

南海中部叶绿素 a 分布和光合作用 及其与环境因子的关系

陈兴群 陈其焕 庄亮钟

(国家海洋局第三海洋研究所, 厦门)

摘 要

本文描述了1983年9月—1984年12月4个航次南海中部(12°—19°30' N, 111°—118° E)综合调查期间有关叶绿素 a 和光合作用的测定结果, 并对叶绿素 a 时空分布, 光合作用及其与环境因子的关系进行了讨论。调查表明: 次表高值层为叶绿素分布的一个特征, 其深度在50—100m左右, 含量范围多在0.1—0.6 mg/m³之间。叶绿素 a 的垂直变化与温、盐跃层, 营养盐以及光的分布有关, 而垂直积分的总量平面分布则与不同水团的消长有关。光合作用随深度的变化说明某些浮游植物适于低光下生长, 而这些生物的活动也影响着亚硝酸盐和溶解氧的生成。

南海中部地处热带, 有关叶绿素 a 及初级生产力的变化有过一些研究^[1-3]。但这些研究仅限于局部的海域。本文根据综合调查所获得的有关实测资料进行分析, 旨在较全面地描述南海中部叶绿素 a 的时空分布和光合作用能力的特征, 以及这种分布特征与环境因子的关系。

一、材料与方 法

本文材料取自1983年9月, 1984年4月, 7月和12月4个航次南海中部叶绿素 a 大面调查以及每个航次3—5个测站的浮游植物光合作用速率测定资料。调查范围在12°—19°30' N, 111°—118° E之间, 沿纬度方向间隔1.5°, 经度方向间隔1°设6条纬线断面, 共42个大面观测点(见图1)。

在每个测点, 用2.5 l有机玻璃采水器, 按0, 10, 30, 50, 75, 100, 150和200m 8个层次采取水样, 叶绿素 a 测定采用荧光法^[4], 测定仪器为turner 荧光计。标准样采用纯叶绿素 a 晶体(由上海植物生理研究所提供)。经预实验结果, 叶绿素 a 的标准偏差为4.2%, 所用的纤维素酯微孔滤膜与国际上通用的Whatman GF/C 玻璃纤维滤膜比较其平均误差范围仅±5%。

本文于1986年11月15日收到, 修改稿1987年7月30日收到。

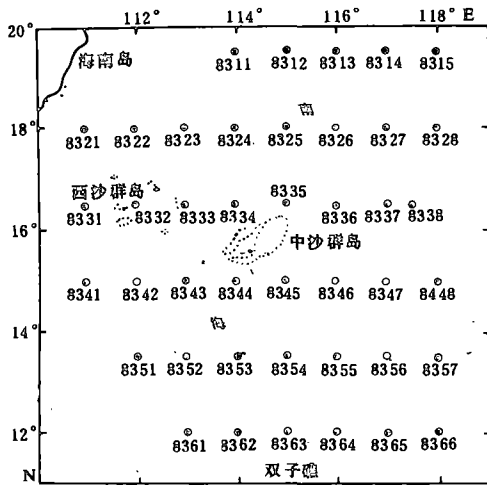


图1 南海中部叶绿素 a 调查站位图

水团的分布等引自水文、化学同步观测数据和调查报告。

二、结 果

1. 叶绿素 a 垂直和总量平面分布特征

表 1 列出不同月份 42 个测站各层次叶绿素 a 的最高、最低和平均值。概括地说，水深 50 m 以表，数量随深度而稍有增加，高低值变动于 0.02—0.73 mg/m³ 之间，均值范围为 0.09—0.14 mg/m³，50—100 m 为次表高值层，高低值变动于 0.02—1.38 mg/m³，均值范围为 0.1—0.32 mg/m³，100 m 以深的数量迅速的降低并趋近于零。次表层的测值明显高于其表层和下层，4 月和 9 月上、中、下层的比值约为 1:3:0.4，7 月和 12 月则为 1:1.5:0.4。峰区主要在 75 m 左右，少数在 50 m 或 90 m 上下。这种分布的特征尤为明显地见于垂直分布的变化上。图 2 示出 8311 站 4 个季度月叶绿素 a 的垂直变化图，它代表了多数测站的垂直

表 1 不同层次叶绿素 a 最高、最低和平均值 (mg/m³)

月份	4			7			9			12		
	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值	最高值	最低值	平均值
0	0.21	0.02	0.09	0.45	0.01	0.10	0.20	0.06	0.11	0.29	0.03	0.11
10	0.28	0.02	0.09	0.43	0.01	0.09	0.20	0.06	0.10	0.27	0.04	0.12
30	0.18	0.02	0.09	0.30	0.01	0.10	0.73	0.06	0.14	0.24	0.03	0.12
50	0.66	0.06	0.17	0.38	0.02	0.13	1.38	0.07	0.25	0.25	0.06	0.14
75	0.89	0.08	0.28	0.37	0.02	0.15	0.63	0.11	0.32	0.27	0.08	0.15
100	0.15	0.05	0.22	0.30	0.01	0.10	0.47	0.03	0.23	0.21	0.01	0.08
150	0.27	0.00	0.07	0.24	0.00	0.05	0.15	0.01	0.04	0.16	0.00	0.03

采用¹⁴C吸收法^[4]进行浮游植物光合作用速率的测定。先按水下透明度板所测透明度分别算出 100%，50%，20%，10%，3%和 1% 的海面辐照度的深度，再用有机玻璃采水器采取上述各深度水样，取其中部分水样用于叶绿素 a 测定，部分水样则装入黑、白培养瓶，按 parsons 等人 (1983)^[4]所述方法进行现场流水、自然光照和槽内模拟培养。放射性碳的吸收量用 FJ-2101 型双道液体闪烁计数器测定。

所有的叶绿素 a 测定值均经电子计算机进行数值处理和绘图，由此，实际结果仅用到 150 m 以表的 7 个层次的数据。

部分环境因子的资料，包括硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐、氨、温度、盐度、溶解氧以及

分布趋势。

图 3 示南海中部不同月份叶绿素 a 的总量平面分布(即将各测站 150m 以表的各层测值进行垂直积分,再按积分值绘出平面分布图),它表明,4 月高值区主要见于本海区中沙群岛以东及西沙群岛北部海域,7 月高值范围位于西南,9 月则主要见于东北和西南部,而 12 月高值区则不明显。值得注意的是,除 12 月外,其余各月不同水团的分布对叶绿素 a 总量分布的数量差别有显著的影响,如图 3 与图 4 所示,4 月水团(1)与等值线 $30\text{mg}/\text{m}^2$ 以上的叶绿素 a 分布区基本一致;7 月水团(1)与西沙群岛以北的高值区重合,而水团(2)与西南部高于 $20\text{mg}/\text{m}^2$ 的叶绿素 a 分布范围相符;9 月水团(1)和(2)则分别对应于海区东北部和西南部的高值区。

2. 叶绿素 a 与环境因子垂直分布的关联

叶绿素 a, 营养盐包括硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐、氨以及其他环境因子如温度、盐度、溶解氧等的垂直分布

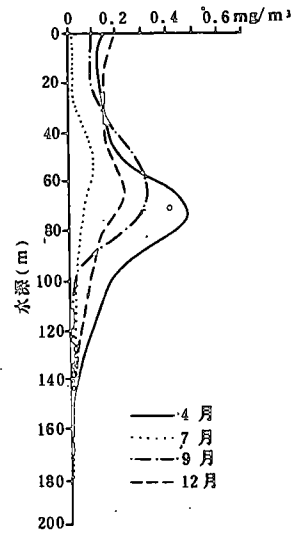


图 2 8311 站叶绿素 a 垂直分布

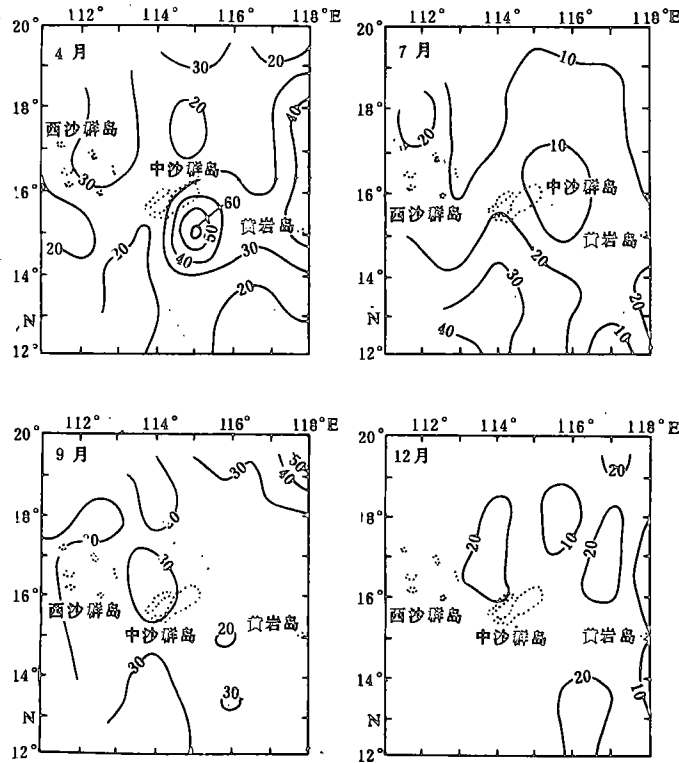


图 3 叶绿素 a 总量平面分布 (mg/m^2)

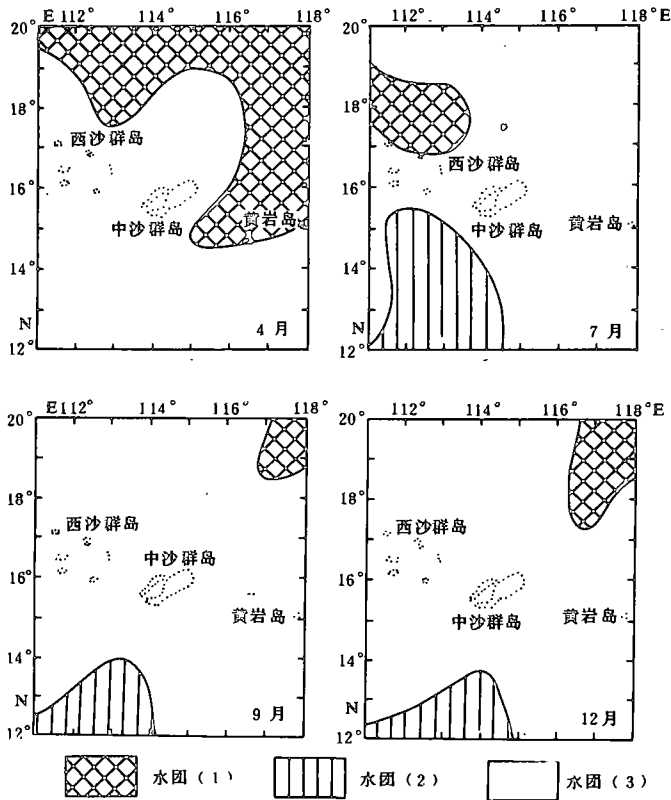


图4 南海中部表层水团表平面分布图

值位于表层，分别达 $0.68 \text{ mg C/m}^3 \cdot \text{h}$ 和 $7.64 \text{ mg C/mg Chl. a} \cdot \text{h}$ 。在3%表面光强深度似有较高的光合作用能力，同化值达 $1.82 \text{ mg C/mg Chl. a} \cdot \text{h}$ 。9月的高值位于10m初级生产量和同化值分别为 $0.32 \text{ mg C/m}^3 \cdot \text{h}$ 和 $3.52 \text{ mg C/mg Chl. a} \cdot \text{h}$ ，而在3%表面光强深度则出现次高峰，同化值达 $2.16 \text{ mg C/mg Chl. a} \cdot \text{h}$ 。其共同特点为：表层的叶绿素含量低，光合作用率高，10—40m左右光合作用率降低，50m，即3%表面光强左右的深度仍具有较强的光合作用能力甚至出现次高峰。

两个月份的比较表明，温度对于生长在低光下浮游植物的光合作用似有一定的影响。4月28.5°C的水温仅达20m深，而9月相似的水温却均匀地分布到50m，大致位于3%表面光强的深度范围，这里的光合作用能力显然高于4月。

三、讨 论

叶绿素a的分布受控于各种的理化因子，其中光、温度、盐度、营养盐以及水团的分布均不同程度地影响着它的时空变化。将10m和75m层的叶绿素a平面分布与温、盐的同

趋势见图5。它取自9月和12月42个测站的平均值。其特征是，硝酸盐、磷酸盐的含量在50m以表处于低值或零，以50m左右为突变点，随深度而逐渐增加。亚硝酸盐的峰区与叶绿素a的高值区重合。氨的变化颇小，随深度而降。溶解氧的含量以表层为高，其峰区接近于与叶绿素a次表高值层相一致。温度和盐度在约50—100m左右形成了一明显的跃层，而上述环境因子的突变区及峰区则位于跃层之内。

3. 叶绿素a的垂直分布和光合作用能力与光、温度的关联

图6为8332站4月和9月叶绿素a、温度、初级生产力和光随深度的变化图。图中，4月1%表面光强深度位于62m左右，与9月的68m相近。

4月最高的初级生产量和同化

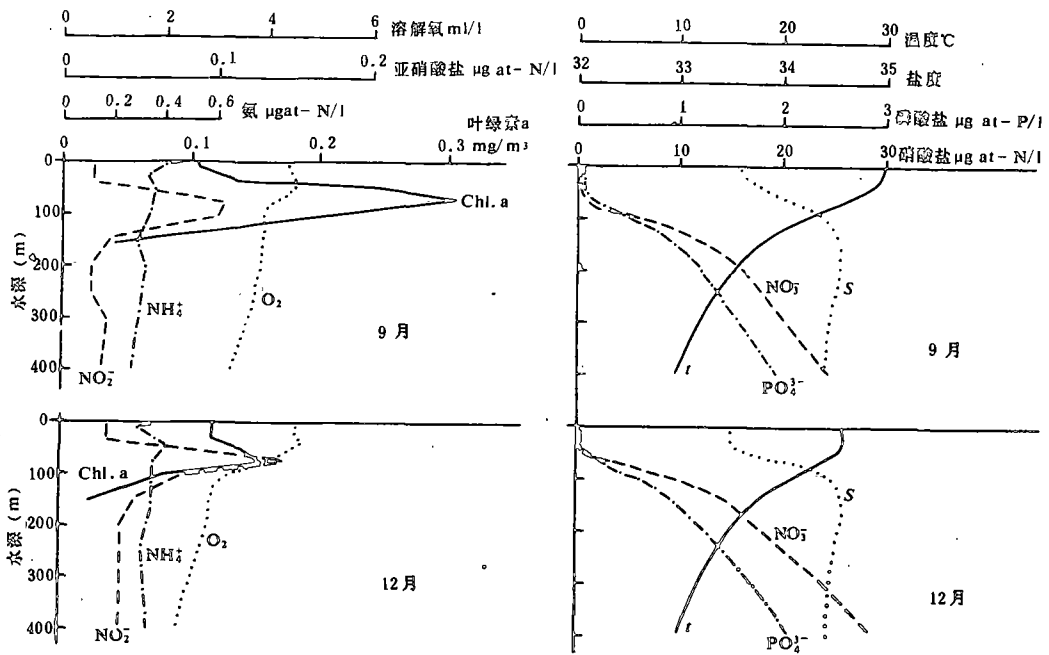


图 5 南海中部叶绿素 a (Chl. a)、温度 (t)、盐度 (S)、硝酸盐 (NO_3^-)、亚硝酸盐 (NO_2^-)、氨 (NH_4^+)、磷酸盐 (PO_4^{3-}) 和溶解氧 (O_2) 的垂直分布 (取自 42 站的均值)

期观测值作相关分析，得出如表 2、3 所示的相关结果。显然，除 4 月 10m 层叶绿素 a 值与温、盐，以及 7 月 75m，9 月 10m 层与盐度有一定的相关性外，其余的均不明显。这说明从整个南海中部的宏观分布来看，各层叶绿素分布的微量差别并不完全与温、盐分布的变化有关，而上述总量分布的差别则反映了不同水团的消长对生物的影响。调查表明，水团 (1) 是经巴士海峡进入南海的西北太平洋表层水，水团 (2) 是由泰国湾一带的低纬低盐水向北侵入南海中部的低盐水团，水团 (3) 是由于上述两水团以及从其他途径进入南海中部的的水团在南海中部混合而成的变性水团。因而，4 月由于东北季风使得西北太平洋表层水向南输送的体积达到了最大，导致了叶绿素对应于水团的高值分布；以及郭玉洁等人 (1985) [5] 所报道的西沙和中沙群岛周围海域种的交替现象均解释了水团的消长与生物

表 2 叶绿素 a、温度相关系数 (r)

月 份	10m (n = 42)	75m (n = 42)
4	$y = 0.96 - 0.03x$ $r = -0.62$	$y = 0.83 - 0.02x$ $r = -0.21$
7	---	---
9	$y = 0.85 - 0.02x$ $r = -0.37$	$y = 0.55 - 0.01x$ $r = 0.17$
12	$y = 0.08 + 0.002x$ $r = 0.02$	$y = 0.16 - 0.001x$ $r = -0.03$

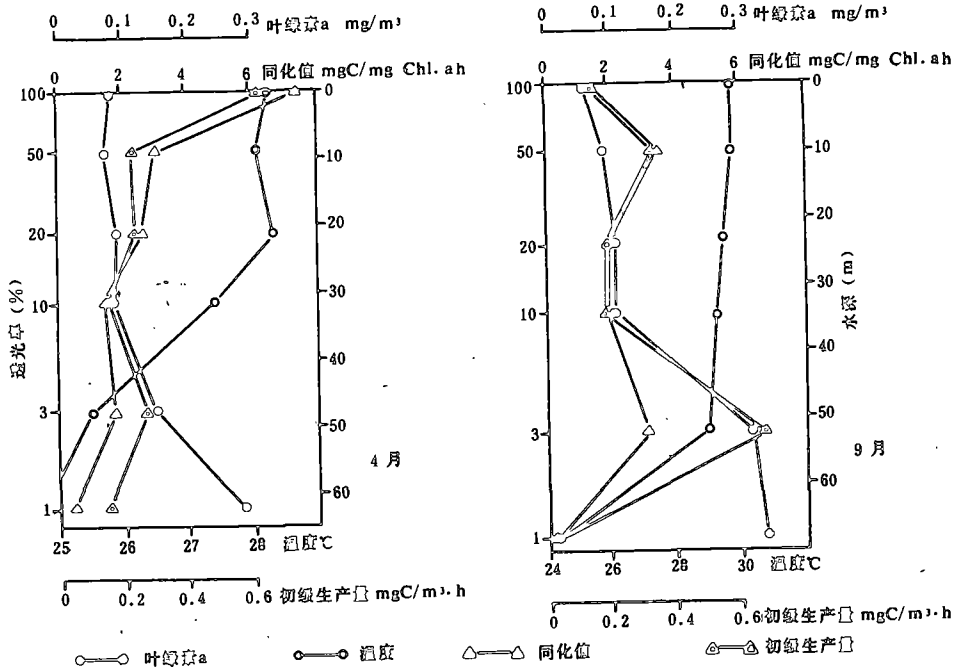


图 6 8332站 4月和9月叶绿素 a、温度、同化值和初级生产量的垂直分布

变化之间的关系。同时也暗示了不同水团之间的理化因子的微小差别将引起生物量的变化，各个水团所具有的不同生物将适应于自身水团的理化因子并反应于它的变化。

表 3 叶绿素 a、盐度相关系数 (r)

月份	10m (n = 42)		75m (n = 42)	
4	$y = -0.22 + 0.08x$	$r = 0.55$	$y = -0.2 + 0.11x$	$r = 0.18$
7	$y = 0.49 - 0.12x$	$r = -0.41$	$y = 0.93 - 0.18x$	$r = -0.54$
9	$y = 0.18 - 0.05x$	$r = -0.50$	$y = 0.01 - 0.07x$	$r = 0.09$
12	$y = -0.01 + 0.04x$	$r = 0.20$	$y = -0.04 + 0.04x$	$r = 0.19$

再则，垂直分布的综合分析表明，次表叶绿素高值层的现象涉及到某些环境因子的作用。根据结果，可叙述如下，温、盐跃层阻碍了上层富营养水向表层输送，仅通过跃层的下界向上作微弱的对流扩散，因而在跃层内往下相应地形成随深度渐增的营养盐分布梯度，即突变区。这一突变区深度范围的较高营养盐为生存于此层内生物的生长提供了营养。跃层之上，虽然光照充足，一方面因水体对流微弱，另一方面浮游植物对营养盐的消耗加速了水体的贫营养，贫营养反过来则抑制了生物的生长。跃层之下，营养盐虽然增高，但生物因缺少光照而无法生长。在次表高值层内，叶绿素 a 的高值范围基本位于 1% 表面光强仍至更低光强的深度，则说明了某些浮游植物对低光适应 [6]，在结果中所述的，此光强

下这些生物具有较强的光合作用能力这一现象也证明了这一点。从而, 表层叶绿素的变化取决于营养盐, 下层取决于光, 高值层有赖于生物的反应性, 而垂直空间的变化则与跃层的存在与否有关〔7〕。

浮游植物的生长不仅依赖于营养盐, 也影响着某些营养盐及环境因子的变化, 这明显的见于亚硝酸盐和溶解氧在水体中的分布。溶解氧的高值位于表层, 接近于叶绿素 a 高值层, 峰区相应于3%左右表面光强的深度, 这说明浮游植物光合作用过程中氧的释放结果。由于细菌的氮量高值见于50m以表〔8〕, 而氮的含量低, 变化小, 没有证据表明表层生物对氮的利用或氮的还原过程。因而, 出现在次表叶绿素高值层的亚硝酸盐的峰区可能起因于生物的排泄〔8, 9〕, 而不是在细菌的参与下氮的硝化作用过程而产生的中间产物〔2, 10〕或具光层之下氮的还原过程〔11〕。

总之, 南海中部叶绿素 a 的垂直分布以次表高值层为特征, 水平分布与温、盐变化的关系不大密切, 但不同水团的消长却影响着总量分布的量值差别。次表高值层的现象首先有赖于温、盐跃层的存在与否, 继之不同浮游植物对光的适应而形成的分布趋势以及跃层内营养盐的分布梯度对不同深度浮游植物的效应。由于这些生物参与了作用, 导致亚硝酸盐、溶解氧在水体中分布的独特形式。

参 考 文 献

- 〔1〕 刘学东、刘承松, 西沙、中沙群岛附近海域叶绿素含量的分布, 海洋科学集刊, 5 (1984), 63—66。
- 〔2〕 Hung Tsuchang & C. H. Tsai, Study on photosynthetic pigments and chemical nutrients in south China sea, *Acta Oceanologica Taiwanica*, 4 (1972), 71—92。
- 〔3〕 Takahashi, M. & T. Hori, A bundance of picophytoplankton in the subsurface chlorophyll maximum layer in subtropical and tropical waters, *Mar. Biol.*, 79 (1984), 177—186。
- 〔4〕 parsons, T. R. et al., *A manual of chemical and biological methods for seawater analysis*, Pergamon Press, Oxford, 1983, 173。
- 〔5〕 郑玉洁、周汉欣, 中沙和西沙群岛附近海域的浮游硅藻区系, 海洋科学集刊, 24 (1985), 87—97。
- 〔6〕 Anderson, G. C., Subsurface chlorophyll maximum in the northeast pacific Ocean, *Limnol. Oceanogr.*, 14 (1969), 386—391。
- 〔7〕 Hobson, L. A. & C. J. Lorenzen, Relationship of chlorophyll maxima to density structure in the Atlantic Ocean and gulf of Mexico, *Deep Sea Res.*, 19 (1972), 297—306。
- 〔8〕 Carlucci, A. F. et al., Biological production of nitrite in seawater, *Mar. Biol.*, 7 (1970), 161—166。
- 〔9〕 Kiefer, D. A. et al., Another look at the nitrite and chlorophyll maxima in the central North pacific, *Deep-Sea Res.*, 23 (1976), 1199—1208。
- 〔10〕 Hattori, A. & E. Wade, Nitrite distribution and its regulating processes in equatorial pacific Ocean, *Deep Sea Res.*, 18 (1971), 557—568。
- 〔11〕 parsons, T. R. & P. J. Harrison, Nutrient cycling in marine ecosystems, Physiological plant Ecology IV, *Encyclopedia of plant physiology*, New Series V12D, 1983, 85—108。

1) 周宗盛等, 南海中部海域异养微生物调查报告, 1985。