

2015—2018年海州湾及邻近海域浮游植物群落结构特征

季相星,姜毅,王普力

(江苏省连云港环境监测中心,江苏 连云港 222001)

摘要:根据2015—2018年春、夏季海州湾及邻近海域8个航次的调查资料,对该海域浮游植物种类组成、优势种、丰度及多样性进行了调查,应用相关性分析和典范对应分析(CCA)研究了环境因子对海州湾浮游植物群落结构的影响,共发现浮游植物96种,其中硅藻80种。中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)在各航次均是第一优势种。调查海域浮游植物丰度为 $4.20 \times 10^3 \sim 7\,952.00 \times 10^3$ 个/L,平均值为 504.54×10^3 个/L。平均Shannon-Wiener(H')多样性指数为2.66,2018年夏季航次最低仅1.52,2015年春季航次最高为3.73。多样性基本呈春季高夏季低的趋势。Pearson相关性分析显示,水温、活性磷酸盐及化学需氧量与浮游植物群落结构关系密切。典范对应分析则表明,海州湾春季优势物种主要受水温、溶解氧和盐度的影响,而夏季则受多种因子的综合影响。近年来海州湾浮游植物多样性整体呈缓慢下降趋势可能受紫菜大规模养殖的影响。

关键词:海州湾;浮游植物;群落结构;环境因子

中图分类号:X839.2

文献标志码:B

文章编号:1674-6732(2021)01-0047-05

Study on the Community Structure of Phytoplankton in Haizhou Bay and Its Adjacent Waters from 2015 to 2018

Ji Xiang-xing, Jiang Yi, Wang Pu-li

(Jiangsu Lianyungang Environmental Monitoring Center, Lianyungang, Jiangsu 222001, China)

Abstract: According to the survey data of 8 voyages in Haizhou Bay and its adjacent waters in spring and summer of 2015—2018, community structure of phytoplankton was studied and their relationships with environmental factors were evaluated by Pearson correlation analysis and CCA. A total of 96 species of phytoplankton were found, including 80 species of diatoms. *Skeletonema costatum* was the first dominant species in all voyages. Cell abundance ranged from 4.20×10^3 cells/L to $7\,952.00 \times 10^3$ cells/L with an average of 504.54×10^3 cells/L. Average H' was 2.66. The lowest H' was 1.52 in the summer of 2018, and the highest H' was 3.73 in the spring of 2015. Diversity basically showed a trend of high in spring and low in summer. Pearson's correlation analysis indicated that phytoplankton abundance were positively correlated with water temperature, active phosphate and chemical oxygen demand. CCA suggested that the dominant species in Haizhou Bay were mainly affected by water temperature, dissolved oxygen and salinity in spring, while in summer they were affected by many factors. The phytoplankton diversity in Haizhou Bay has declined slowly in recent years, which may be affected by large-scale laver culture.

Key words: Haizhou bay; Phytoplankton; Community structure; Environmental factors

海洋浮游植物是海洋生态系统中最重要的高级生产者^[1],其群落结构与环境因子之间存在密切关系^[2],其繁殖快、对环境变化反应敏感等特点使其成为海洋生态系统的自然生物指示剂^[3]。浮游植物群落特征是研究海区其他生态和环境问题的基础,其群落结构的变化反映了人类活动对近岸

海域生态系统的影响^[4-5]。

海州湾是位于黄海中部的一个典型开敞式海湾,全长近86.81 km,呈新月形。沿岸入海河流众多,为其带来大量营养盐,加上阳光充足,海域辽阔,且拥有沙质、岩质、淤泥质等多种底质类型,使其成为优良的渔业生物栖息场所^[6]。有关海州湾

收稿日期:2020-01-21;修订日期:2020-04-07

基金项目:江苏省环境监测科研基金资助项目(1813)

作者简介:季相星(1987—),男,工程师,硕士,从事生物生态监测工作。

浮游植物的专项研究最早始于 2003 年对海州湾人工鱼礁区的调查^[7],之后每年均有相关研究见于报道^[8-10]。但近年来对其浮游植物的调查研究却在逐渐减少,最新的报道也已是 2015 年的调查结果^[11],2015 年后海州湾紫菜养殖面积逐年大幅度增加。现利用 2015—2018 年海州湾浮游植物调查资料分析其群落结构特征,探讨紫菜养殖对浮游植物的影响,为深入研究海州湾浮游生态系统提供基础资料。

1 研究方法

1.1 站位设置

在海州湾及邻近海域设置 5 个站位,分别为:HZ01、HZ02、HZ03、HZ04 和 HZ05。其中 HZ01、HZ03 及 HZ04 位于紫菜养殖区,HZ02 位于港池,HZ05 邻近田湾核电站。

1.2 调查时间

于 2015—2018 年 4 月(春季)、8 月(夏季)进行共计 8 个航次的浮游植物调查。

1.3 样品采集与分析

浮游植物样品的采集、保存及分析均按照《海洋监测规范》^[12]进行。每个站位采集表层(海面以下 0.1~1 m)水样 500 mL 于广口玻璃瓶中,并及时按每升水样加 6~8 mL 碘液进行固定保存。物种分类及统计采用浓缩计数法,将静置 24 h 以上的样品浓缩后置于计数框中进行镜检、鉴定并计数。所有浮游植物样品的分析均由同一人员完成。

水温、盐度及溶解氧由美国 YSI 便携式参数仪现场测得,悬浮物、活性磷酸盐、化学需氧量及无机氮的取样与分析按照文献^[12]的要求进行。水质样品分析过程中按要求采取平行样、抽样等质控措施。

1.4 数据处理

采用 Shannon - Wiener 多样性指数(H')^[13]进行多样性分析,根据《近岸海域环境监测规范》^[14]对 H' 指数做出的划分进行评价。采用种类优势度(Y)^[15]确定优势种, $Y > 0.02$ 为优势种。公式如下:

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

$$Y = \frac{n_i f_i}{N} \quad (2)$$

式中: Y ——种类优势度; P_i ——第 i 种的个体数与总个体数的比值; s ——总种数; n_i ——第 i 种的个体数; N ——总个体数; f_i ——第 i 种的出现频率。

应用 SPSS 18.0 软件进行浮游植物与环境因子的相关性分析,应用 CANOCO 5.0 软件对物种和环境因子进行典范对应分析(CCA),排序结果用物种 - 环境因子关系的双序图表示。

2 结果分析

2.1 浮游植物种类组成

各航次浮游植物物种数见图 1。由图 1 可见,调查共发现浮游植物 96 种,其中硅藻 80 种,占总物种数的 84.38%,甲藻 11 种,蓝藻 2 种,黄藻、金藻、绿藻各 1 种。

各航次调查中,2015 年 8 月发现浮游植物物种最多,为 45 种;2018 年 4 月发现最少,为 20 种。2015—2018 年均是夏季航次发现物种数高于春季。春季航次调查共发现浮游植物 60 种,夏季航次共发现 84 种。在所有发现的 96 种浮游植物中,春季特有种共 14 种,夏季特有种 36 种,春夏季均发现的为 46 种。

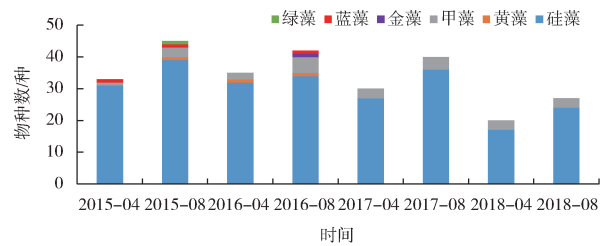


图 1 各航次浮游植物物种数

2.2 浮游植物丰度

各航次各站位浮游植物丰度见表 1。由表 1 可见,海州湾及邻近海域调查期间浮游植物丰度为 $4.20 \times 10^3 \sim 7\ 952.00 \times 10^3$ 个/L,平均丰度为 504.54×10^3 个/L。

2018 年春季浮游植物平均丰度最低为 5.56×10^3 个/L,远低于 2016 年夏季最高的 $2\ 333.68 \times 10^3$ 个/L。从空间角度看,各调查站位浮游植物平均丰度差异较大,离岸最近的 HZ05 平均丰度最高,为 $1\ 381.62 \times 10^3$ 个/L,而离岸最远的 HZ03 平均丰度最低。同时,HZ05 在 2016 和 2018 年夏季的丰度均远高于其他点位,这是否是受田湾核电站温排水抑或其他人类活动影响所致还需进一步研究。历年平均丰度均呈春季低、夏季高的趋势,但各年之间相差较大,无明显规律。各航次调查丰度受绝对优势种中肋骨条藻(*S. costatum*)的影响较大。

表 1 各航次各站位浮游植物丰度

10³ 个/L

站位	2015 年		2016 年		2017 年		2018 年		平均
	春季	夏季	春季	夏季	春季	夏季	春季	夏季	
HZ01	34.68	560.76	429.44	265.80	57.36	364.88	4.20	12.60	216.22
HZ02	25.08	602.04	273.12	2 625.00	147.12	220.40	5.00	54.80	494.07
HZ03	28.68	575.84	342.88	225.60	129.60	176.88	4.40	10.80	186.84
HZ04	35.98	510.60	93.72	600.00	73.92	289.84	5.60	342.00	243.96
HZ05	16.32	632.76	405.00	7 952.00	195.36	64.48	8.60	1 778.40	1 381.62
平均值	28.15	576.40	308.83	2 333.68	120.67	223.30	5.56	439.72	504.54

2.3 浮游植物优势种

各航次优势种及其种类优势度见表 2。由表 2 可见,中肋骨条藻(*S. costatum*)在各航次调查中均是第一优势种,且除 2017 年外,均是夏季优势度高于春季优势度,这说明中肋骨条藻(*S. costatum*)在海州湾浮游植物生态系统中占有极重要的地位。2018 年夏季,中肋骨条藻(*S. costatum*)为唯一优势种,其第二优势种掌状冠盖藻(*Stephanopyxis palmeriana*)的优势度仅为 0.004。同时,条纹小环

藻(*Cyclotella striata*)、丹麦细柱藻(*Leptocylindrus danicus*)、海洋原甲藻(*Prorocentrum micans*)为 3 个航次优势种,旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)、布氏双尾藻(*Ditylum brightwellii*)、柔弱几内亚藻(*Guinardia delicatula*)、尖刺菱形藻(*Nitzschia pungens*)、塔形冠盖藻(*Stephanopyxis turris*)为 2 个航次优势种,其余种类仅为 1 个航次的优势种,说明除中肋骨条藻(*S. costatum*)外,其余优势种在整个海域是随时间不断无规律变化的。

表 2 各航次优势种及其种类优势度

序号	优势种	优势度							
		2015 年		2016 年		2017 年		2018 年	
		春季	夏季	春季	夏季	春季	夏季	春季	夏季
1	窄隙角毛藻 (<i>Chaetoceros affinis</i>)							0.107	
2	旋链角毛藻 (<i>C. curvisetus</i>)		0.043					0.107	
3	角毛藻 sp. (<i>Chaetoceros</i> sp.)		0.029						
4	冕孢角毛藻 (<i>Chaetoceros subsecundus</i>)		0.048						
5	扭链角毛藻 (<i>Chaetoceros tortissimus</i>)							0.066	
6	星脐圆筛藻 (<i>Coscinodiscus astromphalus</i>)	0.109							
7	弓束圆筛藻 (<i>Coscinodiscus curvatulus</i>)	0.040							
8	格氏圆筛藻 (<i>Coscinodiscus granii</i>)	0.049							
9	虹彩圆筛藻 (<i>Coscinodiscus oculus - iridis</i>)	0.039							
10	辐射圆筛藻 (<i>Coscinodiscus radiatus</i>)		0.023						
11	细弱圆筛藻 (<i>Coscinodiscus subtilis</i>)								0.070
12	条纹小环藻 (<i>C. striata</i>)			0.036		0.050			0.122
13	布氏双尾藻 (<i>D. brightwellii</i>)			0.023					0.094
14	柔弱几内亚藻 (<i>G. delicatula</i>)			0.097	0.038				
15	薄壁几内亚藻 (<i>Guinardia flaccida</i>)			0.024					
16	环纹娄氏藻 (<i>Lauderia annulatus</i>)				0.021				
17	丹麦细柱藻 (<i>L. danicus</i>)			0.123	0.051			0.035	
18	长菱形藻 (<i>Nitzschia longissima</i>)			0.021					
19	尖刺菱形藻 (<i>N. pungens</i>)	0.070						0.055	
20	菱形藻 sp. (<i>Nitzschia</i> sp.)								0.030
21	优美伪菱形藻 (<i>Pseudonitzschia delicatissima</i>)							0.045	
22	柔弱伪菱形藻 (<i>Pseudo-nitzschia delicatissima</i>)	0.038							
23	柔弱根管藻 (<i>Rhizosolenia delicatula</i>)							0.025	
24	脆根管藻 (<i>Rhizosolenia fragillissima</i>)							0.037	
25	中肋骨条藻 (<i>S. costatum</i>)	0.195	0.621	0.254	0.804	0.444	0.290	0.255	0.580
26	掌状冠盖藻 (<i>S. palmeriana</i>)					0.105			
27	塔形冠盖藻 (<i>S. turris</i>)			0.039		0.157			
28	针杆藻 sp. (<i>Synedrasp.</i>)	0.021							
29	海洋原甲藻 (<i>P. micans</i>)			0.035		0.035		0.058	
30	颤藻 sp. (<i>Oscillatoriasp.</i>)	0.064							

2.4 浮游植物多样性

调查期间海州湾浮游植物平均 H' 多样性指数为 2.66。各航次平均值为 1.52~3.73, 其中 2018 年夏季航次最低仅 1.52, 其多样性仅评价为一般; 2015 年春季航次最高为 3.73, 多样性评价为丰富。

2015—2018 年海州湾浮游植物 H' 指数变化趋势见图 2。

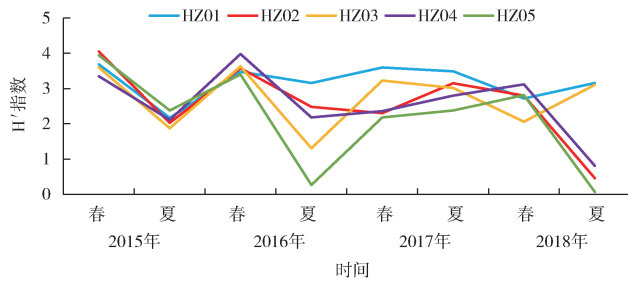


图 2 2015—2018 年海州湾浮游植物 H' 指数变化趋势

由图 2 可见, 2015—2016 年海州湾浮游植物多样性基本呈现出春季高夏季低的趋势, 这主要受

中肋骨条藻 (*S. costatum*) 丰度变化的影响。2017 年春季航次平均多样性相近, 而 2018 年又呈现春季高夏季低的趋势。离岸最近的 HZ05 站位在 2016 年春季和 2018 年春季 2 个航次 H' 指数均 < 1。同时, 2018 年春季航次有 3 个站位 H' 指数 < 1, 该航次中肋骨条藻 (*S. costatum*) 平均丰度占了总平均丰度的 96.7%。

2.5 影响浮游植物群落的主要环境因子

浮游植物群落数据与环境因子的 Pearson 相关性分析结果见表 3。由表 3 可见, 浮游植物丰度与水温、活性磷酸盐、化学需氧量呈显著正相关, 而 H' 指数却与其呈显著负相关; 同时, 多样性指数还与盐度、溶解氧呈显著正相关。而物种数同化学需氧量呈显著正相关, 同悬浮物呈显著负相关。各群落数据与水深、无机氮均无显著相关性, 这可能与调查点位均位于近岸海域, 水深及无机氮相差不明显有关。经 Pearson 相关性分析, 浮游植物丰度与多样性指数呈显著负相关, 相关系数为 -0.487^{**} , 丰度越高, 其多样性越低。

表 3 浮游植物群落特征与环境因子的 Pearson 相关性^①

环境因子	水深	水温	盐度	悬浮物	溶解氧	活性磷酸盐	化学需氧量	无机氮
丰度	-0.199	0.350 *	-0.244	-0.191	0.081	0.369 *	0.744 **	-0.255
物种数	-0.100	0.137	0.089	-0.558 **	-0.264	0.099	0.354 *	-0.250
H' 指数	0.218	-0.607 **	0.477 **	-0.237	0.372 *	-0.359 *	-0.313 *	0.030

① * : 在 0.05 水平 (双侧) 上显著相关; ** : 在 0.01 水平 (双侧) 上显著相关。

进一步对海州湾浮游植物优势物种 (表 2) 进行典范对应分析 (CCA), 见图 3、4。

由图 3-4 可见, 春季海州湾优势浮游植物主

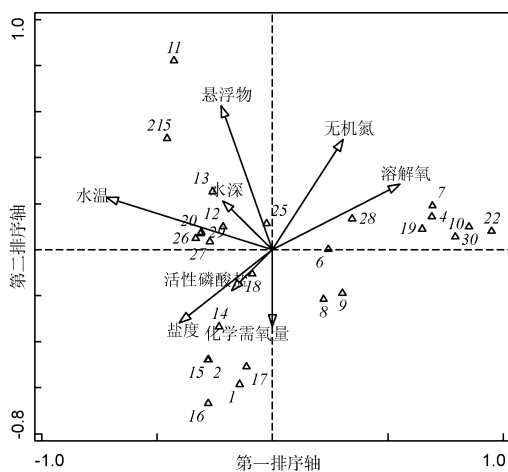


图 3 春季浮游植物主要优势物种与环境因子的双序图

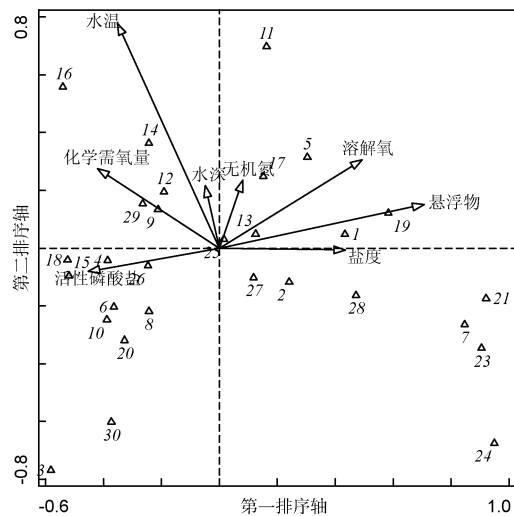


图 4 夏季浮游植物主要优势物种与环境因子的双序图

要受水温、溶解氧和盐度的影响, 这也进一步验证了 Pearson 相关性分析的结果。夏季情况则有所不

同,没有一个明显作用的环境因子,而是受水温、溶解氧、化学需氧量、悬浮物及活性磷酸盐等多种因子的综合影响,同时需要指明的是,夏季可能受其他因子影响比较强烈,如光照等,需进一步分析研究。

3 讨论

2015—2018年海州湾紫菜养殖情况统计见表4。由表4可见,2015—2018年海州湾紫菜养殖面积持续增长,仅2016年便增加了7 337 hm²。同时研究站位浮游植物多样性整体呈缓慢下降趋势,且其下降正与紫菜养殖的扩张时间基本吻合,可能是受养殖规模扩张的影响。张寒野等^[16]研究证实,紫菜养殖可降低海区的无机氮含量,而营养盐结构改变会导致浮游植物群落结果发生变化,影响到浮游植物的多样性。但紫菜养殖是如何影响海域水质及浮游植物群落结构的需进一步深入研究。

表4 2015—2018年海州湾紫菜养殖情况统计

时间/a	养殖面积/万 hm ²	产量/亿张	产值/亿元	H' ¹ 年均
2015	1.38	21.0	8.5	2.92
2016	1.70	22.3	15.61	2.75
2017	2.43	42.7	14.32	2.85
2018	2.67	35.0	14.01	2.11

4 结论

(1) 调查共发现浮游植物96种,其中中肋骨条藻(*S. costatum*)在各航次均是第一优势种,其丰度为 $4.20 \times 10^3 \sim 7\,952.00 \times 10^3$ 个/L,平均值为 504.54×10^3 个/L。

(2) 平均H'多样性指数为2.66,基本呈春季高夏季低的趋势,其中2018年夏季航次最低,2015年春季航次最高。

(3) Pearson相关性分析显示,水温、活性磷酸盐及化学需氧量与浮游植物群落结构关系密切。典范对应分析则表明,海州湾春季优势物种主要受水温、溶解氧和盐度的影响,而夏季则受多种因子的综合影响。

(4) 近年来海州湾浮游植物多样性整体呈缓慢下降趋势可能受紫菜大规模养殖的影响。

[参考文献]

- [1] 孙军,李冠国,范振刚. 海洋生态学[M]. 北京:高等教育出版社,2004:247-282.
- [2] LIISA L, ANNA - LIISA H, HEIDI V. Type - specific and indicator taxa of phytoplankton as a quality criterion for assessing the ecological status of Finnish boreal lakes[J]. Limnologia, 2004, 34(3):236-248.
- [3] GHINAGLIA L T, HERRERA - SILVEIRA J A, FRANCISCO A C. Structural variations of phytoplankton in the coastal seas of Yucatan, Mexico[J]. Hydrobiologia, 2004, 519(1-3):85-102.
- [4] HARDING L W. Long - term trends in the distribution of phytoplankton in Chesapeake Bay: roles of light, nutrients and stream flow[J]. Marine Ecology Progress Series, 1994, 104: 267 - 291.
- [5] LONGHURST A, SATHYENDRANATH S, PLATT T, et al. An estimate of global primary production in the ocean from satellite radiometer data[J]. Journal of Plankton Research, 1995, 17: 1245 - 1271.
- [6] 中国海湾志编纂委员会. 中国海湾志(第四分册)[M]. 北京:海洋出版社,1994:354.
- [7] 张硕,朱孔文,孙满昌. 海州湾人工鱼礁区浮游植物的种类组成和生物量[J]. 大连水产学院学报,2006(2):134-140.
- [8] 徐虹,黄祖英,魏爱泓. 海州湾浮游植物总量的多元分析[J]. 海洋环境科学,2009,28(S1):26-27.
- [9] 杨柳,张硕,孙满昌,等. 海州湾人工鱼礁区浮游植物与环境因子关系的研究[J]. 上海海洋大学学报,2011,20(3):445-450.
- [10] 杨晓改,薛莹,咎肖肖,等. 海州湾及其邻近海域浮游植物群落结构及其与环境因子的关系[J]. 应用生态学报,2014,25(7):2123-2131.
- [11] 贡成恺. 海州湾南部及邻近海域网采浮游植物群落结构特征[C]//中国水产学会. 2018年中国水产学会学术年会论文摘要集,2018:388.
- [12] 国家质量监督局. 海洋监测规范 近海污染生态调查和生物监测:GB 17378.7-2007[S]. 北京:中国标准出版社,2007:12-22.
- [13] SHANNON C E, WEAVER W. The Mathematical theory of communication[M]. Urbana: University of illinois press,1949.
- [14] 环境保护部. 近岸海域环境监测规范:HJ 442-2008[S]. 北京:中国环境科学出版社,2008:23.
- [15] 孙军,刘东艳,王威,等. 1998年秋季渤海中部及其邻近海域的网采浮游植物群落[J]. 生态学报,2004(8):1644-1656.
- [16] 张寒野,何培民,陈焯飞,等. 条斑紫菜养殖对海区中无机氮浓度影响[J]. 环境科学与技术,2005(4):44-45,117.