

基于水色遥感的黄、东海叶绿素 a 浓度季节 和年际变化特征分析^{*}

郑小慎 魏 皓 王玉衡

(天津市海洋资源与化学重点实验室 天津科技大学海洋科学与工程学院 天津 300457)

提要 海洋叶绿素 a 浓度是衡量海洋浮游植物的生物量和富营养化程度的最基本指标之一。黄、东海叶绿素 a 浓度年际变化显著, 其影响因素需深入分析。本文依据黄、东海的地理位置、水深和生态特征将其分为 5 个区域进行研究。由 5 个区域叶绿素 a 浓度的季节变化可以看出, 水华发生早晚依次是黄海西岸—北黄海中部—南黄海中部—东海陆架区—东海近岸海区。从年际变化可以看出, 除东海陆架外, 其它 4 个区域的变化幅度均较大。在冬季和夏季, 5 个区域的基础生物量在 2008 年均达到最低; 在春季和秋季, 黄、东海近岸和北黄海中部的年际变化较大, 5 个区域在 2006 年春季均达到最高; 2009 年秋季较其它年份均低。5 个区域基础生物量由高到低为: 黄、东海近岸较高, 然后是北黄海中部和南黄海中部, 东海陆架最低。从与水温、风速和有效光合辐射的相关分析来看, 浮游植物生长的年际变化受海面风速的影响较大。近岸区域水体混合均匀, 营养盐丰富, 风速较小时水体稳定有利于浮游植物生长, 而水深较深区域, 风速较大时, 营养盐易补充到表层, 有利于浮游植物生长。

关键词 叶绿素 a 浓度, 水色遥感, 黄海, 东海, 季节和年际变化

中图分类号 P76

叶绿素 a 浓度是浮游植物现存量的表征, 也是海洋环境监测的重要指标之一(朱明远等, 1993)。叶绿素 a 浓度的时空分布与变化包含着海区基本的生态信息(孙军等, 2003), 通过遥感数据研究海洋叶绿素 a 浓度的年际变化可以了解大尺度时空范围内海域生态环境的特征(陈楚群等, 2001), 评估生物资源蕴藏量及生产潜力, 为合理开发利用海洋生物资源和实行渔业生产农牧化等提供基础资料。黄海和东海地处东亚季风区, 东临强大的西边界流黑潮, 西靠人类活动剧烈的经济发达区(孙湘平, 2006), 其生态系统发生了很大变化, 海洋生态系统对环境变化的响应是目前海洋研究的热点。

国内外学者对生态系统中浮游植物的分布和影

响因素已做了大量研究, 王作华等(2009)利用现场监测数据分析了黄、东海夏季叶绿素 a 浓度的分布特征, 认为光照条件和营养盐等是影响夏季黄、东海海域叶绿素 a 浓度分布的主要因素。林军(2011)¹⁾依据海温和悬浮物浓度进行了分区, 研究了长江口附近海域叶绿素 a 浓度的分布, 认为悬浮物浓度、温度、盐度、水体稳定度、营养盐是影响长江口外海域浮游植物分布的主要环境因子; 乐凤凤等(2008)对南海北部区域进行了研究, 发现叶绿素 a 浓度分布受温度和光照垂直结构的影响; 孙晓霞等(2011)系统分析了 1984—2008 年胶州湾叶绿素 a 及初级生产力分布格局的变化、季节特征的变化以及长期变化规律, 认为胶州湾叶绿素与初级生产力的长期变化特征主要受营养盐

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973)项目“中国近海水母暴发的关键过程、机理及生态环境效应”第六课题“水母灾害暴发机制与生态效应的模型研究”, 2011CB403606 号, “我国陆架海生态环境演变过程、机制及未来变化趋势预测”第四课题“我国陆架海生态环境演变机制综合分析及未来变化趋势预测”, 2010CB428904 号; 国家自然科学基金重点项目“黄海动力过程对生物生产支持与调节机制的数值研究”, 40830854 号。郑小慎, 博士, 副教授, E-mail: zhengxiaoshen@163.com

1) 林 军, 2011. 长江口外海域浮游植物生态动力学模型研究. 上海: 华东师范大学博士学位论文, 116—120

收稿日期: 2011-12-31, 收修改稿日期: 2012-02-28

浓度升高和养殖贝类滤食压力的综合影响。依据遥感数据, Nezlin(2005, 2008)认为影响黑海的叶绿素 *a* 浓度年际变化的主要因素是海表温度和风应力。

本文参照孙军研究组基于浮游植物物种和群落的生态区划, 将黄、东海海域依据海域位置、水深和遥感获取的叶绿素 *a* 浓度分布特征将研究海域分为 5 个区域, 分析每个区域中叶绿素 *a* 浓度的季节和年际变化特征, 并分析叶绿素 *a* 浓度(CHL)年际变化与光合有效辐射(PAR)、海表温度(SST)和海面风速(Ws)等物理环境因子变化的关系。

1 数据来源与区域划分

1.1 数据来源

黄、东海浮游植物生物量的变化是基于 SeaWiFS 遥感数据(1997 年 12 月—2010 年 12 月), MODIS-Aqua 遥感数据(2002 年 7 月—2010 年 12 月), MODIS-Terra 遥感数据(2000 年 9 月—2010 年 12 月)的 3 级月平均叶绿素 *a* 浓度数据, 由美国国家航空航天局(NASA)海洋水色处理中心(OCDPS, <http://oceancolor.gsfc.nasa.gov/>)提供, 按照像素点进行平均(刘天然, 2010)¹⁾, 通过叶绿素 *a* 浓度表征浮游植物现存量来分析表层浮游生物量的动态。由于标准的 SeaWiFS (Wang *et al.*, 2005, 2007)和 MODIS (Arthur, 2001)遥感数据的叶绿素 *a* 浓度算法是依据 I 类水体发展起来的, 在 I 类大洋水体中, 海表面的水色主要取决于叶绿素 *a* 浓度, 而黄、东海为二类水体, 水色除了受叶绿素 *a* 浓度的影响外, 还受到悬浮物浓度和黄色物质影响, 标准算法会高估近岸水体的叶绿素 *a* 浓度的绝对值, 但是本文研究的重心是叶绿素 *a* 浓度的年际相对变化, 而不是量值大小, 因此降低了叶绿素 *a* 浓度的高估对分析结果的影响。

月平均的 PAR 资料来自于美国 NASA 网站下载的 SeaWiFS(1997—2010 年)、MODIST(2000—2010 年)和 MODISA(2002—2010 年)卫星资料(Level-3 mapped 9km monthly data, <http://oceandata.sci.gsfc.nasa.gov/>)。SST 使用 NOAA 网站(<ftp://eclipse.ncdc.noaa.gov/pub/OI-daily-v2/NetCDF/>)提供的逐日 AVHRR 资料, 资料长度自 1997 年 12 月—2010 年 12 月, 质量较好的等级在 4—7 之间的数据。风场数据中, 由于影响浮游植物生长的水体稳定性因素主要是风速, 与风应力关系不大。因此本文用海面风速(Wind

Speed)表示风的影响, 海面风速的数据来自美国气候中心用模式和同化技术提供的大气再分析数据的 wind speed 数据(http://www.esrl.noaa.gov/psd/cgi-bin/DataAccess.pl?DB_dataset=ICOADS+1-degree+Equatorial+Enhanced&DB_variable=Wind+Speed&DB_statistic=Mean&DB_tid=31869&DB_did=9&DB_vid=288), 时间长度为 1997 年 12 月—2010 年 12 月。

1.2 研究子区域的划分

在本文的研究中, 主要针对黄、东海海域表层叶绿素 *a* 浓度进行分析, 分析范围为 24—40°N, 117—128°E。结合各海域的具体情况, 按照地理区划、水深和叶绿素 *a* 浓度的分布将黄、东海分为 5 个区域, 分别为: 黄海西岸(水深<30m, YS-coast); 北黄海中部(水深>30m, NYS-center); 南黄海中部(水深>30m, SYS-center); 东海近岸(水深<50m, ECS-coast); 东海陆架(50m<水深<150m, ECS-shelf)。子区域划分如图 1 所示。

2 研究结果

2.1 叶绿素 *a* 浓度的季节变化

将 5 个研究区域 1998 年 1 月—2010 年 12 月水色遥感的叶绿素 *a* 浓度数据进行多年平均, 得到气候态月平均叶绿素 *a* 浓度, 图 2 给出了 5 个子区域 1998—2010 年间叶绿素 *a* 浓度的季节变化。

由图 2 可以看出, 5 个区域的多年月平均值有明显的季节变化。黄海西岸海域(水深<30m)10 月至翌年 2 月叶绿素 *a* 浓度较高。东海近岸海域(水深<50m)10 月至翌年 3 月叶绿素 *a* 浓度较低, 季节变化呈双峰状分布, 叶绿素 *a* 浓度峰值分别高于其它 4 个区域的均值, 其主要原因是长江入海口附近由长江带入了大量的营养物质(王保栋, 1998), 舟山渔场的上升流不断给海水表层补充营养盐, 促进了浮游植物的生长, 导致叶绿素 *a* 浓度较高, 这与赵保仁(1993)和鲁北纬等(1997)的研究结果相符。北黄海的中部海域(水深>30m)叶绿素 *a* 浓度呈现双峰分布, 峰值出现在 3 月、4 月和 10 月, 对应春秋两次水华, 春季水华比较明显, 秋季水华较弱。南黄海中部海域(水深>30m)叶绿素 *a* 浓度峰值在 4 月份, 为全年浓度最高峰。黄海中部的叶绿素 *a* 浓度最低值均出现在 7 月份, 为全年叶绿素 *a* 浓度最低月份, 其原因主要是由于夏季黄海冷水团的存在, 形成跃层, 致使表层营养盐缺

1) 刘天然, 2010. 南黄海中部春季浮游植物水华过程与物理环境的关系初探. 青岛: 中国海洋大学硕士学位论文, 20—22

乏(孙湘平, 2006), 影响浮游植物的生长, 导致叶绿素 *a* 浓度偏低。东海陆架海域(50m < 水深 < 150m)叶绿素 *a* 浓度相对其它海域较低, 峰值出现在 4 月份, 对应了明显的春季水华现象。夏秋和冬季叶绿素 *a* 浓度的变化不大。

同时由图 2 还可以看出, 浮游植物水华发生时间各个区域有所差别。在黄海西岸发生时间较早, 冬季就开始发生; 3 月份在北黄海中部开始发生春季的浮游植物水华, 一般将持续到 4 月份; 南黄海中部和东海陆架区域春季水华同时发生, 一般在 4 月份; 东海近岸区域发生春季水华时间在 5 个区域内最晚, 一般推迟到 5 月份, 到 7—8 月份东海近岸达到第二个高峰期。多年的现场监测结果(韩君, 2008¹⁾; 郝铨, 2010²⁾; 宋洪军等, 2011)验证了 5 个区域的叶绿素 *a* 浓度季节变化特征, 由此可以看出, 利用叶绿素 *a* 浓度的遥感数据进行季节和年际变化分析是可行的。

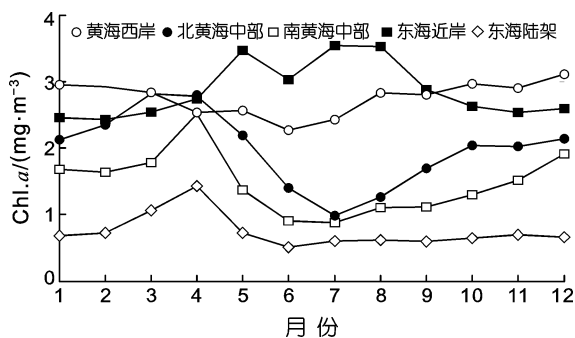


图 2 5 个子区域 1998 年 1 月—2010 年 12 月叶绿素 *a* 浓度月平均数据的季节变化

Fig.2 Averaged monthly chlorophyll-*a* concentrations in five sub-regions over one annual cycle during January 1998—December 2010

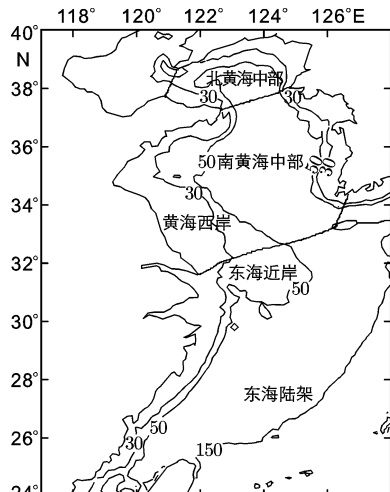


图 1 黄、东海研究区域和子区域的划分

Fig.1 Sub-regions in Yellow Sea and East China Sea

2.2 年平均叶绿素 *a* 浓度的年际变化

将 5 个区域所有空间点每年 1—12 月份的叶绿素 *a* 浓度按照区域划分进行年平均, 得到每个区域年平均叶绿素 *a* 浓度的年际变化, 如图 3 所示。

由图 3 可以看出黄、东海 5 个区域叶绿素 *a* 浓度的年际变化, 除东海陆架外, 其它 4 个区域的变化幅度均较大。叶绿素 *a* 浓度的变化是基础生物量变化的表征, 因此在黄海西岸, 2001 年和 2004 年基础生物量较高, 2008 年和 2009 年基础生物量较低; 南北黄海中部在 2006 年生物量达到 13 年中的最高值, 2008 年最低。东海近岸在 2008 年和 2009 年基础生物量较低。

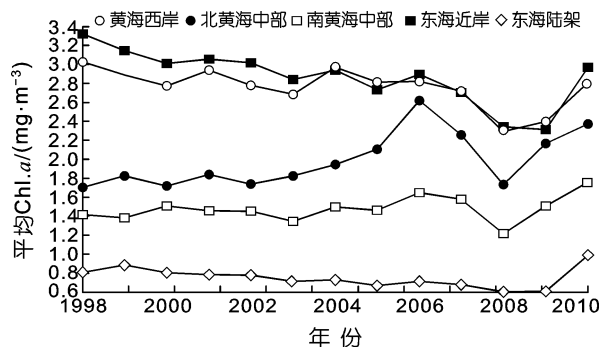


图 3 1998 年 1 月—2010 年 12 月 5 个子区域年平均叶绿素 *a* 浓度的年际变化

Fig.3 Averaged annual chlorophyll-*a* concentrations in five sub-regions during January 1998—December 2010

2.3 不同季节平均叶绿素 *a* 浓度的年际变化

黄、东海表层叶绿素 *a* 浓度的季节变化比较明显, 将 1997 年 12 月—2010 年 11 月 5 个研究区域的叶绿素 *a* 浓度数据按照季节进行平均。12 月、1 月和 2 月为冬季数据, 3 月、4 月和 5 月为春季数据, 6 月、7 月和 8 月为夏季数据, 9 月、10 月和 11 月为秋季数据, 从而得到 1998—2010 年共 13 年冬、春、夏、秋的季节 5 个研究区域叶绿素 *a* 浓度的年际变化, 如图 4 所示。

从 5 个区域冬季叶绿素 *a* 浓度的年际变化来看, 黄、东海近岸叶绿素 *a* 浓度变化规律基本一致。有所不同的是在 2002 年, 北黄海中部叶绿素 *a* 浓度与相邻年份冬季相比变化不大, 而黄、东海近岸、东海陆架和南黄海中部均较相邻年份有所上升, 其中东海近岸浓度明显高于其它年份。在 2008 年, 5 个研究区域的叶绿素 *a* 浓度均有下降。

1) 韩 君, 2008. 黄海物理环境对浮游植物水华影响的数值研究. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 8—11

2) 郝 铨, 2010. 中国近海叶绿素和初级生产力的时空分布特征和环境调控机制研究. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 12—20

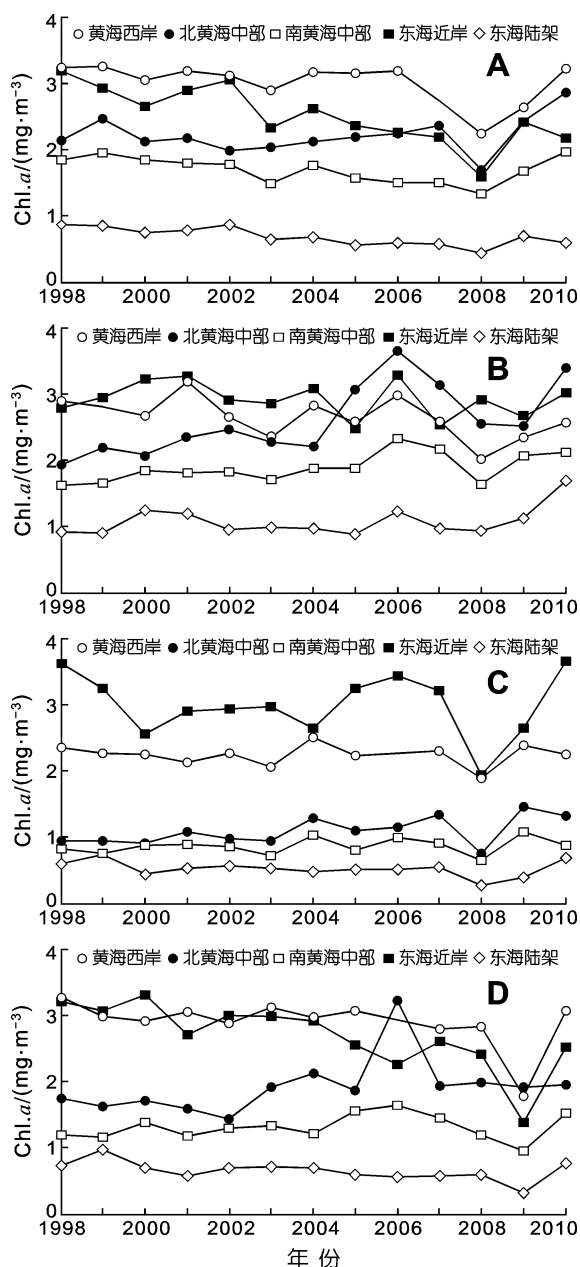


图4 1998—2010年5个子区域不同季节叶绿素 a 浓度的年际变化

Fig.4 Inter-annual variability of chlorophyll- a concentrations in five sub-regions during 1998—2010, for four seasons

A. 冬季, B. 春季, C. 夏季, D. 秋季

在5个区域春季叶绿素 a 浓度的年际变化中, 1998—2004年, 叶绿素 a 浓度由高到低依次为: 东海近岸、黄海西岸、北黄海中部、南黄海中部、东海陆架区域。2005年、2006年、2007年和2010年北黄海中部叶绿素 a 浓度增加, 高于其它4个区域。2008年和2009年黄海和东海陆架区域叶绿素 a 浓度降低, 东海近岸高于其它4个区域。黄、东海近岸及北黄海

中部叶绿素 a 浓度不同年份之间变化比较明显, 南黄海中部和东海陆架变化较小。2006年5个区域的叶绿素 a 浓度相对其它年份均较高, 2008年黄海西岸和中部与相邻年份相比均较低。2006年和2010年春季北黄海中部的叶绿素 a 浓度高于其它4个区域。

5个区域夏季叶绿素 a 浓度的年际变化, 东海近岸叶绿素 a 浓度变化较大, 与相邻年份相比, 1998、2006和2010年叶绿素 a 浓度较高, 2000、2004和2008年叶绿素 a 浓度较低, 其它4个区域变化幅度较小, 规律基本一致。比较特殊的年份发生在2004年, 黄海近岸、北黄海中部和南黄海中部较其它年份叶绿素 a 浓度偏高, 而在东海近岸和东海陆架较其它年份浓度偏低。2008年黄、东海的5个海域和其它年份相比叶绿素 a 浓度明显下降。

5个区域秋季叶绿素 a 浓度的年际变化, 黄、东海近岸叶绿素 a 浓度变化规律基本一致。南北黄海中部叶绿素 a 浓度变化比较明显。2006年秋季东海近岸叶绿素 a 浓度相比其它年份较低, 而南黄海中部和北黄海中部叶绿素 a 浓度明显高于其它年份, 而到2009年黄、东海近岸, 南黄海中部和东海陆架区域的叶绿素 a 浓度比其它年份均低。

3 叶绿素 a 浓度年际变化影响因素分析

为了比较分析叶绿素 a 浓度与光合有效辐射、海表温度和海面风速的相关关系, 将1997年12月—2010年11月5个研究区域的光合有效辐射PAR数据、海表温度SST数据和海面风速WS数据进行季节划分。从而得到1998—2010年共13年冬、春、夏、秋5个研究区域光合有效辐射PAR、海表温度和海面风速的年际变化。

由于叶绿素 a 浓度的年际变化中季节信号明显, 因此依据5个区域冬、春、夏、秋四季的年际变化来分析叶绿素 a 浓度年际变化与光合有效辐射、海表温度和海面风速的相关性, 得到相关系数矩阵和离散度矩阵, 如表1所示。

离散度取 $P \leq 0.05$ (如表1中黑体数字所示), 由表1可以看出, 黄海西岸CHL在秋冬季与WS负相关, 东海近岸CHL在春季与WS负相关, 这可能是因为在水深较浅的近岸区域(黄海西岸和东海近岸)水体垂直混合均匀, 营养盐丰富, 风速较强时, 浮游植物在真光层的存留缩短, 使得浮游植物生物量减小(韩

表 1 不同季节 5 个子区域叶绿素 *a* 浓度与光合有效辐射、海表温度和海面风速的相关关系
Tab.1 Correlations between chlorophyll-*a* concentrations (CHL) and photo-synthetically active radiations (PAR), sea surface temperature (SST), sea surface wind speed (WS) in five sub-regions for different seasons

区域	参数	相关系数(<i>r</i>)				离散度(<i>P</i>)			
		春	夏	秋	冬	春	夏	秋	冬
YS-coast	PAR	0.18	0.32	0.46	0.12	0.56	0.28	0.11	0.71
	SST	0.18	0.52	-0.05	0.02	0.56	0.07	0.86	0.96
	wind	-0.21	-0.48	-0.63	-0.61	0.49	0.09	0.02	0.03
NYS-center	PAR	-0.17	-0.02	0.14	-0.40	0.57	0.96	0.64	0.18
	SST	-0.71	-0.09	0.21	-0.12	0.01	0.77	0.49	0.70
	wind	0.23	0.27	0.45	-0.36	0.45	0.37	0.12	0.23
SYS-center	PAR	0.26	0.55	0.17	0.30	0.39	0.05	0.59	0.32
	SST	-0.09	0.48	-0.16	0.31	0.78	0.10	0.61	0.30
	wind	0.55	0.18	0.32	-0.51	0.05	0.56	0.29	0.08
ECS-coast	PAR	0.17	-0.02	0.26	0.32	0.58	0.94	0.38	0.28
	SST	0.00	-0.07	-0.41	0.44	1.00	0.82	0.16	0.13
	wind	-0.57	-0.31	-0.40	-0.39	0.04	0.31	0.18	0.18
ECS-shelf	PAR	0.17	-0.36	0.15	0.49	0.58	0.23	0.62	0.09
	SST	-0.39	-0.21	0.09	0.41	0.19	0.50	0.78	0.17
	wind	0.10	-0.12	-0.12	-0.34	0.73	0.69	0.71	0.26

君, 2008)¹⁾, 生物量与风速呈负相关。南黄海中部 CHL 春季与 WS 正相关, 原因可能是表层风对浮游植物水华的影响主要是通过对海表的直接作用力改变水体(一般是上层水体)垂直混合作用的强度(宋洪军等, 2011), 风速增加时, 上层水体能够获得更多的营养盐补充, 生物量年际变化与风速为正相关。北黄海中部 CHL 在春季与 SST 负相关, 说明温度的升高没有导致浮游植物的增加, 原因可能是由于春季水体受太阳辐射的影响温度上升, 出现季节性温度/密度跃层, 阻碍了营养盐的补充(韩君, 2008)¹⁾; 南黄海中部 CHL 夏季与 PAR 正相关, 即光和有效辐射增强, 促进了光合作用, 使浮游植物生物量增加。

4 结语

叶绿素 *a* 浓度的分布具有明显的季节变化特征, 叶绿素 *a* 浓度的年际变化与海域地理位置有关, 同时还受到物理环境众多因素的影响。通过分析可以看出 5 个区域浮游植物生物量季节和年际变化与风、光照变化有不同响应。浅水区域浮游植物生物量季节变化与风速为负相关; 黄海中部生物量的季节变化与风速为正相关; 东海陆架区域浮游植物生物量与风速变化没有显著相关。光合有效辐射是浮游植物生长的

基础, 但是在各海区水华期间, 水华生物量均未显现与 PAR 的相关, 说明水华发生在较好的光照条件下, PAR 增加没有导致水华生物量增加。

浮游植物的生长受到气候变化和气候变化导致的环境因子变化的影响, 应针对具体海域的实际情况进行具体分析。利用生态模型来描述浮游植物在整个研究海域的分布特征及季节变化、年际变化规律, 是一种重要的量化研究手段。

参 考 文 献

王作华, 石晓勇, 张传松等, 2009. 黄、东海夏季叶绿素 *a* 分布特征的初步探讨. 渔业科学进展, 30(2): 120 - 126
王保栋, 1998. 长江冲淡水的扩展及其营养盐的输运. 黄渤海海洋, 16(2): 41—47
乐凤凤, 宁修仁, 刘诚刚等, 2008. 2006 年冬季南海北部浮游植物生物量和初级生产力及其环境调控. 生态学报, 28(11): 5775—5784
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. 海洋科学进展, (3): 38—50
孙 军, 刘东艳, 宁修仁等, 2003. 2001—2002 年夏季南极普里兹湾及其邻近海域的浮游植物. 海洋与湖沼, 34(5): 519—532
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
孙湘平, 2006. 中国近海区域海洋. 北京: 海洋出版社, 5—8

1) 韩 君, 2008. 黄海物理环境对浮游植物水华影响的数值研究. 青岛: 中国海洋大学博士学位论文, 8—11

- 宋洪军, 季如宝, 王宗灵, 2011. 近海浮游植物水华动力学和生物气候学研究综述. 地球科学进展, 26(3): 257—265
- 陈楚群, 施 平, 毛庆文, 2001. 南海海域叶绿素浓度分布特征的卫星遥感分析. 热带海洋学报, 20(2): 66—70
- 赵保仁, 1993. 长江口外上升流现象. 海洋学报, 15(2): 108—114
- 鲁北纬, 王 荣, 王文琪, 1997. 春季东海不同海域叶绿素 a 的分布特征. 海洋科学, 5: 53—55
- Arthur P Cracknell, 2001. Remote Sensing and Climate Change: the Role of Earth Observation. Springer, Berlin, Published in Association with Praxis Publishing, Chichester, UK: 241—252
- Nezlin N P, 2005. Patterns of seasonal and inter-annual variability of remotely sensed chlorophyll. Hdb Env Chem, 5(Part P): 143—157
- Nezlin N P, 2008. Seasonal and inter-annual variability of remotely sensed chlorophyll. Hdb Env Chem, 5(Part Q): 333—349
- Wang M H, Shi W, 2005. Estimation of ocean contribution at the MODIS near-infrared wavelengths along the east coast of the US: Two case studies. Geophysical Research Letters, 32(13): L06611
- Wang M H, Tang J W, Shi W, 2007. MODIS-derived ocean color products along the China East coastal region. Geophysical Research Letters, 34(6): L06611

SEASONAL AND INTER-ANNUAL VARIATIONS OF CHLOROPHYLL- a CONCENTRATION BASED ON THE REMOTE SENSING DATA IN THE YELLOW SEA AND EAST CHINA SEA

ZHENG Xiao-Shen, WEI Hao, WANG Yu-Heng

(Tianjin Key Laboratory of Marine Resource and Chemistry, College of Marine Science and Engineering, Tianjin University of Science and Technology, Tianjin, 300457)

Abstract Inter-annual variability of chlorophyll- a concentration was significant in the Yellow Sea (YS) and the East China Sea (ECS). According to the geographical location, water depth and ecological characteristics, the YS and ECS were divided into five sub-regions. Seasonal variations of chlorophyll- a concentration indicated the phytoplankton bloom in these sub-regions occurred first in YS-coast, then subsequently in NYS-center, SYS-center, ECS-shelf, and finally in ECS-coast. Inter-annual variations of chlorophyll- a concentration in four of the sub-regions were large, except in ECS-shelf. In winter and summer, the average chlorophyll- a concentration of the five sub-regions all reached the minimum values in 2008. In spring, the average chlorophyll- a concentration of the five sub-regions reached the maximum in 2006. In autumn, the values in 2009 were lower than in other years. The biomass in YS-coast was the highest, followed by in ECS-coast, in NYS-center, in SYS-center, and in ECS-shelf. The main factor affecting the inter-annual variation of phytoplankton was wind. In shallow coastal waters where nutrients were rich, low wind speed and increased stability of water column were favorable for the growth of phytoplankton. In deep open ocean waters, high speed wind brought nutrients to the surface and thus helped the growth of phytoplankton.

Key words Chlorophyll- a concentration, Ocean color remote sensing, Yellow Sea, East China Sea, Seasonal and inter-annual variation