

2011 年春、夏季黄、东海叶绿素 a 和初级生产力的时空变化特征*

文 斐^{1, 2} 孙晓霞¹ 郑 珊^{1, 2} 罗 璇¹ 冯秋园^{1, 2} 孙 松^{1, 3}

(1. 中国科学院海洋研究所 山东胶州湾海洋生态系统国家野外科学观测研究站 青岛 266071; 2. 中国科学院研究生院 北京 100049; 3. 中国科学院海洋研究所海洋生态与环境科学重点实验室 青岛 266071)

提要 依据 2011 年春、夏两季黄、东海调查资料, 分析了叶绿素 a 和初级生产力的空间分布和季节变化特征, 并分析了主要影响因素。南黄海、东海北部春季叶绿素 a 平均含量为 $74.83\text{mg}/\text{m}^2$, 夏季为 $23.84\text{mg}/\text{m}^2$, 春季明显高于夏季。春季大部分海域叶绿素 a 含量垂直分布均匀, 夏季则出现较为明显的分层现象, 在次表层出现最大值。初级生产力水平春季为 $993.9\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 夏季为 $1274\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$, 与 1984—1985 年相比有所升高。春季高值区出现在黄海中部及长江口附近海域; 夏季高值区主要分布在山东半岛南岸近海海域、长江口外的黄、东海交界海域以及浙江省沿岸海域。春季整个调查海区叶绿素 a 浓度与磷酸盐浓度呈显著负相关, 与氮磷比呈显著的正相关性, 表明黄、东海春季磷酸盐可能成为浮游植物生长的一个限制因子。

关键词 黄海, 东海, 叶绿素 a , 初级生产力

中图分类号 Q178.1; Q948.885.3

叶绿素 a 是浮游植物光合作用的主要色素(林丽贞等, 2007), 也是海洋中浮游植物现存量的一个良好指标(费尊乐等, 1997; 孙晓霞等, 2011), 在海洋调查中具有举足轻重的地位。初级生产力代表海洋生产有机质的能力, 与生态系统的能量流动和物质循环密切相关。叶绿素 a 和初级生产力的调查和研究是海洋生态系统研究的关键环节, 也是海洋资源开发和可持续利用研究的基础(吕瑞华, 2005)。

黄、东海是我国生产力较高的海域(宋金明等, 2008), 在应对全球变化背景下也逐渐成为热点研究海域。我国海洋浮游植物叶绿素和初级生产力研究始于 20 世纪 60 年代(朱明远等, 1993), 真正的系统调查始于 80 年代, 至今已取得大量成果, 主要研究区域集中于近海、近岸、海湾、河口、上升流区及一些养殖区。不同时期针对黄、东海海域系统性的调查研究如 1984—1985 年渤、黄、东海图集的研究、1998—

2000 年“海洋生物资源补充调查及资源评价项目”、2006—2007 年“中国近海海洋综合调查与评价”等, 为黄、东海叶绿素及初级生产力的研究奠定了重要基础(孙晓霞, 2011)。本文通过对 2011 年 4 月和 8 月黄、东海海域叶绿素 a 和初级生产力的调查研究, 揭示该海域叶绿素 a 和初级生产力空间分布格局及季节变化规律, 分析主要的影响因素, 在与不同时期、相似海域比较研究的基础上, 综合评估黄、东海海域在我国近海固碳及生物生产过程中的地位和作用, 为近生态系统健康评价、海洋生物资源潜力评估以及基于生态系统的管理提供重要依据。

1 材料与方法

1.1 采样时间与采样站位

分别于 2011 年 4 月 6—25 日、8 月 12—30 日进行了春、夏两个航次的调查。具体采样站位详见图 1。

* 国家重点基础研究发展计划(973)项目, 2011CB403603 号; 中国科学院知识创新工程重要方向群项目, KZCX2-YW-Q07-01 号, 中国科学院战略性先导科技专项, XDA05030401 号; 中国科学院对外合作重点项目, GJHZ200808 号; 国家自然科学基金项目; 40876083 号。文 斐, E-mail: wenfei5694452@126.com

通讯作者: 孙晓霞, 博士, 研究员, E-mail: xsun@qdio.ac.cn

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

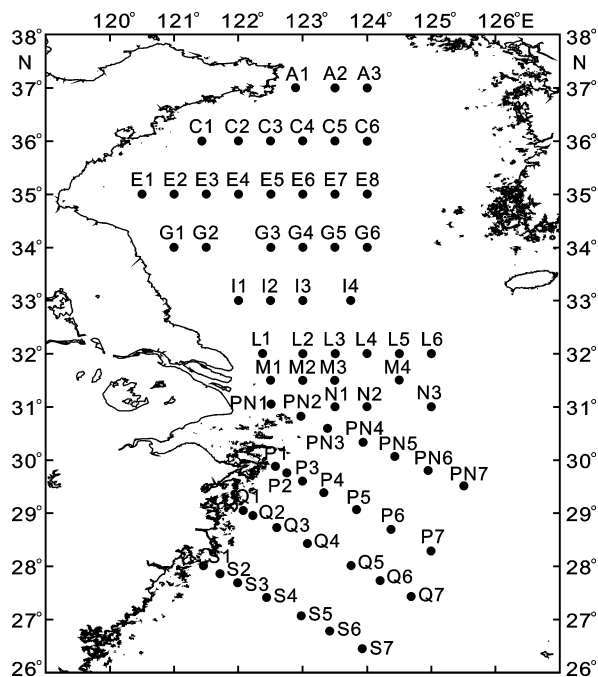


图 1 黄、东海采样站位图

Fig.1 Sample stations in the Yellow Sea and East China Sea

1.2 叶绿素 *a* 样品的采集与测定

根据海洋调查规范(GB/T12763.6-2007)(国家技术监督局, 2007)要求, 分别采集表层、10m 层、20m 层、30m 层、50m 层、75m 层、100m 层、125m 层和底层水样用于叶绿素 *a* 测定。水样采集后, 立刻过滤, 过滤体积为 300—500ml, 样品避光 - 20℃ 冷冻保存。样品分析依据海洋调查规范(GB/T12763.6-2007), 在实验室内样品经 90% 丙酮萃取, 用 Turner-Designs-Model 10 荧光光度计测定。

1.3 初级生产力样品的采集与测定

初级生产力样品采集根据海洋调查规范(GB/T12763.6-2007)的要求, 按光学深度, 在光强为表层的 100%、50%、30%、10%、5% 和 1% 的深度上分别采水, 水样先用 200μm 筛绢过滤, 分别加入一定量的 ^{14}C 工作液后用中性衰光材料控制光照强度, 在具有流动的海水水槽内培养 4—6h。然后用 GF/F 滤膜过滤收集浮游植物样品, 滤膜用浓盐酸熏蒸 15min 装入闪烁瓶, -20℃ 冰冻保存, 带回实验室用 XH-6925 液体闪烁计数器测定样品的 ^{14}C 放射性强度。

1.4 环境要素的测定

相关环境要素的样品采集通过船载 SBE911 CTD 同步进行, 其中, 温度、盐度等水文要素数据由天津

科技大学魏皓教授实验室提供; 硝酸盐、亚硝酸盐、铵盐、磷酸盐、硅酸盐样品的采集按照海洋调查规范(GB12763.6-2007)(国家技术监督局, 2007)进行, 利用 QuAAtro 连续流动分析仪分析(德国 Bran-Luebbe)测定, 该数据由中国海洋大学于志刚教授实验室提供。

1.5 相关性分析

数据分析采用 SPSS16.0 软件进行 Pearson 相关性分析和双侧显著性检验。

2 结果与讨论

2.1 叶绿素 *a* 浓度的水平分布及季节变化特征

黄、东海春季表层、水柱、平均叶绿素 *a* 浓度的空间分布格局如图 2A—C 所示。春季整个调查海区叶绿素 *a* 浓度的平均值为 $1.426\text{mg}/\text{m}^3$ 。各水层叶绿素 *a* 浓度的变化范围为 $0—15.02\text{mg}/\text{m}^3$, 最大值出现在 30m 层, 最小值出现在底层。其中, 表层叶绿素 *a* 浓度的平均值为 $1.84\text{mg}/\text{m}^3$, 变化范围为 $0.08—8.61\text{mg}/\text{m}^3$, 高值区主要分布在南黄海中部, 其次是长江口附近海域, 以及舟山群岛东部海域。水柱叶绿素 *a* 含量范围为 $0.42—365.9\text{mg}/\text{m}^2$, 平均值为 $74.83\text{mg}/\text{m}^2$, 高值区在黄海中部。水体平均叶绿素 *a* 浓度分布状况与表层基本一致, 变化范围为 $0.15—7.78\text{mg}/\text{m}^3$ 。

夏季表层、水柱、平均叶绿素 *a* 浓度的空间分布格局如图 2D—F 所示。夏季整个调查海区叶绿素 *a* 浓度的平均值 $0.64\text{mg}/\text{m}^3$ 。各水层叶绿素 *a* 浓度的变化范围为 $0—18.26\text{mg}/\text{m}^3$, 最大值出现在表层, 最小值出现在底层。其中, 表层叶绿素 *a* 浓度的平均值为 $1.18\text{mg}/\text{m}^3$, 变化范围为 $0.01—18.26\text{mg}/\text{m}^3$, 高值区主要分布在长江口北部海域和舟山群岛海域。水柱叶绿素 *a* 含量范围为 $1.64—143.8\text{mg}/\text{m}^2$, 平均值为 $23.84\text{mg}/\text{m}^2$ 。高值区在长江口北部海域以及浙江沿岸海域。水体平均叶绿素 *a* 浓度的分布较均匀, 从近岸到远海呈逐渐递减趋势, 变化范围为 $0.08—5.83\text{mg}/\text{m}^3$ 。

与历史上不同时期平均叶绿素 *a* 浓度相比较(表 1), 发现黄、东海叶绿素 *a* 浓度有所差异。2011 年的叶绿素 *a* 浓度与 1984—1985 年的结果相比, 春季明显偏高, 夏季相似。同时, 2011 年和 1984—1985 年初级生产力水平都高于其它年份的调查结果, 这可能与调查区域的差异有关, 908 调查站位更加靠近陆地, 而且黄海调查范围仅限于 124°E 以西(王春生, 2011)¹⁾。

1) 王春生, 2011. 叶绿素 *a* 与初级生产力. 见: 我国近海海洋生物与生态调查研究报告(上). 杭州: 国家海洋局第二海洋研究所, 93—94

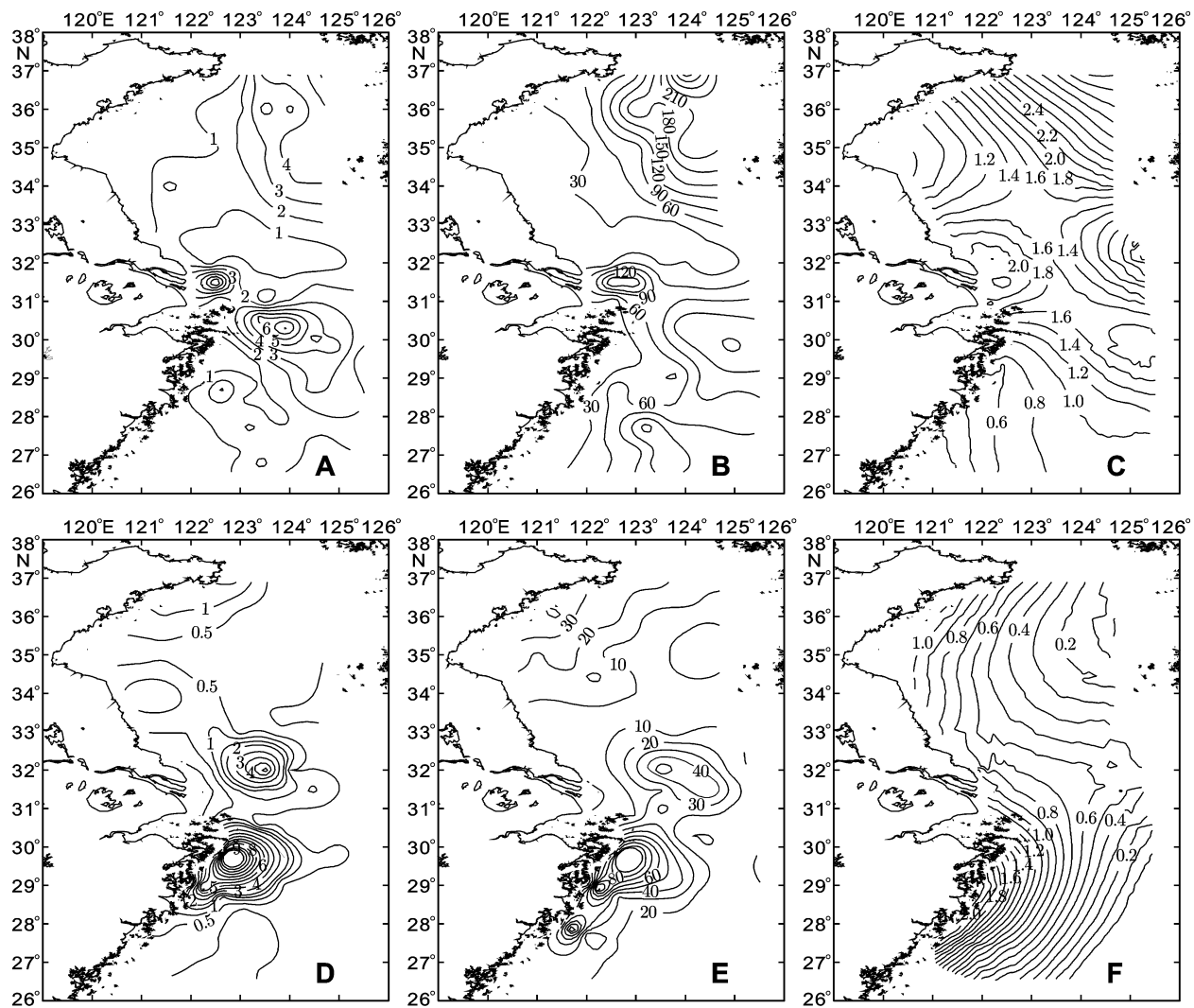


图 2 黄、东海春、夏季叶绿素 *a* 浓度(mg/m^3)水平分布
Fig.2 The spatial distributions of Chl *a* (mg/m^3) in spring and summer in the Yellow Sea and East China Sea
A. 春季表层; B. 春季水柱; C. 春季平均; D. 夏季表层; E. 夏季水柱; F. 夏季平均

表 1 黄、东海叶绿素 *a* 历史资料结果比较(mg/m^3)
Tab.1 Chlorophyll *a* comparison with historical data (mg/m^3) in the Yellow Sea and East China Sea

海区	调查时间(年)	春季	夏季	来源
黄海南部东海北部	2011	1.43	0.64	本研究
	1984—1985	1.03	0.78	朱明远等, 1993
黄海	2006—2007	1.04	1.14	王春生, 2011 ¹⁾
	1997—2000	0.66	0.52	吕瑞华, 2005
南黄海	2000—2001	0.7		黄邦钦等, 2006
东海	2006—2007	1.3	1.57	王春生, 2011 ¹⁾
	2000—2001	0.79		黄邦钦等, 2006
	1997—2000	0.62	0.24	吕瑞华, 2003

1) 王春生, 2011. 叶绿素 *a* 与初级生产力. 见: 我国近海海洋生物与生态调查研究报告(上). 杭州: 国家海洋局第二海洋研究所, 93—94

春季黄海叶绿素 a 浓度分布特征表现为中部高, 近岸低; 夏季则表现为从沿岸到远海逐渐降低的趋势。分析高值区随季节消亡的原因, 黄海冷水团及陆源输入起关键作用。春季黄海冷水团尚未正式形成, 温跃层强度较弱, 无密跃层(李伟等, 2012), 由于混合作用为中上层海水带来大量营养盐, 有利于浮游植物大量繁殖, 从而导致黄海中部叶绿素 a 浓度高值区的出现, 这与 Cho 等(1994)的研究结果一致。夏季随着黄海冷水团形成以及河流陆源输入的增加, 中部高值区消失, 近岸出现较高值。

春、夏两季东海叶绿素 a 浓度分布特征均表现为近岸高、远岸低。由于东海东部、中部和南部陆架受寡营养盐的台湾暖流和黑潮次表层水控制(李伟等, 2012), 因此叶绿素 a 浓度在外海较低, 均小于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。夏季冲淡水以长江口为中心, 呈半圆形向外扩展, 30.00 等盐线在 32°N 断面上东至 124°E , 南至 29.5°N (李伟等, 2012), 其携带的大量营养盐造成富营养化, 引起光合作用加强, 产生高浓度叶绿素 a , 导致夏季长江口外叶绿素 a 浓度高值区分别向东和向南移, 这与朱建荣(2004)的调查结果相一致。

2.2 叶绿素 a 的垂直分布及季节变化特征

在黄海、东海分别选取 E 断面和 PN 断面为两海区的代表性断面, 进一步分析叶绿素 a 浓度的垂直分布格局, 结果如图 3 所示。在垂直断面上叶绿素 a 浓度的高值区主要分布在中上层水域, 且叶绿素 a 浓度春季明显高于夏季。

E 断面西起海州湾, 东至韩国大黑山群岛以东 124°E 海域, 横跨南黄海, 春季外海叶绿素浓度高于近岸。最大值出现在 123.5°E — 124°E 远岸区域水深 $10\text{—}20\text{m}$ 处, 近岸 120.5°E — 122.5°E 水深 20m 之浅叶绿素 a 浓度都较低, 普遍低于 $1\text{mg}/\text{m}^3$ 。夏季相反, 呈现由近岸向外海逐渐降低趋势, 在近岸水域 120.5°E — 122°E 水深 10m 处形

成高值区。夏季随着光照强度逐渐增大, 表层海水温度升高, E 断面出现温跃层, 20.0°C 等温线出现在几乎所有站位约 $10\text{—}15\text{m}$ 处(李伟等, 2012), 从而形成稳定的水体结构, 底层富营养盐海水无法补充到表层, 从而造成叶绿素浓度次表层出现最大值, 这与高爽等(2009)研究结果一致。

PN 断面西起长江口, 往东到 125.5°E , 受长江冲淡水作用明显, 叶绿素 a 浓度沿岸大于外海。其分布特征为: 春、夏两季均在 $0\text{—}20\text{m}$ 的上层水域出现最高值, 且高值区都集中在 124.5°E 以西海域。春季最大值出现在表层; 夏季最大值出现在次表层 10m 处。夏季温跃层以及长江冲淡水在 $10\text{—}20\text{m}$ 处形成显著的沿岸盐度锋(李伟等, 2012)是造成这一现象的主要原因。春季长江冲淡水带来了大量的营养物质, 有利

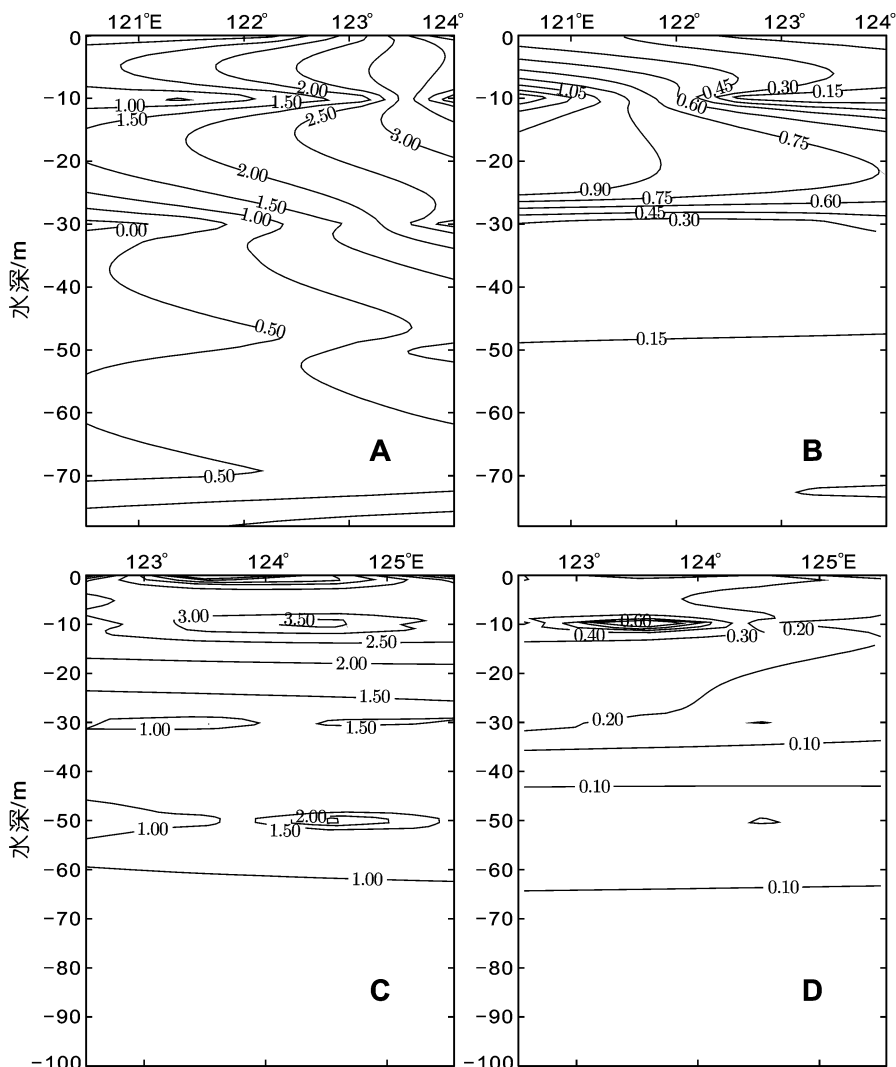


图 3 春、夏季叶绿素 a 浓度(mg/m^3)垂直分布

Fig.3 The vertical distributions of Chl a concentrations (mg/m^3) in spring and summer
A. E 断面春季; B. E 断面夏季; C. PN 断面春季; D. PN 断面夏季

于浮游植物的生长,同时由于水体浑浊,透光率低,因此在近岸的表层海域出现叶绿素 a 浓度最大值,高达到 $8.42\text{mg}/\text{m}^3$ 。夏季可能由于长江冲淡水向东方向扩转,陆源物质输入相对减少,造成PN断面的叶绿素浓度明显降低,最大值为 $1.71\text{mg}/\text{m}^3$ 。

2.3 水柱初级生产力的空间分布及季节变化特征

图4表示黄、东海初级生产力的水平分布状况。春、夏两季初级生产力的水平分布格局明显不同。春季各站位水柱初级生产力除极高值M2站异常高 $[6779\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$ 外,变化范围在 $3.68\text{—}2871\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,平均值 $993.9\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$ 。高值区主要分布在黄海中部,其次是长江口海域,低值区主要分布在苏北浅滩外部海域及黄海南部海域。

夏季各站位水柱初级生产力除极高值S2站异常高 $[7966\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$ 外,变化范围在 $28.52\text{—}3793\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,平均值 $1274\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})$,比春季高出约

30%。高值区主要分布在山东半岛南部近岸海域、长江口外的黄、东海交界处海域以及浙江省沿岸海域,低值区主要分布在苏北浅滩及南黄海中部海域。

将图4与图2对比可见,初级生产力平面分布的基本趋势与水柱叶绿素 a 的平面分布趋势大致相同。黄海高值区变化与季黄海冷水团的形成密切相关。东海高值区偏移和变化主要受长江冲淡水扩展的影响。此外,焦念志等(1998)测定了东海的初级生产力,结果也表明初级生产力与水团和海流有密切的关系,高生产力区出现在锋面区和沿岸上升流区,低生产力区出现在河口浑浊区,并指出东海初级生产力的限制因子是营养盐可得性和光照条件。

与历史上不同时期初级生产力水平相比较(表2),发现黄、东海初级生产力水平有所差异。2011年的初级生产力水平与1984—1985年的结果相比,春季略低,夏季明显偏高。这一结果可能与近26年来,

黄、东海海域的富营养化程度加剧有关。同时,2011年和1984—1985年初级生产力水平都高于其它年份的调查结果,这可能与调查区域的差异有关(王春生, 2011)¹⁾。2006—2007年东海初级生产力的水平明显高于1997—2000年。从海区比较,2006—2007年东海初级生产力的水平都高于黄海,而1997—2000年东海初级生产力的水平明显低于黄海。

2.4 叶绿素和初级生产力时空分布的影响因子

海洋叶绿素和初级生产力的空间分布和季节变化反映了营养盐、温度、光照等环境因子对海洋浮游植物生长的影响状况。

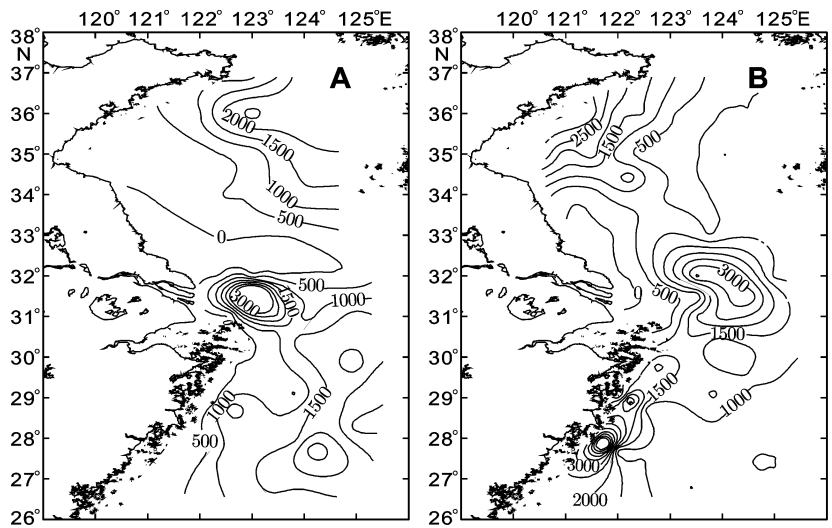


图4 调查海区春季(A)和夏季(B)初级生产力 $[\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$ 分布图
Fig.4 Distributions of the primary productivity $[\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$ in spring (A) and summer (B) in the investigation sea area

表2 黄、东海初级生产力历史资料结果比较 $[\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$
Tab.2 Primary productivity comparison with historical data $[\text{mgC}/(\text{m}^2\cdot\text{d})]$ in the Yellow Sea and East China Sea

海区	调查时间(年)	春季	夏季	来源
黄海南部东海北部	2011	994	1274	本研究
	1984—1985	1100	874	朱明远等, 1993
黄海	2006—2007	515	508	王春生, 2011 ¹⁾
	1997—2000	662	664	吕瑞华, 2005
东海	2006—2007	1559	2394	王春生, 2011 ¹⁾
	1997—2000	604	357	吕瑞华, 2003

1) 王春生, 2011. 叶绿素 a 与初级生产力. 见: 我国近海海洋生物与生态调查研究报告(上). 杭州: 国家海洋局第二海洋研究所, 93—94

为了解黄、东海叶绿素 *a* 浓度及分布的环境因子, 对黄、东海春、夏季温度、盐度、营养盐及 3 种营养盐之间的比值与叶绿素 *a* 浓度进行相关性分析, 结果如表 3 所示。除光照的季节变化外, 营养盐的含量及其比值是直接影响浮游植物的生长的重要因素。根据表 3 分析结果, 春季整个调查海区叶绿素 *a* 浓度与磷酸盐浓度呈显著负相关, 与氮磷比呈显著的正相关性, 表明黄、东海春季磷酸盐可能成为限制浮游植物

生长的一个重要因子, 这与王保栋(2003)对黄海和东海营养盐分布对浮游植物的限制的研究结果一致。

此外, 温度和盐度也是浮游植物生长的另外两个重要影响因子。春季整个调查海区叶绿素 *a* 浓度与温度和盐度呈负相关。说明春季低温低盐水域有利于浮游植物生长, 这与孙晓霞等(2012)对 2011 年春、夏季黄、东海浮游植物粒级结构的研究中小型浮游植物的分布格局和影响因素一致。

表 3 春、夏季黄、东海叶绿素 *a* 浓度与环境因子相关性分析

Tab.3 Correlations between Chl *a* concentrations and the environmental factors in the Yellow Sea and the East China Sea in spring and summer

时间	温度	盐度	硝酸盐	亚硝酸盐	铵盐	磷酸盐	硅酸盐	氮磷比	硅氮比	硅磷比
4 月	-0.212**	-0.114	-0.058	-0.121*	0.062	-0.282**	-0.093	0.174**	0.021	0.047
8 月	0.180**	-0.198**	-0.009	-0.007	-0.009	0.002	-0.022	-0.035	-0.049	-0.048

注: *表示差异显著($P < 0.05$), **表示差异显著($P < 0.01$)

3 结论

(1) 春季黄、东海表层叶绿素 *a* 浓度范围为 0.08—8.61mg/m³, 平均浓度为 1.84mg/m³。夏季表层叶绿素 *a* 浓度范围为 0.01—18.26mg/m³, 平均浓度为 1.18 mg/m³。春季高于夏季。春季水柱叶绿素 *a* 含量范围为 0.42—365.9mg/m², 平均值为 74.83mg/m², 夏季水柱叶绿素 *a* 含量范围为 1.64—143.8mg/m², 平均浓度为 23.84mg/m²。春季显著高于夏季。

(2) 黄海春季叶绿素 *a* 浓度从表层到底层均匀分布, 夏季叶绿素 *a* 浓度的垂直分布呈现较为明显的层化现象。东海春、夏两季均在 0—20m 的上层水域出现最高值, 且高值区都集中在 124.5°E 以西海域。

(3) 春季各站位水柱初级生产力变化范围 3.68—6779mgC/(m²·d), 平均值 993.85mgC/(m²·d)。高值区主要分布在黄海中部, 以及长江口海域。夏季各站位水柱初级生产力变化范围 28.52—7966mgC/(m²·d), 平均值 1274mgC/(m²·d), 比春季高出约 30%。高值区主要分布在山东半岛南部近岸海域、长江口外的黄、东海交界处海域以及浙江省沿岸海域。夏季初级生产力水平与 1984—1985 年相比, 有所升高。

(4) 春季整个调查海区叶绿素 *a* 浓度与磷酸盐浓度呈显著负相关, 与氮磷比成显著的正相关性, 这表明黄、东海春季磷酸盐可能成为限制浮游植物生长的一个重要因子。

致谢 同航次温、盐、营养盐数据由本项目组魏皓、于志刚老师提供; 本课题组王王伟、刘梦坛、胡仔园、

王延清、王晓东、冯秋园、任琳琳等在出海调查中给予大力帮助, 谨致谢忱。

参 考 文 献

- 王保栋, 2003. 黄海和东海营养盐分布及其对浮游植物的限制. 应用生态学报, 14(7): 1122—1126
- 宁修仁, 刘子琳, 史君贤, 1995. 渤、黄、东海初级生产力和潜在渔业生产量的评估. 海洋学报, 17(3): 72—84
- 吕瑞华, 2003. 初级生产力. 见: 郑元甲, 陈雪忠, 程家骅等主编. 东海大陆架生物资源与环境. 上海: 上海科学技术出版社, 116—136
- 吕瑞华, 2005. 叶绿素 *a* 与初级生产力. 见: 金显仕, 赵宪勇, 孟田湘等主编. 黄渤海生物资源与栖息环境. 北京: 科学出版社, 75—90
- 朱明远, 毛兴华, 吕瑞华等, 1993. 黄海海区的叶绿素 *a* 和初级生产力. 黄渤海海洋, 11(3): 38—51
- 朱建荣, 2004. 长江口外海区叶绿素 *a* 浓度分布及其动力成因分析. 中国科学 D 辑(地球科学), 34(8): 757—762
- 孙晓霞, 2011. 黄海叶绿素和初级生产力. 见: 孙 松, 李超伦主编. 生物海洋学. 北京: 海洋出版社, 84—85
- 孙晓霞, 孙 松, 张永山等, 2011. 胶州湾叶绿素 *a* 及初级生产力的长期变化. 海洋与湖沼, 42(5): 654—661
- 孙晓霞, 任琳琳, 郑 珊等, 2012. 2011 年春、夏季黄、东海浮游植物粒级结构. 海洋与湖沼, 43(3): 419—428
- 李 伟, 王玉衡, 汪嘉宁等, 2012. 2011 年春、夏季黄、东海水团与水文结构分布特征. 海洋与湖沼, 43(3): 615—623
- 宋金明, 李学刚, 袁华茂等, 2008. 中国近海生物固碳强度与潜力. 生态学报, 28(2): 551—558
- 林丽贞, 陈纪新, 刘 媛等, 2007. 东、黄海典型海区分粒级浮游植 Chl *a* 的周日波动及影响因子. 台湾海峡, 26(3): 342—350
- 国家技术监督局, 2007. 海洋调查规范海洋生物调查. 北京:

- 中国标准出版社, 3—10
- 费尊乐, Trees C C, 李宝华, 1997. 利用叶绿素资料计算初级生产力. 黄渤海海洋, 15(1): 35—47
- 高 爽, 李正炎, 2009. 北黄海夏、冬季叶绿素和初级生产力的空间分布和季节变化特征. 中国海洋大学学报, 39(4): 604—610
- 黄邦钦, 刘 媛, 陈纪新等, 2006. 东海、黄海浮游植物生物量的粒级结构及时空分布. 海洋学报, 28(2): 156—164
- 焦念志, 王 荣, 李超伦, 1998. 东海春季初级生产力与新生生产力的研究. 海洋与湖沼, 29(2): 135—140
- Cho B C, Choi J K, Chung C S *et al*, 1994. Uncoupling of bacteria and phytoplankton during a spring diatom bloom in the mouth of the Yellow Sea. Marine Ecology Progress Series, 115: 181—190

SPATIAL AND SEASONAL VARIATIONS OF CHLOROPHYLL *a* AND PRIMARY PRODUCTIVITY IN SPRING AND SUMMER IN THE YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA

WEN Fei^{1,2}, SUN Xiao-Xia¹, ZHENG Shan^{1,2}, LUO Xuan¹,
FENG Qiu-Yuan^{1,2}, SUN Song^{1,3}

(1. Jiaozhou Bay Marine Ecosystem Research Station, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071; 2. Graduate School, Chinese Academy of Sciences, Beijing, 100049; 3. Key Laboratory of Marine Ecology and Environmental Sciences, Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao, 266071)

Abstract Chlorophyll *a* and primary productivity were measured during two cruises in the Yellow Sea and East China Sea during the spring and summer of 2011 in order to assess their spatial and seasonal variability as well as controlling factors. The chlorophyll *a* content in water column in spring was 74.83mg/m², whereas the value in summer significantly decreased to 23.84mg/m². Due to intense water stratification in the summer, the maximum chlorophyll *a* concentration that appeared at the subsurface layer differed from the more uniformly mixed water column in spring. The primary productivity in water column in spring was 993.9mgC/(m²·d) on average, 1274mgC/(m²·d) in summer. Compared with that in 1984—1985, this value significantly increased. The horizontal distribution of primary productivity showed less variation in summer than that in spring. The primary productivity was the highest in the middle of the Yellow sea and the mouth of Changjiang River in spring, and the highest in the coast of Shandong, the coast of Zhejiang and the mouth of Changjiang River in summer. The chlorophyll *a* concentration and phosphate concentration showed significantly negative correlations, and showed significant positive correlations with the nitrogen to phosphorus ratio in the whole investigation sea area in spring, therefore the phosphate may become the controlling factor for phytoplankton growth in spring.

Key words The Yellow Sea, The East China Sea, Chlorophyll *a*, Primary productivity