

闽南-台湾浅滩近岸上升流区浮游植物碳同化速率的研究*

王 宪 李文权
(厦门大学海洋系, 361005)

Q948.86/1

摘 要

本文采用 ^{14}C 同位素示踪法, 测定了浮游植物光合作用速率, 结合浮游植物细胞含碳量, 计算了不同季节、不同深度下浮游植物碳同化速率常数, 讨论了不同环境条件对浮游植物碳同化速率常数的影响。结果表明, 闽南-台湾浅滩近岸上升流的形成, 是该海域高生产力的主要原因, 上升流期间浮游植物复制时间要比非上升流期间浮游植物复制时间缩短1.8倍。同时还表明, 温度、光照强度、营养盐是控制浮游植物生长的主要因子。上升流期间营养盐始终保持在较高的水平, 是上升流区具有较大的浮游植物碳同化速率常数(3.3d^{-1})的原因之一。适宜该海域浮游植物生长的光照强度在 $3000-15000\text{lx}$ 之间, 温度的影响可用Goldman和Carpenter模式近似表示。

关键词: 浮游植物, 碳同化速率, 近岸上升流区。

闽南-台湾浅滩上升流区系指从甲子到礼是列岛近岸海域, 形成了以南澎列岛为中心的近岸上升流区^[1-3]。对上升流区浮游植物生长速率的研究, 其目的在于了解, 解释和预报上升流区有机物生产和分布规律, 正确估算生产力, 合理地利用和开发资源。国外许多学者都致力于这方面的研究, 做了大量的工作^[4-6]。本文是在对1988年间“闽南-台湾浅滩渔场上升流生态系研究”的调查资料基础上整理得出的, 主要讨论了浮游植物碳同化速率常数, 以及不同季节、不同环境条件对浮游植物碳同化速率常数的影响。

一、材料和方法

1. 调查站位

站位取自闽南-台湾浅滩近岸上升流中心南澎列岛附近的 T_{301} 站($117^{\circ}22'E$ 、 $23^{\circ}15'N$), 水深40m, 透明度平均约7m, 表层海水盐度变化 $32.10\text{‰}-34.30\text{‰}$, 观测时间为1988年4月至11月之间, 共进行5个航次的现场调查。

2. 调查方法

辐照度采用数字式照度计(ST-80型, 北京师范大学光电仪器厂)测量。浮游植物光合作用速率采用 ^{14}C 同位素示踪法^[7]。取两个白瓶、一个黑瓶, 各装水样120ml, 加1ml $37000\text{Bq } ^{14}\text{C-Na}_2\text{CO}_3$ 示踪液, 在船上实验室用 $2 \times 500\text{w}$ 碘钨灯光照2h, 样品抽滤后滤膜用液体闪烁计数仪(TRI CARB-4640型, Packard, 美国)测定。浮游植物的细胞含碳量用PE-

* 本研究获国家教委和福建省科委、水产厅赞助, 厦门大学海洋系郭劳动同志提供浮游植物细胞含碳量数据, 谨此致谢。

本文于1991年1月24日收到, 修改稿于1992年2月24日收到。

240型元素分析仪分析。其它参数均按海洋调查规范进行。

3. 计算方法

浮游植物碳同化速率常数可用式(1)表示^[8]：

$$\mu = \frac{1}{t} \ln \frac{C_0 + C_t}{C_0} \quad (1)$$

式(1)中 μ 为浮游植物在一昼夜时间内碳同化速率常数, C_0 为实验前浮游植物细胞含碳量($\mu\text{g/l}$), C_t 为一昼夜时间内浮游植物细胞同化碳的含量($\mu\text{g/l}$)。通常, 更多采用的是在复制时间(Doubling time) ($T_D = \frac{\ln 2}{\mu}$, 即浮游植物细胞含碳量增至两倍时所需的时间)内浮游植物碳同化速率常数(K), 可表达为:

$$K = \frac{1}{t} \log_2 \left(\frac{C_0 + C_t}{C_0} \right) \quad (2)$$

式(2)中 K 的单位为 d^{-1} 。

二、结果与讨论

1. 浮游植物碳同化速率常数的分布特征

(1) 浮游植物碳同化速率常数的季节变化 浮游植物碳同化速率常数不仅和浮游植物细胞含碳量有关, 同时还依赖其光合作用能力(即同化碳的速率)。闽南-台湾浅滩夏季(6—9月)近岸上升流的形成, 使得真光层水体中营养盐得以补充, 浮游植物光合作用速率提高, 碳同化速率常数增大。表1列出了不同季节真光层浮游植物的碳同化速率常数和复制时间。可见, 在夏季上升流形成期间, 浮游植物光合作用速率(PR)较大, 碳同化速率常数提高, 复制时间缩短, 尤其是6月上升流刚形成时最为显著。4月和11月为非上升流期, 碳同化速率常数较小, 复制时间长。从上升流期间和非上升流期间的浮游植物碳同化速率常数比值来看, 浮游植物复制时间在上升流期间相对于非上升流期间缩短了1.8倍($K_{\text{上}} \div K_{\text{非}} = 1.8$)。该结果也可以作为该海域上升流形成的一个佐证。

表 1 不同季节真光层浮游植物生长参数

Table 1 The growth parameters for phytoplankton in the photic zone in various seasons

年·月·日 Date	光合作用速率 PR ($\mu\text{gC/l}\cdot\text{d}$)	碳含量 Carbon contents ($\mu\text{gC/l}$)	碳同化速率常数 CCAR μ (d^{-1})	复制时间内碳同化 速率常数 DTCCAR K (d^{-1})	复制时间 T_D (d)
1988. 4. 25	7.16	10.42	0.52	0.75	1.3
1988. 6. 20	13.94	5.18	1.26	1.82	0.6
1988. 7. 28	12.80	9.51	0.88	1.26	0.6
1988. 9. 1	13.70	8.96	0.93	1.34	0.7
1988. 11. 2	12.24	13.53	0.64	0.92	1.1

(2) 不同深度下浮游植物碳同化速率常数 海面辐照度及其在垂直方向衰减变化是决定浮游植物光合作用能力的一个重要因素。图1显示了不同深度下浮游植物光合作用速率同光衰减的关系。不同深度下浮游植物碳同化速率常数见图2。表2示出不同月份最大碳同化

速率常数的深度。

闽南-台湾浅滩近岸上升流区夏季海面辐照度约 80—120klx, 由于浮游植物光合作用会因光照强度过高而抑制, 因而在自然海区光合作用最强不是出现在海水表层, 而是常常出现在次表层, 浮游植物碳同化速率常数最大。秋季海面辐照度为 10—20klx, 浮游植物碳同化速率常数最大值出现在表层。这反映出自然海区浮游植物生长同环境相适应这一基本生理特性。

表 2 不同月份 K_{max} 所处的深度

Table.2 The depth of seawater for K_{max} in different months

月 份 months	4	6	7	9	11
深度 Depth(m)	0	20	10	10	0
$K_{max}(d^{-1})$	1.96	2.32	3.14	3.30	1.57

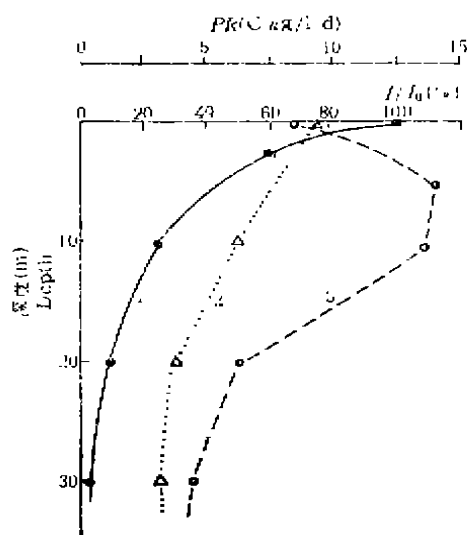


图 1 不同深度下的光合作用速率 (PR)

1. 光衰减; 2. 11月; 3. 6—9月

Fig.1 Photosynthetic rates (PR) in different depths

1. Light attenuation, 2. November, 3. June—September.

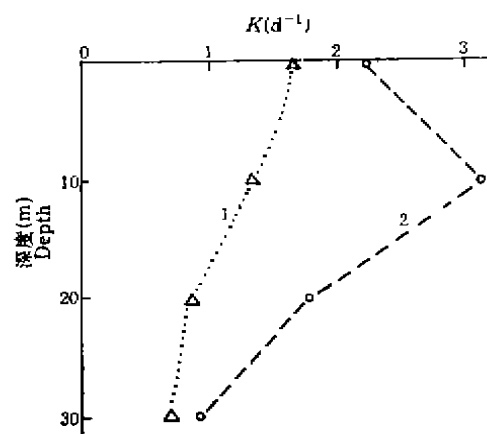


图 2 不同深度下碳同化速率常数 (K)

1. 11月; 2. 6—9月

Fig.2 Constants of carbon assimilation rate (K) in different depths

1. November, 2. June—September

(3) 不同海域浮游植物碳同化速率常数比较 上升流区一般都具有富营养盐、高初级生产力和较大的碳同化速率常数。表 3 显示了不同海域、上升流区浮游植物碳同化速率常数的现场测定值和理论计算值的相对比较。可见, 与世界其它海域, 上升流区所观测的 K_{max} 相比较, 结果还是较一致的。闽南-台湾浅滩近岸上升流区 K_{max} 较大, 同它的地理位置有关。该海域地处亚热带, 平均温度较高, 夏季海面辐照较高, 有利于浮游植物生长繁殖。

2. 影响浮游植物碳同化速率常数的因素

(1) 辐照度的影响 浮游植物生长与辐照度的关系因种而异, 不同海区的浮游植物光饱和值也不尽相同, 适宜光照条件有利于浮游植物的生长。图 3 反映出不同光照度下的浮游植物碳同化速率常数。就闽南-台湾浅滩近岸上升流区而言, 浮游植物最适宜在 3 000—15 000lx

表 3 不同海域 K_{max} 比较Table 3 Comparison of K_{max} for various sea areas

类别 Classifiable	温度 (°C) Temperature	$K_{max}(d^{-1})$			海 域 Sea areas	文献 reference
		观测值 K_{obs}	K_B^*	K_C^*		
海 区 Sea region	14	2.8	2.1	1.3	Oceanic north Atlantic	4
	2—22	1.9	3.4	2.3	Narragansett Bay	14
	4—7	1.5	1.3	0.7	Stn P, subarctic Pacific	8
上升流区 Upwelling region	18—19	0.7	2.7	1.7	Upwelling off Peru	8
	14	1.4	2.1	1.3	Upwelling off Baja California	6
	23—29	3.4	5.3	3.9	Upwelling area of Japan	6
	21—26	3.3	4.4	3.1	闽南-台湾上升流区	本文

* K_B 和 K_C 的计算分别根据Eppley(1972)^[9]和Goldman and Carpenter(1974)^[10]模式。

光照度下生长,其光饱和值为3000lx左右。过低的辐照度和过高的辐照度都不能利于浮游植物的生长。

(2) 温度效应 温度是影响浮游植物生长的一个重要因素。在光照强度超过光饱和值时,温度对浮游植物的生长显得十分重要。即在适宜温度范围内,浮游植物的生长速率是温度的函数,温度升高,其光合作用速率也随之提高^[11,12]。闽南-台湾浅滩上升流区温度对浮游植物碳同化速率常数的影响见图4。在现场调查时间内,该海区水温度变化范围在21—26°C之间,水温高,碳同化速率常数也相对较高。图中 K_B 和 K_C 是分别根据Eppley^[9]和Goldman and Carpenter^[10]模式计算而得。从结果来看,Goldman and Carpenter的模式(K_B)比较适用于闽南-台湾浅滩近岸上升流区的浮游植物碳同化速率常数的计算。

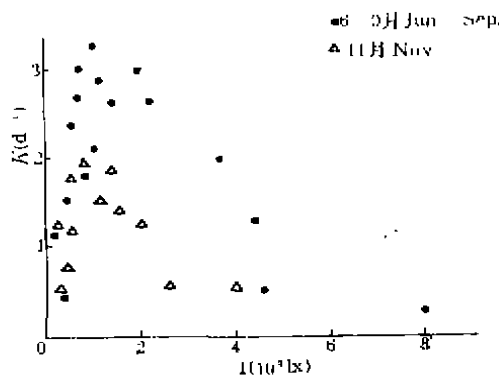


图 3 不同辐照度下的碳同化速率常数(K)
Fig.3 Constants of carbon assimilation rate(K) under different irradiances

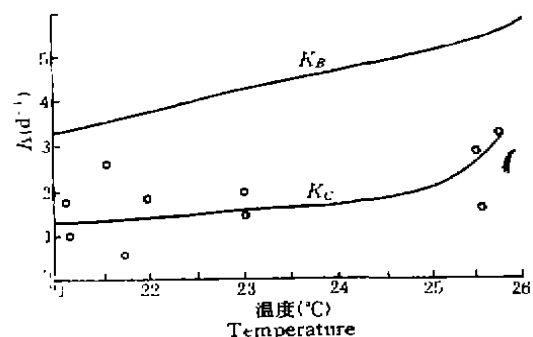


图 4 温度对碳同化速率常数(K)的影响
Fig.4 Effect of temperature on the constant of carbon assimilation rate (K)

(3) 营养盐 海水中营养盐类的含量是浮游植物的另一个重要因子^[13]。由于上升流的形成,含丰富营养盐的底层海水涌升,使营养盐得以补充,满足了浮游植物光合作用过程对营养盐的需求,浮游植物同化速率常数增大。图5是不同月份真光层营养盐平均值与其最大碳同化速率常数的关系。从图中可见,营养盐以上升流形成期间为最大,其碳同化速率常数增大。可见,营养盐得以补充,是上升流区浮游植物生长速度加快,复制时间缩短的重要条件。

总之, 温度、光照强度、营养盐是浮游植物生长的主要控制因子, 它们同浮游植物碳同化速率常数密切相关。

三、结 语

1. 闽南-台湾浅滩近岸上升流期间(6—9月), 真光层浮游植物碳同化速率常数平均值为1.47, 非上升流期间(4月、11月)平均值为0.83, 其比值约为1.8。表明上升流的形成是该海域高生产力的特征之一, 上升流期间浮游植物复制时间要比非上升流缩短1.8倍。同时也可以作为该海域上升流形成的一个佐证。

2. 闽南-台湾浅滩近岸上升流区浮游植物最大碳同化速率常数每天为3.3, 夏季最大值出现在次表层, 春、秋季出现在表层。适应该海区浮游植物生长的光照强度在3 000—15 000 lx之间, 光饱和值约为3 000 lx。

3. 温度对闽南-台湾浅滩上升流区浮游植物碳同化速率常数的影响可用 Goldman 和 Carpenter^[10]模式近似表示。

4. 上升流期间营养盐始终保持较高的水平, 营养盐得以补充, 是上升流区具有较大的浮游植物的碳同化速率常数的原因之一。

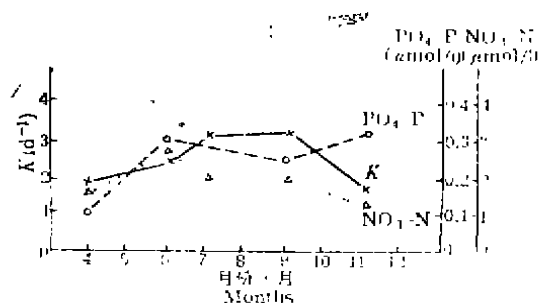


图5 营养盐对最大碳同化速率常数(K_{max})的影响
Fig.5 Effect of nutrients on maximum constant of carbon assimilation rate (K_{max})

参 考 文 献

- [1] 洪华生等著, 闽南-台湾浅滩渔场上升流区生态系研究, 科学出版社, 北京, 1991.
- [2] 陈金泉等, 关于闽南-台湾浅滩渔场上升流的研究, 台湾海峡, 1982, 1(2):5—13.
- [3] 何发祥, 闽南-台湾浅滩渔场的上升流演变及其与渔业的关系研究, 海洋学报, 1988, 10(3):346—354.
- [4] Joint, I. R. et al., Seasonal production of photosynthetic picoplankton and nanoplankton in the Celtic Sea, Mar. Ecol. Prog. Ser., 1988, 28:251—258.
- [5] Furuya, K et al., Summer phytoplankton community structure and growth in a regional upwelling area off Hachijo Island, Japan, J. exp. mar. Biol. Ecol., 1988, 96:43—55.
- [6] Smayda, T. J., Phased cell division in natural populations of the marine diatom *Ditylum brightwellii* and the potential significance of diel phytoplankton behavior in the sea, Deep-sea Res., 1976, 22:151—165.
- [7] Parsons, T. R. et al., A Manual of Chemical and Biological Methods for Seawater Analysis, Pergamon Press, Oxford, 1984.
- [8] Booth, B. C. et al., Spring and summer growth rates of subarctic Pacific phytoplankton assemblages determined from carbon uptake and cell volumes estimated using epifluorescence microscopy, Mar. Biol., 1988, 98:287—298.
- [9] Eppley, R. W., Temperature and phytoplankton growth in the sea, Fish. Bull., 1972, 70:1063—1085.
- [10] Goldman, J. C. and Carpenter, E. J., A Kinetic approach to the effect of temperature on algal growth, Limnol. Oceanogr., 1974, 19(5):756—766.
- [11] 李文权等, 光照强度及环境要素对海洋初级生产力的影响, 厦门大学学报(自然科学版), 1986, 28(4):42—426.
- [12] 王 宪等, 4种单胞藻同化速率与温度关系的实验研究, 台湾海峡, 1990, 9(3):287—290.
- [13] 李文权等, 磷酸盐与聚生角毛藻的生长和光合作用速率的关系, 热带海洋, 1990, 9(2):58—62.
- [14] Durbin, E. G. et al., Seasonal studies on the relative importance of different size fractions of phytoplankton in Narragansett Bay (USA), Mar. Biol., 1975, 32:271—287.

STUDY ON THE CARBON ASSIMILATION RATE OF PHYTOPLANKTON IN THE UPWELLING REGION IN MINNAN-TAIWAN BANK FISHING GROUND

Wang Xian Li Wen-Quan

(Department of Oceanography, Xiamen University, 361005)

Photosynthetic rates of phytoplankton were determined in situ with ^{14}C -tracer method. The constants of carbon assimilation rate of phytoplankton were calculated for samples collected from different depths in various seasons, combined with the data of carbon contents in algal cells. The effects of environmental conditions on the constant of carbon assimilation rate of phytoplankton were discussed. The results indicated that the formation of the coastal upwelling in Minnan-Taiwan bank fishing ground was the major factor for the high productivity in this sea area. Doubling time of phytoplankton during the upwelling period was 1.8 times less than that during the non-upwelling period. In addition, temperature, light intensity and nutrients were also the important factors controlling the growth of the phytoplankton. The maintenance of higher nutrients was one of the reasons for larger constant of carbon assimilation rate of phytoplankton (3.3d^{-1}). The optimum light intensity for the growth of phytoplankton in this sea area ranged from 3000 to 15000lx. The effect of temperature can be approximately described with the model of Goldman and Carpenter.

Key words: phytoplankton, carbon assimilation rate of phytoplankton, upwelling area of coastal water.