

海洋赤潮生态模型参数优化研究*

万振文 袁业立 乔方利

(国家海洋局第一海洋研究所, 海洋环境科学和数值模拟国家海洋局重点实验室 青岛 266003)

提要 根据中日合作海洋生态围隔试验观测资料, 对乔方利等1998年提出的赤潮过程生态模型(乔方利等, 2000)进行参数优化研究, 得到赤潮过程营养盐半饱和和常数: 硅藻, $KN = 1.4\mu\text{mol/L}$, $KP = 0.129\mu\text{mol/L}$, $KS_i = 1.16\mu\text{mol/L}$; 鞭毛藻, $KN = 0.345\mu\text{mol/L}$, $KP = 0.113\mu\text{mol/L}$ 以及其它等共18个参数的最优取值, 并详细讨论了目标泛函的构造和多目标函数参数优化的方法。

关键词 赤潮 生态模型 参数优化

学科分类号 Q141

采用海洋生态模型研究生态过程无疑是研究方法的进步, 然而由于生态模型往往涉及繁多的模型参数, 且由于生态环境调查资料的有限性, 模型参数通常较难确定。另一方面, 由于生态环境本身的复杂性, 一海区的模型参数通常很难适用于另一海区。如何通过有限的调查资料, 确定最适的模型参数, 以及如何评价一海区的模型参数对另一海区的适应程度, 数学上可以归结为参数优化问题。关于这方面的工作, Richard(1995)做了很有价值的探讨。总之, 海洋生态模型参数优化处理的思想和方法还没有被广泛地接受和应用。本文正是从这一观点出发, 试图探索和归纳海洋生态模型参数优化处理的具体做法。

1 优化方法

对一个模型的参数进行优化, 首要工作必须建立一个目标泛函, 即如何评价一个模型。Richard(1995)考虑了这样三个方面: (1)模型预报(或后报)结果与观测相符的程度; (2)模型结果应该符合实际过程的客观规律, 如逐年的变化应该具有年际周期性; (3)模型参数值应该尽可能接近“公认”的参数值。本文根据赤潮过程实际情况采纳以上观点(1)和(3), 在此基础上进一步考虑如下问题。乔方利等(2000)文献中式(4)为6分量模型, 实际是一个多目标优化问题。各分量的取值范围变化很大, 如果对各分量模拟结果与观测结果之间的误差平等对待, 则取值范围小的变量很难与观测结果相符。为了克服这个困难, 本文采用各分量的特征尺度, 用无量纲数构造目标泛函。

由此可得到一个相对误差平方和目标泛函

$$F = \sum_{\alpha=1}^6 \frac{1}{\bar{Y}_{\alpha}^2 \cdot T} \int_0^T (Y_{\alpha} - Y_{\alpha}^*)^2 dt \quad (1)$$

*国家海洋局青年基金资助项目, 98304号。万振文, 男, 出生于1970年10月, 博士, Fax:0086-0532-2879135

收稿日期: 1998-06-25, 收修改稿日期: 1999-01-08

式中, F 为目标泛函, Y , Y^* , \bar{Y} 分别为模型变量的模拟值、观测值和特征值, t 为时间, T 为观测时间跨度。上式是以观测值完全准确为前提的, 然而实际过程中不同观测者得出的观测结果往往存在不同程度的偏差, 且由于对各分量所采用的观测方法不同而导致所得数据准确度也不同。在海洋生态的观测和调查中, 这种考虑显得尤为必要。如对细胞和叶绿素等的浓度测定, 出现 10%—20% 的偏差是很常见的, 而对一些海水中无机盐的测量却能很容易地把误差控制在 1%—2% 以下。在承认观测数据存在不同准确度的前提下, 为使目标泛函尽可能体现模型与观测相符合的程度, 通常的做法是对各分量构造权函数。本文构造了如下权函数:

$$\omega(r_\alpha) = \frac{r_\alpha^{-1}}{\sum_{\beta=1}^6 r_\beta^{-1}} \quad (2)$$

式中, r_α 为模型变量 α 的观测精度。观测精度由观测仪器的精度和实验方法的系统误差和偶然误差三部分组成。由此将 (1) 式改写成:

$$F = \sum_{\alpha=1}^6 \frac{\omega(r_\alpha)}{\bar{Y}_\alpha^2 \cdot T} \int (Y_\alpha - Y_\alpha^*)^2 dt \quad (3)$$

该目标泛函反映模型模拟结果与观测相符的程度, 然而综合评价一个模型, 还必须考虑 Richard (1995) 所提及的第三点。否则, 即使模型结果与观测值相符得很好, 但如果某参数取值在所能被接受的范围之外, 那么由此而建立的生态模型则很难被接受。体现以上观点的目标泛函应该是:

$$F = \sum_{\alpha=1}^6 \frac{\omega(r_\alpha)}{\bar{Y}_\alpha^2 \cdot T} \int (Y_\alpha - Y_\alpha^*)^2 dt + \sum_{n=1}^N \frac{(C_n - C_n^*)^2}{C_n^{*2}} \quad (4)$$

式中, C_n 为模型参数值, C_n^* 为模型参数参考值。

以上三个目标泛函的含义不完全相同, 因此其适用的实际情况也不相同。式 (1) 所表达的第一个目标泛函表示各生态变量的模型预测值与其对应的观测值之间总体上相吻合的程度。此时各生态变量之间并不存在孰轻孰重的差别, 即并不特别地追求某个生态变量预测值与观测值相吻合而放宽对其他变量的要求, 该目标泛函适用于对同一生态过程有较长时间且时序密集的观测。式 (3) 所表达的第二个目标泛函考虑了观测值本身的可靠性, 观测精度高的变量对其预测值与观测值相接近程度的要求应该比观测精度低的变量高。该目标泛函适用于对同一生态过程有可对比的观测或者采用能够估计观测精度的仪器和方法进行的观测。式 (4) 所表达的第三个目标泛函是一个综合评价模式, 该泛函的最小值可以表示模型再现客观生态过程的综合水平。该目标泛函适用于观测过程具有第二个目标泛函所要求的特点, 同时要求模型参数具有明确的生态学意义, 并且有比较公允的参考取值。

本文采用最速下降法 (程宝林, 1989; 席少霖, 1992) 对模型参数进行优化。

2 结果与讨论

本文分别采用了 (1)、(3)、(4) 三个目标泛函, 即三个方案进行参数优化。由于资料源的限制, 各方案所得优化参数都具有实际意义。

方案 1 用中方观测资料, 以各分量观测值时间序列的平均值作为其特征值, 采用

(1)式为目标泛函进行参数优化之后,模型结果与观测值之间的偏差与乔方利等(2000)所得的对应偏差相比总体上更为接近(图1和表1),表2显示了优化所得模型参数。

方案2 本方案以中日双方观测值的平均值作为“准确”的观测值,而以双方观测数据之差值的二分之一在时间序列上的平均值作为观测偏差,该偏差与其特征值之比为观

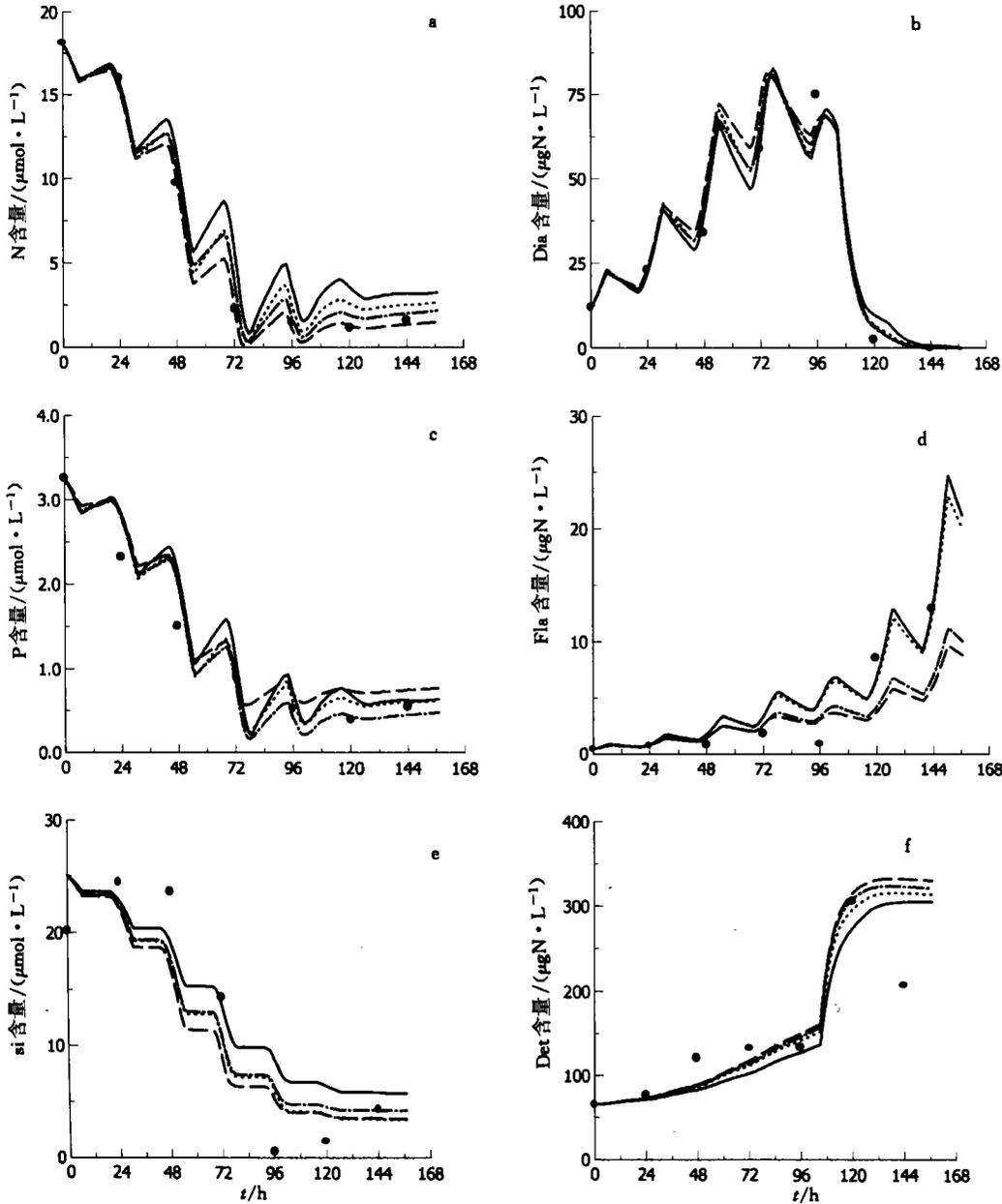


图1 优化所得结果的比较

Fig.1 Comparison of the results obtained by optimization

• 观测值 ——— 模拟结果(乔方利等,2000) 方案1优化结果 —·— 方案2优化结果
 —— 方案3优化结果。 a. 氮; b. 硅藻; c. 磷; d. 鞭毛藻; e. 硅; f. 有机碎屑

测精度。按(3)式进行参数优化,结果显示(图1和表1)优化之后营养盐三分量的模拟值进一步接近观测值,而有机碎屑和鞭毛藻却更偏离观测值,但在加权意义下模拟值总体上更接近观测值,由此而得到的优化参数(表2)比方案1所得优化参数在理论上却更合理

表1 模型结果与观测数据的误差(%)比较¹⁾

Tab.1 Comparison of the errors(%) between simulated results and observed data

方案	<i>N</i>	<i>P</i>	<i>Si</i>	<i>Det</i>	<i>Fla</i>	<i>Dia</i>
乔方利等(2000)	12.0	15.0	27.1	26.0	33.3	20.4
本文方案1	11.3	16.2	25.3	26.0	29.5	15.4
本文方案2	8.8	15.2	25.7	27.4	49.9	13.4
本文方案3	3.5	19.3	27.4	29.4	55.5	17.5

1) *N*、*P*、*Si*、*Det*、*Fla*和*Dia*分别表示氮、磷、硅、有机碎屑、鞭毛藻和硅藻的浓度

表2 优化的模型参数比较

Tab.2 Comparison of optimized model's parameters

参数名称	乔方利等(2000)	本文方案1	本文方案2	本文方案3	挪威生态模型
硅藻0℃时的最大生长率(s^{-1})	0.122×10^{-4}	0.126×10^{-4}	0.125×10^{-4}	0.131×10^{-4}	0.153×10^{-4}
硅藻生长率随水温变化系数	0.63×10^{-1}	0.58×10^{-1}	0.55×10^{-1}	0.51×10^{-1}	0.63×10^{-1}
鞭毛藻0℃时的最大生长率(s^{-1})	0.112×10^{-4}	0.116×10^{-4}	0.102×10^{-4}	0.98×10^{-5}	0.102×10^{-4}
鞭毛藻生长率随水温变化系数	0.63×10^{-1}	0.59×10^{-1}	0.57×10^{-1}	0.59×10^{-1}	0.63×10^{-1}
浮游植物0℃时的呼吸率(s^{-1})	0.1207×10^{-5}	0.1124×10^{-5}	0.1037×10^{-5}	0.780×10^{-6}	0.805×10^{-6}
浮游植物呼吸率随水温变化系数	0.7×10^{-1}	0.63×10^{-1}	0.53×10^{-1}	0.51×10^{-1}	0.7×10^{-1}
浮游植物细胞内磷与氮的重量比	0.3	0.29	0.3	0.24	0.138
浮游植物细胞内硅与氮的重量比	1.75	1.24	1.36	1.54	1.75
浮游植物死亡率(s^{-1})	0.16×10^{-5}	0.19×10^{-5}	0.20×10^{-5}	0.20×10^{-5}	0.16×10^{-5}
有机颗粒的分解率(s^{-1})	0.152×10^{-7}	0.180×10^{-6}	0.190×10^{-6}	0.161×10^{-6}	0.152×10^{-6}
硅藻光照强度半饱和常数[$\mu E/(m^2 \cdot s)$]	96	112	119	95	96
硅藻DIN半饱和常数($\mu mol/L$)	1.3	1.5	1.6	1.4	2
硅藻DIP半饱和常数($\mu mol/L$)	0.125	0.144	0.153	0.129	0.125
硅藻DISi半饱和常数($\mu mol/L$)	1.0	1.15	1.22	1.16	1.4
鞭毛藻光照强度半饱和常数[$\mu E/(m^2 \cdot s)$]	150	171	183	188	209
鞭毛藻DIN半饱和常数($\mu mol/L$)	0.25	0.285	0.305	0.345	1.5
鞭毛藻DIP半饱和常数($\mu mol/L$)	0.94×10^{-1}	0.104	0.115	0.113	0.94×10^{-1}
浮游植物可利用光照强度	0.50	0.572	0.618	0.449	0.4

些。

方案3 本文的目的不仅仅在于选出什么样的参数值以使得模型的模拟值最接近观测值,而是更着重于揭示客观的赤潮发生过程中生态模型应该如何取值(沈同等,1990)。此外,有些参数的取值已经被广泛接受了,如Eppley(1972)给出的最大生长率公式,浮游植物生长率随水温变化系数取 $0.063 \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$,绝大部分海洋生态模型均取该值。因此,参数取值有必要限定在某些参考值附近。乔方利等(2000)赤潮生态模型是由挪威生态模型发展而来,故本文以挪威生态模型的参数值为参考值,通过(4)式所得优化参数(表

2)更为合理,本文推荐它们为乔方利等(2000)赤潮生态模型的最优取值。

3 结语

本文讨论了如何构造评价赤潮生态模型的目标泛函,得到目标泛函最小意义下的模型参数值,并推荐方案 3 所得参数值为长江口海域赤潮过程生态模型的最优取值。

参 考 文 献

- 乔方利,袁业立,朱明远等,2000. 长江口海域赤潮生态动力学模型及赤潮控制因子研究. 海洋与湖沼, 31(1): 93—100
- 沈 同,王镜岩,1990. 生物化学. 北京:高等教育出版社,1—486
- 席少霖,1992. 非线性优化方法. 北京:高等教育出版社,1—453
- 程宝林,1989. 最优化理论与算法. 北京:清华大学出版社,334—383
- Eppley R W, 1972. Temperature and phytoplankton growth in the sea. Fish Bull, 70:1 063—1 085
- Richard J, 1995. Matear parameter optimization and analysis of ecosystem models using simulated annealing: A case study at station P. J Mar Res, 53(4):548—607

STUDY ON OPTIMIZATION OF THE PARAMETERS OF A MARINE ECOSYSTEM DYNAMICS MODEL FOR RED TIDE

WAN Zhen-wen, YUAN Ye-li, QIAO Fang-li

(First Institute of Oceanography, State Oceanic Administration, Key Laboratory of marine Science and Numerical Modelling, State Oceanic Administration, Qingdao, 266003)

Abstract Whether the ecosystem parameters were evaluated well and truly was a key factor which determines the precision of an ecosystem dynamics model; in fact, an overwhelming majority of researchers specified the parameters by experience or by experiment. This paper tried to construct an objective function in order to assess the validity of a common ecosystem dynamics model in advance, and then specified the parameters according to a set of equations only under the control of which the objective function could get its extremum. On different premises of in situ observations, three forms of objective functions were constructed. Each objective function was applied to optimize the parameters. Furthermore, the result of ecosystem dynamics model and the values of parameters were compared with data and literatures; the model's result came close to data more and the parameter values were under the scope of the relative values in literatures. The proposed optimization method to evaluate the ecosystem parameters was a new application of classical mathematics theory, and this method could partially replace expensive situ observation in ecology research and relevant experiments. It was more important that the preliminary numerical experiment showed this method's validity.

Key words Red tide Ecosystem model Parameter optimization

Subject classification number Q141