

文章编号: 1674-5566(2015)04-0544-06

九段沙湿地叶绿素 a 和初级生产力的季节变化

龚小玲¹, 张晓懿¹, 崔忠凯¹, 朱敏², 孙瑛², 鲍宝龙¹

(1. 上海海洋大学 省部共建水产种质资源发掘与利用教育部重点实验室, 上海 201306; 2. 上海市九段沙湿地自然保护区管理署, 上海 210235)

摘要: 2010年12月至2011年10月按季节4次对长江口九段沙湿地水域8个采样点中叶绿素 a 浓度进行了调查分析, 探讨了九段沙水域不同区域、不同季节初级生产力的特点。九段沙湿地叶绿素 a 在春季浓度最高, 均值为 5.90 mg/m^3 , 且空间上在上沙和中沙之间的潮沟中达到最高值, 秋季叶绿素 a 浓度(均值 5.03 mg/m^3)较春季稍低, 但空间差异性较春季小, 其他季节的叶绿素 a 都较低。九段沙湿地的浮游植物初级生产力范围为 $87.75 \sim 744.79 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 其中下沙的初级生产力较强, 而江亚南沙的初级生产力相对较弱。与其他邻近或功能相近海域相比, 九段沙湿地中叶绿素 a 和初级生产力都不太高, 与长江口高悬浮物的含量密切相关。另外叶绿素 a 和初级生产力与总磷的显著相关, 说明九段沙湿地可能是营养元素磷限值的水域。

研究亮点: 九段沙湿地是长江口新生的沙洲, 外连东海、内接长江, 在上海占据特殊的生态地位。本研究第一次对九段沙湿地叶绿素 a 和初级生产力水平进行了量化计算, 为将来评估九段沙湿地绿色 GDP 及生态价值奠定了基础。

关键词: 九段沙湿地; 叶绿素 a; 初级生产力; 时空差异

中图分类号: S 917

文献标志码: A

九段沙湿地($31^{\circ}03' \text{ N} \sim 31^{\circ}17' \text{ N}$, $121^{\circ}46' \text{ E} \sim 122^{\circ}15' \text{ E}$)位于长江口外侧, 外连东海, 内接长江。保护区由江亚南沙、上沙和中下沙三大沙洲组成, 总面积为 423.2 km^2 , 水体常年平均面积 237 km^2 , 因其特殊的地理位置, 一年四季及各区域生境各有特色^[1]。而水体中叶绿素 a 含量和初级生产力代表最基础的生物生产力, 是浮游植物等初级光合生物生物量的直接表征, 其分布同样与环境因素的变化有关。针对长江口较大尺度的叶绿素 a 和初级生产力的研究报道很多, 这些报道中至多包含有九段沙 2~3 个采样点^[2-4], 但没有将九段沙湿地作为独立单元进行分析。九段沙作为国家级自然保护区和上海地区最新形成而尚未开发的最新沙洲湿地, 有其特殊的生态贡献和保护意义, 而叶绿素 a 和初级生产力是生态贡献的重要组成部分, 本研究通过对九段沙湿地一周年 4 个季节、不同区域的采样调

查, 分析九段沙湿地叶绿素 a 和水域初级生产力时空变化, 为估算九段沙湿地绿色 GDP 等生态效应, 优化九段沙湿地保护区的管理措施和进一步提升湿地碳汇功能提供理论指导和决策依据。

1 材料与方法

1.1 采样点设置

根据九段沙湿地不同地理环境和采样的可行性, 于2010年12月至2011年10月, 分别在江亚南沙、上沙、中沙和下沙共设置8个代表性采样点(A、B、C、D、E、F、G、H, 图1)。按春、夏、秋、冬每个季节一次(4月11日、7月13日、10月13日、12月29日)共进行了4航次的现场采样。采样现场测定温度、盐度、透明度、悬浮物浓度及浮游植物生物量等环境因素。

1.2 叶绿素 a 浓度测定

叶绿素 a 浓度的测定采用萃取分光光度法。

收稿日期: 2014-12-10 修回日期: 2015-02-16

基金项目: 上海市科技攻关项目(10dz1200804); 上海市科委崇明专项(13231203504); 上海市教育委员会创新重点项目(14ZZ145)

作者简介: 龚小玲(1972—), 女, 副教授, 研究方向为生物多样性。E-mail: xlgong@shou.edu.cn

将不锈钢海水采水器采集的表层水样(约 20 cm, 最大水深 5 m),用 0.65 μm 玻璃纤维滤膜(Whatman GF/F, $\phi 47$ mm)真空抽滤,抽滤体积为 1 L,抽滤负压不超过 50 kPa。滤膜避光储存于 -20 $^{\circ}\text{C}$ 冷冻保存,经 90% 丙酮萃取后,用分光光度计测定吸光值,计算出叶绿素 a 浓度^[5]。

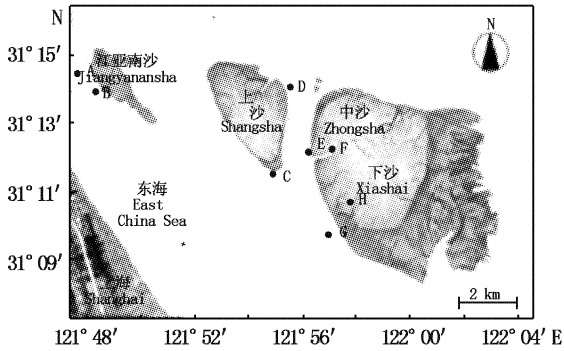


图 1 九段沙湿地浮游植物初级生产力采样点图

Fig. 1 Sampling sites in Jiuduansha Wetland

1.3 初级生产力计算

初级生产力采用叶绿素同化系数法计算,同化系数采用黑白瓶碘量法进行测定和计算^[6]。用测得的溶解氧含量和叶绿素 a 浓度计算同化系数 Q ^[7]。根据同化系数、叶绿素 a 浓度、真光层深度和光照时间计算各采样点的初级生产力,其中

不同季节光照时间 D 根据经纬度计算。

$$P = C \times Q \times \frac{D}{24} \times E \quad (1)$$

式中: P 为初级生产力 [$\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$]; C 为海水水样叶绿素 a 含量 (mg/m^3); D 为光照时间 (h); E 为真光层深度 (m), Q 是同化系数。

2 结果

2.1 环境因子

九段沙湿地水域透明度、盐度等环境因子的季度检测结果如表 1 所示。除浮游植物丰度具有显著性差异外,其他环境因子在 4 个季节中均表现出极显著性差异 ($P < 0.01$)。透明度在冬春季节较高,而夏秋季节较低,主要是由于水体中悬浮物的浓度在夏秋季节上升了 2~3 倍;这可能与该地区夏秋季节处于丰水期有关,雨季来自周边土壤和农田的地表径流中携带大量的悬浮物以及长江上游冲淡水中携带的大量泥沙的进入,造成长江口及相邻地区水体在夏秋季节异常高的悬浮物浓度^[8];而随着每年 10 月份后降雨量的显著减少和枯水期的到来,盐度显著升高,气温下降也使得浮游植物细胞丰度下降,吸收和利用水中氮磷等营养盐的能力下降,因此秋冬季节水中营养盐的浓度也较春夏季节偏高。

表 1 长江口九段沙湿地环境因子季节变化及显著性差异分析

Tab. 1 Seasonal changes of water quality index in Jiuduansha Wetland

环境因子 environmental factors	春季(4月) spring (April)	夏季(7月) summer (July)	秋季(10月) autumn (October)	冬季(12月) winter (December)	全年 full year	显著性(P) significance(P)
透明度/cm transparency	20.00 \pm 4.56	11.38 \pm 3.50	12.25 \pm 1.66	20.00 \pm 3.54	15.90 \pm 6.33	0.01
盐度 salinity	0.20 \pm 0.14	0.86 \pm 0.52	4.43 \pm 2.72	4.46 \pm 2.77	2.50 \pm 2.67	<0.01
温度/ $^{\circ}\text{C}$ temperature	21.75 \pm 0.07	28.88 \pm 0.13	18.45 \pm 0.38	9.39 \pm 0.36	19.60 \pm 7.12	<0.01
悬浮物/(mg/L) suspended sediments	222.50 \pm 16.08	434.38 \pm 127.45	424.50 \pm 120.95	93.00 \pm 41.44	293.60 \pm 177.77	<0.01
总氮/(mg/L) total nitrogen	0.57 \pm 0.05	2.04 \pm 0.41	2.27 \pm 0.39	2.93 \pm 0.74	1.95 \pm 1.00	<0.01
总磷/(mg/L) total phosphorus	0.37 \pm 0.05	0.15 \pm 0.01	0.64 \pm 0.10	0.51 \pm 0.19	0.41 \pm 0.26	<0.01
浮游植物细胞丰度 phytoplankton cell abundance	127.69 \pm 73.03	118.91 \pm 66.38	97.58 \pm 59.59	52.33 \pm 5.67	99.12 \pm 62.79	0.067

九段沙湿地是新生的沙洲,由江亚南沙、上沙、中沙和下沙 4 个区域组成(图 1),不同区域之间存在宽窄、深浅不一的潮沟。本次所监测的环境因子在空间分布上(表 2),除盐度外其余指标在几个区域之间均不存在显著性差异 ($P > 0.05$),表明九段沙湿地各区域间环境比较相似。下沙外接东海,江亚南沙上接内河,因此下沙全

年盐度都是最高的,而江亚南沙最低。从江亚南沙到下沙逐渐靠近东海的过程中,悬浮物不断升高,透明度也随之下降;江亚南沙采样区域是内河入海口,承接了更多的来自周围陆地和工业活动带来的污染物,因此总氮和总磷的含量最高,下沙外接东海,海水的紊流和稀释扩散作用是此处氮磷含量较低的主要原因。

表 2 九段沙湿地环境因子空间分布及显著性差异分析
Tab.2 Spatial distribution of water quality index in Jiuduansha Wetland

环境因子 environmental factors	江亚南沙 Jiangya north island	上沙 upper island	中沙 middle island	下沙 lower island	全年全岛 total year and total island	显著性(P) significant
透明度/cm transparency	17.00 ± 8.07	17.75 ± 5.27	15.88 ± 3.57	13.00 ± 3.89	15.90 ± 6.33	0.475
盐度 salinity	0.35 ± 0.35	2.53 ± 2.24	3.20 ± 2.83	3.88 ± 3.69	2.50 ± 2.67	0.04
温度/°C temperature	19.80 ± 7.97	19.66 ± 8.00	19.31 ± 8.26	19.69 ± 8.13	19.60 ± 7.12	0.999
悬浮物/(mg/L) suspended sediments	251.13 ± 131.76	227.38 ± 112.89	361.88 ± 249.80	334.00 ± 182.66	293.60 ± 177.77	0.382
总氮/(mg/L) total nitrogen	2.25 ± 1.08	1.99 ± 1.27	1.98 ± 1.13	1.59 ± 0.71	1.95 ± 1.00	0.645
总磷/(mg/L) total phosphorus	0.50 ± 0.28	0.37 ± 0.15	0.45 ± 0.24	0.34 ± 0.21	0.41 ± 0.26	0.602
浮游植物细胞丰度 phytoplankton cell abundance	77.20 ± 48.28	80.77 ± 37.76	151.77 ± 73.68	86.77 ± 60.67	99.12 ± 62.79	0.073

2.2 叶绿素 a 含量的时空分布

全岛各季节、各采样区叶绿素 a 浓度变化见图 2。叶绿素 a 在春秋季节较高,春季叶绿素 a 浓度最高,但各采样区之间差异较大,在 3.48 ~ 9.28 mg/m³ 之间波动,均值为 5.90 mg/m³,位于上沙和中沙之间的 C、D 和 E 3 个采样点的浓度最高;秋季叶绿素 a 浓度和差异性在整个区域的

分布较春季小,处于 4.52 ~ 5.44 mg/m³ 之间,平均浓度为 5.03 mg/m³,九段沙区域在春秋季节水位较低^[1],营养盐丰富,加上比较合适的温度和光照有利于含叶绿素植物的生长,因此叶绿素 a 浓度也相对较高。夏季与冬季的叶绿素 a 的浓度相当,均值分别为 3.22 和 2.98 mg/m³,冬季最低,且空间分布差异性不显著。

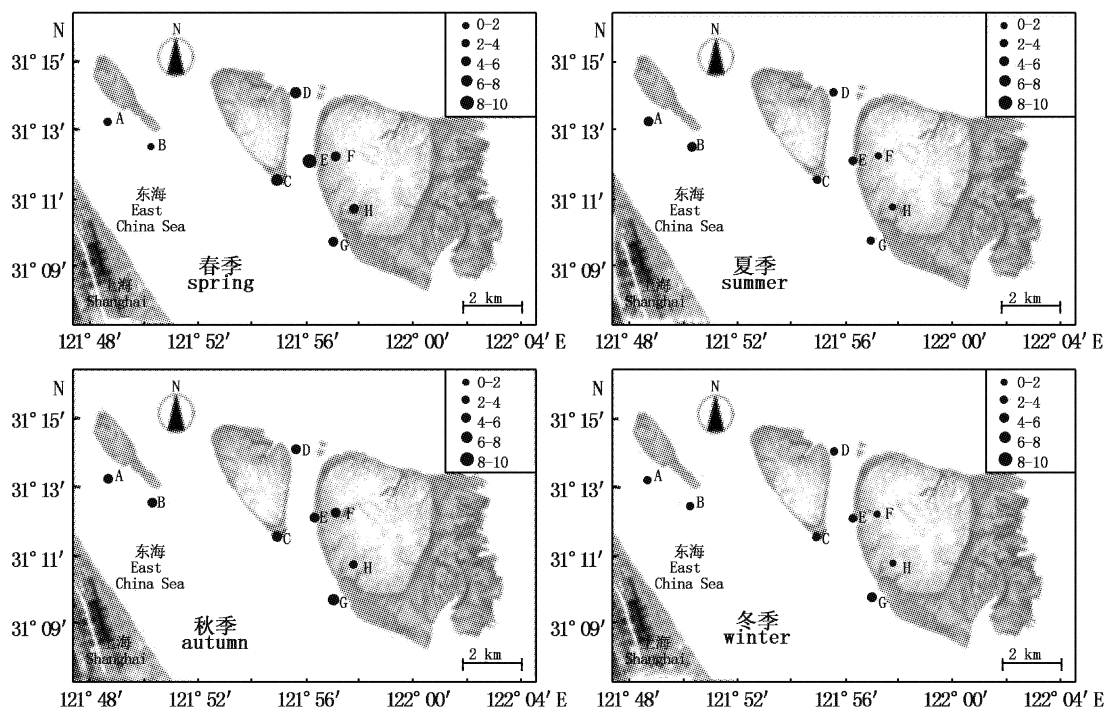


图 2 九段沙湿地中叶绿素 a 的季节变化和空间分布
Fig. 2 Seasonal changes and spatial distribution of chlorophyll a in Jiuduansha Wetland

2.3 初级生产力的分布规律

根据叶绿素同化系数法计算九段沙湿地初级生产力的时空格局(表 5),全岛全年季节均值范围在 137.11 ~ 528.12 mgC/(m² · d) 之间,均值为 276.55 mgC/(m² · d),春季最高,夏秋季较低,前者是后者的 3 ~ 4 倍,全年除下沙外,江亚

南沙、上沙、中沙的初级生产力都在秋季是最低的。空间分布上,全年全岛初级生产力在 206.15 ~ 344.67 mgC/(m² · d) 之间,上、下沙较高,而江亚南沙和中沙较低,前者是后者约 1.5 倍。春、夏、秋、冬四季各区域最大差异倍数分别为 2.89、1.58、2.25、1.43,而江亚南沙、上沙、中

沙、下沙各季节的最大差异倍数分别为 3.88、3.89、4.88、4.16,同一季节区域性差异倍数均小于同一区域不同季节的差异倍数,九段沙初级生产力的季节性变化显然高于区域性变化。

表 3 九段沙湿地各采样区初级生产力的时空格局
Tab.3 Spatial and temporal pattern of primary productivity in Jiuduansha Wetland $\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$

季节 season	江亚南沙 Jiangya north island	上沙 upper island	中沙 middle island	下沙 lower island	均值 mean
春季 spring	257.29 ± 88.09	682.50 ± 30.65	427.92 ± 214.49	744.79 ± 486.43	528.12 ± 292.69
夏季 summer	138.94 ± 6.51	180.12 ± 125.25	113.75 ± 31.41	179.02 ± 63.20	152.95 ± 62.12
秋季 autumn	87.76 ± 62.05	175.51 ± 62.05	87.75 ± 0	197.44 ± 93.07	137.11 ± 72.05
冬季 winter	340.60 ± 43.27	315.04 ± 15.48	239.01 ± 31.59	257.43 ± 14.52	288.02 ± 49.26
均值 mean	206.15 ± 114.35	338.29 ± 238.43	217.11 ± 155.28	344.67 ± 268.84	

3 讨论

3.1 叶绿素 a 及初级生产力的影响因素

水中叶绿素 a 的分布和季节变化在一定程度上反映了水域环境因子对浮游植物生长的影响,也反映了生态系统的发展状况。九段沙水域表层叶绿素分布最显著的特征是春、秋季高,冬、夏季低。春季从 3 月份开始九段沙的水温开始升高,水中无机盐的含量较为丰富^[9],加上光照时间的延长,水中浮游植物迅速繁殖,出现春季采样时间(5 月)的峰值,同期的叶绿素 a 浓度也达到相应的高值。之后随着水温的升高,浮游动物大量繁殖和鱼虾幼体的生长对浮游植物的摄食压力增加,以及夏季进一步升高的气温(30 ℃左右)也抑制了浮游植物的生长,导致浮游植物的数量有所下降,叶绿素 a 的含量也随之降低。之后随着气候变冷、河流径流量减少、使得秋季叶绿素 a 浓度略低于春季,但由于秋季的温度适宜,浮游植物的消耗没有夏季明显,所以秋季的

叶绿素 a 较高;冬季的低温是导致叶绿素 a 降低的主要原因。

与其他近海水域叶绿素 a 浓度分布相比(表 4):本研究各季节的平均叶绿素 a 浓度均高于其他近岸水域,其季节的变化趋势(春季 > 秋季 > 夏季 > 冬季)与其他水域的变化趋势也不相同,长江口近海、流沙湾、胶州湾以及九龙江河口都是在夏季时叶绿素 a 浓度达到峰值,冬季是最低值。叶绿素 a 含量最高值出现的季节,则不尽相同,这与调查海域所处地理位置、调查年份气候状况以及水体特征等有关。叶绿素浓度的分布具有由近岸向远海递减的趋势^[10],九段沙湿地更为接近沿岸,叶绿素 a 比周伟华等^[11]2003 年春季在东海及长江口进行调查的叶绿素 a 均值(表 4)相对较高。这是由于长江口附近的泥沙含量高,透明度低,限制了藻类的光合作用,致使内河和长江口浮游植物生物量和叶绿素 a 存在明显空间低值区域化现象。

表 4 各水域叶绿素 a 含量的比较
Tab.4 Reported chlorophyll a concentrations in different areas in China mg/m^3

	九段沙湿地 Jiuduansha wetland	长江口邻域 adjacent area of Changjiang River Estuary	流沙湾 Liusha Bay	渤海近岸海域 inshore waters of the Bohai	胶州湾 Jiaozhou Bay	九龙江河口 Jiulongjiang Estuary
春季 spring	5.897	1.086	2.49	1.95		3.37
夏季 summer	3.221	3.941	3.81	0.64	3.80	4.01
秋季 autumn	5.028	0.852	2.77	0.60		1.96
冬季 winter	2.979	0.549	1.46	0.77	1.32	
均值 mean	4.28	1.086	2.91	2.88	2.56	3.11
初级生产力 primary productivity	276	10.09	242	327	-	103
参考文献 reference	本研究	[11]	[12]	[13]	[14]	[15]

水体初级生产力的高低不仅与其中浮游植物的数量和叶绿素 a 的水平有关,而且与水体的透明度、消光系数以及光照时间和强度等理化因子有关。物理因子中以水温和光照的影响最大,

平流输送和水体扰动对生物量的分布也具有一定的影响。九段沙水体初级生产力春季达到最高值,冬季次之,夏秋季节最低,与叶绿素 a 和浮游植物细胞丰度的季节分布规律存在明显差异,

表明浮游植物的生物量和水体中叶绿素 a 含量反映的仅是水体中浮游植物的现存量,而不能完全反映其初级生产力水平。另外,虽然九段沙水域叶绿素 a 含量较其他近岸海水中高 1.38 ~ 1.67 倍(长江口除外),但对应的初级生产力并没有得到相应的提高,甚至低于渤海及邻近区域。这可能是由于透明度和光照时间的长短等理化因子的变动引起的,很明显九段沙位于长江口近河口区,由于该区域真光层深度小,几乎都小于 1 m,悬浮物质浓度高,透明度是近河口水域初级生产力的主要限制因子,这也是导致周伟华等^[11]的调查中初级生产力异常低下的主要原因。

3.2 叶绿素 a 和初级生产力与环境因子的相关性

尽管以往的研究表明^[16-18],氮或磷与浮游植物或叶绿素有正负相关或无相关的结论都存在,且相关关系比较复杂。本文的结果与国际经济与合作发展组织(OECD)80%水体中叶绿素 a 的含量受磷主导因子影响的结果一致^[19],说明具有感潮特征的九段沙湿地在一定程度上可能是磷限制性水体。另外感潮河段盐度在空间和时间上的变化较为明显,本文九段沙湿地中叶绿素 a 的含量与盐度成显著负相关($P < 0.05$),虽然不同于沈新强等^[2-3]在长江河口区和口外水域中叶绿素和盐度正相关的结论,但与王键等^[20]在九段沙相近的闽江口的结果一致,水体中叶绿素 a 与盐度的相关性,与研究水域的水动力条件、营养盐的来源密切相关,也与浮游植物的种类组成有关。

参考文献:

- [1] 陈家宽,马志军,李博,等. 上海九段沙湿地自然保护区科学考察集[M]. 北京: 科学出版社, 2003.
CHEN J K, MA Z J, LI B, et al. Scientific Survey of Shanghai JiuduaSha wetland nature reserve[M]. Beijing: Science Press, 2003.
- [2] 沈新强,蒋玫,袁骥. 长江河口区叶绿素 a 分布的研究[J]. 中国水产科学, 1999, 6(5): 1-5.
SHEN X J, JIANG M, YUAN Q. Study on distribution of chlorophyll a in the Changjiang estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1999, 6(5): 1-5.
- [3] 沈新强,胡方西. 长江口外水域叶绿素 a 分布的基本特征[J]. 中国水产科学, 1995, 2(1): 71-80.
SHEN X J, HU F X. Basic characteristics of distribution of chlorophyll a in the Changjiang estuary[J]. Journal of Fishery Sciences of China, 1995, 2(1): 71-80.
- [4] 宋书群,孙军,俞志明. 长江口及其邻近水域叶绿素 a 的垂直格局及成因初析[J]. 植物生态学报, 2009, 33(2): 369-379.
SUN S Q, SUN J, YU Z M. Vertical pattern of chlorophyll a in the Yangtze river estuary and its adjacent waters[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2009, 33(2): 369-379.
- [5] 翁笑艳,林美爱,严颖,等. 地表水浮游植物叶绿素 a 测定方法比较研究[J]. 中国环境监测, 2009, 25(3): 36-38, 76.
WENG X Y, LIN M A, YAN Y, et al. Comparison of determination of phytoplankton chlorophyll a by spectroscopic methods in freshwater[J]. Environment Monitoring in China, 2009, 25(3): 36-38, 76.
- [6] RYTHIER J H, YENTISCH C S. The estimation of phytoplankton production in the ocean from chlorophyll and light data[J]. Limnology and Oceanography, 1957, 2(3): 281-286.
- [7] 傅明珠,王宗灵,李艳,等. 胶州湾浮游植物初级生产力粒径结构及固碳能力研究[J]. 海洋科学进展, 2009, 27(3): 357-366.
FU M Z, WANG Z L, LI Y, et al. Study on size-fraction and Carbon Fixation of phytoplankton primary productivity in Jiaozhou Bay[J]. Advance in Marine Science, 2009, 27(3): 357-366.
- [8] FENG L, HU C M, CHEN X L, et al. Influence of the three gorges dam on total suspended matters in the Yangtze Estuary and its adjacent coastal waters: Observations from MODIS[J]. Remote Sensing of Environment, 2014, 140: 779-788.
- [9] 张晓懿. 九段沙湿地鱼类多样性和初级生产力的周年变化及浮游植物固碳能力的评估[D]. 上海: 上海海洋大学, 2013.
ZHANG X Y. The anniversary changes of primary productivity, fish diversity and estimate of year solid amount of carbon in Jiuduansha[D]. Shanghai: Shanghai Ocean University, 2013.
- [10] 高爽. 北黄海叶绿素和初级生产力的时空变化特征及其影响因素[D]. 青岛: 中国海洋大学, 2009.
GAO S. Spatial and seasonal variation of chlorophyll and primary productivity and their controlling factors in the Northern Yellow Sea[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2009.
- [11] 周伟华,袁翔城,霍文毅,等. 长江口邻域叶绿素 a 和初级生产力的分布[J]. 海洋学报, 2004, 26(3): 143-150.
ZHOU W H, YUAN X C, HUO W Y, et al. Distribution of chlorophyll a and primary productivity in the adjacent sea area of Changjiang River Estuary[J]. Acta Oceanologica Sinica, 2004, 26(3): 143-150.
- [12] 章洁香,曾久胜,张瑜斌,等. 流沙湾叶绿素 a 的时空分布及其与主要环境因子的关系[J]. 海洋通报, 2010, 29(5): 514-520.
ZHANG J X, ZENG J S, ZHANG Y B, et al. Relation

- between distribution of chlorophyll a and main environmental factors in Liusha Bay[J]. *Marine Science Bulletin*, 2010, 29(5): 514-520.
- [13] 王俊,李洪志. 渤海近岸叶绿素和初级生产力研究[J]. *海洋水产研究*, 2002, 23(1): 23-28.
WANG J, LI H Z. Study on chlorophyll and primary productivity in inshore waters of the Bohai Sea[J]. *Marine Fisheries Research*, 2002, 23(1): 23-28.
- [14] 董开升,王悠,杨震,等. 胶州湾夏、冬两季叶绿素 a 的分布特征研究[J]. *中国海洋大学学报*, 2007, 37(s2): 127-130.
DONG K S, WANG Y, YANG Z, et al. Characteristics of chlorophyll a distribution in Jiaozhou Bay in summer and winter[J]. *Periodical of Ocean University of China*, 2007, 37(s2): 127-130.
- [15] 李荣欣,王雨,康建华,等. 九龙江河口水体叶绿素 a 含量和初级生产力的时空变化[J]. *台湾海峡*, 2011, 30(4): 551-558.
LI R X, WANG Y, KANG J H, et al. Temporal and spatial variations of chlorophyll a concentration and primary production in Jiulongjiang Estuary waters [J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2011, 30(4): 551-558.
- [16] 阮晓红,石晓丹,赵振华,等. 苏州平原河网区浅水湖泊叶绿素 a 与环境因子的相关关系[J]. *湖泊科学*, 2008, 20(5): 556-562.
RUAN X H, SHI X D, ZHAO Z H, et al. Correlation between chlorophyll-a concentration and environmental factors in shallow lakes in plain river network areas of Suzhou[J]. *Journal of Lake Sciences*, 2008, 20(5): 556-562.
- [17] CERÓN J C, JIMÉNEZ-ESPINOSA R, PULIDO-BOSCH A. Numerical analysis of hydrogeochemical data; a case study (Alto Guadalentin, southeast Spain) [J]. *Applied Geochemistry*, 2000, 15(7): 1053-1067.
- [18] LAU S S S, LANE S N. Biological and chemical factors influencing shallow lake eutrophication; a long-term study [J]. *Science of the Total Environment*, 2002, 228(3): 167-181.
- [19] Organization for Economic Cooperation and Development. *Eutrophication of Waters. Monitoring Assessment and Control* [R]. Paris: OECD, 1982.
- [20] 王键,陈岚,陈凯,等. 2009年秋季闽江下游及闽江口水域叶绿素 a 含量的分布特征及其与环境因子的关系[J]. *台湾海峡*, 2012, 31(3): 362-367.
WANG J, CHEN L, CHEN K, et al. Distribution characteristics of chlorophyll a concentration and environmental factors in the Minjiang River downstream and Minjiang River Estuary during autumn 2009[J]. *Journal of Oceanography in Taiwan Strait*, 2012, 31(3): 362-367.

Seasonal changes of chlorophyll a and primary productivity in Jiuduansha Wetland

GONG Xiaoling¹, ZHANG Xiaoyi¹, CUI Zhongkai¹, ZHU Min², SUN Ying², BAO Baolong¹

(1. *The Key Laboratory of Exploration and Utilization of Aquatic Genetic Resources, Ministry of Education, Shanghai Ocean University, Shanghai 201306, China*; 2. *Jiuduansha Wetland Protected Area of Shanghai, Shanghai 210235, China*)

Abstract: Chlorophyll a of eight sampling sites from Jiuduansha Wetland was investigated from 2010 to 2011, and spatial and temporal pattern of primary productivity calculated based on chlorophyll a was also analyzed in the present study. Highest concentration of chlorophyll a was detected in spring with the mean of 5.90 mg/m³, and appeared in tidal creek between Shangsha and Zhongsha. Chlorophyll a in autumn 5.03 mg/m³ was lower than that in spring, however, spatial difference was low. Chlorophyll a was very low in other seasons. Primary productivity in Jiuduansha Wetland was in the range of 87.75 - 744.79 mgC/(m² · d), and the highest value appeared in the Xiasha and the lowest in Jiangyanansha. Chlorophyll a and primary productivity in Jiuduansha were not high compared with those values in other waters, which might be closely related to the high content of suspended solids in Yangtze River estuary. Moreover, significant correlation between chlorophyll a and primary productivity and TP indicated that Jiuduansha wetland might be phosphorus-limited waters.

Key words: Jiuduansha wetland; chlorophyll a; primary productivity; spatial and temporal pattern