

东海春季初级生产力与新生产力的研究^{*}

焦念志 王荣 李超伦

(中国科学院海洋研究所 青岛 266071)

提要 于1994年4月8—30日运用 ^{14}C , ^{15}N 同位素示踪法现场观测东海的初级生产力和新生产力。结果表明,初级生产力变化在 $200\text{--}2\,770\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间,高值出现于开阔深水区和近海富营养区,低值出现于近岸浑水区和外海贫营养区;东海初级生产力的主要限制因子是营养盐可得性和光照条件,在不同海区二者的作用地位有所不同。新生产力的变动范围在 $15\text{--}1\,372\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间,剧烈的波动主要取决于氧化态、还原态氮的供给比例。 f 比变化在 $0.05\text{--}0.70$ 。

关键词 初级生产力 新生产力 东海

学科分类号 Q178.533

海洋初级生产力是资源、环境和生态学研究中的必不可少的项目,新生产力作为初级生产力的功能组分,一方面反映了海区群落净生产力,另一方面又是海洋净固碳能力的一种度量,因而二者成为当代海洋科学一些重大研究计划的核心内容之一。东海作为陆架海,东临西北太平洋,受到黑潮的强烈影响;西接中国大陆,受到陆海相互作用,特别是长江入海物质通量的强烈影响;此外,北有黄海冷水团,南有台湾暖流。这就使得东海的生态环境趋于复杂化、多样化,构成了世界上具有重要研究价值的代表性海区之一。因而,东海被选定为国际地圈与生物圈计划(IGBP)全球海洋通量联合研究(JGOFS)中国计划的研究海区。东海的初级生产力研究已有不少工作,如宁修仁等(1995),而新生产力的研究则为空白。本文报道春季东海初级生产力和新生产力的分布、变化规律,并探讨其调控机制,以期研究东海碳垂直通量提供科学依据。

1 材料与方法

1.1 研究时间、站位及方法

于1994年4月8—30日在 $25\text{--}32^\circ\text{N}$, 129°E 以西的东海海区以“科学1号”考察船进行调查。研究共设5个断面,与本文有关的为1, 2, 4, 5断面,计26个站位(图1)。其中初级生产力、新生产力的现场实验站位为102, 111, 201, 404, 410, 418, 501, 507, 513。

按表面光强1%深度确定真光层,在真光层内设6个采样水层,为1%, 5%, 15%, 30%, 50%, 100%表面光强深度。由5L Niskin采水器采取水样,用 $200\mu\text{m}$ 筛绢滤去较大型浮游

^{*}国家自然科学基金资助项目,49476298号。焦念志,男,出生于1962年12月,博士导师,研究员, Fax:0086-0532-

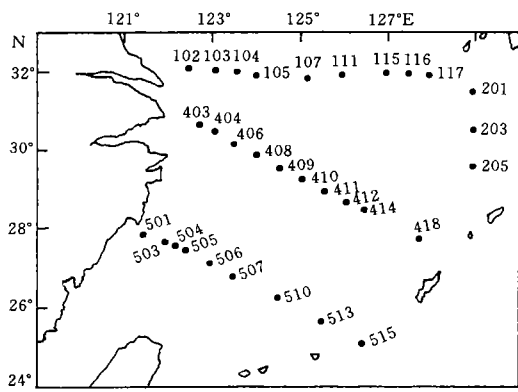


图 1 东海调查站位分布图

Fig.1 Investigation stations in the East China Sea

动物后备用。叶绿素 *a* 由荧光光度法、初级生产力由 ^{14}C 示踪法测得, 非现场实验站位的初级生产力由邻近现场实验站位实测同化系数和本站实测叶绿素值推算。新生产力由 ^{15}N 示踪 IMS 法(焦念志等, 1993)测得, 非现场实验站位新生产力数值由邻近现场实验站位实测 *f* 比和本站氮营养盐相对浓度 $[(\text{NO}_3^- - \text{N}) / (\text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N})]$ 推算 (Jiao, 1993)。 $\text{NO}_3^- - \text{N}$, $\text{NH}_4^+ - \text{N}$, $\text{PO}_4^{3-} - \text{P}$ 等营养盐由 JGOFS 课题组提供现场

测定数据。初级和新生产力单位为毫克碳每平方米天, $\text{mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 。

2 结果

2.1 初级生产力

测定表明, 整个东海海区的初级生产力变化在 $200\text{--}2\,770\text{ mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 之间, 其水平分布见图 2a。可见, 初级生产力的分布存在有 2 个明显高值中心, 它们分别在 410 站附近和 504 站附近。前者是来自黑潮的高温、高盐、低营养盐的大洋水和来自陆架的低盐度、高营养盐的浅海水汇合之锋面, 而后者则是南下沿岸流和北上台湾暖流间的上升流富营养区。初级生产力分布低值区出现在长江口附近低透明度区、长江口以北冷水区, 以及黑潮以外的贫营养区。

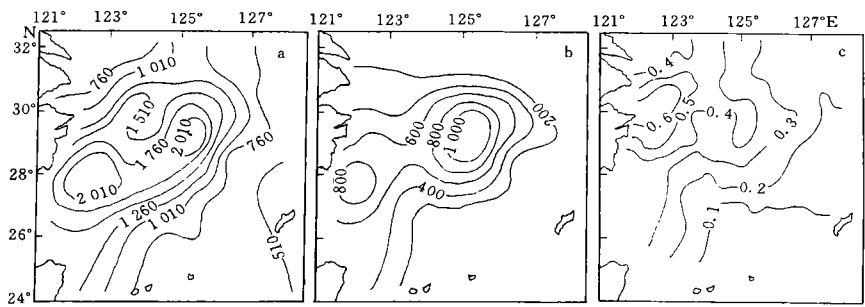


图 2 东海初级生产力 (a)、新生产力 (b) $[\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ 和 *f* 比 (c) 的分布

Fig.2 Distribution of primary production (a), new production (b) $[\text{mg}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})]$ and *f*-ratio (c) in the East China Sea (Apr, 1994)

2.2 新生产力

测定表明, 新生产力的变化范围在 $15\text{--}1\,372\text{ mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$, 与初级生产力的分布近似, 见图 2b。新生产力也存在着 2 个高值中心, 分别在 410 站和 504 站附近。不同的是, 两个高值中心的量值有着显著差异, 504 站新生产力只有 410 站的 50% 左右。可见, 初级生产力相同的海区, 新生产力并不一定相同。

2.3 f比

f比即新生产力占总初级生产力的比例。测定表明,它与初级生产力、新生产力的分布趋势不同,f比基本上是从长江口沿断面向外递减的。f比的变动范围在0.05—0.70,最高值出现于长江口以南的403站附近,最低值出现于黑潮区域,而在开阔陆架区域f比一般为0.3—0.4,其中又以410站附近的锋面海区为最高。f比的分布见图2c。

3 讨论与结论

3.1 东海的初级生产力和新生产力水平及分布规律

调查研究表明,东海海域春季初级生产力的总体水平与10年前的调查结果(宁修仁等,1995)变化不大。但在海区分布上则有较明显差异,主要表现在410站附近黑潮水与陆架水锋面区域的高生产力中心在以往研究结果中不明显;此外,本研究还显示了比较清晰的沿黑潮路径分布的低生产力等值线。本研究似乎更突出地显示了海洋初级生产力与水团、海流的关系:锋面区域、沿岸上升流区域为高生产力区,而河口浑浊区、大洋环流(黑潮)区域为低生产力区。就东海的初级生产力水平而言,要比东北太平洋近海(Martin *et al*, 1978)高,比秘鲁、西非等著名高生产力区(Minas *et al*, 1986)要低,总体上看,东海属于较高生产力类型。

东海的新生产力此前一直是空白。与东北太平洋近海(Martin *et al*, 1987)、秘鲁近海(Minas *et al*, 1986)相比,东海的新生产力水平亦属较高类型。就f比而言,东海大大高于全球海洋平均值0.145(Martin *et al*, 1987),与其他高生产力海区相当。

3.2 东海初级生产力、新生产力的调控机制

通常,海洋初级生产力的首要制约因子是营养盐。本研究中26个站位的初级生产力与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$, $\text{NH}_4^+ \text{-N}$ 和 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 之间不存在明显相关。然而,如果剔除103, 104, 105, 106, 107几个站的数据之后,初级生产力与 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 之间就呈现显著正相关(图3a)。上述几个站处在长江口浑水区和黄海冷水团控制区,低光照、低温度限制了浮游植物对 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 的吸收(焦念志, 1995),因而,即使 $\text{NO}_3^- \text{-N}$ 高达 $4.5\text{--}6.5\mu\text{mol/L}$,初级生产力也并不高。同样 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 也存在类似情况,如果再剔除生产力异常高的404, 503和505站,也会得到初级生产力与 $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$ 的良好相关(图3b)。

404, 503和505三个高生产力的站属于另一生产类型:在这里,营养盐的现存量虽然

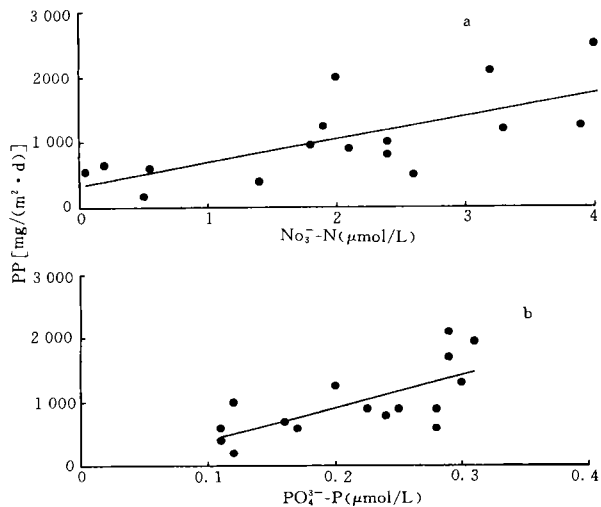


图3 东海初级生产力(PP)与营养盐(a. $\text{NO}_3^- \text{-N}$; b. $\text{PO}_4^{3-} \text{-P}$)的关系(部分站位)

Fig.3 Correlations between primary production (PP) and nutrients (for certain study stations) in the East China Sea
a. $y=399.57x+363.47, r^2=0.422$ 2; b. $y=4\ 869.2x+85.029, r^2=0.462$ 9

不高,但却可能在迅速周转着。在这种情况下,发达的生产力水平与因高度利用而贫乏的营养盐之间甚至呈现负相关关系。至于 NH_4^+-N , 很难剔除哪些站点来获得某种较好的相关。这是由其本身固有的特性决定的: NH_4^+-N 是最活跃的 N 源, 它可由浮游动物迅速再生(焦念志等, 1994), 又可被浮游植物优先于 NO_3^--N 利用(Jiao, 1993)。一个活跃而快速周转的生物群落往往拥有小的 NH_4^+-N 库和大的 NH_4^+-N 通量, 并支持一个高的生产力水平, 503, 505 和 406, 411 站正是这种情况, 它们分别处于两个高生产力分布中心。另外, 有必要指出, 真光层积分而得的水柱生产力与真光层平均的营养盐浓度之间的相关分析还受到包括空间不对应、时间不一致观测误差的人为影响。固定水层(而不是整个水柱)的光合作用速率(而不是积分的生产力)与现场营养盐的相关要好得多。现场实验站位中 8

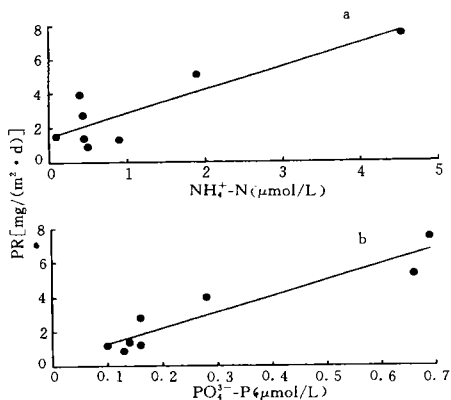


图 4 东海光合作用速率 (PR) 与营养盐
(a. NH_4^+-N ; b. $\text{PO}_4^{3--}\text{P}$) 的关系

个相似天气下 50% 透光层上光合作用速率与 N, P 营养盐的相关关系(图 4), 较真实地反映了营养水平对初级生产力的制约作用。就 N, P 营养盐的总体水平看, 东海的相对限制性营养盐可能是 P 而不是 N。

从初级生产力与营养盐的关系分析可以看出, 光能可得性是制约初级生产力的另一重要因素。本次调查中几个代表性站位的初级生产力和真光层深度的对应关系见图 5。图中的对应点可明显地分为 3 群: 左下角的 104, 403 站; 右下角的 116, 203, 412, 516 站; 上部的 410, 411, 502, 503, 505, 506 站。第一群是长江口附近的浑浊区, 真光层只有 2, 3m, 生产力很低。第二群是开阔深水区, 虽然真光层深达近百米, 但营养盐贫乏, 水柱生产力也很低, 单位水体的生物量就更低。第三群介于前二者

之间, 真光层在 10—50m, 是生产力最高的站位。由此可见, 真光层深度也可作为生产力高低的指标。真光层太浅, 光合作用体积有限, 生产力低; 真光层太深, 说明生物颗粒少, 缺乏营养物质基础, 生产力也不会高; 真光层适中, 既有合理的生物量又有足够的光合作用空间, 生产力自然就高。东海的最佳真光层范围在 10—50m 左右。此外, 正如 3.1 中的初级生产力的分布规律所展示的水团、海流等物理因子, 是大尺度上初级生产力的控制因素。

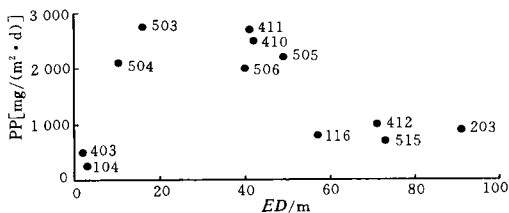


图 5 东海初级生产力 (PP) 与真光层深度 (ED) 的对应关系
Fig.5 Correspondences of primary production (PP) to euphotic zone depth (ED) in the East China Sea

新生产力作为总初级生产力的一部分, 与初级生产力有着密切的相关关系(图 6a), 但

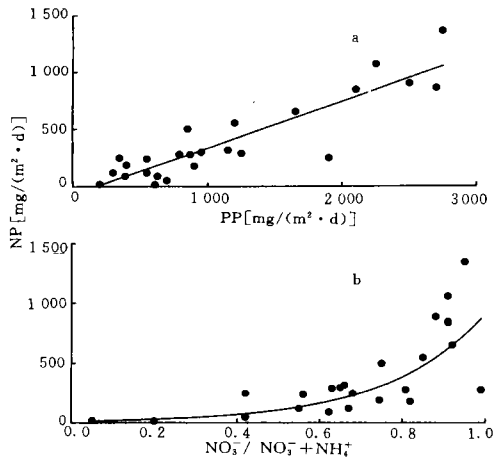


图 6 东海新生产力(NP)同初级生产力(PP) (a)和 NO₃-N 相对含量(b)的关系

Fig.6 Correlations among new production (NP) with primary production (a), relative nitrate concentration (b) in the East China Sea
a. $y = 0.3841x + 78.935, r^2 = 0.8086$; b. $y = 1.9863e^{6.1156x}, r^2 = 0.7814$

从图 2 的比较中即可看出,二者之间的量值有着明显的区别。新生产力不仅受营养盐水平的限制,而且还受营养盐的来源和组成的制约。当氧化态 N 对还原态 N 的比例上升时,新生产力会增高(图 6b)。当还原态 N 全部为再生 N 时(如大洋情况下),新生产力就反映了研究海区群落净生产力和海洋对大气净固碳的能力。本文中,东海,特别是东海沿岸区的还原态 N 有相当部分是外源的(如径流输入),因而新生产力作为上两方面的指标时,其量值只能作参考。

参 考 文 献

宁修仁 刘子琳 史君贤, 1995. 渤、黄、东海初级生产力和渔业生产力评估. 海洋学报, 17 (3): 72—83
焦念志 黄庆文 王荣, 1993. ¹⁵N 示踪离子质谱测定新生产力的研究. 海洋与湖沼, 24 (1): 65—71
焦念志 王荣 李超伦等, 1994. 海洋初级生产过程中原核生物和真核生物的作用. 海洋与湖沼, 25 (6): 612—618
焦念志, 1995. 海洋浮游生物 N 吸收动力学及其粒级特征. 海洋与湖沼, 26 (2): 191—198
Jiao N Z, 1993. Interactions between ammonium uptake and nitrate uptake by natural phytoplankton assemblages. Chin. J Oceanol, 11(2):97—107
Martin J H, Knauer, G A, Karl, D M *et al*, 1987. Carbon cycling in the Northeast Pacific. Deep-Sea Res, 34:267—285
Minas H J, 1986. Productivity in upwelling areas deduced from hydrographic and chemical fields. Limnol Oceanogr, 31:1 180—1 204

PRIMARY PRODUCTION AND NEW PRODUCTION IN SPRING IN THE EAST CHINA SEA

JIAO Nian-zhi, WANG Rong, LI Chao-lun

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

Abstract Primary production and new production in the East China Sea area (25—32° N, coast line—129° E) were investigated in terms an *in situ* simulation experiment using ^{14}C and ^{15}N tracer techniques in April, 1994. The results show that primary production ranges between 200—2 770 $\text{mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$; during the period of experiment, high values occurred in the coastal eutrophic area and the front area of the open waters, and low values occurred in the muddy waters around the Changjiang River estuary and oligotrophic areas of the oceanic waters. New production had a similar horizontal distribution pattern to the primary production, with more drastic variations of 15—1 372 $\text{mg} / (\text{m}^2 \cdot \text{d})$. According to this investigation, primary production in the East China Sea is regulated mainly by the availabilities of nutrients and light which are controlled by large scale physical processes such as the Kuroshio Current, discharges from the Changjiang River, the Taiwan Warm Current and the Yellow Sea Cold Water Masses. The f -ratio ranging from 0.05 to 0.70 corresponded closely to the availability of specific nitrate $[(\text{NO}_3^- - \text{N}) / (\text{NO}_3^- - \text{N} + \text{NH}_4^+ - \text{N})]$. New production, although correlated very well to primary production, appears to be controlled preferably by the proportion of nitrate in the total nitrogen. As there exists a great deal of ammonium input from outside the system, especially in the estuarine areas, the real f -ratio values could be even higher than that recorded in this study.

Key words Primary production New production East China Sea

Subject classification number Q178.533