

◆海洋科学◆

广利港夏季硅藻多样性指数与氮、磷营养盐组成的关系*

王忠全,程玲,孙春晓,乔洪金,李斌**

(山东省海洋资源与环境研究院,山东省海洋生态修复重点实验室,山东烟台 264006)

摘要:硅藻种类多,粒径分布范围广,其多样性在很大程度上决定着海洋环境的稳定性,而硅藻多样性指数(H')的变化受温度、盐度和营养盐等多种因素的影响。为探明营养盐结构与硅藻多样性指数的关系,本研究于2016年夏季采集东营广利港海区38个站位的水样,分别使用铈还原比色法、奈乙二胺分光光度法、次溴酸盐氧化法和磷钼蓝分光光度法测定硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐和活性磷酸盐的浓度,采用显微镜视野法计数和鉴定硅藻种群。结果显示,近岸河口区的N、P营养盐浓度最高,随着离岸距离增加营养盐浓度降低,但并没有呈现离岸越远浓度越低的现象。N/P在不同站位波动较大,且远大于Redfield比值($N/P=16$),其中29个站位超过100。随着N/P的增加, H' 呈下降趋势, H' 与N/P之间呈中等程度的负相关关系,相关系数为 $R=-0.43$ ($n=45, P<0.01$)。实验结果表明,广利港海域营养盐结构失衡有可能影响硅藻种群的均匀分布。

关键词:硅藻 多样性指数 营养盐结构 氮磷比 种群分布

中图分类号:Q145 文献标识码:A 文章编号:1005-9164(2021)02-0119-06

DOI:10.13656/j.cnki.gxkx.20210610.003

0 引言

多样性指数、丰富度指数等参数主要反映生物群落内的种类数和种间数量分配,可用于表征浮游植物群落的结构特征^[1],其中,最有效的参数是生物多样性指数(H'),常用于分析海域生物群落的稳定程度及其随时间的演替,多样性指数越高的海域生态系统越趋于稳定^[2-4]。广利港是渤海海域一处重要的港口,受广利河等入海河流的影响,近年来富营养化程

度较高。硅藻是海洋中最主要的浮游植物类群,其光合产量占海洋初级生产力的20%以上^[5]。硅藻种类繁多,细胞粒径跨度大,可以从几微米到几百微米^[6]。由于细胞体积和代谢特征的差异,不同种类的硅藻对海洋环境(温度、盐度、营养盐组成)的适应性不同,其中,营养盐浓度和组成是影响硅藻群落特征的重要因素^[7]。浮游植物的营养元素主要为N、P,即硝态氮、氨氮和磷酸盐^[8-10]。营养盐的组成和浓度决定藻类细胞的生长速率,因而直接影响浮游植物的物种丰

* 国家重点研发计划(YFC1400606-2),山东省农业重大应用技术创新项目(SD2019YY010),山东省“渤海粮仓”科技示范工程项目(BHLC005)和山东省自然科学基金项目(ZR2017QD007)资助。

【作者简介】

王忠全(1980-),男,副研究员,主要从事水产养殖研究。

【**通信作者】

李斌(1980-),男,副研究员,硕士生导师,主要从事海洋环境生物学研究,E-mail:albert0722@163.com。

【引用本文】

王忠全,程玲,孙春晓,等.广利港夏季硅藻多样性指数与氮、磷营养盐组成的关系[J].广西科学,2021,28(2):119-124.

WANG Z Q, CHENG L, SUN C X, et al. Relationship between the Diatom Diversity Index and Nitrogen and Phosphorus Compositions in the Summer of Guangli Port [J]. Guangxi Sciences, 2021, 28(2): 119-124.

度。N/P也是影响浮游植物组成的重要因素^[11,12],一般根据 Redfield 比值(N/P=16)判断海域是否存在 N 限制或 P 限制^[13],从而建立浮游植物群落演替与 N/P 的关系。有研究报道,在氮磷浓度都比较低的情况下,N/P 的下降有利于小粒径硅藻细胞的生长^[14,15]。硅藻种类繁多,不同海域硅藻种类组成差别较大,但是在营养盐丰富的近岸和河口海域,氮磷浓度的变化对硅藻群落组成影响的研究较少。因此,本文基于2016年夏季广利港38个站点的水质和浮游植物种类的调查数据,分析夏季广利港营养盐浓度与硅藻多样性指数 H' 的关系,拟为广利港富营养化治理和海洋生态环境保护提供理论支撑。

1 材料与方 法

1.1 采样海域及采样方法

于2016年8月至9月在东营广利港的38个站点(15个断面)进行调查,各断面与取样站位的对应关系见表1。由于近河口区域受河流影响变动剧烈,

表1 不同断面对应的站点

Table 1 Stations corresponding to different cross sections

断面 Cross sections	站点 Stations
1	Hh15
2	ST01
3	ST02
4	ST03
5	ST04
6	ST05
7	ST06
8	ST07,ST08,ST09,ST10,ST11
9	ST12,ST13,ST14
10	ST17,ST20,ST21
11	ST23,ST24,ST25,ST26
12	ST27,ST28,ST29,ST30,ST31
13	ST32,ST33,ST34,ST35,ST36
14	ST37,ST38,ST39
15	ST40,ST41,ST42

因此距离河口近的每个站点都作为一个断面,而远离河口的区域按照距离河口的远近每3-5个站点为一个断面,每个断面均近似平行于海岸线,经纬度为 $118^{\circ}57'30.52'' - 119^{\circ}15'48.16'' E, 37^{\circ}19'2.08'' - 37^{\circ}27'16.47'' N$ (图1)。

使用采水器在各个站点采样(采样深度0.5 m),水样用鲁哥氏液当场固定,每升水样加入10-15 mL 鲁哥氏液。使用相同的方式采集水样进行营养盐测定。

1.2 计数及测定方法

将水样摇匀,取100 mL置于250 mL分液漏斗中,沉淀24 h以上,去除上清液,浓缩至一定体积,在光学显微镜(CX-21,奥林巴斯)10×40镜头下采用视野法进行计数^[16]、鉴定,每个样品计数2次,取其平均值。

样品采集带回实验室后,立即开始营养盐的测定。硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐分别用铍镉还原比色法、奈乙二胺分光光度法、次溴酸盐氧化法和磷钼蓝分光光度法测定。每个样品做3个平行样,每20个样品做1个内控。样品分析均按照《海洋调查规范》(GB/T 12763.4-2007)进行^[17]。

1.3 数据处理

硅藻的丰度用下列公式计算:

$$N = \frac{C}{F_s \times F_n} \times \frac{V}{U} \times P_n,$$

式中, N 为硅藻的物种丰度(个/ m^3), C 为盖玻片面积(mm^2), F_s 为每个视野面积(mm^2), F_n 为计数视野数, V 为1 m^3 水样沉淀浓缩体积(mL), U 为计数体积(mL), P_n 为计数视野中每种藻的总个数。

H' 采用 Shannon-Weaver 公式计算:

$$H' = - \sum_i^s P_i \ln P_i,$$

式中, H' 为种类多样性指数, S 为样品中的种类总数, P 为第*i*种的个体数即丰度(n_i)或生物量(w_i)与总个体数即总丰度(N)或总生物量(W)的比值。

采用 Origin 2017 软件进行线性拟合,并根据 Pearson 相关系数衡量相关性,显著性差异设定为 $P < 0.05$,极显著差异设定为 $P < 0.01$ 。

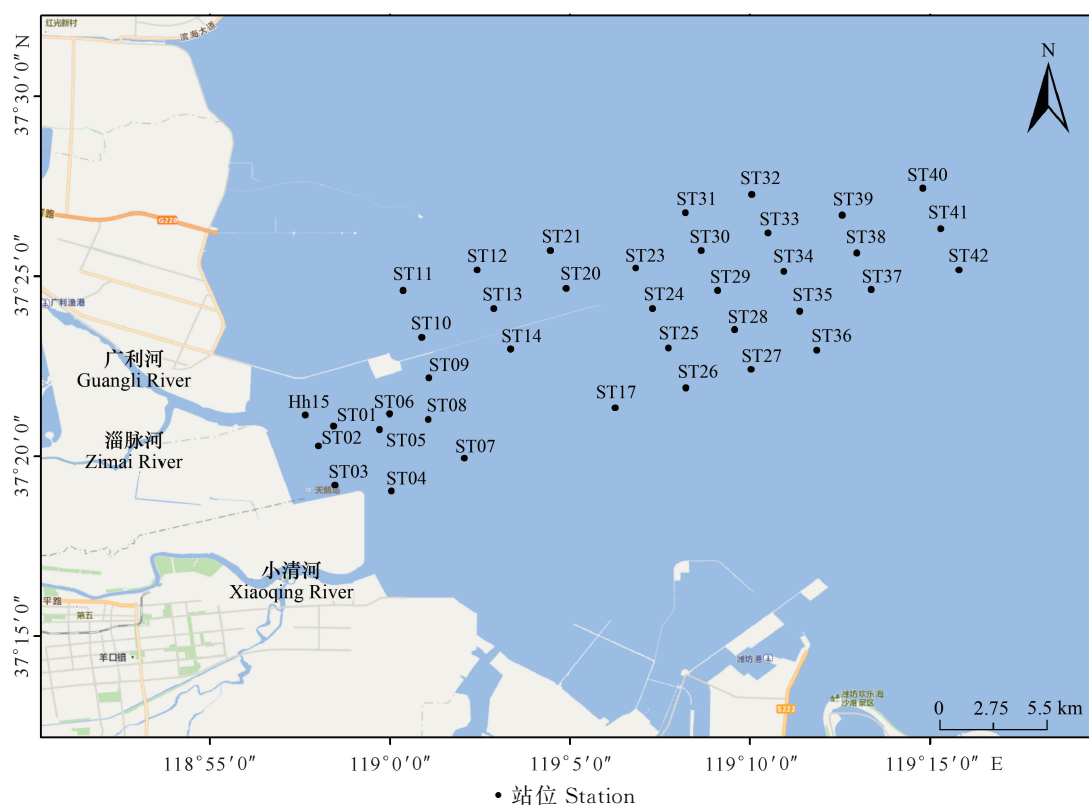


图1 东营广利港采样站位(审图号:GS(2019)1719号)

Fig.1 Sampling station of Dongying Guangli Port (Censor code:GS (2019) 1719)

2 结果与分析

2.1 硅藻的种类组成和多样性指数 H'

本次调查共鉴定出硅藻 19 种(部分鉴定到属),各站位累计丰度最高的 3 种硅藻分别为尖刺伪菱形藻(*Pseudo-nitzschia pungens*)、圆筛藻属(*Coscinodiscus* sp.)、大洋角管藻(*Cerataulina pelagica*),其中圆筛藻属在各个站位都有发现且丰度较高,最高可达 4.27×10^6 个/ m^3 (ST17 站位)。短角弯角藻(*Eucampia zodiacus*)、圆柱角毛藻(*Chaetoceros teres*)、中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)和薄壁几内亚藻(*Guinardia flaccida*)只在部分站位有发现且丰度较低,其中薄壁几内亚藻在 ST39 站位的丰度仅为 1 900 个/ m^3 。

近岸站位 Hh15、ST01 - ST06 优势藻种主要有圆筛藻属、旋链角毛藻(*Chaetoceros curvisetus*)和尖刺伪菱形藻,断面 8 (ST07 - ST11 站位)优势藻种为劳氏角毛藻(*Chaetoceros lorenzianus*)、角毛藻属和尖刺伪菱形藻,断面 9 (ST12 - ST14 站位)、断面 10 (ST17, ST20 - ST21 站位)、断面 11 (ST23 - ST26 站位)优势藻种均为尖刺伪菱形藻、圆筛藻属和大洋角管藻,断面 12 (ST27 - ST31 站位)优势藻种为尖

刺伪菱形藻、圆筛藻属、旋链角毛藻,断面 13 (ST32 - ST36 站位)、断面 14 (ST37 - ST39 站位)优势藻种均为尖刺伪菱形藻、圆筛藻属和角毛藻属(*Chaetoceros* sp.),断面 15 (ST40 - ST42 站位)尖刺伪菱形藻、圆筛藻属和旋链角毛藻。

将各断面站位对应的 H' 作散点图(图 2)。 H' 在近岸的 Hh15、ST03 和 ST04 站位为 0.95 - 1.62,在近岸的 ST01、ST02、ST05、ST06 站位为 1.69 - 1.90,而在离岸更远的站位, H' 的波动范围变大,其

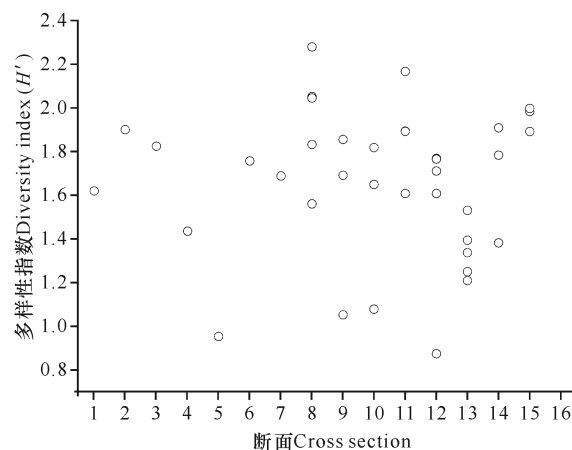


图2 不同断面站位的多样性指数

Fig.2 H' in different sites of cross section

值为 0.87–2.28。 H' 随着离岸距离的远近没有确定的变化趋势, 这可能与夏季河流淡水输入造成的扰动有关。

2.2 营养盐的空间变化

如图 3a 所示, N 营养盐浓度在近岸的 Hh15、ST01、ST04 站位最高, 分别为 3.2、3.3 和 3.9 mg/L, 但是在另外两个近岸站位 (ST02 和 ST03) 急剧降低, 分别只有 0.62、0.76 mg/L。随着离岸距离增大, N 浓度水平相对下降, 为 0.14–1 mg/L, 仅断面 8 的 2 个站位超过 2 mg/L, 各断面 (断面 3, 4, 6–15) 间 N 浓度没有显著差别。

如图 3b 所示, P 营养盐浓度在各站位的变化趋势与 N 浓度表现出相似的趋势, 也是在 Hh15、ST01、ST04 站位最高, 达到 0.06–0.07 mg/L, 而在 ST02 站位只有 0.007 mg/L。在其他断面, P 浓度在 0.003–0.04 mg/L 间波动。

如图 3c 所示, N/P 为 16.81–433.23, 其中 29 个站位超过 100。N/P 在近岸 ST03 站位为 16.81, 与 Redfield 比值 (16) 相当; 断面 1 至断面 7 的 N/P 稳定在 110 左右; 在断面 8 及离岸更远断面的很多站位, N/P 都显著增加, 甚至超过 400 (ST13、ST33 站位), 与 Redfield 比值相差近 30 倍。

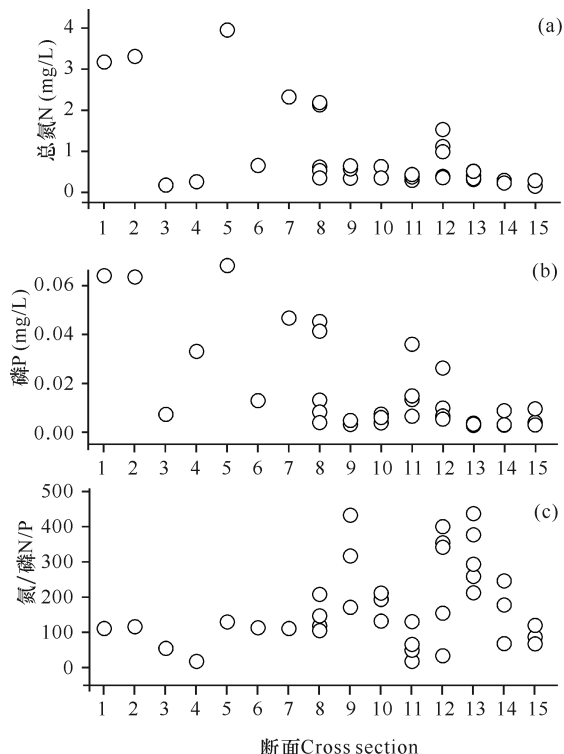


图 3 不同断面站位的氮浓度、磷浓度和氮磷比

Fig. 3 N concentration, P concentration and N/P ratio at different stations of cross sections

2.3 营养盐与 H' 的相关性

将所有站位的 N 浓度、P 浓度和 N/P 分别与其对应的 H' 进行线性拟合 (图 4), N 浓度和 P 浓度与 H' 无明显相关关系; 随着 N/P 的增加, H' 呈下降趋势, H' 与 N/P 之间的相关系数 $R = -0.43$ ($n = 45$, $P < 0.01$), 呈中等程度的负相关关系。

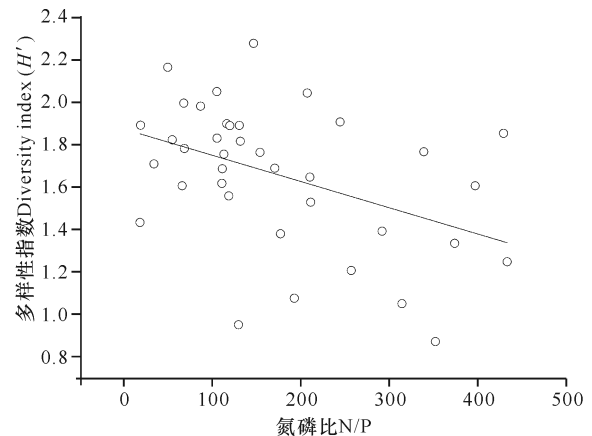


图 4 多样性指数与 N/P 的关系

Fig. 4 Relationship between H' and N/P

3 讨论

此次调查海域广利港位于广利河和淄脉河的出海口, 属于近岸河口区。由于河水带来大量的营养物质, N、P 的浓度较高, 处于富营养状态。但是在离岸较远的多数站位, N、P 浓度显著下降, 尤其是 P 的浓度下降更明显, 低于一般近海海湾^[18]。除少数站位外, N/P 都超过 100, 有数个站位甚至达到 400, 远大于 Redfield 比值 (16), 因此认为离岸海域处于 P 限制的环境, 这与 Moon 等^[19]的报道一致。

浮游植物对磷酸盐的吸收存在种间差异, 洪华生等^[20]通过分析钙质角毛藻、三角褐指藻和亚心形扁藻对 ^{32}P 的吸收实验, 表明藻类对磷酸盐的吸收动力学参数因种类而异。Suttle 等^[18]应用半连续培养研究天然湖泊中浮游植物种类组成对 N/P 的响应, 结果发现, 聚球藻属 (*Synechococcus* sp.) 在高 N/P 时 (45 : 1) 是优势种, 而在低 N/P (5 : 1) 时, 硅藻类中的菱形藻 (*Nitzschia*) 和针杆藻 (*Synedra*) 为优势种。此次调查站位多为高 N/P, 圆筛藻属在各站位中都有较高的丰度, 说明这类藻适合较高的营养盐 N/P。

除不同藻类细胞的特性外, 藻类细胞大小也会影响对营养盐的吸收。Litchman 等^[21]研究硅藻细胞大小与营养盐关系, 发现持续的 N 或 P 限制均有利于小粒径硅藻生长。另有研究发现, N/P 下降有利于小粒径硅藻细胞的生长^[14,15]。曲克明等^[22]专门研

究硅藻的组成,认为 N/P 及其比例对浮游硅藻的组成可能有着明显的影响,氮磷浓度越高,N/P 离 Redfield 越远,浮游植物种类越少,Shannon 指数越低,这与本次调查的结果一致,即 N/P 远离 Redfield 比值的站位 H' 也显著下降。

4 结论

在本次的调查中,随着离岸距离的增加,N 和 P 浓度均呈现降低的趋势,且 N/P 也随之下降;同时,离岸断面的 N/P 远离 Redfield 比值,且这些断面硅藻多样性指数 H' 也显著下降,表明东营广利港海域夏季营养盐结构变化可能对硅藻的组成造成重要影响^[22]。

参考文献

- [1] 黄邦钦,洪华生,王海黎. 微型浮游植物在环境科学研究中的应用[J]. 福建环境,1995,12(4):18-21.
- [2] 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):62-70.
- [3] 章守宇,邵君波,戴小杰. 杭州湾富营养化及浮游植物多样性问题的探讨[J]. 水产学报,2001,25(6):512-517.
- [4] 吕振波,李凡,曲业兵,等. 2010 年夏季黄河口及邻近海域鱼类群落多样性[J]. 渔业科学进展,2013,33(3):10-18.
- [5] TSUJI Y, MATSUDA Y. Uncovering the hidden world of the molecular life of diatoms [J]. Perspectives in Phycology, 2019, 6: 51-58.
- [6] FINKEL Z V, JOHN B, FLYNN K J, et al. Phytoplankton in a changing world: Cell size and elemental stoichiometry [J]. Journal of Plankton Research, 2010, 32: 119-137.
- [7] 张莹. 渤海中部浮游植物与环境因子的空间关系及季节差异分析[D]. 烟台: 中国科学院烟台海岸带研究所, 2016.
- [8] 王勇,焦念志. 北黄海浮游植物营养盐限制的初步研究[J]. 海洋与湖沼,1999,30(5):512-518.
- [9] 赵亮,魏皓,冯士箴. 渤海氮磷营养盐的循环和收支[J]. 环境科学,2002,23(1):77-81.
- [10] OLDEN J D. An artificial neural network approach for studying phytoplankton succession [J]. Hydrobiologia, 2000, 436: 131-143.
- [11] DOMINGUES R B, BARBOSA A, GALVAO H. Nutrients, light and phytoplankton succession in a temperate estuary (the Guadiana, south-western Iberia) [J]. Estuarine, Coastal and Shelf Science, 2005, 64(2): 249-260.
- [12] WÄGNER D S, CAZZANIGA C, STEIDL M, et al. Optimal influent N-to-P ratio for stable microalgal cultivation in water treatment and nutrient recovery [J]. Chemosphere, 2021, 262: 127939.
- [13] 王保栋,陈爱萍,刘峰. 海洋中 Redfield 比值的研究[J]. 海洋科学进展,2003,21(2):232-235.
- [14] FINKEL Z V, KATZ M E, WRIGHT J D, et al. Climatically driven macroevolutionary patterns in the size of marine diatoms over the Cenozoic [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2005, 102: 8927-8932.
- [15] WINDER M, REUTER J E, SCHLADOW S G. Lake warming favours small-sized planktonic diatoms [J]. Proceedings of the Royal Society B: Biological Sciences, 2009, 276: 427-435.
- [16] 李永函,赵文. 水产饵料生物学[M]. 大连: 大连出版社, 2002: 330-332.
- [17] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局, 中国国家标准化管理委员会. 海洋调查规范: 第 4 部分 海水化学要素调查: GB/T 12763. 4 - 2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [18] SUTTLE C A, HARRISON P J. Ammonium and phosphate uptake rate, N : P supply ratios, and evidence for N and P limitation in some oligotrophic lakes [J]. Limnology and Oceanography, 1987, 33(2): 186-202.
- [19] MOON J Y, LEE K, LIM W A. Anthropogenic nitrogen is changing the East China and Yellow seas from being N deficient to being P deficient [J]. Limnology and Oceanography, 2020, 66(3): 914-924.
- [20] 洪华生,戴民汉,黄邦钦,等. 厦门港浮游植物对磷酸盐吸收速率的研究[J]. 海洋与湖沼,1994,25(1):54-59.
- [21] LITCHMAN E, KLAUSMEIER C A, YOSHIYAMA K. Contrasting size evolution in marine and freshwater diatoms [J]. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America, 2009, 106(8): 2665-2670.
- [22] 曲克明,陈碧鹃,袁有宪,等. 氮磷营养盐影响海水浮游硅藻种群组成的初步研究[J]. 应用生态学报,2000, 11(3): 445-448.

Relationship between the Diatom Diversity Index and Nitrogen and Phosphorus Compositions in the Summer of Guangli Port

WANG Zhongquan, CHENG Ling, SUN Chunxiao, QIAO Hongjin, LI Bin

(Shandong Provincial Key Laboratory of Marine Ecology Restoration, Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai, Shandong, 264006, China)

Abstract: There are many kinds of diatoms with wide particle size distribution. The diversity of diatoms largely determines the stability of the marine environment. Variations of diatom diversity index (H') are affected by a variety of factors, including temperature, salinity and nutrient salts. In order to study the relationship between nutrient salt structure and diatom diversity index, water samples from 38 stations in the sea area of Guangli Port of Dongying City in the summer of 2016 were collected. The concentrations of nitrate, nitrite, ammonium and active phosphate were determined by the zinc-cadmium reduction colorimetric method, the ethylene diamine spectrophotometric method, the hypobromite oxidation method, and the phosphomolybdenum blue spectrophotometric method, respectively. The diatom populations were counted and identified by the microscope field method. The results showed that the concentration of N and P nutrient salts was the highest in the estuary area near the shore, and the concentration of nutrient salt decreased with the increase of offshore distance, but there was no phenomenon that the farther offshore, the lower the concentration. The N/P ratio fluctuated greatly from station to station and was much larger than the Redfield ratio ($N/P=16$), of which 29 stations exceeded 100. With the increase of N/P ratio, H' showed a downward trend. There was a moderate negative correlation between H' and N/P ratio, and the correlation coefficient was $R = -0.43$ ($n = 45, P < 0.01$). The experimental results show that the structural imbalance of nutrients in Guangli Port may affect the uniform distribution of diatom populations.

Key words: diatom, diversity index, structure of nutrient salt, N/P ratio, species distribution

责任编辑:米慧芝



微信公众号投稿更便捷

联系电话:0771-2503923

邮箱:gxxk@gxas.cn

投稿系统网址:<http://gxxk.ijournal.cn/gxxk/ch>