

威海海域微型浮游植物多样性指数 与营养盐结构的关系

王育红 吕振波 房燕 杨艳艳 张焕君 马元庆 李凡 徐炳庆

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

摘要 微型浮游植物(粒径 2–20 μm , 这里把范围扩至 2–50 μm)多样性在很大程度上决定着海洋环境的稳定性。其多样性指数(H')的变化受多种因素影响。利用计算相关性指数的方法研究了 H' 与多种环境因子之间的关系, 结果表明, 在 5–27 $^{\circ}\text{C}$ 温度范围内, H' 与水中营养盐结构尤其是 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值相关性显著。2006–2007 年对威海沿岸 6 个海湾进行了 4 次调查, 调查中发现, 当水温 $>16^{\circ}\text{C}$ (16–27 $^{\circ}\text{C}$) 时, H' 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 值呈显著负相关; 2006 年 7 月相关性指数 $R = -0.526$ ($n = 14$); 2007 年 10 月相关性指数 $R = -0.575$ ($n = 19$)。当水温 $<12^{\circ}\text{C}$ (5–12 $^{\circ}\text{C}$) 时, H' 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 值呈高度正相关; 2006 年 12 月相关性指数 $R = 0.665$ ($n = 15$); 2007 年 4 月相关性指数 $R = 0.415$ ($n = 25$)。这种规律显示出微型浮游植物在不同的温度条件下对海域中氮源的种类要求可能是有选择的。当水温 $<12^{\circ}\text{C}$ 时(冬季、春季), 多数浮游植物优先吸收 $\text{NO}_3^- \text{-N}$; 而当水温 $>16^{\circ}\text{C}$ 时(夏季、秋季), 多数浮游植物优先吸收 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 。

关键词 氮源选择; $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值; 季节转换

中图分类号 Q958.1 文献标志码 A 文章编号 1000-7075(2014)02-0001-07

Relationship between structure of nutrient and diversity index of nanophytoplankton in Weihai coastal seawater

WANG Yu-hong LÜ Zhen-bo FANG Yan YANG Yan-yan
ZHANG Huan-jun MA Yuan-qing LI Fan XU Bing-qing

(Shandong Provincial Key Laboratory of Restoration for Marine Ecology,

Shandong Marine Resource and Environment Research Institute, Yantai 264006)

ABSTRACT Diversity index (Shannon-Weaver index) of nanophytoplankton (H') is influenced by many factors. Based on four surveys during 2006–2007, this study focused on the relationship between the structure of nutrients and H' in six bays along Weihai coast, China. It was found that H' was closely related to nitrate/ammonia ratio ($\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$) at temperatures of 5–27 $^{\circ}\text{C}$, showing significant correlations. At 16–27 $^{\circ}\text{C}$, significant and negative correlation was found between H' and $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$, with correlation coefficient of -0.526 ($n = 14$) and -0.575 ($n = 19$) in July

海洋公益性行业科研专项(20090519)、山东省近海经济生物资源调查与评价(SD-908-02-09)、山东近海产卵场、索饵场综合评价(SD-908-02-14)和“水生动物营养与饲料”泰山学者岗位共同资助

收稿日期:2013-04-03;接受日期:2013-08-16

作者简介:王育红(1963-),女,副研究员,主要从事浮游生物方面的研究。E-mail: wangyvh@163.com, Tel: (0535)6375380

2006 and October 2007, respectively. However, when the water temperature was in the range of 5 – 12°C, there was a highly positive correlation between H' and $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ with correlation coefficient of 0.665 ($n = 15$) and 0.415 ($n = 25$) in December 2006 and April 2007, respectively. The results indicated that the nitrogen source preferred by nanophytoplankton was probably different at different temperature. Nanophytoplankton preferentially absorbed $\text{NO}_3^- \text{-N}$ at temperatures below 12°C in winter and spring, while they preferentially utilized $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ at temperatures above 16°C in summer and autumn.

KEY WORDS Nitrogen source preference; Nitrate/ammonia ratio; Seasonal shift

生物多样性指数(H')作为描述生物群落结构特征的一个重要参数,常常应用于分析调查海域生物群落的安定程度及其随时间的变动大小(孙军等 2004;章守宇等 2001;吕振波等 2013;严加坤等 2013)。反映浮游植物群落结构特征的多样性指数、丰富度指数等,都是反映群落中的种类数和种间数量分配的度量(黄邦钦等 1995)。其中最为突出的是多样性指数,它与海洋生态系统的稳定性有着密切的关系(Macarthur 1955; Elton 1958)。多样性指数越高,海域系统就越趋于稳定。

微型浮游植物被定义为粒径 2 – 20 μm 。郑重等(1984)在《海洋浮游生物学》书中把微型浮游生物定义为 5 – 50 μm 。作者在调查中发现,粒径在 20 – 50 μm 的浮游植物很难通过正常的网具得到准确的数量,所以对粒径在 2 – 50 μm 之间的浮游植物进行研究。这个粒径范围内的浮游植物在海域中占主导地位,而且变化剧烈,它包括的浮游植物门类也是最广的,绝大多数的赤潮藻类都在这个粒径等级范围内(夏平等 2007; 齐雨藻等 1997)。

那么影响浮游植物 H' 的因素是什么,温度、营养盐无疑起着重要的作用(崔毅等 2000;王金辉等 2000; 郭术津等 2011)。温度直接影响浮游植物的生长速度及其对营养盐的吸收,但因不同的浮游植物对温度的适应范围不同,所以温度对 H' 的影响是有限定范围的。营养盐的浓度直接影响浮游植物的丰度,但与 H' 之间并没有显著的相关性。通过 2006 – 2007 年对威海周边海域进行的 4 次取样调查发现,微型浮游植物 H' 与海水中 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 有着密切的相关性。对浮游植物最重要的营养元素为 N、P,即硝态氮、氨氮和磷酸盐(王勇等 1999;赵亮等 2002;Olden 2000),其中 N/P 对浮游植物的影响早已被广泛地认识和研究,而不同形态氮之间的比例(如 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$)的作用却被忽略。本研究利用本次调查结果,探讨了 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 与微型浮游植物 H' 的相互关系。

1 材料与方法

1.1 采样海域及采样方法

分别于 2006 年 7 月、12 月和 2007 年 4 月、10 月在威海沿岸的 6 个海湾即北部的威海湾(4 个站位)、东部的荣成湾(5 个站位)、桑沟湾(6 个站位)、南部的靖海湾(4 个站位)、五垒岛湾(4 个站位)及乳山湾(3 个站位)的 26 个站位进行调查,即 121°28.848' – 122°39.618'N, 37°28.650' – 36°46.298'E(图 1)。

使用采水器在各个站位分层采样(5 m 水深分两个水层,10 m 左右水深分 3 个水层,20 m 以内水深分 4 个水层),水样用鲁哥氏液当场固定,每升水样加入 10 – 15 ml 鲁哥氏液。营养盐测定水样的采集同上。

1.2 计数方法

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 Olympus 显微镜 10 × 40 镜头下采用淡水微藻计数方法——视野法(李永函等 2002)进行计数、鉴定,每个样品计数两次,取其平均值。

营养盐测定方法:硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、活性磷酸盐分别用锌镉还原比色法、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,样品上岸后,立即开始测定。每个样品做平行样,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。

1.3 数据处理

微藻的丰度用下列公式计数:

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

式中, N 为所求数值, C 为盖玻片面积, F_s 为每个视野面积, F_n 为计数视野数, V 为沉淀浓缩体积, U 为计数体积, P_n 为计数视野中每种藻的总个数。

H' 采用 Shannon-Weaver 的计算公式

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

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(n_i)或生物量(w_i)与总个体数(N)或总生物量(W)的比值($\frac{n_i}{N}$ 或 $\frac{w_i}{W}$)。

2 结果

2.1 微藻的丰度变化

本次调查共鉴定出微型浮游植物 81 种(部分鉴定到属),分别属于硅藻门 Bacillariophyta、绿藻门 Chllorophyta、金藻门 Chrysophyta、甲藻门 Pyrrophyta、黄藻门 Xanthophyta、隐藻门 Cryptophyta、蓝藻门 Cyanophyta、裸藻门 Euglenophyta。

从表1可以看出,2006年7月的浮游植物丰度最高。从桑沟湾、靖海湾、五垒岛湾、乳山湾4个湾区不稳定的较低的盐度(尤其是表层盐度低)可以看出,不断注入的淡水带来了超出正常量的营养盐,再加上较低的盐度、较高的水温,使角毛藻 *Chaetoceros* 大量繁殖,所以2006年7月的微型藻类丰度非常高。

从6个海湾微藻的时空分布看,不同季节微藻丰度差异较大,6个海湾微藻的最低丰度均出现在2007年10月,最高值均出现在2006年7月(表2)。



图1 威海水域采样海湾及站位

Fig.1 Sampling bays and stations along Weihai coast

表1 威海海域不同季节26站位的微藻丰度平均值

Table 1 Average abundance of nanophytoplankton in four seasons at 26 stations along Weihai coast

项目 Items	2006-07	2006-12	2007-04	2007-10
平均丰度($\times 10^4$ ind/L) Average abundance	3557.80	343.30	561.50	243.30
微藻种类数 Number of nanophytoplankton species	52.00	41.00	72.00	59.00
平均水温($^{\circ}\text{C}$) Average water temperature	21.06	6.10	9.00	18.40
平均盐度 Average salinity	28.56	30.43	31.99	30.22

表2 威海海域6个海湾微藻丰度平均值($\times 10^4$ ind/L)

Table 2 The abundance range of nanophytoplankton in six bays along Weihai coast

季节 Season	威海湾 Weihai Bay	荣成湾 Rongcheng Bay	桑沟湾 Sanggou Bay	靖海湾 Jinghai Bay	五垒岛湾 Wuleidao Bay	乳山湾 Rushan Bay
2006-07	1019.70	2239.49	4704.32	3778.66	7683.94	2976.53
2006-12	271.12	292.31	353.78	609.45	417.89	302.72
2007-04	428.15	228.45	863.77	761.15	827.50	374.72
2007-10	229.90	111.40	141.87	431.80	439.64	204.82

2.2 营养盐的时空变化

从营养盐的情况看, NO_3^- -N 最高值出现在2006年7月, 最低值则出现在2007年4月。而 NH_4^+ -N 的最高值却出现在2007年4月, 最低值出现在2007年10月(表3)。在4个季节中, 2006年7月的海况是最不稳定的, 由于淡水的注入, 部分站位的盐度较低, 在五垒岛湾的20站, 盐度降至为20.06。而盐度不稳定的这些站位 N/P 都较高。最高站位出现在五垒岛湾的22站, N/P 达2348.17, 靖海湾的16站, N/P 为1503.09, 五垒岛湾的21站, N/P 为1140.1, 这些被外界强烈干扰的站位, 它们所表现出的数据已完全掩盖了浮游植物与营养盐之间实际运行的规律, 因此选择那些被外界干扰较少、环境比较稳定的站位来研究它们之间的关系。在盐度较稳定的14个站位中, N/P 比值基本上在100以内, 因此把 N/P 比值在100以内的站位作为分析的有效站位。2006年7月其余的12个站位, N/P 比值平均值为623.64。

2.3 4个季节微藻的 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 的相关关系

2.3.1 夏季 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 的相关关系

2006年7月的有效站位为14个, H' 在1.483 - 2.477之间; NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 在1.31 - 9.36之间, 水温在16.10 - 26.72℃之间。 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 之间的相关系数 $R = -0.528$ ($n = 14$), 呈现出较为明显的负相关(图2)。

2.3.2 秋季 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 的相关关系

2007年10月的有效分析站位为19个, H' 位于0.960 - 1.992之间; NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比值在3.42 - 28.16之间, 水温在16.50 - 19.75℃之间。 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 之间的相关系数 $R = -0.575$ ($n = 19$), $P < 0.01$, 呈高度负相关(图3)。

2.3.3 春季 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 的相关关系

2007年4月的有效站位为25个, H' 位于0.512 - 2.462之间, NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 比值在1.03 - 1.16之间, 水温变化在6.62 - 11.86℃之间。 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 值的相关系数 $R = 0.415$ ($n = 25$), $0.01 < P < 0.05$, 呈显著正相关(图4)。

表3 威海海域不同季节26个站位主要营养盐的平均浓度

Table 3 Average concentration of nutrients in four seasons at 26 stations along Weihai coast

项目 Items(mg/L)	2006 - 07	2006 - 12	2007 - 04	2007 - 10
NO_3^- -N	0.312	0.282	0.147	0.295
NO_2^- -N	0.021	0.005	0.004	0.022
NH_4^+ -N	0.043	0.063	0.143	0.036
PO_4^{3-} -P	0.006	0.030	0.017	0.012

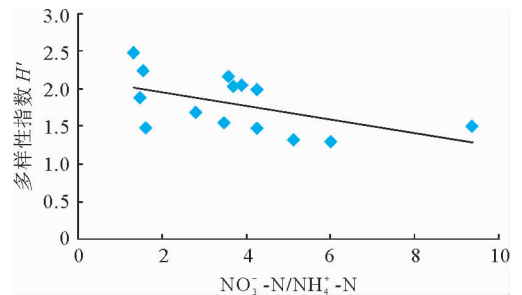


图2 2006年7月 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 的相关关系
Fig.2 The correlation between Shannon-Weaver index and NO_3^- -N/ NH_4^+ -N in July, 2006

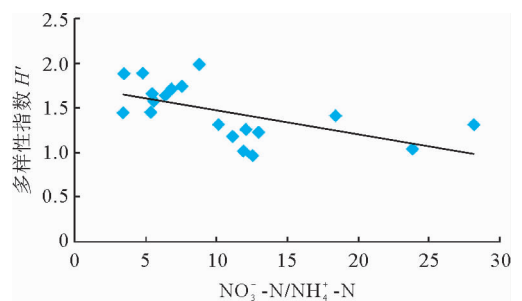


图3 2007年10月 H' 与 NO_3^- -N/ NH_4^+ -N 的相关关系
Fig.3 The correlation between Shannon-Weaver index and NO_3^- -N/ NH_4^+ -N in October, 2007

2.3.4 冬季 H' 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的相关关系

2006年12月的N/P均在100以内,但选择水温在 5°C 以上的站位,因为太低的水温使温度对浮游植物的影响已经超过了营养盐的影响(Tomasky *et al.* 1999)。在靖海湾、五垒岛湾及乳山湾,大多数站位的水温在 $2-4^\circ\text{C}$ 之间,这样的水温即使营养盐结构合理,也只有少数耐低温品种能正常生长。本次有效站位为15个, H' 位于 $1.015-2.082$ 之间; $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值为 $2.89-13.31$,水温在 $5.10-8.68^\circ\text{C}$ 之间。 H' 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值的相关系数 $R = 0.665$ ($n = 15$), $P < 0.01$,呈高度正相关(图5)。

2.3.5 H' 与水温的相关关系

从2006年7月、2007年4月、2007年10月的数据发现, H' 与水温呈正相关,在水温较低的春季相关性不明显,但在水温较高的夏季和秋季相关性非常显著。

2006年7月,水温与 H' 的相关系数 $R = 0.702$ ($n = 14$), $P < 0.01$,呈高度正相关,水温在 $16.10-26.72^\circ\text{C}$ 之间(图6)。

2007年10月水温与 H' 的相关系数 $R = 0.580$ ($n = 19$), $P < 0.01$,呈高度正相关,水温在 $16.50-19.75^\circ\text{C}$ 之间(图7)。

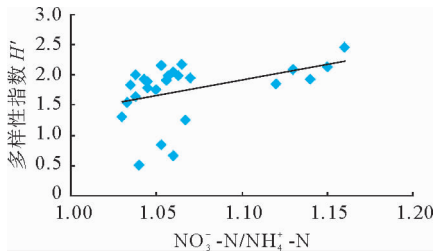


图4 2007年4月 H' 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的相关关系

Fig. 4 The correlation between Shannon-Weaver index and $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ in April, 2007

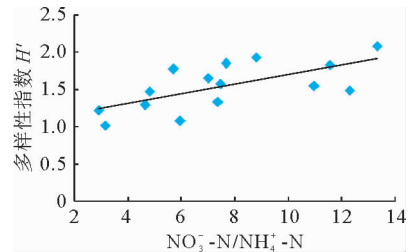


图5 2006年12月 H' 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的相关关系

Fig. 5 The correlation between Shannon-Weaver index and $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ in December, 2006

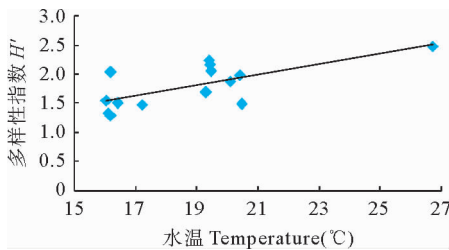


图6 2006年7月 H' 与 T 的相关关系

Fig. 6 The correlation between Shannon-Weaver index and temperature in July, 2006

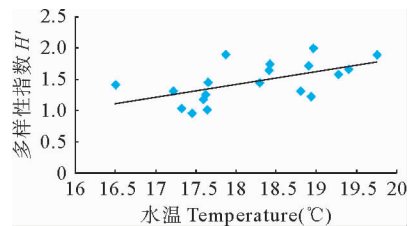


图7 2007年10月 H' 与 T 的相关关系

Fig. 7 The correlation between Shannon-Weaver index and temperature in October, 2007

3 讨论

3.1 冬季、春季浮游植物对氮源的吸收趋势

从浮游植物 H' 与 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 的相关关系可以看出,在不同温度下浮游植物对N、P的吸收率不同(杨小龙等 1990),而且对不同形态的氮的吸收也在变化。当水温 $< 12^\circ\text{C}$ 时, $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值越高,即 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 所占的比例越大, H' 就越高,说明大部分种类的浮游植物对 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 更易吸收。从2006年12月 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值平均为7.57到2007年4月降至1.07来看,说明在这期间浮游植物消耗的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 比例远远高于 $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 所占的比例,而从这两种营养盐绝对值的变化也能看出这种消耗趋势。2006年12月的 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 为 0.282 mg/m^3 ,至2007

年4月降为 0.147 mg/m^3 。2006年12月的 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量为 0.063 mg/m^3 ,至2007年4月升为 0.143 mg/m^3 。当然这种消耗是微型浮游植物和小型浮游植物共同作用的结果,说明在低温下浮游植物优先吸收 $\text{NO}_3^-\text{-N}$,而不是 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。这间接证实了不同粒径浮游植物对氨氮的吸收在冬季差别最小的结论(焦念志等 1995),这也证实了硝酸盐是浮游植物在春季繁盛的氮源的观点(Bess *et al.* 2011)。

3.2 夏季、秋季浮游植物对氮源的吸收趋势

当水温 $> 16^\circ\text{C}$ 时, H' 随着 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比值降低而升高,即 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 所占比例越高, H' 就越高,说明在高温情况下多数浮游植物更易吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ (Madingly 1983; Granéli 1987)。2006年7月所分析的站位平均水温为 18.82°C , $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均比值为3.74, H' 平均值为1.796;2007年10月所分析站位的平均水温为 18.21°C , $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 平均比值为10.47, H' 平均值为1.458。2007年4月 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 含量为 0.143 mg/m^3 ,至2007年10月降至 0.036 mg/m^3 ;而 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量由2007年4月的 0.147 mg/m^3 升至2007年10月的 0.295 mg/m^3 ,2007年的春夏出现干旱,外源补充较少,10月进行调查的前一天,刚好下过雨,即便如此,两种氮源的数值变化充分说明这期间 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 被消耗的比例远远高于 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 。

3.3 浮游植物对不同氮源的吸收转换

Ward等(2011)在对英吉利海峡进行的一个调查中认为,硝酸盐在冬季占主导地位,它是春季水华的主要氮源。而在5-9月,硝酸盐的浓度降至可以检测出的极限,所以夏季浮游植物主要依靠氨氮支持。Ward等(2011)主要是对营养盐的监测结果来分析。作为温带海域,夏季由于海水的分层,表层海水 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量非常低,因而 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 成为主要的氮源。但从营养盐表中(表3)可以看出,营养盐情况和他的报道差异较大,由于近岸多数站位水层较浅(最浅的站位3m),受外界干扰很大,所以在7-10月, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的含量都较高,在这种情况下,从 H' 与 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比值的相关性来分析,得到的结论是浮游植物更需要 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 。因此推测,进入5月,水温开始快速回升,浮游植物转入以吸收 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主。进入10月,海水温度仍然较高, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 所占比例已降为最低,所以,2007年10月 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为一年中最高, H' 为一年中最低,微藻丰度也为一年中最低。作者认为,冬季到春季是主要消耗 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 而积累 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 的过程,而当水温高于 16°C 时转为以消耗 $\text{NH}_4^+\text{-N}$ 为主, $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 被消耗的比例减少,所以 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 得以积累,再加上陆源淡水的流入,所以2006年7月的 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 含量才会如此高。当然,浮游植物对不同氮源的这种吸收转换可能只是一种季节特性,而与具体的温度没有密切联系。

当营养盐浓度高时,有的水体生态环境恶劣,赤潮频繁,而有的水体则维持高初级生产力和渔获量(蒲新明等 2000;韩秀荣等 2003),说明并不是营养盐高就会发生赤潮,关键是营养盐结构需合理,维持较高的 H' ,生态环境就会稳定。如果营养盐结构不合理, N/P 太高或 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 也较高($> 16^\circ\text{C}$), H' 就偏低,那么具有一定丰度的微藻种类就会偏少。这样会出现两种可能:1)当光照、温度、盐度等其他理化因子很适合某种藻类的生长条件,这种藻类的丰度就会快速增加,如果营养盐浓度也较高的话,就会形成赤潮。2011年7月11日,山东烟台四十里湾发生了小球藻赤潮,当时 $\text{N/P} = 218.95$, $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N} = 12.26$ 。2)如果光照、温度、盐度等条件不是特别适合某种藻类的生长,就会出现微藻种类偏少,整个微藻类群丰度偏低。2011年莱州湾就出现了这种情况,从夏季到秋季,莱州湾的微藻丰度较低。以7月18日莱州湾的营养盐数值为例:调查海域 $\text{N/P} = 198.76$, $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N} = 13.52$,微型藻类的平均 H' 为1.148,微藻种类以适应能力很强的隐藻和喜 $\text{NO}_3^-\text{-N}$ 的定鞭金藻-球形棕囊藻 *Phaeocystis globosa* Scherffel 为优势种(徐宁等 2003;王艳等 2006)。而在夏季常见的小型硅藻如角毛藻、骨条藻 *Skeletonema*、海链藻 *Thalassiosira* 等却很少,虽然氨氮含量绝对值较高,但那些饵料价值很高、扇贝适口的小型硅藻未繁殖起来,所以2011年莱州湾的扇贝较瘦。

影响浮游植物 H' 的因素很多(Taylor *et al.* 1995;Teissier *et al.* 2011;Kevin 2003),作者只研究其中的主要影响因子。 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比值对 H' 的影响需要一段时间来体现,而且不同条件下对 H' 影响的最佳比值也会不同。 N/P 对 H' 也有影响(曲克明等 2000),但它的影响经常不会表现出规律性,因为 N/P 比值的影响会受到 $\text{NO}_3^-\text{-N}/\text{NH}_4^+\text{-N}$ 比值的制约,而且各种微藻的初始丰度也是个很重要的因素。本次调查的数据之所以呈现

出明显的规律性,是因为:1) 该海域粒径在 2 - 50 μm 的浮游植物丰度非常高,占该海域整个浮游植物的主导地位,所以它的变动会引起营养盐的明显变化;2) 除夏季某些站位由于淡水的注入造成 N/P 过高外,大部分站位在 4 个季节中的 N/P 都低于 100,而且大多数站位的 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值都较合理,除秋季两个站位分别为 28.16 和 40,其他站位的 $\text{NO}_3^- \text{-N}/\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 比值都低于 13,而且绝大部分站位都低于 10,也就是说该海域处于较正常的状态。

参 考 文 献

- 王金辉,王伟裴,吴振南. 2000. 东海特定海区浮游植物的群落分布与环境因子的关系. 海洋学报, 22(增刊): 286 - 292
- 王艳,唐海溶,蒋磊,李韶山. 2006. 硝酸盐对球形棕囊藻生长和硝酸还原酶活性的影响. 植物学通报, 23(2): 138 - 144
- 王勇,焦念志. 1999. 北黄海浮游植物营养盐限制的初步研究. 海洋与湖沼, 30(5): 512 - 518
- 孙军,刘东艳. 2004. 多样性指数在海洋浮游植物研究中的应用. 海洋学报, 26(1): 62 - 70
- 李永函,赵文. 2002. 水产饵料生物学. 大连:大连出版社,330 - 332
- 吕振波,李凡,曲业兵,张焕君,徐炳庆,王田田. 2013. 2010 年夏季黄河口及邻近海域鱼类群落多样性. 渔业科学进展,33(3):10 - 18
- 齐雨藻,黄长江. 1997. 南海大鹏湾海洋卡盾藻赤潮发生的环境背景. 海洋与湖沼, 28(4):337 - 342
- 曲克明,陈碧鹃,袁有宪,辛福言. 2000. 氮磷营养盐影响海水浮游硅藻种群组成的初步研究. 应用生态学报, 11(3): 445 - 448
- 严加坤,杨爱国,周丽青,吴彪,白临建,刘志鸿. 2013. 我国不同地理群体栉江珧遗传多样性及系统发生分析. 渔业科学进展,33(3):29 - 35
- 杨小龙,朱明远. 1990. 浮游植物营养代谢研究新进展. 黄渤海海洋, 8(3): 65 - 73
- 郑重,李少菁,许振祖. 1984. 海洋浮游生物学. 北京:海洋出版社,3 - 5
- 郭术津,田伟,戴民汉,刘志亮,孙军. 2011. 2009 年夏季东海浮游植物群集. 海洋科学进展, 29(4): 474 - 501
- 赵亮,魏皓,冯士箴. 2002. 渤海氮磷营养盐的循环和收支. 环境科学, 23(1):77 - 81
- 夏平,陆斗定,朱德弟,杜伟. 2007. 浙江近岸海域赤潮发生的趋势与特点. 海洋学研究, 25(2):47 - 55
- 徐宁,齐雨藻,陈菊芳,黄伟建,吕颂辉,王艳. 2003. 球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa* Scherffel)赤潮成因分析. 环境科学学报, 23(1): 113 - 118
- 崔毅,陈碧娟,马绍赛. 2000. 乳山湾浮游植物与环境因子的相关关系研究. 应用生态学报, 11(6): 935 - 938
- 黄邦钦,洪华生,王海黎. 1995. 微型浮游植物在环境科学研究中的应用. 福建环境, 12(4): 18 - 21
- 章守宇,邵君波,戴小杰. 2001. 杭州湾富营养化及浮游植物多样性问题的探讨. 水产学报, 25(6): 512 - 517
- 韩秀荣,王修林,孙霞,石晓勇,祝陈坚,张传松,陆茸. 2003. 东海近海海域营养盐分布特征及其与赤潮发生关系的初步研究. 应用生态学报, 14(7):1097 - 1101
- 焦念志. 1995. 海洋浮游生物氮吸收动力学及其粒级特征. 海洋与湖沼, 26(2): 191 - 197
- 蒲新明,吴玉霖. 2000. 浮游植物营养限制研究进展. 海洋科学, 24(2): 27 - 30
- Elton CS. 1958. The ecology of invasions by animals and plants. London: Chapman and Hall 143 - 153
- Granéli E. 1987. Nutrient limitation of phytoplankton biomass in a brackish water bay highly influenced by river discharge. Estuarine, Coastal and Shelf Science 25(5): 555 - 565
- Kevin JF. 2003. Modelling multi-nutrient interactions in phytoplankton balancing simplicity and realism. Prog Oceanogr 56: 249 - 279
- Macarhur R. 1955. Fluctuations of animal populations, and a measure of community stability. Ecol 36(3): 533 - 536
- Madingly R. 1983. Nutrients and their effects on phytoplankton populations in lakes on Signy Island, Antarctica. Polar Biol 2(2):115 - 126
- Olden JD. 2000. An artificial neural network approach for studying phytoplankton succession. Hydrobiologia 436: 131 - 143
- Taylor D, Nixon S, Granger S and 1 other. 1995. Nutrient limitation and the eutrophication of coastal lagoons. Mar Ecol Prog Ser 127: 235 - 244
- Teissier S, Peretyatko A, Backer SD and 1 other. 2011. Strength of phytoplankton-nutrient relationship: evidence from 13 biomanipulated ponds. Hydrobiologia 689(1): 147 - 159
- Tomasky G, Barak J, Valiela I and 3 others. 1999. Nutrient limitation of phytoplankton growth in Waquoit Bay, Massachusetts, USA: a nutrient enrichment study. Aquat Ecol 33(2):147 - 155
- Ward BB, Rees AP, Somerfield PJ and 1 other. 2011. Linking phytoplankton community composition to seasonal changes in f-ratio. Intl Soc Microbial Ecol J 5(11):1759 - 1770