

广东流沙湾叶绿素 *a* 含量和初级生产力状况的研究*

叶 宁 王 彦 申玉春 李再亮

(广东海洋大学水产学院 湛江 524025; 南海水产经济动物增养殖广东普通高校重点实验室 湛江 524025)

提要 对流沙湾叶绿素 *a* 含量和初级生产力周年调查结果表明, 流沙湾叶绿素 *a* 含量变化在 0.09—25.35mg/m³ 之间, 平均 2.91mg/m³。叶绿素 *a* 含量有明显的月变化, 各站位叶绿素 *a* 含量在 3—5 月份较低, 最高出现在 8 月份和 11 月份, 平均 4.58mg/m³, 出现二个峰值。同一站位不同月份叶绿素 *a* 含量总体上差异显著($P < 0.05$)。流沙湾的初级生产力变化范围是 6.89—1482.55mgC/(m²·d), 平均 242.74mgC/(m²·d)。初级生产力不同月份存在着明显的差异, 其中, 11 月份最高, 8 月份和翌年 1 月份次之, 3—5 月份初级生产力处于最低水平。流沙湾叶绿素 *a* 含量和初级生产力有明显的水平分布, 最高值出现在湾中央处的 4 号站和湾北部的 5 号站, 最低值出现在湾口西部的 1 号站和湾西南部的 9 号站, 各站位之间总体上差异显著($P < 0.05$)。

关键词 流沙湾; 叶绿素 *a*; 初级生产力; 时空分布

中图分类号 Q948.885.3

流沙湾位于广东省湛江市雷州半岛西南部, 处于徐闻县西部、雷州市西南部交界海域(20°22'—20°31'N, 109°55'—110°1'E), 是一个口小腹大、呈北西向葫芦形的半封闭型海湾, 自然地理条件十分优越, 是我国海水珍珠贝苗和海水珍珠的重要生产基地之一(申玉春等, 2010)。近年来, 随着珍珠养殖技术的逐步推广, 流沙湾珍珠养殖面积急剧扩大, 高密度、超负荷养殖导致海区的饵料生物数量成为珍珠贝生长的限制因子。浮游生物是海洋主要的初级生产者(焦念志等, 1993; 宁修仁等, 2000), 也是养殖贝类的重要饵料之一(薛克等, 2002; 孙桂清等, 2008), 叶绿素 *a* 是浮游植物光合作用的主要色素, 其含量和变动趋势可表征海域浮游植物的现存量 and 分布规律, 被认为是估算浮游植物现存量以及初级生产力的良好指标(巫华梅, 1986; 潘友联, 1987)。关于我国近海水域叶绿素含量和初级生产力, 有学者分别对黄海(朱明远等, 1993)、渤海(吕培顶等, 1984)、山东半岛东部

诸岛水域(柴心玉等, 1996)、福建沿岸(陈其焕等, 1996)、胶州湾(孙松等, 2005; 孙晓霞等, 2011)、三门湾(刘镇盛等, 2003)、乳山湾(幸福言等, 1997)、象山港(刘子琳等, 1998)进行了研究。本文以我国主要珍珠贝养殖海湾流沙湾为研究对象, 分析该水域叶绿素 *a* 含量和初级生产力, 以期改善珍珠贝养殖环境, 提高珍珠贝生长速度和珠母贝成活率提供理论依据。

1 材料与方法

1.1 采样站位

根据海湾水域面积和水文地理特征, 在流沙湾共设 9 个采样站, 用 GPS 定位, 其具体地理坐标见表 1。于 2008 年 3 月—2009 年 2 月, 每月月中旬采集水样品, 测定叶绿素 *a* 的含量, 并估算了初级生产力。

1.2 叶绿素含量分析

叶绿素 *a* 测定样品采集使用 HQM-1 型有机玻璃采水器取表层水样(离水面 0.5m) 500mL, 倒入 450nm

* 广东省科技计划项目, 2011B031100012 号, 2012A020602050 号; 广东省海洋渔业科技推广专项, A201201102 号; 广东省自然科学基金项目, 10152408801000005 号。叶宁, 硕士, 高级实验师, E-mail: zjouyn@163.com

通讯作者: 申玉春, 博士, 教授, E-mail: shenyuchun@163.com

收稿日期: 2012-12-21, 收修改稿日期: 2013-03-11

表 1 流沙湾调查站位地理坐标
Tab. 1 Geographical coordinates of monitoring station in Liusha Bay

站位	S ₁	S ₂	S ₃	S ₄	S ₅	S ₆	S ₇	S ₈	S ₉
北纬(N)	20°26.0'	20°26.5'	20°24.7'	20°25.6'	20°26.6'	20°26.0'	20°25.0'	20°24.0'	20°23.0'
东经(E)	109°55.0'	109°56.3'	109°56.6'	109°57.8'	109°58.0'	109°59.0'	110°00.0'	109°59.3'	109°58.5'

的微孔滤膜过滤器中抽滤,同时加入 5 滴 10g/L 的碳酸镁溶液,防止滤膜酸化,过滤后取出滤膜烘干并标记,装入暗盒后于 0℃ 贮存,带回实验室分析。

叶绿素 *a* 含量的测定采用分光光度法,参照 GB17378.7 进行。操作步骤如下:

(1) 抽提 将截留在滤膜上的颗粒物用 90% 的丙酮 10mL 在 -20℃ 下连续萃取 24h;

(2) 离心 从 -20℃ 冰箱中取出离心管,用漩涡混匀器混匀抽提液,以 8000r/min 离心 10min;

(3) 测定 离心后分别在 664、647、630nm 三种波长下测定上清液的吸光度值,用丙酮溶液作对照;

(4) 计算 根据 Jeffrey-Humphrey(1975)提出的公式计算水体叶绿素 *a* 含量:

$$\text{Chl } a \text{ (mg/m}^3\text{)} = 11.85 \times E_{664} - 1.54 \times E_{647} - 0.08 \times E_{630}$$
 式中, E_{664} 、 E_{647} 、 E_{630} 分别为在 664、647、630nm 波长下测定的吸光度值。

最后再按照样品提取叶绿素 *a* 的丙酮体积与海水样品的实际用量比例,换算出海水中叶绿素 *a* 的含量。

1.3 初级生产力推算

海区初级生产力的量值根据叶绿素 *a* 的含量估算,依据 CADÉE(1975)提出的简化公式计算:

$$P = (\text{Chl } a \times Q \times D \times E) / 2$$

式中, P 为初级生产力 [$\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$], $\text{Chl } a$ 为叶绿素 *a* 含量 (mg/m^3), Q 为不同层次同化系数算术平均值,取 3.7 (Ryther *et al.*, 1957); D 为昼长时间 (h), 取 12h; E 为真光层深度 (m), 取透明度的 3 倍。

1.4 数据统计分析

叶绿素含量和初级生产力数据采用统计软件 (SPSS 13.0 for Windows) 进行单因素方差分析和 Duncan 多重比较,以 $\alpha = 0.05$ 作为差异显著水平,描述性统计值采用平均值 \pm 标准误 (Mean \pm S.E.) 表示。

2 结果与分析

2.1 叶绿素 *a* 含量的时空分布

流沙湾叶绿素 *a* 含量变化在 0.09—25.35 mg/m^3 之间,周年均值为 2.91 mg/m^3 (表 2)。叶绿素 *a* 含量有明显的月变化,各站位叶绿素 *a* 含量平均值在 3—5 月份较低,变化在 0.79—1.05 mg/m^3 之间,最高出现

在 8 月份,月均值为 7.76 mg/m^3 ,其次为 11 月份,平均值为 4.58 mg/m^3 ,出现二个峰值。周年变化符合温带海域双峰型的变化趋势 (图 1),与吴玉霖等 (2004) 和李超伦等 (2005) 的研究结果一致。同一站位不同月份叶绿素 *a* 含量总体上差异显著 ($P < 0.05$)。

流沙湾叶绿素 *a* 含量有明显的水平分布 (图 2、表 2),最高值出现在湾中央处的 4 号站和湾北部的 5 号站,平均分别为 4.08 mg/m^3 和 4.73 mg/m^3 ,最低值出现在湾口西部的 1 号站和湾底南部的 9 号站,平均分别为 1.82 mg/m^3 和 1.93 mg/m^3 ,其它各站位变化在 2.29—3.83 mg/m^3 之间,各站位之间总体上差异显著 ($P < 0.05$)。

2.2 初级生产力的时空分布

流沙湾的初级生产力变化范围是 6.89—1482.55 $\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$,平均值为 242.74 $\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ (表 3)。海湾初级生产力不同月份存在着明显的差异 (图 3)。其中,11 月份最高,平均值为 442.59 $\text{mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; 8

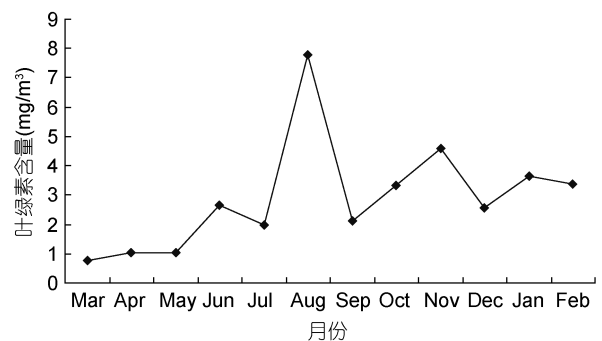


图 1 叶绿素 *a* 含量的月变化

Fig. 1 Content of chlorophyll *a* at different month

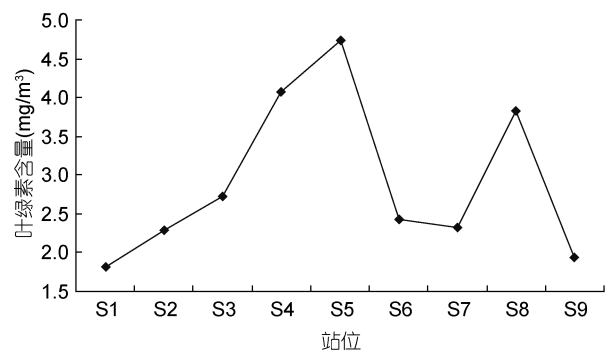


图 2 叶绿素 *a* 含量的水平分布

Fig. 2 Horizontal distribution of chlorophyll *a* content

表2 流沙湾叶绿素a含量变化情况(mg/m³)
Tab. 2 Changes of content of chlorophyll a in Liusha Bay (mg/m³)

站位	采样时间					
	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
S ₁	0.10 ± 0.02 ^{a(A)}	0.65 ± 0.04 ^{b(BC)}	0.15 ± 0.03 ^{a(AB)}	2.89 ± 0.32 ^{cd(G)}	2.12 ± 0.12 ^{b(F)}	1.13 ± 0.12 ^{a(CD)}
S ₂	0.49 ± 0.05 ^{b(A)}	0.16 ± 0.03 ^{a(A)}	0.35 ± 0.06 ^{ab(A)}	0.45 ± 0.04 ^{a(A)}	1.04 ± 0.14 ^{a(B)}	5.80 ± 0.13 ^{c(E)}
S ₃	0.09 ± 0.01 ^{a(A)}	3.47 ± 0.22 ^{e(DE)}	2.88 ± 0.17 ^{d(CD)}	5.52 ± 0.16 ^{e(G)}	1.38 ± 0.14 ^{a(B)}	0.55 ± 0.12 ^{a(A)}
S ₄	1.11 ± 0.12 ^{c(AB)}	0.14 ± 0.03 ^{a(A)}	3.14 ± 0.06 ^{c(D)}	2.42 ± 0.12 ^{c(D)}	6.32 ± 0.27 ^{c(G)}	9.75 ± 0.77 ^{d(H)}
S ₅	0.91 ± 0.14 ^{c(AB)}	1.58 ± 0.15 ^{d(AB)}	0.28 ± 0.08 ^{d(A)}	4.95 ± 0.66 ^{e(D)}	2.19 ± 0.12 ^{b(ABC)}	19.73 ± 2.15 ^{e(F)}
S ₆	1.37 ± 0.08 ^{d(B)}	1.23 ± 0.09 ^{c(B)}	0.66 ± 0.07 ^{c(A)}	3.43 ± 0.13 ^{d(D)}	1.13 ± 0.06 ^{a(B)}	2.39 ± 0.28 ^{ab(C)}
S ₇	1.79 ± 0.12 ^{e(CD)}	0.65 ± 0.08 ^{b(A)}	0.55 ± 0.06 ^{bc(A)}	1.42 ± 0.08 ^{b(BC)}	1.25 ± 0.12 ^{a(B)}	3.89 ± 0.12 ^{bc(E)}
S ₈	0.58 ± 0.07 ^{b(A)}	0.64 ± 0.08 ^{b(A)}	0.72 ± 0.04 ^{c(A)}	1.62 ± 0.13 ^{b(B)}	1.08 ± 0.09 ^{a(AB)}	25.35 ± 0.58 ^{f(F)}
S ₉	0.63 ± 0.05 ^{b(A)}	0.68 ± 0.03 ^{b(AB)}	0.71 ± 0.06 ^{c(AB)}	1.21 ± 0.10 ^{ab(BC)}	1.21 ± 0.09 ^{a(BC)}	1.29 ± 0.09 ^{a(C)}

站位	采样时间					
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
S ₁	0.49 ± 0.08 ^{a(AB)}	3.21 ± 0.13 ^{ab(G)}	6.15 ± 0.37 ^{d(H)}	1.56 ± 0.12 ^{d(DE)}	1.81 ± 0.15 ^{ab(EF)}	1.57 ± 0.09 ^{a(DE)}
S ₂	1.44 ± 0.13 ^{b(BC)}	3.90 ± 0.17 ^{bc(D)}	5.47 ± 0.24 ^{e(E)}	1.80 ± 0.11 ^{ab(C)}	1.16 ± 0.08 ^{a(B)}	5.45 ± 0.35 ^{d(E)}
S ₃	4.21 ± 0.48 ^{d(F)}	2.63 ± 0.17 ^{a(C)}	3.55 ± 0.31 ^{b(E)}	2.51 ± 0.09 ^{c(C)}	4.04 ± 0.11 ^{e(EF)}	1.80 ± 0.11 ^{a(B)}
S ₄	6.23 ± 0.25 ^{e(G)}	4.74 ± 0.46 ^{e(EF)}	3.55 ± 0.27 ^{b(DE)}	2.17 ± 0.24 ^{bc(BC)}	3.59 ± 0.32 ^{de(DE)}	5.84 ± 0.80 ^{d(FG)}
S ₅	1.29 ± 0.09 ^{b(AB)}	4.08 ± 0.21 ^{c(CD)}	5.17 ± 0.19 ^{d(D)}	1.75 ± 0.25 ^{ab(AB)}	11.72 ± 0.90 ^{f(E)}	3.08 ± 0.13 ^{bc(BCD)}
S ₆	2.42 ± 0.17 ^{c(C)}	4.43 ± 0.15 ^{c(E)}	5.04 ± 0.15 ^{c(F)}	2.57 ± 0.12 ^{c(C)}	3.12 ± 0.17 ^{cde(D)}	1.32 ± 0.08 ^{a(B)}
S ₇	0.55 ± 0.10 ^{a(A)}	4.06 ± 0.22 ^{c(E)}	5.25 ± 0.06 ^{c(F)}	4.16 ± 0.14 ^{c(E)}	2.17 ± 0.14 ^{abc(D)}	2.17 ± 0.19 ^{ab(D)}
S ₈	0.95 ± 0.10 ^{ab(AB)}	4.00 ± 0.39 ^{bc(D)}	5.62 ± 0.38 ^{d(E)}	3.15 ± 0.15 ^{d(C)}	2.78 ± 0.27 ^{bcd(C)}	3.42 ± 0.33 ^{c(CD)}
S ₉	1.29 ± 0.09 ^{b(C)}	3.08 ± 0.24 ^{a(E)}	1.42 ± 0.08 ^{a(C)}	3.58 ± 0.29 ^{d(E)}	2.47 ± 0.25 ^{bcd(D)}	5.59 ± 0.35 ^{d(F)}

注: 上述数据为3个平行组的平均值。同列数据右侧标有不同字母表示站位间差异显著($P < 0.05$), 同行数据括号内标有不同字母表示月份间差异显著($P < 0.05$)

表3 流沙湾初级生产力的变化情况[mgC/(m²·d)]
Tab. 3 Changes of primary productivity in Liusha Bay [mgC/(m²·d)]

站位	采样时间					
	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug
S ₁	13.72 ± 1.25 ^{a(A)}	103.10 ± 9.87 ^{d(C)}	15.38 ± 0.76 ^{a(A)}	250.04 ± 7.83 ^{d(F)}	253.79 ± 11.36 ^{e(F)}	83.08 ± 3.39 ^{ab(BC)}
S ₂	35.90 ± 1.98 ^{b(AB)}	8.63 ± 1.00 ^{a(A)}	23.51 ± 0.94 ^{ab(AB)}	51.40 ± 2.85 ^{a(B)}	83.12 ± 2.11 ^{a(C)}	347.53 ± 10.33 ^{d(G)}
S ₃	6.89 ± 0.27 ^{a(A)}	462.20 ± 13.26 ^{f(G)}	230.01 ± 8.65 ^{f(D)}	558.48 ± 7.75 ^{g(H)}	156.13 ± 18.40 ^{e(BC)}	36.90 ± 2.13 ^{a(A)}
S ₄	110.39 ± 4.10 ^{c(B)}	15.02 ± 1.15 ^{a(A)}	251.03 ± 14.01 ^{e(C)}	290.11 ± 9.87 ^{e(D)}	589.18 ± 10.89 ^{f(H)}	519.21 ± 13.69 ^{e(G)}
S ₅	127.55 ± 5.78 ^{c(BC)}	189.29 ± 11.40 ^{e(CD)}	18.38 ± 1.53 ^{ab(A)}	329.74 ± 7.98 ^{f(F)}	219.08 ± 6.53 ^{d(DE)}	1314.28 ± 52.42 ^{g(G)}
S ₆	172.73 ± 6.16 ^{de(DE)}	73.67 ± 5.22 ^{c(AB)}	43.62 ± 2.76 ^{c(A)}	205.71 ± 5.9 ^{c(E)}	113.09 ± 4.68 ^{b(C)}	159.24 ± 13.72 ^{c(D)}
S ₇	154.72 ± 14.96 ^{d(CD)}	43.36 ± 3.60 ^{b(AB)}	66.17 ± 5.13 ^{d(B)}	208.20 ± 11.68 ^{c(E)}	149.49 ± 4.99 ^{c(CD)}	129.40 ± 7.26 ^{bc(C)}
S ₈	38.69 ± 2.71 ^{b(A)}	42.62 ± 2.30 ^{b(A)}	96.17 ± 5.62 ^{e(B)}	215.78 ± 9.49 ^{d(D)}	107.99 ± 2.53 ^{ab(B)}	844.09 ± 16.37 ^{f(I)}
S ₉	42.40 ± 2.33 ^{b(A)}	45.29 ± 2.70 ^{b(A)}	37.67 ± 5.06 ^{bc(A)}	144.82 ± 4.75 ^{b(C)}	112.73 ± 5.46 ^{b(B)}	42.82 ± 1.73 ^{a(A)}

站位	采样时间					
	Sep	Oct	Nov	Dec	Jan	Feb
S ₁	36.12 ± 3.34 ^{ab(AB)}	192.17 ± 6.03 ^{b(DE)}	728.48 ± 58.15 ^{g(G)}	171.65 ± 5.10 ^{a(D)}	241.58 ± 9.24 ^{b(EF)}	156.95 ± 9.37 ^{b(D)}
S ₂	86.49 ± 2.97 ^{c(C)}	181.91 ± 10.17 ^{b(E)}	473.51 ± 22.21 ^{de(H)}	213.74 ± 6.10 ^{b(F)}	139.44 ± 8.71 ^{a(D)}	581.16 ± 20.12 ^{e(I)}
S ₃	279.72 ± 10.53 ^{e(E)}	141.30 ± 10.66 ^{a(B)}	377.86 ± 18.36 ^{c(F)}	276.04 ± 7.14 ^{c(E)}	538.39 ± 15.63 ^{d(H)}	179.84 ± 6.60 ^{b(C)}
S ₄	331.88 ± 11.22 ^{f(F)}	252.33 ± 13.37 ^{c(C)}	402.04 ± 7.28 ^{cd(F)}	264.60 ± 13.72 ^{c(D)}	238.93 ± 14.14 ^{b(C)}	505.26 ± 13.24 ^{d(G)}
S ₅	85.78 ± 7.47 ^{c(B)}	135.96 ± 8.66 ^{a(BC)}	275.40 ± 14.33 ^{bc(EF)}	212.80 ± 16.08 ^{b(DE)}	1482.55 ± 44.94 ^{h(H)}	246.15 ± 7.09 ^{c(DE)}
S ₆	161.17 ± 7.83 ^{d(D)}	206.29 ± 9.64 ^{b(E)}	537.38 ± 22.69 ^{ef(H)}	326.67 ± 19.36 ^{d(G)}	270.48 ± 12.40 ^{b(F)}	105.35 ± 6.14 ^{ab(BC)}
S ₇	18.32 ± 1.18 ^{a(A)}	216.16 ± 7.36 ^{b(E)}	559.76 ± 12.19 ^{f(G)}	606.75 ± 10.33 ^{g(H)}	274.76 ± 9.04 ^{c(F)}	159.07 ± 3.71 ^{b(D)}
S ₈	31.50 ± 1.92 ^{ab(A)}	186.48 ± 16.75 ^{b(C)}	449.47 ± 7.41 ^{cd(H)}	409.09 ± 15.30 ^{e(G)}	333.69 ± 6.27 ^{c(F)}	273.37 ± 10.51 ^{c(E)}
S ₉	42.89 ± 1.39 ^{b(A)}	143.54 ± 8.63 ^{a(C)}	179.43 ± 6.73 ^{a(D)}	479.11 ± 12.62 ^{f(F)}	280.06 ± 6.14 ^{bc(E)}	558.63 ± 11.25 ^{e(G)}

注: 上述数据为3个平行组的平均值。同列数据右侧标有不同字母表示站位间差异显著($P < 0.05$), 同行数据括号内标有不同字母表示月份间差异显著($P < 0.05$)

月份和翌年 1 月份次之, 平均值分别为 $386.28 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $422.21 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$; 3—5 月份初级生产力处于最低水平, 均值为 $91.40 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。初级生产力冬季形成明显的高峰, 平均为 $352.82 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 夏、秋季次之, 分别为 $278.09 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 、 $248.64 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 春季最低, 流沙湾海域初级生产力存在明显的季节变化。

海湾初级生产力有明显的水平分布(表 3、图 4), 分布状态基本与叶绿素 *a* 含量的变化一致, 从湾中向湾口和湾底逐渐降低, 初级生产力水平整体较高, 站位均值最低值高于 $100.00 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 表现为在湾中央处的 4 号站和湾北部的 5 号站出现最高值, 平均分别为 $314.17 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $386.41 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 在湾口西部的 1 号站和湾底南部的 9 号站出现最低值, 平均分别为 $187.17 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $175.78 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 其它各站位变化在 $185.53—270.31 \text{ mgC}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间, 各站位之间总体上差异显著($P < 0.05$)。

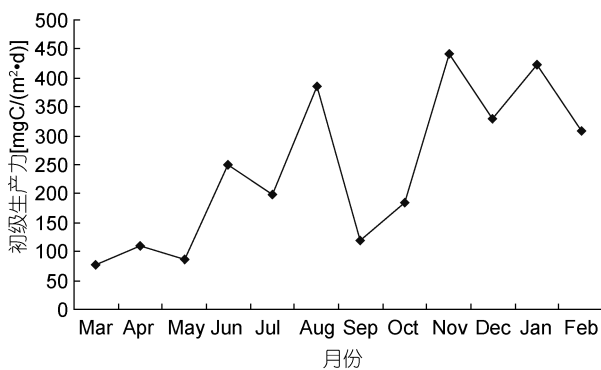


图 3 初级生产力的月变化

Fig.3 Difference of primary productivity on different month

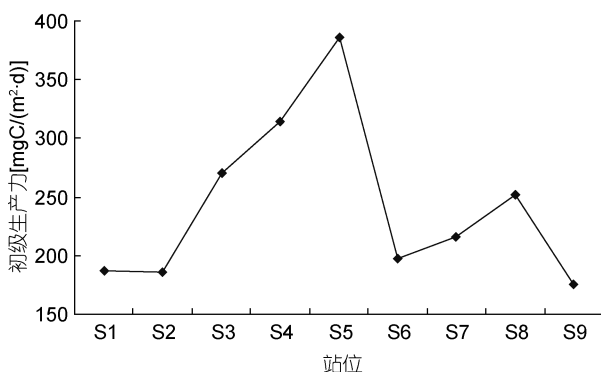


图 4 初级生产力的水平分布

Fig.4 Horizontal distribution of primary productivity

3 讨论

3.1 叶绿素 *a* 含量及其影响因素

海水中叶绿素 *a* 的空间分布和季节变化在一定

程度上反映了海域环境因子对浮游植物生长的影响, 也反映了海洋生态系统的发展状况(李超伦等, 2005)。海区的营养盐、流系特征、季风和温跃层对海水垂直混合的影响, 以及浮游动物摄食等综合因素制约了流沙湾叶绿素含量的变化(宁修仁等, 2000)。在 3—5 月, 随着水温的上升浮游植物开始生长繁殖, 但由于冬季水体积累的营养盐不足以满足浮游植物的增殖, 因此形成叶绿素 *a* 含量在春季较低的状态。在 6—8 月, 水温逐渐升高, 光照强度增强, 昼长时间延长, 浮游植物光合作用能力增强, 叶绿素 *a* 含量和初级生产力水平逐渐上升。之后, 随着水温的下降, 秋季的生物量逐渐开始下降, 叶绿素 *a* 含量也显著降低, 这可能是由于低水温和低光照强度抑制了浮游植物的生长和光合作用能力, 使得秋、冬季叶绿素 *a* 的含量逐渐趋于低值。调查分析显示, 流沙湾叶绿素 *a* 含量季节变化明显, 最高值出现在夏季。与潘胜军等(2009)2008 年对胶州湾的调查一致, 而与郭玉洁等(1992)报道 1984 年胶州湾叶绿素 *a* 含量最高值出现在春季不一致, 吴玉霖等(2004)调查则发现大多数年份冬季是胶州湾叶绿素 *a* 含量最高的季节。任玲等(2003)报道了 1997 年 8 月—1998 年 6 月胶州湾叶绿素 *a* 含量季节变化呈春夏季高、冬季低的特征。叶绿素 *a* 含量最高值出现在哪个季节, 相关的研究报道不尽相同, 这与调查海域所处地理位置、调查年份气候状况、海域养殖面积和种类等有关。

3.2 初级生产力的变化及其影响因素

初级生产力除与叶绿素 *a* 含量表征的浮游植物数量相关外, 其一般受物理、化学和生物等环境因子的影响(Falkowski *et al*, 1992; Andre *et al*, 2002)。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; 化学因子中以营养盐含量和一些痕量无机元素影响较大, 称为对浮游植物生长的由下至上的影响, 即为上行效应(bottom to up effect); 生物因子中以浮游动物摄食对浮游植物生物量和初级生产力影响最大, 称为对浮游植物生长的由上至下的影响, 即为下行效应(top to down effect)。流沙湾的初级生产力在周年调查内形成了 3 个明显的高峰(8 月、11 月、翌年 1 月), 与叶绿素 *a* 含量及浮游植物生物量通常在夏季和秋季各形成一个高峰(双峰型)明显不同(吴玉霖等, 2004), 这表明叶绿素 *a* 含量和浮游植物生物量高的月份, 其初级生产力并不一定高。浮游植物的生物量和水体中叶绿素 *a* 含量反映的是海域中浮游植物的现存量, 而不

能完全反映其初级生产力水平。从理论上讲,在初级生产力水平较高的季节,海域中的浮游植物生物量也应该相应的升高,但由于浮游动物和鱼类、贝类等的摄食作用,会出现相反的情况,生产量与现存量之间的差别,在某种程度上也反映出海域生态系统中的能量转换效率。

参 考 文 献

- 申玉春,李再亮,黄石成等,2010.流沙湾海域水产养殖结构与布局调查分析.中国渔业经济,28(1):105—109
- 宁修仁,刘子琳,蔡昱明,2000.我国海洋初级生产力研究二十年.东海海洋,18(3):13—20
- 吕培顶,费尊乐,毛兴华等,1984.渤海水域叶绿素 *a* 的分布及初级生产力的估算.海洋学报(中文版),6(1):90—98
- 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
- 任玲,张曼平,孙军等,2003.胶州湾内外水体部分化学、生物因子的调查分析.青岛海洋大学学报,33(4):557—564
- 刘子琳,蔡昱明,宁修仁,1998.象山港中、西部秋季浮游植物粒径分级、叶绿素 *a* 和初级生产力.东海海洋,16(3):19—25
- 刘镇盛,蔡昱明,刘子琳等,2003.三门湾秋季浮游植物现存量及初级生产力.东海海洋,21(2):30—36
- 孙松,张永山,吴玉霖等,2005.胶州湾初级生产力周年变化.海洋与湖沼,36(6):481—486
- 孙桂清,王六顺,郑向荣等,2008.河北扇贝养殖海域叶绿素 *a* 含量分布特征及初级生产力估算.河北渔业,09:59—63
- 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
- 巫华梅,1986.海洋初级生产力、营养要素及海洋生物资源.海洋科学,06:62—65
- 李超伦,张芳,申欣等,2005.胶州湾叶绿素的含量、分布特征及其周年变化.海洋与湖沼,36(6):499—506
- 吴玉霖,孙松,张永山等,2004.胶州湾浮游植物数量长期动态变化的研究.海洋与湖沼,35(6):518—523
- 辛福言,马绍赛,崔毅等,1997.乳山湾6—9月叶绿素 *a* 含量的分布及初级生产力的估算.海洋水产研究,18(3):32—38
- 陈其焕,陈兴群,张明,1996.福建沿岸叶绿素 *a* 及初级生产力的分布特征.海洋学报(中文版),18(6):99—105
- 柴心玉,高尚德,1996.山东半岛东部诸岛水域叶绿素 *a* 含量和初级生产力.海洋湖沼通报,03:39—48
- 郭玉洁,杨则禹,1992.初级生产力.见:刘瑞玉主编.胶州湾生态学和生物资源.北京:科学出版社,110—126
- 焦念志,王荣,1993.海洋初级生产力的结构.海洋与湖沼,24(4):340—344
- 潘友联,1987.叶绿素与海洋初级生产力.海洋科学,01:63—65
- 潘胜军,沈志良,2009.胶州湾叶绿素 *a* 含量及浮游植物的粒级组成.应用生态学报,20(10):2468—2474
- 薛克,于清深,滕利平,2002.大窑湾牡蛎养殖区叶绿素 *a* 分布和初级生产力估算.水产科学,04:4—6
- Andre M, David A, 2002. Small Critters-Big Effects. Science, 296(5575):1980—1982
- CADÉE G C, 1975. Primary production off the Guyana coast. Netherlands Journal of Sea Research, 9(1):128—143
- Falkowski P G, Woodhead A D, 1992. Primary Productivity and Biogeochemical Cycles in the Sea. Plenum Press, New York, 1—550
- Ryther J H, Yentsch C S, 1957. The estimation of phytoplankton population in the ocean from chlorophyll and light dar. Limnol Oceanogr, 2:281—286

CHLOROPHYLL *a* AND PRIMARY PRODUCTION IN THE LIUSHA BAY IN GUANGDONG

YE Ning, WANG Yan, SHEN Yu-Chun, LI Zai-Liang

(Fisheries College, Guangdong Ocean University, Zhanjiang, 524025; Key Laboratory of Aquaculture in South China Sea for Aquatic Economic Animal of Guangdong Higher Education Institutes, Zhanjiang, 524025)

Abstract A survey was conducted from March 2008 to February 2009 to determine chlorophyll *a* content and primary productivity in the Liusha Bay, Guangdong. Results show that the chlorophyll *a* content fluctuated between 0.09—25.35mg/m³ in average of 2.91mg/m³ in a significant seasonality ($P<0.05$): low in March to May, and high August to November. The primary productivity ranged 6.89—1482.55mgC/(m²·d), average 242.74mgC/(m²·d), showing also a significant seasonal change: the maximum in November 2008, followed by those of August 2008 and January 2009, the two smaller peaks, and the minimum in March to May. In addition, the two parameters in the Liusha bay varied significantly in horizontal distribution among stations ($P<0.05$): site 4 located in the middle of the bay and site 5 in the north were with the top values, while site 1 in the west and site 9 in the south had the bottom values.

Key words Liusha bay; chlorophyll *a*; primary productivity; spatial and temporal distribution