

春季东海表层水叶绿素 *a* 含量分布特征*

鲁北伟 王荣

(中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

提要 依据“科学一号”调查船1994年4月在东海10个断面上所进行的表层水连续走航观测资料(总航程3600km, 47万个观测数据), 研究东海表层水叶绿素 *a* 含量在不同空间尺度(0.01—100 km)上的分布特征和变化规律。结果表明, 叶绿素 *a* 含量在陆架区高, 在外海低; 测区南部海域的含量一般高于北部海域。叶绿素 *a* 含量的分布形态变化很大, 在某些外海深水区, 叶绿素 *a* 含量连续百余公里没有显著变化, 变化幅度小于 $0.2 \text{ mg} / \text{m}^3$; 而在某些近海浅水区, 叶绿素 *a* 含量在不到1公里范围内的变化幅度达 $1.5 \text{ mg} / \text{m}^3$ 。叶绿素 *a* 含量大体存在着三种不同尺度的变化: 普遍存在的0.01—0.1 km量级的小尺度小幅度变化; 1—10 km量级的与斑块分布相关的脉冲式变化; 更大尺度的与水团生产力水平相关的变化。功率谱随波数增加呈下降趋势, 说明大幅度变化对应大空间尺度。

关键词 叶绿素 *a* 分布特征 东海

叶绿素含量是浮游植物现存量最有代表性的指标, 因而成为海洋观测的基础项目和常规项目。但传统的叶绿素含量测定方法(Yentsch, 1963)耗时费力, 测点不可能太密, 通常测点间的距离为几海里至几十海里。然而浮游植物分布的最显著特点是斑状分布(patchiness), 斑块的空间尺度小至几厘米, 大至数十海里(Platt et al., 1970; Derenbach et al., 1979), 斑块中央和斑块之间的叶绿素含量相差很大, 因此点测数据给出的叶绿素含量分布偏差很大。卫星遥感观测是在大尺度上、特别是在大洋上宏观了解叶绿素含量分布的有效手段, 但不可能获得对小尺度叶绿素含量分布的认识。现场连续走航观测可以弥补定点采水观测和卫星遥感观测的不足。实际上它是变点测为线测。

为了精确测算东海的初级生产力, 作者(王荣等, 1996)发展了一套叶绿素含量连续走航观测系统, 并在有关海域的现场考察中获得成功。本文依据上述现场考察取得的资料对春季东海表层水叶绿素 *a* 含量的分布特征进行分析。

1 材料与方 法

现场观测由中国科学院海洋研究所考察船“科学一号”于1994年4月执行。测区覆盖东海的大部海域和台湾海峡的北部(图1)。测区内布设10条基本上是东西向的断面。在测站与测站、断面与断面之间的航渡(15节航速)过程中, 从船底(约5m)连续抽水, 经分流、稳压和排除气泡后进入现场荧光光度计的样品室。水体中浮游植物所含叶绿素受激发所产生的荧光值被测定, 荧光值经模数转换由微机处理并记录。观测系统的结构

* 国家自然科学基金资助项目, 49276265号。鲁北伟, 女, 出生于1957年3月, 助理研究员。

收稿日期: 1995年11月21日, 接受日期: 1996年5月7日。

及功能见(王荣等, 1996)。

航测中, 每秒取 10 个数据, 去掉其中的一个最大值和一个最小值, 记录所余的 8 个数据的平均值, 作为这一秒航程的观测值。船速 15 节时, 每秒的航距为 7.72m, 相应的最小观测尺度为 10m, 最大观测尺度为船只的最大航程。记录观测数据时, 每 600 个数据, 即每 10min 航距(4.63 km)的观测数据组成一个计算机数据文件。观测总航程为 3 600km, 共记录 47 万个观测数据。航测过程中, 在测区的不同海域, 特别在叶绿素 *a* 含量发生较大变化处, 截取现场海水并记录实时荧光值读数。现场海水经抽滤萃取测定叶绿素 *a* 含量, 结合现场荧光值读数作出现场荧光光度计的标定曲线, 输入微机用以将荧光值读数换算为叶绿素 *a* 含量。

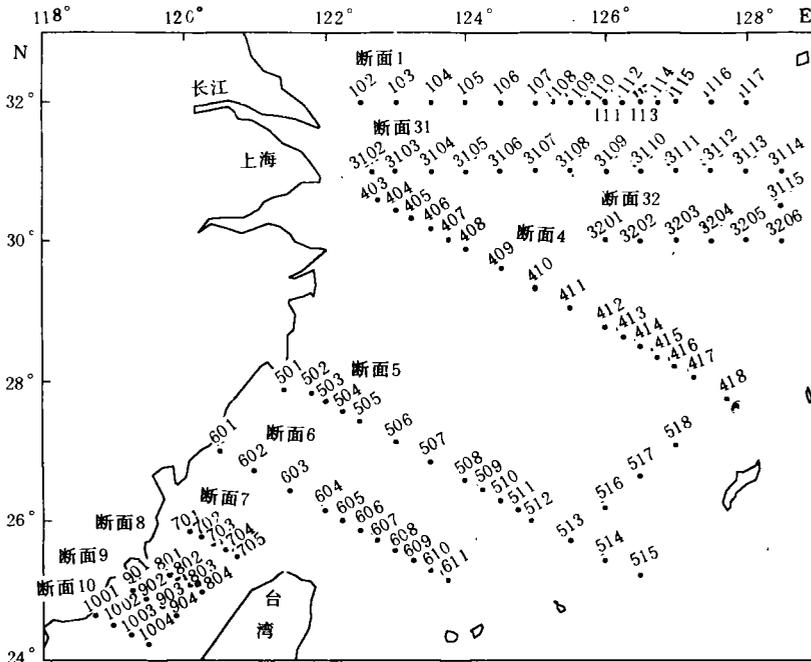


图 1 观测区域与站位

Fig.1 Observed area and stations in the East China Sea

2 结果与讨论

以往的站位采水式观测可以给出几十公里级大尺度叶绿素含量分布的估计(宁修仁, 1995)。本文依据我国在东海首次获得的叶绿素连续走航观测资料, 不仅给出更详细的大尺度分布结果, 还得出米级及与斑状分布密切相关的公里级叶绿素分布形态。

2.1 小尺度小幅度变化

本航次所有断面上普遍存在一类小尺度小幅度的叶绿素 *a* 含量变化(图 2、图 3)。变化的空间尺度在 10—100 m 量级, 幅度在 0.1—0.2 mg/m³, 当取样间距为 10¹ m 时(图 4a), 可清楚地反映出这类变化; 当间距为 10² m 时(图 4b), 尚能部分反映出这类变化; 当间距为 10³ m(图 4c)时, 则完全反映不出这类变化。从其空间尺度小、变化幅

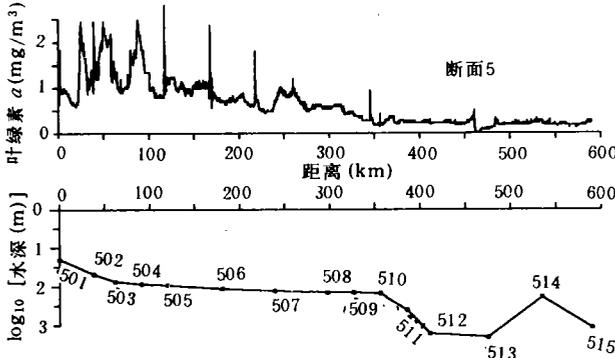


图2 1994年4月东海观测断面上的叶绿素 a 含量变化

Fig.2 Variation of chlorophyll a concentration along transects in the East China Sea in April, 1994

度小和无处不在的特点看, 这类变化可能与小时空尺度的物理海洋过程, 如波浪和湍流有关。

2.2 脉冲式变化

有一类脉冲式变化(图2), 其特点是在不太大的空间尺度上出现大幅度的叶绿素 a 含量变化, 变化的空间尺度在 1—10 km 量级, 变化幅度为 1.0—2.0 mg / m³, 并且大都出现在陆架区, 如在第 5 断面 504 站附近存在这类变化。估计它们就是浮游植物斑状分布的斑块。斑块之间的距离在 10—100 km。其形成应主要与生物学因素有关, 如浮游植物种群的繁殖和浮游动物摄食等。某些水文条件, 如海洋锋, 也有一定关系。

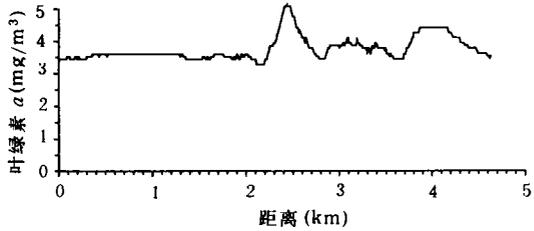


图3 1994年4月东海 10¹至 10³m 尺度叶绿素 a 含量变化

Fig.3 Variation of chlorophyll a concentration on 10¹—10³m scales in the East China Sea in April, 1994

其形成应主要与生物学因素有关, 如浮游植物种群的繁殖和浮游动物摄食等。某些水文条件, 如海洋锋, 也有一定关系。

2.3 大尺度大幅度波动

从第 5 断面上叶绿素 a 含量的变化(图 2)可以看出, 叶绿素 a 含量呈现出一种大尺度的波动。如第 5 断面 502—504 站的叶绿素 a 含量大体为 1.5 mg / m³, 504—508 站为 1.0 mg / m³, 509—515 站的叶绿素 a 含量又降为 0.5 mg / m³。其它断面上也普遍存在这种大尺度大幅度波动。它反映的主要是不同流系或水团(苏育嵩, 1989; Weng et al., 1988) 所体现的初级生产力的差异。

2.4 表层分布

以一个数据文件内的 600 个数据(4.63 km 的航距)为一组求平均值, 绘出东海表层水叶绿素 a 含量平均值的等值线图(图 5)。由于已经经过匀化, 分布反映的主要是较大尺度的变化。而这些变化大都受相应尺度的物理与化学因子变化所制约, 反映的是生物海洋学的一般规律。叶绿素 a 含量的高值区多出现在陆架中部的陆架变性水控制的水域

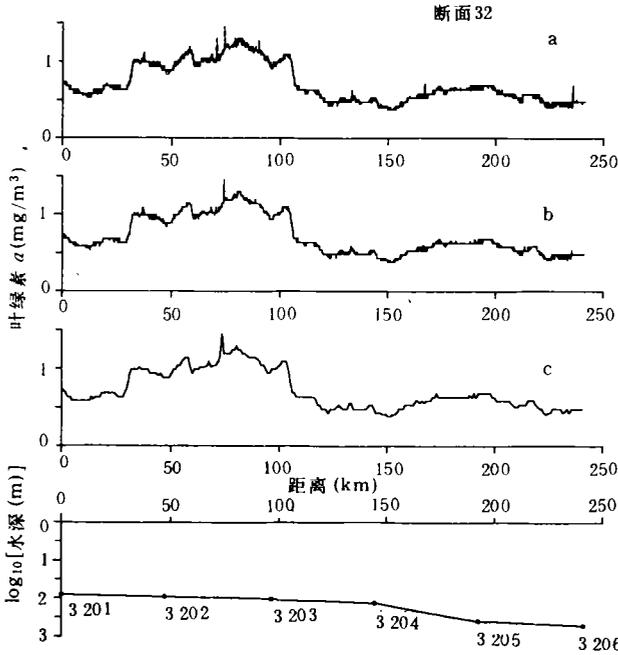


图 4 1994 年 4 月东海不同取样间距(a: 10¹m, b: 10²m, c: 10³m)所示叶绿素 a 含量变化

Fig.4 Variation of chlorophyll a concentration by different sampling interval (a: 10¹m . b: 10²m. c: 10³m) in the East China Sea in April, 1994

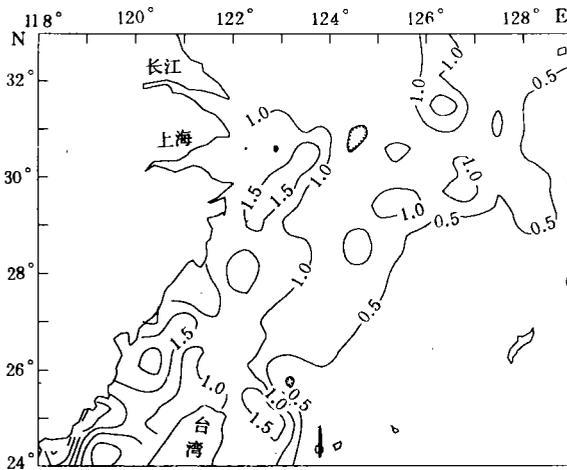


图 5 1994 年 4 月东海表层水叶绿素 a 含量分布

Fig.5 Distribution of surface layer chlorophyll a concentration in the East China Sea in April, 1994

或锋面处(翁学传等, 1992; 李风歧等, 1989)。高值区大体沿等深线呈东北—西南向的不连续分布。台湾海峡和东海南部的叶绿素 a 含量较北部测区的为高, 这主要是因为南部升温早, 浮游植物高速繁殖期启动也早的缘故。黑潮水控制的外海区, 透明度高但

营养盐含量低, 营养盐补充成为限制因子, 叶绿素 *a* 含量很低。

2.5 功率谱

第 5 断面叶绿素 *a* 含量的功率谱见图 6, 横坐标代表波数, 即叶绿素 *a* 含量变化空间尺度波长的倒数, 波长越长, 波数越小。为绘图方便, 横、纵坐标均取常用对数坐标。各断面的功率谱随波数增加都呈下降趋势, 对数功率谱和对数波数之间有明显的线性关系, 斜率在 -1.24 — -1.89 。这说明, 当波数较小即叶绿素 *a* 含量变化的空间尺度较大时, 叶绿素 *a* 含量的变化幅度较大, 当波数较大即叶绿素 *a* 含量变化的空间尺度较小时, 叶绿素 *a* 含量的变化幅度较小, 大幅度变化对应大空间尺度。

3 结语

叶绿素连续走航观测资料更详细地反映叶绿素含量的分布。春季东海叶绿素含量大致呈陆架区高、外海低, 南部海域高于北部海域的分布趋势。叶绿素含量变化主要有三类: 0.01 — 0.1km 量级、 0.1 — $0.2\text{mg}/\text{m}^3$ 范围、与湍流和波浪等物理海洋过程相关的小尺度小幅度变化; 1 — 10km 量级、 1.0 — $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 范围、与浮游植物种群繁殖和海洋锋等生物海洋和物理海洋过程相关的脉冲式变化; 100km 量级、 1.0 — $2.0\text{mg}/\text{m}^3$ 范围、与流系和水团等物理海洋过程相关的大尺度大幅度波动。功率谱随波数增加呈下降趋势, 说明大幅度变化对应大空间尺度。

参 考 文 献

- 李风歧等, 1989, 青岛海洋大学学报, 19(2): 22 — 34.
 宁修仁等, 1995, 海洋学报, 17(3): 72 — 84.
 苏育嵩, 1989, 青岛海洋大学学报, 19(2): 145 — 158.
 王 荣等, 1996, 海洋与湖沼, 27(3): 296 — 301.
 翁学传等, 1992, 海洋与湖沼, 23(3): 235 — 244.
 Derenbach, J. B. et al., 1979, *Mar. Ecol. Prog. Ser.*, 1: 187 — 193.
 Yentsch, C. S. et al., 1963, *Deep-Sea Res.*, 10: 221 — 231.
 Platt, T. et al., 1970, *J. Fish. Res. Bd. Can.*, 27: 1453 — 1473.
 Weng, X. et al., 1988, *Chin. J. Oceanol. Limnol.*, 6(4): 320 — 329.

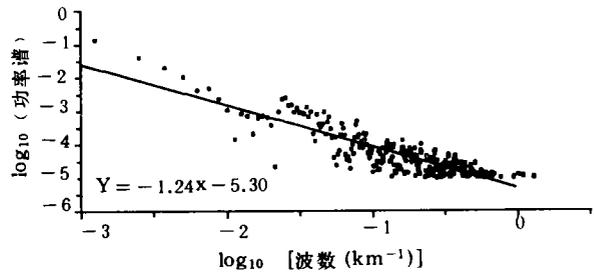


图 6 叶绿素含量的功率谱

Fig.6 Power spectra of chlorophyll *a* concentration in the East China Sea in April, 1994

DISTRIBUTION CHARACTERISTICS OF SURFACE LAYER CHLOROPHYLL-*a* CONCENTRATION ON DIFFERENT SPATIAL SCALES IN THE EAST CHINA SEA IN SPRING

Lu Beiwei, Wang Rong

(*Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071*)

Abstract Using surface layer chlorophyll-*a* concentration data obtained by continuous flow measurement along ten transects in the East China Sea (118—129° E, 24—32° N) in April, 1994, the authors analysed the distribution characteristics and the variation regularity of surface layer chlorophyll-*a* concentration on different spatial scales (0.01—100 km) in the East China Sea. The findings were as follows: chlorophyll-*a* concentration is comparatively high in the continental shelf and low in the open seas; the observed concentration in the south area is generally higher than that in the north. The variation of the distribution pattern of chlorophyll-*a* concentration is great, in some deep waters of the open seas, the variation of the concentration was not obvious within several hundreds of kilometers, the range of the variation was lower than 0.2 mg/m³, while in some shallow offshore waters, the range of the variation within one kilometer was high and up to 1.5 mg/m³. There were generally three kinds of variations of chlorophyll-*a* concentration: variation of 0.01—0.1 km in spatial scale, 0.1—0.2 mg/m³ range, influenced by short temporal scale and small spatial scale physical processes such as turbulence and wave; pulse-shaped variation with 1—10 km spatial scale, 1.0—2.0 mg/m³ range, correlated to both biological oceanographic processes and physical oceanographic processes such as population growth of phytoplankton and sea front; variation of 100 km spatial scale, 1.0—2.0 mg/m³ range, reflecting the productivity level of large spatial scale physical processes such as water masses and current systems. The amplitude of power spectra tends to decrease when wave-number increases, showing that the bigger variation corresponds to larger spatial stretch.

Key words Chlorophyll-*a* Distribution characteristics East China Sea