

# 大鹏湾夜光藻种群密度变化率 动态模型研究\*

黄伟建 齐雨藻 朱从举 骆育敏

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

**提要** 以1990年3月30日—1990年6月10日期间在大鹏湾每隔2 d采样一次的数据为基础,另参考黄伟建等(1992, 1993, 1995)、Huang等(1992)和齐雨藻等(1991)的研究结果,研究建立大鹏湾夜光藻种群密度变化率动态模型。结果表明,夜光藻种群密度变化率与其自身后期密度、可溶性无机磷浓度、温度、可溶性无机氮浓度有关;以变分方式对夜光藻种群密度变化率动态模型进行辨识,从而建立3个站位6个层次的变化率模型(模型公式详见文内),该模型较为准确地拟合其变化率,为预测夜光藻赤潮发生提供依据。

**关键词** 夜光藻 大鹏湾 变化率 模型 种群密度

夜光藻是我国海洋赤潮主要发生藻类(Fung et al., 1973),但它不形成有毒赤潮。其主要危害表现在,由于爆发性增殖,在其死亡分解过程中消耗大量溶解氧,使流行区水体出现缺氧状态,致养殖水产生物死亡。据统计,自1983年以来大鹏湾及其附近海域已发生过大小夜光藻赤潮23次,不仅造成养殖业和渔业的巨大损失,而且破坏水体的生态平衡(黄伟建等,1992)。本文通过模型对夜光藻种群密度变化率的动态研究,来了解其赤潮发生的机理,以期为确立夜光藻赤潮的预测方法提供科学依据。

## 1 调查方法

于1991年3月30日—1991年6月10日,在大鹏湾采集夜光藻(*Noctiluca scintillans*),采样点设了3个站位(S1, S2, S3)、6个层次(S1 1, S1 2, S2 1, S2 2, S3 1, S3 2),站位S1离岸边约100m; S2离岸边约500m; S3离岸边约1 000 m;各站位分为两层采样,表层深度为0—0.5m;底层深度分别为3, 4和9m。

夜光藻采样按照海洋调查规范用1 000ml瓶采水样固定浓缩,分别作定性定量分析。夜光藻生物量用cell/L表示。采用24个夜光藻密度数据组(由暨南大学水生生物研究所提供),理化因子的采样分析,均按国家海洋局《海洋污染调查暂行规范》(1979)由国家海洋局南海海洋环境监测中心进行。

## 2 模型辨识

根据黄伟建等(1992, 1993, 1995), Huang等(1992)和齐雨藻等(1991)的研究结果,后期夜光藻的种群密度同前期自身种群密度、温度、可溶性无机氮和可溶性无机磷浓度的关系密切。所以它的种群密度变化率也与以上因子有关。另根据对夜光藻种群密度与理化因子的逐步回归模型的分析,夜光藻种群密度的后期变化率与其前期种群密

\* 国家自然科学基金资助项目, 9389008号。黄伟建, 男, 出生于1959年10月, 工程师。

收稿日期: 1993年1月8日, 接受日期: 1995年9月4日。

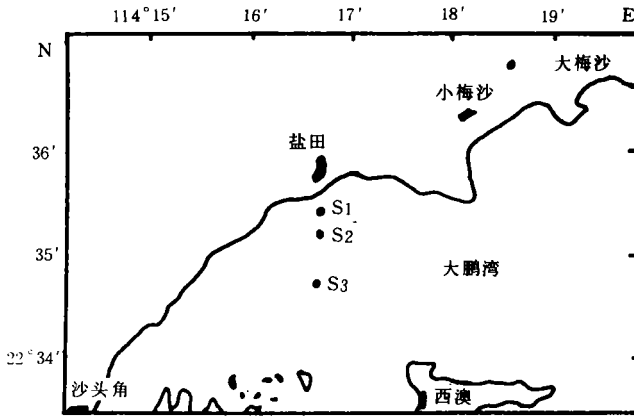


图1 大鹏湾采样站位图

Fig.1 Sampling sites at Yantian Pert of Dapeng Bay in the South China Sea

度及变化率、温度及变化率、可溶性无机氮浓度及变化率和可溶性无机磷浓度及变化率有关, 所以模型采用以下微分方程形式:

$$\begin{aligned} \frac{dQ_t}{dt} = & a_0 + a_1 \frac{dQ_{t-1}}{dt} + a_2 Q_{t-1} + a_3 T_t + a_4 \frac{dT_t}{dt} + a_5 N_t \\ & + a_6 \frac{dN_t}{dt} + a_7 P_t + a_8 \frac{dP_t}{dt} \end{aligned} \quad (1)$$

式中,  $\frac{dQ_t}{dt}$  为夜光藻在  $t$  时间的种群密度变化率 [ $\times 10 \text{ cell}/(\text{L} \cdot \text{d})$ ];  $a_0$  为模型的回归常数, 待辨识参数;  $a_1, a_2, \dots, a_8$  为各因素在模型中对夜光藻生长影响的回归系数, 待辨识参数;  $\frac{dQ_{t-1}}{dt}$  为夜光藻在  $t-1$  时间的种群密度变化率;  $Q_{t-1}$  为夜光藻在  $t-1$  时间的种群密度 ( $\times 10 \text{ cell}/\text{L}$ );  $T_t$  为在  $t$  时间的海水温度 ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\frac{dT_t}{dt}$  为在  $t$  时间的海水温度变化率 ( $^{\circ}\text{C}/\text{d}$ );  $N_t$  为在  $t$  时间可溶性无机氮浓度 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ );  $\frac{dN_t}{dt}$  为在  $t$  时间可溶性无机氮浓度的变化率 [ $\mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{d})$ ];  $P_t$  为在  $t$  时间可溶性无机磷浓度 ( $\mu\text{g}/\text{L}$ );  $\frac{dP_t}{dt}$  为在  $t$  时间可溶性无机磷浓度的变化率 [ $\mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{d})$ ]. 该模型只有在不间断的情况下所获得的数据才可加以辨识, 但这往往是生物学实验或采样中不可能做到的, 所以将(1)式加以变分成为以下形式:

$$\begin{aligned} \frac{Q_t - Q_{t-1}}{\Delta t} = & a_0 + a_1 \frac{Q_{t-1} - Q_{t-2}}{\Delta t} + a_2 Q_{t-1} + a_3 T_t + a_4 \frac{T_t - T_{t-1}}{\Delta t} + a_5 N_t \\ & + a_6 \frac{N_t - N_{t-1}}{\Delta t} + a_7 P_t + a_8 \frac{P_t - P_{t-1}}{\Delta t} \end{aligned} \quad (2)$$

令:  $\frac{Q_t - Q_{t-1}}{\Delta t} = Q'_t; \frac{Q_{t-1} - Q_{t-2}}{\Delta t} = Q'_{t-1};$

$$\frac{T_i - T_{i-1}}{\Delta t} = T'_i; \quad \frac{N_i - N_{i-1}}{\Delta t} = N'_i; \quad \frac{P_i - P_{i-1}}{\Delta t} = P'_i$$

则(2)式可变为:

$$Q'_i = a_0 + a_1 Q'_{i-1} + a_2 Q'_{i-2} + a_3 T_i + a_4 T'_i + a_5 N_i + a_6 N'_i + a_7 P_i + a_8 P'_i \quad (3)$$

由最小二乘法定义出发, 定义以下的拟合残差平方和函数:

$$\varepsilon(a) = \sum_{i=1}^n (Q'_i - \hat{Q}'_i)^2 \quad (4)$$

式中,  $n$  为样本数;  $Q'_i$  为实际值;  $\hat{Q}'_i$  为模型的估计值。

令: 
$$\frac{d\varepsilon(a_i)}{da_i} = 0 \quad (5)$$

使  $\min \varepsilon(a_i)$  实现, 由此得出 9 个线性方程组, 解出  $\hat{a}_i (i=0, 1, \dots, 8)$ 。

由(2)式可见, 除待定参数外, 其它数据均可在采样中获得。并根据(5)式所建立的方程组对待定参数进行辨识。进行各参数  $\bar{t}$  检验时, 当  $\bar{t}$  值小于 3 时, 将剔除该参数。另做出模型的总相关系数和标准差。3 个站位 6 个层次的夜光藻种群密度变化率动态模型, 见表 1。

表 1 3 个断面、6 个层次的模型参数值<sup>1)</sup>

Tab. 1 Parameters of 3 section, 6 level models in Dapeng Bay

参 数	$a_0$	$a_1$	$a_2$	$a_3$	$a_4$	$a_5$	$a_6$	$a_7$	$a_8$	$S$	$R$
站 S1 1	8.141	-0.963	-0.518	-0.316	-0.215	0.006	-0.029	0.0003	0.004	1.267	0.9268
		(4.77)	(21.63)	(32.13)	(32.07)	(20.09)	(39.03)	(3.29)	(58.04)		
站 S1 2	3.361	-1.361	-0.475	-0.097	-0.079	0.001	0.018	-0.006	-0.013	2.212	0.8771
		(6.04)	(9.39)	(11.22)	(10.73)	(3.14)	(5.45)	(42.47)	(144.0)		
站 S2 1	-2.689	-1.128	-0.291	0.115	0.100	0.050	0.106	-0.014	-0.003	2.177	0.8958
		(3.71)	(4.46)	(4.89)	(5.88)	(20.34)	(8.64)	(45.96)	(9.50)		
站 S2 2	5.101	-1.163	-0.375	-0.190	-0.179	0.047	0.061	-0.012	-0.011	5.839	0.8205
		(4.67)	(7.69)	(5.47)	(6.15)	(22.60)	(7.73)	(24.28)	(53.76)		
位 S3 1	4.040	-0.734	-0.309	-0.153	-0.074	0.0005	-0.027	-0.001	-0.005	1.162	0.8577
		(3.88)	(17.55)	(38.30)	(24.80)	(10.69)	(12.89)	(52.68)	(109.3)		
位 S3 2	6.387	-0.987	-0.467	-0.244	-0.121	0.021	-0.101	-0.007	-0.007	2.622	0.8740
		(4.50)	(10.51)	(17.55)	(10.85)	(7.95)	(5.37)	(48.44)	(143.1)		

1) 括号里的数据是该回归系数的  $\bar{t}$  检验值。S1 1, S2 1, S3 1 分别表示站位 1,2,3 的表层; S1 2, S2 2, S3 分别表示站位 1,2,3 的底层; 下同。

模型对夜光藻种群密度变化率所拟合的效果是比较好的。如 S3 站位的表层 (S3 1) 的夜光藻种群密度变化率, 其计算值、实际值和绝对误差, 见表 2。如果要求其密度变化率的绝对误差不超过 60cell/(L · d), 则 22 个变化率有 21 个; 要求不超过 50cell/(L · d), 则 22 个变化率有 21 个; 要求不超过 40cell/(L · d), 则 22 个变化率有 20 个; 要求不超过 30cell/(L · d), 则 22 个变化率有 17 个; 要求不超过 20cell/(L · d), 则 22 个变化率有 14 个。因此可预测到夜光藻种群密度变化率的绝对误差不超过 30cell/(L · d) 应是可行的。所以该模型是有效的。

表 2 S31 夜光藻种群变化率与绝对误差

Tab.2 S31 change ratio on the population dynamics and absolute errors of *Noctiluca scintillans* in Dapeng Bay

日期 (月·日)	种群数 ( $\times 10^2$ cell/L)	实际值 [ $\times 10^2$ cell/(L·d)]	计算值 [ $\times 10^2$ cell/(L·d)]	绝对误差
03.30	6.000			
04.02	5.000	-0.400	-0.438	0.038
04.05	3.800	-0.933	-0.992	0.059
04.08	1.000	-0.250	0.072	0.322
04.11	0.250	0.683	0.652	0.031
04.14	2.300	-0.100	0.177	0.277
04.17	2.000	1.000	0.399	0.601
04.20	5.000	-0.333	-0.436	0.103
04.23	4.000	-0.567	-0.492	0.075
04.26	2.300	0.667	0.505	0.162
04.29	4.300	-0.667	-0.618	0.049
05.02	2.300	-0.767	-0.364	0.403
05.05	0.025	0.083	-0.247	0.330
05.08	0.250	-0.083	-0.095	0.012
05.11	0.025	0.083	0.068	0.015
05.14	0.250	0	0.264	0.264
05.17	0.250	0	-0.369	0.369
05.20	0.250	0	-0.072	0.072
05.23	0.250	0	0.056	0.056
05.26	0.500	0.083	0.072	0.011
05.29	0.250	-0.083	0.142	0.225
06.01	0.250	0	0.176	0.176
06.04	0.025	-0.083	-0.127	0.044

### 3 讨论与结论

从表 1 看出, 6 个模型的  $a_1$ ,  $a_2$  的回归系数都是负的, 这说明只要该海域有夜光藻种群存在, 又由于种群自身具有很强的相互竞争作用, 所以如自身种群基数越大, 其后期变化率向下调整或出现负值的可能性越大; 反之, 其后期变化率向上调整或出现正值的可能性越大。而当前期种群变化率出现的正值越大时, 其后期变化率向下调整或出现负值的可能性越大; 反之, 其后期变化率向上调整或出现正值的可能性越大。

温度对夜光藻种群的影响, 前期研究中对此问题已进行了讨论 (Huang et al., 1991): 海水温度在 17—22℃ 时比较适合夜光藻种群的生长; 6 个模型中, 除 S 表层 (S2 1) 外,  $a_3$  和  $a_4$  为负数, 这说明: 当温度较高时, 特别是超过 22℃ 时, 其后期变化率向下调整或出现负值的可能性越大; 前期温度变化率向上越大, 即正值越大, 其后期变化率向下调整或出现负值的可能性越大。本模型对低温度不能说明问题, 原因在于模型是根据 3 月 30 日至 6 月 7 日 (1990 年) 的数据得出的, 且当时温度的大方向是逐步上升的 (从 17℃ 到 30℃)。

从模型的回归系数  $a_5$  可以看到, 可溶性无机氮的浓度越高, 越可促使夜光藻种群的生长, 较高的氮浓度是维持其种群有较高密度的有利条件。原因在于, 氮促进浮游植物生长,

而浮游植物作为饵料促进夜光藻生长; 可溶性无机氮浓度变化率对其种群生长没有明显影响, 因为模型中  $a_6$  回归系数 3 个为正, 3 个为负。

从  $a_7$ ,  $a_8$  两个回归系数中可以看到, 除 S 站位表层 (S1 1) 外, 其它均为负值, 这说明: 其它层次可溶性无机磷的浓度越高, 越不利于后期夜光藻种群的生长; 其浓度变化率的正值越大, 夜光藻种群密度后期变化率向下调整或出现负值的可能性越大。

## 参 考 文 献

- 齐雨藻、黄伟建, 1991, 暨南大学学报, 12 (3): 96 — 103.  
 黄伟建、齐雨藻, 1992, 生态学报, 12 (3): 206 — 212.  
 黄伟建、齐雨藻, 1993, 海洋通报, 12 (2): 17 — 22.  
 黄伟建、齐雨藻, 1995, 应用生态学报, 6 (1): 81 — 86.  
 Huang Weijian & Qi Yuzao, 1992, *Inter. J. Ecol. Envir. Sci.*, 18: 147 — 153.  
 Fung, Y. C. and Trott, L. B., 1973, *Limnol. Oceanogr.*, 18 (3): 472 — 475.  
 Box, G. E. P. and Jenkins, G. M., 1976, *Time series analysis, forecasting and control*, Holdenday, San Francisco, CA, 575P., 45 — 47.  
 Zingmark R. G., 1970, *J. Phycol.*, 6: 122 — 126.

# MODEL ON CHANGE RATIO OF THE POPULATION DENSITIES DYNAMICS OF *NOCILUCA SCINTILLANS* (Ehr.) MACARTNEY IN DAPENG BAY, SOUTH CHINA SEA

Huang Weijian, Qi Yuzao, Zhu Congju, Luo Yumin

(Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632)

**Abstract** Change ratio models were derived to analyze the population dynamics of *Noctiluca scintillans* (Ehr.) Macartney in Dapeng Bay. Data used were based on samples taken fortnightly from 30 March to 10 June 1990. The authors' results in previous study on the early stage *N. scintillans* change ratio of density, temperature, dissolved inorganic nitrogen (DIN, including  $\text{NO}^{-3}-\text{N}$  and  $\text{NO}^{-2}-\text{N}$ ) and dissolved inorganic phosphate (DIP) are compared with the respective change ratios of later stage *N. scintillans*. The calculus of variations were used to derive the following change ratio models of the *N. scintillans* population density dynamics:

$$\frac{dQ_t}{dt} = a_0 + a_1 \frac{dQ_{t-1}}{dt} + a_2 Q_{t-1} + a_3 T_t + a_4 \frac{dT_t}{dt} + a_5 N_t + a_6 \frac{dN_t}{dt} + a_7 P_t + a_8 \frac{dP_t}{dt}$$

$\frac{dQ_t}{dt}$ : Change ratio of *N. scintillans* in "t" time intervals [ $10^2 \text{ cell/L} \cdot \text{d}$ ];  $a_0$ :

Identification parameter of natural growth ratio of *N. scintillans*;  $a_i$  ( $i = 1, 2, \dots, 8$ ):

Identification parameters of change ratio affected by factors in “ $t$ ” time intervals;

$\frac{dQ_{t-1}}{dt}$ : Change ratio of *N. scintillans* in “ $t-1$ ” time intervals;  $Q_{t-1}$ : *N. scintillans*

population density in “ $t-1$ ” time ( $10^2$  cell/L);  $T_t$ : Water temperatures in “ $t$ ”

time ( $^{\circ}\text{C}$ );  $\frac{dT_t}{dt}$ : Change ratio of water temperature in “ $t$ ” time intervals

( $^{\circ}\text{C}/\text{d}$ );  $N_t$ : Concentrations of dissolved inorganic nitrogen in “ $t$ ” time intervals

( $\mu\text{g}/\text{L}$ );  $\frac{dN_t}{dt}$ : Change ratio of dissolved inorganic nitrogen concentration in “ $t$ ”

time intervals [ $\mu\text{g}/(\text{L} \cdot \text{d})$ ];  $P_t$ : Concentrations of dissolved inorganic phosphorus

in “ $t$ ” time intervals ( $\mu\text{g}/\text{L}$ );  $\frac{dP_t}{dt}$ : Change ratio of dissolved inorganic phosphor-

us in “ $t$ ” time intervals.

The fitting between the prediction and field data is quite accurate. The results provide scientific basis for controlling red tide of *N. scintillans*.

**Key words** *N. scintillans* Dapeng Bay Change ratio Model Population densities