meeting of the Chinese Academy of environmental sciences, 1845-1853.
- [2] 徐玉山, 刘宪斌, 张秋丰. 渤海湾近岸海域浮游植物多样性研究[J]. 盐业与化工, 2009, 38(6): 11-14.
Xu Yushan, Liu Xianbin, Zhang Qiufeng. Studies on species diversity of phytoplankton in the offshore marine areas of the Bohai Bay[J]. Journal of Salt and Chemical Industry, 2009, 38(6): 11-14.
- [3] 梁松, 钱宏林, 齐雨藻. 中国沿海的赤潮问题[J]. 生态科学, 2000, 19(4): 44-50.
Liang Song, Qian Honglin, Qi Yuzao. Problem on the red tide in coastal China Sea[J]. Ecologic Science, 2000, 19(4): 44-50.
- [4] 赵文, 王丽卿, 王高学, 等. 水生生物学[M]. 北京: 中国农业出版社, 2005: 14, 61, 90.
Zhao Wen, Wang Liqing, Wang Gaoxue, et al. Hydrobiology[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2005: 14, 61, 90.
- [5] 杜秀宁, 刘光兴. 2006年冬季北黄海网采浮游植物群落结构[J]. 海洋学报, 2009, 31(5): 132-147.
Du Xiuning, Liu Guangxing. Community structure of Net-phytoplankton in the Northern Huanghai Sea in the winter of 2006[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2009, 31(5): 132-147.
- [6] 杨世民, 刘光兴. 北黄海典型水域春夏季浮游植物的昼夜变化[J]. 中国海洋大学学报: 自然科学版, 2009, 39(4): 611-616.
Yang Shimin, Liu Guangxing. The diurnal fluctuation of phytoplankton in typical waters of North Yellow Sea in spring and summer[J]. Periodical of Ocean University of China, 2009, 39(4): 611-616.
- [7] 叶孟杰, 孙红成, 高昊东, 等. 烟台四十里湾营养物质产生特征及影响分析[J]. 中国环境监测, 2006, 22(5): 88-91.
Ye Mengjie, Sun Hongcheng, Gao Haodong, et al. Production and feature of nutrition at Sishi Li Harbor in Yantai and it infanalysis[J]. Environmental Monitoring in China, 2006, 22(5): 88-91.
- [8] 喻龙, 郝艳菊. 烟台四十里湾一次血红哈卡藻赤潮过程的分析[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(4): 516-522.
Yu Long, Hao Yanju. Process analysis for harmful bloom of *Akashiwo sanguinea* in Sishili Bay of Yantai[J]. Advances in Marine Science, 2009, 27(4): 516-522.

- [9] 国家质量监督局, GB17378-2007, 海洋监测规范[S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
State Bureau of quality supervision, GB17378-2007, The specification for marine monitoring[S]. Beijing: China Standard Press, 2007.
- [10] 孙军, 宋书群, 乐凤凤, 等. 2004 年冬季南海北部浮游植物[J]. 海洋学报, 2007, 29(5): 132-145.
Sun Jun, Song Shuqun, Le Fengfeng, et al. Phytoplankton in Northern South China Sea in the winter of 2004[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2007, 29(5): 132-145.
- [11] Shannon C E, Weaver W. The Mathematical Theory of Communication[M]. Urbana, IL: University of Illinois Press, 1963: 125.
- [12] Pielou E C. An Introduction to Mathematical Ecology[M]. New York: Wiley-Inter Science, 1969.
- [13] Margalef D R. Perspectives in ecological theory[M]. Chicago: University of Chicago Press, 1968: 1-111.
- [14] 王妍, 董志军, 刘冬艳, 等. 烟台近海浮游植物的时空变化特征[J]. 海洋通报, 2013, 32(4): 408-420.
Wang Yan, Dong Zhijun, Liu Dongyan, et al. Variation of spatial and temporal distributions of phytoplankton community in coastal waters of Yantai[J]. Marine Science Bulletin, 2013, 32(4): 408-420.
- [15] 蒋金杰, 刘冬艳, 邸宝平, 等. 烟台四十里湾浮游植物群落的变化及其对环境的指示意义[J]. 海洋学报, 2011, 33(6): 151-163.
Jiang Jinjie, Liu Dongyan, Di Baoping, et al. Seasonal changes of phytoplankton community and its indication of environment in Sishili Bay, Yantai[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2011, 33(6): 151-163.
- [16] Hao Y J, Tang D L, Yu L, et al. Nutrient and chlorophyll a anomaly in red-tide periods of 2003-2008 in Sishili Bay, China[J]. Chinese Journal of Oceanology and Limnology, 2011, 29(3): 664-673.
- [17] 黄海燕, 康林冲, 杨翼, 等. 2013 年我国近海赤潮引发种类和分布研究[J]. 海洋科学, 2016, 40(11): 17-27.
Huang Haiyan, Kang Linchong, Yang Yi, et al. Species composition and distribution of red tide causative organisms in the coastal waters of China in 2013[J]. Marine Sciences, 2016, 40(11): 17-27.
- [18] 王如才, 王昭萍, 李琪, 等. 海水贝类养殖学[M]. 青岛: 中国海洋大学出版社, 2008: 19.
Wang Rucai, Wang Zhaoping, Li Qi, et al. Science of marine shellfish culture[M]. Qingdao: Press of Ocean University of China, 2008: 19.
- [19] 金杰. 典型海域浮游植物对磷的响应及营养盐动力学研究[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2014: 30.
Jin Jie. Responses of phytoplankton to phosphorus and nutrient dynamics in the typical marginal seas[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2014: 30.
- [20] 刘杨平, 黄迎春, 王鹤立. 浅谈环境因子对硅藻生长的影响[J]. 科技信息, 2009, (33): 648, 725.
Liu Yangping, Huang Yingchun, Wang Heli. The influence of environmental factors on the growth of diatom[J]. Science & Technology Information, 2009, (33): 648, 725.
- [21] 李斌, 白艳艳, 邢红艳, 等. 四十里湾营养状况与浮游植物生态特征[J]. 生态学报, 2013, 33(1): 260-266.
Li Bin, Bai Yanyan, Xing Hongyan, et al. Trophic state of seawater and ecological characteristics of phytoplankton in Sishili Bay[J]. Acta Ecologica Sinica, 2013, 33(1): 260-266.
- [22] 陈碧娟, 陈聚法, 崔毅, 等. 莱州湾东部养殖区浮游植物的生态特征[J]. 海洋水产研究, 2001, 22(3): 64-70.
Chen Bijuan, Chen Jufa, Cui Yi, et al. The ecological characteristics of phytoplankton in the Eastern marine-culture area of Laizhou Bay[J]. Marine Fisheries Research, 2001, 22(3): 64-70.
- [23] 李广楼, 陈碧娟, 崔毅, 等. 莱州湾浮游植物的生态特征[J]. 中国水产科学, 2006, 13(2): 292-299.
Li Guanglou, Chen Bijuan, Cui Yi, et al. Ecological characteristics of phytoplankton in the Laizhou Bay[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 2006, 13(2): 292-299.
- [24] 刘述锡, 隋伟娜, 孙淑艳, 等. 北黄海北部近岸海域网采浮游植物群落结构[J]. 海洋湖沼通报, 2015, 2: 128-138.
Liu Shuxi, Sui Weina, Sun Shuyan, et al. The community structure and seasonal distribution of phytoplankton in the coast of North Yellow Sea[J]. Transactions of Oceanology and Limnology, 2015, 2: 128-138.
- [25] 刘述锡, 樊景凤, 王真良. 北黄海浮游植物群落季节变化[J]. 生态环境学报, 2013, 22(7): 1173-1181.
Liu Shuxi, Fan Jingfeng, Wang Zhenliang. The seasonal changes of phytoplankton community in North Yellow Sea, China[J]. Ecology and Environmental Sciences, 2013, 22(7): 1173-1181.
- [26] 钱罡, 魏玉秋, 孙军. 2015 年春季桑沟湾浮游植物群落研究[J]. 海洋科学, 2017, 41(2): 44-52.
Qian Gang, Wei Yuqiu, Sun Jun. Study on phytoplankton communities in the Sanggou Bay in spring, 2015[J]. Marine Sciences, 2017, 41(2): 44-52.

Investigation of phytoplankton community in the scallop culture area of Sishili Bay in Yantai

LI Xi-lei, YANG Jun-li, YU-Xiao, WU-Xue, CUI Long-bo

(College of Life Science, Yantai University, Yantai 264005, China)

Received: Dec. 21, 2017

Key words: Sishili Bay; phytoplankton; scallop culture

Abstract: Eight investigations of phytoplankton communities were conducted in three scallop culture areas near Sishili Bay in Yantai from April to November of 2016. A total of 5 phyla and 67 genera and species of phytoplankton were identified, among which Bacillariophyta accounted for 65.67% of the total species, and *Nitzschia* accounted for the maximum population, followed by Pyrrophyta, accounting for 13.43%, of which *Ceratium* comprised the maximum population. Furthermore, 27 genera and species of red tide algae were identified that needed to be prevented from the red tide. Based on the analyses of the Shannon–Wiener index, the Margalef index, and Pielou’s index, the investigated areas had good phytoplankton diversity and species richness and a stable community structure as well.

(本文编辑: 梁德海)