

山东近岸海湾微型浮游植物分布及其丰度 与营养盐相关性研究*

王育红¹ 杨秀兰² 吕振波¹ 张焕君¹ 李 凡¹ 杨建敏¹

(1. 山东省海洋水产研究所 烟台 264006; 2. 烟台大学海洋学院 烟台 264005)

摘要 2006 年 7 月至 2007 年 10 月对山东近岸的威海湾、荣成湾、桑沟湾、靖海湾、五垒岛湾及乳山湾(37°28.7'—36°46.3' N, 121°28.8'—122°39.6' E)的 26 个站位按季节进行了 4 个航次的现场调查, 分析了 6 个海湾不同季节的微型藻类及营养盐情况, 并进一步对几种主要微藻类群与各种营养盐之间的相关性进行了研究。结果表明, 各海湾微型浮游植物的平均丰度在 456.3×10^4 — 2332.2×10^4 cell/L 之间; 夏季和春季的主要优势种为硅藻; 冬季主要优势种为黄藻; 秋季主要优势种为隐藻。不同微藻类群与不同营养盐的相关性差异显著, 其中, 与 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的相关性依次为: 绿藻 > 黄藻 > 隐藻 > 甲藻 > 硅藻 > 金藻, 相关系数依次分别为 0.965、0.929、0.761、0.748、0.671 和 -0.304; 与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的相关系数的绝对值为金藻 > 隐藻 > 甲藻 > 硅藻 > 黄藻 > 绿藻; 与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的相关系数的绝对值则为甲藻 > 金藻 > 绿藻 > 黄藻 > 隐藻 > 硅藻。

关键词 微型浮游植物, 丰度, 营养盐, 相关系数

中图分类号 Q958.1

微型浮游植物(nano-phytoplankton)是海洋生物界的重要组成部分之一, 是海洋生态系统的基础, 具有较高的营养盐吸收率, 生长率和光合作用率(黄邦钦等, 1995)。微型浮游植物通常指个体大小 2—20 μm 的微型藻类, 郑重等(1984)则把微型浮游植物的大小范围定义在 5—50 μm 之间。本研究计数的微型藻类在 2—50 μm 之间, 共有 8 个门: 硅藻、甲藻、金藻、绿藻、隐藻、黄藻、兰藻、裸藻。

近年来许多研究证明, 微型浮游植物在生物量和初级生产力上往往大于网采浮游植物(宁修仁等, 2002), 尤其在近岸, 微型浮游植物对总初级生产力的贡献较大, 在海洋生物链中作用尤显重要(黄邦钦等, 1995)。同时也由于微型浮游植物个体小, 繁殖速度快, 在适宜的温度及营养情况下, 一些藻类如中肋骨条藻(*Skeletonema costatum*)、角毛藻(*Chaetoceros*)、卡盾藻(*Chattorella*)、亚历山大藻(*Alexandrium*)、裸甲藻

(*Gymnodinium*)、异弯藻(*Heterosigma*)和球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa*)等都极易形成赤潮, 危害渔业经济, 对海洋环境造成污染。本文对山东近岸 6 个海湾 26 个站位连续 4 个航次进行了调查, 发现这些赤潮藻类在不同时期相继出现, 交替形成优势种群。通过数据分析, 首次发现这些微型浮游植物的种类组成、平面分布、垂直分布及其时空变化有一定的规律, 并进一步研究了相应时期它们与营养盐的关系及其相关性。

1 材料与方法

1.1 研究海域及采样方法

1.1.1 研究海域 分别于 2006 年 7 月、12 月和 2007 年 4 月、10 月在山东近岸的 6 个海湾, 即威海北部的威海湾, 东部的荣成湾、桑沟湾, 南部的靖海湾、五垒岛湾及乳山湾内进行了调查, 共设站位 26 个, 见表 1。

*国家海洋局 908 专项“山东近海经济生物资源调查与评价”, SD908-02-09 号。王育红, 副研究员, E-mail: wangyuhong1990@126.com

通讯作者: 杨建敏, 博士, 研究员, E-mail: ladderup@126.com

收稿日期: 2007-11-27, 收修改稿日期: 2007-12-18

表 1 采样站位
Tab.1 Location of sampling stations

站号	东经(°)	北纬(°)	所属海湾	站号	东经(°)	北纬(°)	所属海湾
SW001	122.1635	37.47751	威海湾	SW014	122.5641	37.06920	桑沟湾
SW002	122.1699	37.44637	威海湾	SW015	122.4744	37.05190	桑沟湾
SW003	122.2051	37.46367	威海湾	SW016	122.1250	36.94118	桑沟湾
SW004	122.2372	37.48097	威海湾	SW017	122.1138	36.91349	桑沟湾
SW005	122.6603	37.35294	荣成湾	SW018	122.0962	36.88581	桑沟湾
SW006	122.5865	37.30104	荣成湾	SW019	122.1474	36.85986	桑沟湾
SW007	122.6250	37.28028	荣成湾	SW020	121.9487	36.96367	五垒岛湾
SW008	122.6603	37.26644	荣成湾	SW021	122.0128	36.96367	五垒岛湾
SW009	122.6026	37.23529	荣成湾	SW022	121.9936	36.93772	五垒岛湾
SW010	122.5641	37.14187	桑沟湾	SW023	121.9808	36.91349	五垒岛湾
SW011	122.5192	37.12803	桑沟湾	SW024	121.5321	36.81315	乳山湾
SW012	122.5192	37.09343	桑沟湾	SW025	121.4808	36.79931	乳山湾
SW013	122.4647	37.11419	桑沟湾	SW026	121.4808	36.77163	乳山湾

1.1.2 采样方法 使用颠倒采水器在各站位分层采集水样(5m 水深分 2 个水层, 10m 左右水深分 3 个水层, 20m 以内水深分 4 个水层), 用浓度为 10—15ml/L 的鲁哥氏液当场固定。

1.2 计数方法

将水样摇匀, 取 100ml 置于 250ml 分液漏斗中, 沉淀 24h 以上, 去除上清液, 浓缩至一定体积, 在 OLYMPUS 显微镜下用 400 倍观察, 进行种类鉴定, 并用视野法进行计数。

1.3 数据处理

通过计算微型浮游植物丰度(cell/L), 反映近岸各海湾在不同季节藻类的群落结构特征及其营养状况; 以不同门类为单位分析出几种主要微型浮游植物类群。并对硅藻类、黄藻类、金藻类、绿藻类、隐

藻类的水平分布、垂直分布以及在不同季节的分布状况进行进一步研究, 同时分析不同季节、不同站位、不同水层的温度、盐度及营养盐的变化规律及其对微型浮游植物的影响和相关关系。

2 结果与讨论

2.1 时空变化及水平分布

2.1.1 时空变化 六个海湾 26 个站位微型浮游植物丰度在各季节的总平均值见表 2, 从表 2 中可以看出, 不同季节微型浮游植物丰度的差异显著, 其峰值出现在平均水温最高的夏季。数据统计表明, 造成这种差异的最主要原因是不同季节温度的差异。

2.1.2 水平分布 各海湾微型浮游植物的分布见表 3。

表 2 6 个海湾微型浮游植物的平均丰度
Tab.2 Average abundance of nano-phytoplankton in six bays

采水时间	2006 年 7 月	2006 年 12 月	2007 年 4 月	2007 年 10 月
平均丰度(× 10 ⁴ cell/L)	3557.8	343.3	561.5	243.3
种类数(种或属)	53	42	73	60
平均水温()	21.06	6.13	9.02	18.39

表 3 各海湾微型浮游植物在 4 个季节中的平均丰度及营养盐的平均浓度
Tab.3 Average abundance of nano-phytoplankton and average concentration of nutrient in 4 seasons in six bays

项目	威海湾	荣成湾	桑沟湾	靖海湾	五垒岛湾	乳山湾
平均丰度(× 10 ⁴ cell/L)	456.3	646.4	1319.1	1334.6	2332.2	969.8
NO ₃ -N(μmol/L)	15.000	13.571	14.050	20.286	26.571	42.090
NH ₄ -N(μmol/L)	4.036	4.564	4.379	6.807	4.164	10.101
PO ₄ -P(μmol/L)	0.677	0.590	0.403	0.541	0.435	0.558
平均水深(m)	7.4	16.38	8.2	4.4	3.4	2.6

从表 3 可以看出, 水平分布与各海湾水深的关系较为密切, 也受营养盐等条件的影响。位于威海北岸的威海湾生物量最低, 东部海湾次之, 南部海湾生物量最高, 平均丰度是北部海湾的 3 倍多, 平均密度达 1545.5×10^4 cell/L。

另外, 从表 2 看出, 由于冬季、春季、秋季的平均丰度都不高, 能引起南北海湾如此大差异的主要是夏季。夏季是微型浮游植物繁殖最快的季节, 由于水温高, 一些小型硅藻、金藻、黄藻的繁殖速度都非常快, 所以夏季的生物量远远高于其它季节, 平均丰度见表 4。

从表 4 可以看出, 乳山湾的水温最高, 营养盐数值最高, 但微藻的丰度却不是很高。乳山湾采样点的水层很浅, 仅为 2.6m, 环境变化较大, 且采样点位于乳山湾狭窄的通道处, 因此微藻的丰度不是很高。

2.2 主要浮游植物类群的时空变化及垂直分布

2.2.1 主要浮游植物类群丰度的时空变化

夏季微型浮游植物丰度较高, 多数微型藻类的最高丰度都出现在夏季。硅藻在夏季的平均丰度为 1795.8×10^4 cell/L, 最低丰度出现在秋季, 仅为 35.5×10^4 cell/L。有 24 个种属, 主要优势种为角毛藻、中肋骨条藻、海链藻等; 绿藻最高丰度出现在夏季, 平均丰度为 195.6×10^4 cell/L, 最低量在秋季, 平均丰度为 13.7×10^4 cell/L。出现了 22 个种属, 出现频率较高的有衣藻(*Chlamy domonas*)、小球藻(*Chlorella pyrenoidosa*)、扁藻(*Platymonas peculata*)、四鞭绿藻

(*Pyamichlamys vectensis* Ettl)、单鞭绿藻(*Rtsultor mikron* Moestrup)、双鞭绿藻(*Nephroselmis pyriformis* Fttl)、盐藻(*Dunaliella primolecta* Butcher)、四鞭绿藻(*Tetraselmis* sp.)、单鞭绿藻(*Micromonas pusilla* Manton)、双鞭绿藻(*Nephroselmis rotunda* Fott)等; 金藻的最高量也出现夏季, 平均丰度为 587.7×10^4 cell/L, 最低量也在秋季, 仅为 8.7×10^4 cell/L。有 11 个种属, 金藻的主要优势种为球形棕囊藻(*Phaeocystis globosa* Scherffel); 黄藻的最高量也出现在夏季, 为 697.8×10^4 cell/L, 最低量在春季, 平均丰度为 21.5×10^4 cell/L。有 5 种属, 主要优势种为卡盾藻(该藻也属着色鞭毛藻门)(*Chattonella biecheler*)、赤潮异弯藻(*Heterosigma akashiwo* Hada)。甲藻的最高量出现在夏季, 平均丰度为 21.7×10^4 cell/L, 最低量也在秋季, 为 2.1×10^4 cell/L, 有 21 个种属。出现频率较高的有微小原甲藻(*Prorocentrum minimum* Schiller)、塔玛亚历山大藻(*Alexandrium tamarense* Balech)、锥状斯克里普藻(*Scrippsiella trochoidea* Loeblich)、链状裸甲藻(*Gymnodinium catenatum* Graham)、螺旋环沟藻(*Gyrodinium spirale* Kofoid)、条纹环沟藻(*Gyrodinium instriatum* Freudenthal)、里昂原多甲藻(*Peridinium leonis* Pavillard)和灰白下沟藻(*Katodinium glaucum*)等; 隐藻的最高量出现在 2007 年秋季, 平均丰度为 127.7×10^4 cell/L, 而最低量则出现在 2006 年冬季, 平均丰度为 52.3×10^4 cell/L。常见有蓝隐藻(*Rhinomonas fulva* Hill)、尖隐藻(*Hillea fusiformis* Schiller)等。

表 4 2006 年 7 月各湾的微型浮游植物的平均丰度及各湾营养盐的平均浓度
Tab.4 Average abundance of nano-phytoplankton and average concentration of nutrient in July 2007

项目	威海湾	荣成湾	桑沟湾	靖海湾	五垒岛湾	乳山湾
平均丰度($\times 10^4$ cell/L)	1024.5	2033.4	3985.4	3643.2	7683.9	2976.6
NO ₃ -N(μ mol/L)	1.886	10.971	19.986	22.714	45.50	80.360
NH ₄ -N(μ mol/L)	0.593	2.057	3.907	1.857	4.250	9.071
PO ₄ -P(μ mol/L)	0.106	0.355	0.087	0.065	0.058	0.448
平均水温()	19.65	16.40	20.75	24.0	26.65	27.32

2.2.2 主要微型浮游植物类群的垂直分布

因硅藻、绿藻、金藻、黄藻和隐藻在调查水域中的平均丰度(cell/L)较高, 作者研究了它们的垂直分布(图 1—图 4)。其平均丰度的垂直分布主要取决于对光照的适应, 同时与海湾的营养状况有关, 也受水深、河口营养盐和浮游植物种类的影响, 当然种间的相互抑制作用以及不同类群间对生存空间的互补性等因素也

起着一定的作用, 不同水层中也存在着温度的差异, 这些因素的共同作用决定了微型浮游植物在水中的垂直分布(黄邦钦, 1999¹⁾)。

夏季微型浮游植物的最高峰值出现在表层, 从图 1 中可以看出, 除黄藻外, 其它 4 类微藻都是由表层至底层逐渐减少, 硅藻的数量远远超过其它种类, 而且在 10m 以上, 随着水层的加深, 硅藻的数量锐减,

1) 黄邦钦, 1999. 微型浮游植物在台湾海峡及厦门西海域碳磷循环中的作用研究. 厦门大学博士学位论文, 1—14

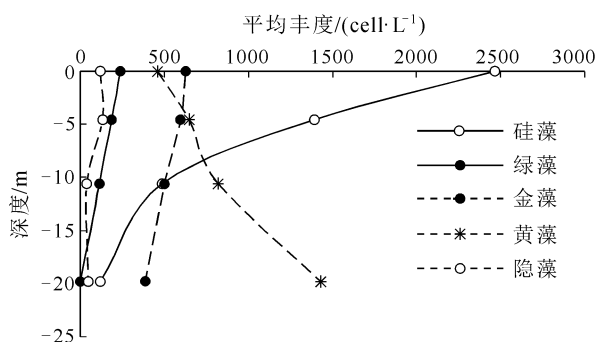


图1 2006年7月主要微型浮游植物类群的平均丰度及垂直分布

Fig.1 Average abundance and vertical distribution of main nano-phytoplankton in July 2006

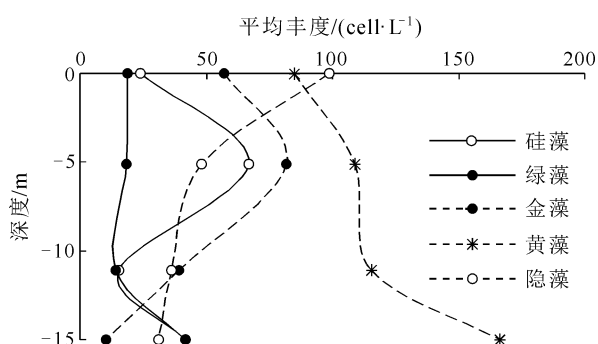


图2 2006年12月主要微型浮游植物类群的平均丰度及垂直分布

Fig.2 Average abundance and vertical distribution of main nano-phytoplankton in December 2006

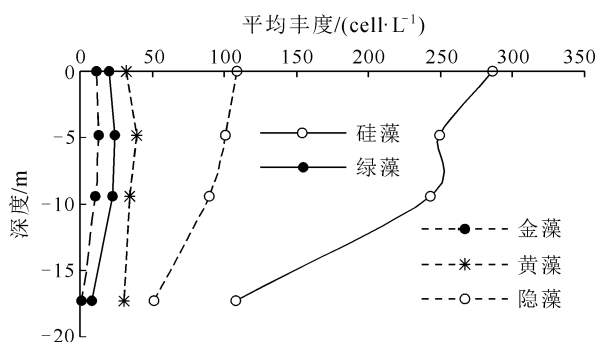


图3 2007年4月主要微型浮游植物类群的平均丰度及垂直分布

Fig.3 Average abundance and vertical distribution of main nano-phytoplankton in April 2007

这主要是由光照和营养盐及盐度共同作用的结果。2006年夏季,由于季节河水的流入,给水的上层带来了丰富的营养盐和较低的盐度,使硅藻丰度明显的上层高,下层低。由于底层的盐度稳定,有些黄藻,如对渗透压非常敏感(齐雨藻等,1997)的卡盾藻更容

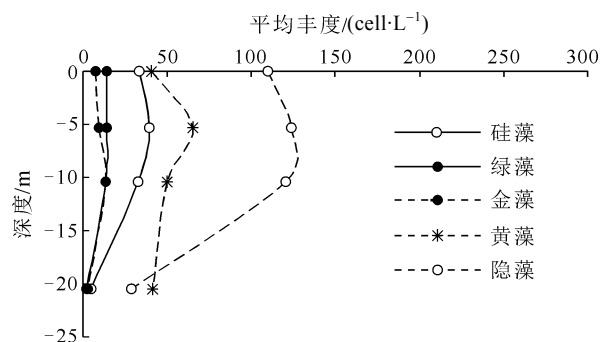


图4 2007年10月主要微型浮游植物类群的平均丰度及垂直分布

Fig.4 Average abundance and vertical distribution of main nano-phytoplankton in October 2007

易出现在底层。

2006年12月大多微型浮游植物的最高峰出现在5m左右,从图中可以看出,黄藻的最高量受卡盾藻的影响还是在底层(15m左右)较多。因为12月微型浮游植物的总体丰度较小,海水的透明度较大,所以光照在水的中上层可以维持一定的强度,所以最合适的光照往往不在表层,而且12月份时的气温经常会低于水温,自然会使藻类的波峰往水下转移。而在15m水深处,硅藻又出现了一个小的波峰,而绿藻在这里数量也增加,由于15m处的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 含量远远高于上层,会使一些适应弱光的硅藻和绿藻种类在底层生长。

2007年4月微型浮游植物的峰值在表层,硅藻的数量远远高于其它类群,各种藻类的丰度都呈现出自上而下递减的趋势,但递减的速度非常缓慢,尤其是10m以上。这同样是由光照和营养盐共同作用的结果。从表5中可以看出,2007年4月的氨盐远远高于其它季节,春天海水的透明度较大,光照在水中5—10m处的强度远远高于夏季,并且光照强度递减缓慢,所以藻类的丰度从表层到中层呈现缓慢减少的趋势。底层虽然也有丰富的营养盐,但黄藻数值并不高,这可能是由于经过水温最低的2、3月份,黄藻刚刚开始恢复的缘故。

2007年10月微型浮游植物丰度较低,隐藻类显现出来,说明隐藻受环境变化影响不十分明显。2007年夏季至秋季,由于天旱,营养盐和浮游植物数值一直处于较低水平。10月份的采样刚好在一场雨过后,因此营养盐的数值有点偏高。

2.3 藻类丰度与营养的关系

2.3.1 N/P与藻类丰度的关系 从夏季各湾区的N/P(表6)可以看出,N/P影响着硅藻的比例。有报道

表 5 水温、盐度、N、P 营养盐类平均值
Tab.5 Average value of temperature, salinity, and N, P concentration

日期(年.月)	水温()	盐度	NO ₃ -N(μmol/L)	NO ₂ -N(μmol/L)	NH ₄ -N(μmol/L)	PO ₄ -P(μmol/L)
2006.07	21.06	28.56	22.14	1.26	3.07	0.20
2006.12	6.10	30.43	20.00	0.34	4.50	0.97
2007.04	8.99	31.99	10.50	0.26	10.21	0.55
2007.10	18.25	30.21	21.28	1.64	2.57	0.39

表 6 N/P 对硅藻丰度的影响
Tab.6 N/P ratio vs. the diatom abundance

项目	五垒岛湾	靖海湾	桑沟湾	乳山湾	荣成湾	威海湾
N/P	856.3	351.7	361.9	205.3	36.7	20.50
硅藻比例(%)	74.1	36.2	35.5	39.1	6.3	13.6

认为 N/P 的高低显著影响着浮游植物的种类组成(钱鲁闽等, 2005), N/P 越高, 硅藻越容易成为优势种; 而 N/P 降低, 甲藻等其它赤潮生物越容易成为优势种。从 2006 年 7 月各湾区的数据来看, 基本与上述观点相符, 见表 6, 前 4 个海湾硅藻都是第一优势种, 而荣成湾黄藻为第一优势种, 威海湾金藻(主要是球形棕囊藻)在丰度上为第一优势种。

2.3.2 藻类丰度与营养盐的相关系数 夏季是微型藻类快速繁殖的季节, 营养盐的变化情况直接反映出微藻的生长情况。温度越高, 藻类繁殖得越快, 与营养盐的关系就越密切。当然光强的变化也影响浮游植物对营养盐的吸收(Sommer, 1994; Wynne *et al*, 1986), 而且不同类群的微藻对不同营养盐的吸收具有亲疏性。因乳山湾只有 3 个采样点, 很难准确表达实际的相关系数, 不予讨论。

从表 7 中可以看出, 威海湾的微藻与 PO₄-P 为中度负相关, 与 NO₃-N 和 NH₄-N 则呈低度负相关, 说明威海湾的微藻对营养盐的消耗略大于营养盐的补充。威海湾是一个半封闭的海湾, 又无淡水直接注入, 所以 NO₃-N 和 NH₄-N 的数值都比较低, 这也是威海湾微藻丰度最低的原因。但 PO₄-P 的数值并不很低, 却表现出与微藻的明显相关性, 这可能与威海湾微藻的优势种类群有关。威海湾的金藻在丰度上为第一优势,

占总丰度的 31.4%; 其次是黄藻, 占总丰度的 21.3%。

荣成湾的微藻除了与 NH₄-N 呈中度正相关外, 与其它两种营养盐几乎不表现相关性。荣成湾是最深的一个海湾, 平均深度为 16.38m。在中、下层光线不足的情况下, 对营养盐的吸收效率会降低, 所以荣成湾的 NO₃-N 和 PO₄-P 的数量大于该湾微藻的需求, 因而不呈现相关性。

桑沟湾是一个半封闭的海湾, 且有淡水直接注入, 营养比较丰富。从营养盐数值可以看出, 桑沟湾的 NH₄-N 较高, 与微藻的相关性较弱, 说明桑沟湾的 NH₄-N 供给比较充足。

靖海湾和五垒岛湾都是水层较浅的海湾, 分别为 4.4m 和 3.4m, 夏季水温很高, 分别为 24.0 和 26.7 , 且都有季节河水直接注入。较浅的水层使该海湾的微藻可以得到充足的光照, 因而这两个海湾的微藻对营养盐的吸收很充分。虽然靖海湾的 NO₃-N、NH₄-N 数值较高, 但都与微藻呈现出中度相关, 说明靖海湾的氮源并不很充足, 尤其是 NH₄-N。因五垒岛的 NO₃-N 和 NH₄-N 的数值很高, 所以相关性不明显, 说明该湾的 NO₃-N 和 NH₄-N 的供给比较充足。至于该两湾的微藻与 PO₄-P 的相关性较低, 可能与两湾微藻的优势种类群有关, 两湾的优势种均为硅藻。

表 7 2006 年 7 月 5 个湾区微藻平均丰度与营养盐的相关系数
Tab.7 Relation of nutrient and average abundance of nano-phytoplankton in July 2006

相关系数 R	威海湾	荣成湾	桑沟湾	靖海湾	五垒岛湾
NO ₃ -N	-0.422	-0.136	0.552	0.698	0.203
NH ₄ -N	-0.499	0.793	-0.213	-0.691	0.289
PO ₄ -P	-0.716	0.027	0.456	0.298	0.498

2.3.3 几种主要微藻类群与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{PO}_4\text{-P}$ 之间的相关系数 在营养盐数值一定的情况下, 营养盐在不同藻类之间的分配即不同藻类与营养盐之间的相关系数反映出不同藻类对营养盐的竞争。

以夏季荣成湾为例, 计算各种微藻与营养盐之间的相关系数。因夏季是各种微藻充分生长的季节, 营养盐对微藻丰度影响较大。威海湾是一个半封闭海湾, 人为的干扰因素(如贝类、藻类养殖)影响比较大, 而桑沟湾、靖海湾、五垒岛湾和乳山湾都是半封闭海湾, 且都有淡水河直接流入, 各种因素变化极不规则。荣成湾是一个开放性海湾, 也无淡水直接注入, 各种生态因素比较稳定, 且荣成湾的平均水温为 16.4°C , 对各种藻类都比较适宜, 能够准确地反应出各种微藻类群与营养盐之间的关系。

从表8中可以看出, 藻类丰度与 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的相关系数的绝对值由大到小依次为绿藻 > 黄藻 > 隐藻 > 甲藻 > 硅藻 > 金藻; 与 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的相关系数的绝对值为金藻 > 隐藻 > 甲藻 > 硅藻 > 黄藻 > 绿藻, 说明金藻对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 更易吸收。徐姗楠等(2006)认为, 当介质中的 $\text{NH}_4\text{-N} > 1\mu\text{mol/L}$ 时, 生物体很少或没有对 $\text{NO}_3\text{-N}$ 的吸收。荣成湾的 $\text{NH}_4\text{-N}$ 平均含量为 $2.057\mu\text{mol/L}$, 可以看出, 硅藻、绿藻、黄藻、甲藻、隐藻等主要吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$ 。隐藻和甲藻在吸收 $\text{NH}_4\text{-N}$ 的同时能不同程度地吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$, 而金藻主要吸收 $\text{NO}_3\text{-N}$ 。6种微藻类群与 $\text{PO}_4\text{-P}$ 的相关系数的绝对值为甲藻 > 金藻 > 绿藻 > 黄藻 > 隐藻 > 硅藻。可以看出, 甲藻、金藻与 P 的关系都比硅藻与 P 关系密切, 即甲藻、金藻对 P 更具有竞争力。

表8 几种主要微藻类群的平均丰度与营养盐的相关系数
Tab.8 Coefficient between nutrient and average abundance for major nano-phytoplankton species

相关系数 R	硅藻	绿藻	金藻	黄藻	甲藻	隐藻
$\text{NO}_3\text{-N}$	-0.241	-0.006	-0.687	0.121	0.380	-0.439
$\text{NH}_4\text{-N}$	0.671	0.965	-0.304	0.929	0.748	0.761
$\text{PO}_4\text{-P}$	-0.144	0.409	-0.737	0.39	0.952	0.191

3 结论

近岸海域处于陆—海过渡带, 与环境、气候变化过程的耦合更紧密, 相互间的反馈作用也显著得多。同时, 这里还是人类活动对海洋环境影响最剧烈的地方(黄邦钦, 1999¹⁾), 所以近岸的微型浮游植物种类及数量是多种因素共同作用的结果。影响藻类生长的因素很多, 除温度、光照、盐度等普通条件外, 营养盐条件往往是造成各海域微藻丰度差异的主要因子, 而这个条件在近岸又受降雨的多少、淡水河的注入、人类的养殖活动(如贝类养殖、大型藻类养殖)等的影响, 大气沉降、浮游动物排泄和碎屑矿化(高会旺等, 2004)及海洋异养细菌对溶解性有机物和颗粒性有机物的分解(白洁等, 2004)会使近岸海域出现较大的营养差异, 再加上微型浮游植物种类本身对营养需求的不同, 造成相关程度的差异。因此, 研究微型浮游植物丰度与营养盐的相关系数, 隐含着上述各种内、外因素对微型浮游植物的影响, 其相关系数是生态学的重要参数。

从微藻与营养盐的关系来看, 硅藻、绿藻、黄藻、隐藻更易吸收氨氮, 而金藻则与硝酸盐关系更密切。

与 P 的关系, 甲藻、金藻比硅藻更为密切。可见, 降低 $\text{PO}_4\text{-P}$ 可以限制赤潮甲藻和赤潮金藻的数量。至于甲藻与氮的关系, 以往的研究认为甲藻与硝酸盐的关系密切(朱从举等, 1994), 但本文的相关性分析结果却表明甲藻与氨氮的关系更为密切, 有待进一步研究。

参 考 文 献

- 白 洁, 张昊飞, 李岍然等, 2004. 海洋异养浮游细菌生物量及生产力的制约因素. 中国海洋大学学报, 34(4): 87—95
- 宁修仁, 刘子林, 蔡昱明等, 2002. 渤海晚春浮游植物粒度分级生物量与初级生产力. 海洋科学集刊, 44: 1—12
- 朱从举, 齐雨藻, 郭昌弼, 1994. 铁、氮、磷、维生素 B_1 和 B_{12} 对海洋原甲藻的生长效应. 海洋与湖沼, 25(2): 168—172
- 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
- 郑 重, 李少菁, 1984. 海洋浮游生物学. 北京: 海洋出版社, 1—14
- 钱鲁闽, 徐永健, 王永胜, 2005. 营养盐因子对龙须菜和菊花江篱氮磷吸收率的影响. 台湾海峡, 24(4): 550
- 徐姗楠, 何培民, 2006. 我国赤潮频发现象分析与海藻栽培生物修复作用. 水产学报, 30(4): 554—561

1) 黄邦钦, 1999. 微型浮游植物在台湾海峡及厦门西海域碳磷循环中的作用研究. 厦门大学博士学位论文, 1—14

高会旺, 王 强, 2004. 1999 年渤海浮游植物生物量的数值模拟. 中国海洋大学学报, 34(5): 867—873

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—19

Sommer U, 1994. The impact of light intensity and daylength on

silicate and nitrate competition among marine phytoplankton. *Limn Ocea*, 39(7): 1680—1688

Wynne D, Rhee G Y, 1986. Effects of light intensity and quality on the relative N and P requirements (optimum N : P ratio) of marine phytoplankton. *Plankton Research*, 8(1): 91—103

ABUNDANCE OF NANO-PHYTOPLANKTON AND THE RELATION TO NUTRIENT IN THE INSHORE OF SHANDONG

WANG Yu-Hong¹, YANG Xiu-Lan², LÜ Zhen-Bo¹, ZHANG Huan-Jun¹, LI Fan¹, YANG Jian-Min¹

(1. *Shandong Marine Fisheries Research Institute, Yantai*, 264006; 2. *College of Ocean, Yantai University, Yantai*, 264005)

Abstract The data of survey in six local bays obtained in July and December 2006, and April and October 2007, in northeast Shandong Peninsula show that the average abundance of phytoplankton varied from 456.3×10^4 to 2332.2×10^4 cell/L. The dominant species in spring and summer was Bacillariophyta, in autumn was Cryptomonas, and in winter was Xanthophyta. Average abundance and vertical distribution of them was analyzed. Besides, average abundance of nano-phytoplankton and major nutrients in summer were also studied. Statistically, the coefficients between main nano-phytoplankton and different nutrients were determined. The results show that the coefficients of $\text{NH}_4\text{-N}$ were Chlorophyceae (0.965), Xanthophyceae (0.929), Cryptophyta (0.761), Pyrrophyta (0.748), Bacillariophyta (0.671), Chrysophyta (−0.304); those of $\text{NO}_3\text{-N}$ was in order of Chrysophyta > Cryptophyta > Bacillariophyta > Pyrrophyta > Xanthophyceae > Chlorophyceae; and those of $\text{PO}_4\text{-P}$ was Chrysophyta > Pyrrophyta > Chlorophyceae > Xanthophyceae > Cryptophyta > Bacillariophyta.

Key words Nano-phytoplankton, Abundance, Nutrient, Coefficients