

大鹏湾海水环境要素与浮游植物增殖的 灰色模型研究*

黄伟建 齐雨藻 韩博平 陈书荣

(暨南大学水生生物研究所, 广州 510632)

摘 要 通过浮游植物的增殖态势与理化因子的灰关联比较, 以空间理论数学为基础, 按规范性、偶对称性、整体性、接近性和光滑离散函数等原则, 并定义灰导数和灰微分方程, 由此建立灰色动态模型, 研究大鹏湾浮游植物增殖与海水环境要素间的关系. 结果表明, 浮游动物、Fe、Mn 和溶解氧对浮游植物增殖密度有比较重要的影响.

关键词 灰色模型 浮游植物 大鹏湾

1 引言

笔者虽曾运用时间序列模型、回归分析及微分方程的变分模型对夜光藻和反曲原甲藻种群增殖和形成赤潮的原因进行过分析和研究^[1~5], 但上述分析方法和模型仅描述了海洋赤潮形成的确定性因素, 而夜光藻和反曲原甲藻种群形成赤潮的原因与多种因素有关, 包括确定性的因素(如海水的环境要素)和不确定的因素(如潮汐、天气、环流等), 而且确定性因素往往受到不确定性因素的影响, 所以有必要进一步采用灰色模型理论^[6,7]对夜光藻^[8]和浮游植物增殖的原因进行分析. 灰关联分析的结果: 大鹏湾海水理化因子对浮游植物增殖影响的排列顺序是, 浮游动物、锰、铁、溶解氧、酸碱度、盐度、温度、硝酸盐、亚硝酸盐、磷酸盐. 这些结果将构成本文的前期基础.

2 材料与方 法

所有数据皆取自大鹏湾盐田海域. 大鹏湾的地理位置和试验方法可见文献^[1~3].

3 灰模型的建立^[6,7]

灰色系统理论提出了一种新的数据处理和分析方法, 称为数据灰关联度分析方法, 用以

本文于 1996-08-16 收到, 修改稿于 1997-05-15 收到.

* 第四期国务院侨办资助项目及中国科学院南海海洋研究所资助项目.

第一作者简介: 黄伟建, 男, 39 岁, 高级工程师, 现从事生态建模研究.

衡量因素间的关联程度, 为建模提供有效变量. 这种方法可以克服数理统计建模法的局限性. 在数理统计建模中尽管基于大样本的基础, 但实际情况往往即使有大样本量也不一定是典型的, 而非典型的随机过程是难以处理的. 灰色过程则无此限制, 灰色系统理论认为: 任何随机过程都可看作是在一定时空区域变化的灰色过程, 随机量可看作是灰色量; 无规则的离散时空数列是潜在的有规则序列的一种表现, 因而通过生成变换可将无规序列变成有规序列. 也就是说, 灰色系统理论的建模实际上是对生成数列的建模, 而一般建模方法则采用原始数列直接建模.

灰色模型 (grey model) 是灰色系统理论的基本模型, 也是灰色控制理论的基础. 它以灰色模块 (所谓模块是时间数列 X_m 在时间数据平面上的连续曲线或逼近曲线与时间所围成的区域) 为基础, 以微分拟合法而建成模型.

由于 GM 建模一般是针对离散数列而言的, 需要离散函数满足光滑性这一条件, 这样才能保证数列符合灰数律, 因而要求离散数列为光滑函数. 若 X_0 不是光滑离散数列, 则可进行多次累加生成 (m -AGO), 直至 X_m 为光滑离散数列. 一般而言, 对非负数列, 累加生成次数越多, 数列的随机性就弱化得越多, 规律性增强. 当累加次数足够大时, 时间序列便由随机转变为光滑离散序列. 因此, 实际上, 灰色系统理论的建模是对生成数列的建模.

通过灰关联分析, 提取建模所需变量. 由前期研究所可知, 对大鹏湾浮游植物起主要影响的因子有: 浮游动物、锰、铁和溶解氧. 本研究以浮游植物的种群密度 ($\text{个}/\text{m}^3$) 为母序列 $\{X^0(t)\}$, 以浮游动物的密度 ($\text{个}/\text{dm}^3$)、锰、铁 ($\mu\text{g}/\text{dm}^3$) 和溶解氧 (mg/dm^3) 为子序列 $\{X^i(t)\}$. 本研究所用的原始序列没有满足灰色建模所需的条件: 数列为光滑离散函数, 且原始数列的数量悬殊大. 因此, 必须对原始数列先进行均值化, 再进行累加生成

$$y^0(i) = \frac{X^0(j)}{X^0(i)}, \quad j = 1, 2, \dots, 5, \quad i = 1, 2, \dots, 27,$$

式中, $X^0(i)$ 为原始数列中的每一列的平均值. 对均值化后的数列进行 m 次累加生成, 即

$$y^m(i) = \sum_{i=1}^n y^{m-1}(i), \quad i = 1, 2, \dots, 27,$$

式中, $\{y^{m-1}(i)\}$ 是对平均值后的数列进行 $m-1$ 次累加生成所得的数列, i 为数列组数, 对平均值后的数列连续进行 2 次累加生成, 所得的生成数列记作 $\{X(i), i = 1, 2, \dots, 27\}$

经过平均值化和累加生成所得的生成数列 $\{X(i)\}$, 光滑性好, 数量差异比较小. 这样即可对生成数列进行 GM 建模. 构造数据矩阵 B 及数据向量 y_n

$$B = \begin{bmatrix} -X_1(2) & X_2(2) & \cdots & X_5(2) \\ -X_1(3) & X_2(3) & \cdots & X_5(3) \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ -X_1(27) & X_2(27) & \cdots & X_5(27) \end{bmatrix},$$

式中, $X_1^{(k)} = 0.5X_1^{(1)}(k-1) + 0.5X_1^{(1)}(k)$ ($k = 2, 3, \dots, 27$) 是数列 $\{X_1^{(1)}(i)\}$ 的均值, 其中 $\{X_1^{(1)}(i)\}$ 为生成数列第一列数 $\{X_1(i)\}$, 即浮游植物的一次累加生成数列. 数据向量 y_n 为

$$y_n = [X_1^{(2)}, X_1^{(3)}, \dots, X_1^{(27)}],$$

计算 $B^T B$ 和 $B^T y_n$, 再计算参数列

$$\hat{\alpha} = (B^T B)^{-1} B^T y_n = [a, b_1, b_2, b_3, b_4]$$

可得出 6 个 $GM(1, N)$ 灰差分模型

$$\hat{X}(k) + aX_1(k) = b_1X_2(k) + \dots + b_4X_5(k),$$

4 模型结果

设模型值为 \hat{y} , 即 $\hat{y} = \hat{X}(k)$, 则可表示为:

$$\hat{y} = -aX_1(k) + b_1X_2^{(1)}(k) + b_2X_3^{(1)}(k) + b_3X_4^{(1)}(k) + b_4X_5^{(1)}(k),$$

式中, $X_1(k) = 0.5X_1^{(1)}(k-1) + 0.5X_1^{(1)}(k)$, $k = 2, 3, \dots, 27$; X_1 是浮游植物; X_2 是浮游动物; X_3 为溶解氧; X_4 为铁; X_5 为锰. 表 1 给出模型的参数值.

表 1 3 个站位、6 个层次的模型参数值

	b	b_1	b_2	b_3	b_4
S_1 站表层	0.179	1.198	-1.546	-1.942	-1.240
S_1 站底层	1.106	4.873	1.732	0.396	-1.022
S_2 站表层	0.367	3.761	1.382	-0.658	-0.298
S_2 站底层	0.457	0.630	2.506	-2.052	-0.549
S_3 站表层	-0.341	0.401	0.834	-1.362	0.629
S_3 站底层	0.951	-0.271	3.571	-3.431	-0.699

生成数列的模型值需还原后, 即进行 2 次累减生成, 再乘以平均值, 则可得到原始数列的模型值 (\hat{X}_0) 和实测值 (X_0) 如图 1 所示. 图中, 纵坐标为浮游植物的种群密度 (10^8 个/ m^3), 横坐标为时间.

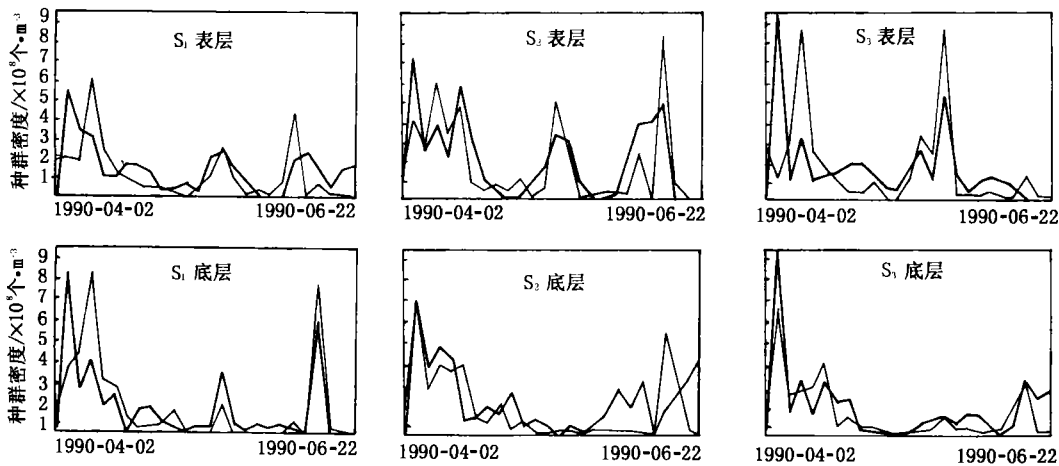


图 1 浮游植物的实测值与模型的计算值比较
细线为实测值, 粗线为计算值

由图 1 看出, 虽然 6 个 GM 模型的模拟值还存在一定的误差, 但其模拟值与实测值比较能出现很好的对应峰, 这与浮游植物的大量增殖相一致, 在预测上有较高的参考价值. 从灰关联分析可以得到浮游动物、铁、锰和溶解氧对浮游植物的增殖有着密切关系, 且具有同步

升降的变化规律.

5 讨论

浮游动物以浮游植物为食, 其数量变化与浮游植物的数量变化有着密切的联系. 浮游植物大量增殖时即发生赤潮, 浮游动物的数量也随之迅速增长; 发生赤潮后, 浮游植物大量死亡, 浮游动物的数量也随之逐渐减少. 此外, 浮游动物的数量呈现明显的分层现象, 表层多于底层.

赤潮期间, 溶解氧的含量达到峰值; 赤潮过后, 赤潮生物种大量死亡, 在有机质分解过程中消耗海水中的大量溶解氧, 使其含量大大降低. 这也是引起赤潮发生后浮游动物数量减少的重要原因.

微量元素铁和锰是影响初级生产力的重要因子, 它们是一些酶的激活剂. 从灰关联分析中得到: 铁锰因子对浮游植物的增殖有着重要影响. 大鹏湾海域水中铁锰含量垂直分布不均匀, 表层高于底层; 在赤潮发生期间, 铁锰含量变化幅度大, 且速度快.

参考文献

- 1 齐雨藻, 黄伟建. 大鹏湾夜光藻种群动态时间序列模型. 暨南大学学报, 1991, 12 (3): 96~103
- 2 黄伟建, 齐雨藻. 大鹏湾夜光藻种群动态机理模型辨识. 生态学报, 1992, 12 (3): 206~212
- 3 黄伟建, 齐雨藻. 大鹏湾海水理化因子对夜光藻生长影响的因子分析. 海洋通报, 1993, 12 (2): 17~22
- 4 黄伟建, 齐雨藻. 大鹏湾反曲原甲藻种群动态机理模型辨识. 应用生态学报, 1995, 6 (1): 81~86
- 5 黄伟建, 齐雨藻. 大鹏湾夜光藻种群密度变化率模型研究. 海洋与湖沼, 1996, 27 (1): 29~34
- 6 易德生, 郭 萍编著. 灰色理论与方法. 北京: 石油工业出版社, 1992
- 7 邓聚龙. 灰色控制系统. 武汉: 华中理工大学出版社, 1985
- 8 黄伟建, 齐雨藻, 韩博平. 大鹏湾海水理化因子对夜光藻增殖的灰关联分析. 应用与环境生物学报, 1996, 2 (2): 115~118
- 9 Huang Weijian, Qi Yuzao. The influence of environmental factors on the growth of *Noctiluca scintillans* in Dapeng Bay, South China Sea. Intern. J. Eco. Environ. Sci., 1992, (18): 147~153

Analysis of grey model between seawater environmental essential factors and the phytoplankton dynamics in the Dapeng Bay, South China Sea

Huang Weijian,¹ Qi Yuzao,¹ Han Boping,¹ Chen Shurong¹

1. Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632

Abstract — The relation between the dynamics of phytoplankton and essential environmental factors of seawater has been studied. According to the comparisons between environmental factors of seawater, and on the basis of mathematical space theory and the four principles of normalization, even symmetry, globality and proximity, smoothing discrete function, the grey derivative and the grey differential equation have been defined, the grey models and relation to the factors (the seawater physical and chemical factors) are estimated. The calculated results indicate that zooplanktons, Mn, Fe and dissolved oxygen are the most important factors.

Key words Grey model, phytoplankton, Dapeng Bay.