

底栖生物生物量周年变化动态模型^{*}

黄 勃¹ 刘瑞玉²

(¹海南大学, 海口 570228)

(²中国科学院海洋研究所, 青岛 266071)

大型底栖动物生态的研究主要集中在底栖动物的种类组成、分布、有机物含量和多样性指数等方面(刘瑞玉等, 1992; 余日清, 1995; 李荣冠等, 1995)。大型底栖动物有些种类具有重要经济价值, 如虾蟹类; 有些种类是经济类动物的主要饵料, 如多毛类的沙蚕; 有些种类是环境的指示生物, 如小头虫等。因此, 研究底栖生物生物量与环境因子之间的定量关系, 以及底栖生物生物量变化的数学模型的建立, 对海洋水产增殖和海洋环境学具有重要意义。

一、基本原理与理论推导

摆动差分模型是建立在邓聚龙(1985)静态 GM(0-N)模型基础上的, GM(0-N)模型表达式为: $X^{(1)}_t = b_1 X^{(1)}_{t-1} + b_2 X^{(1)}_{t-2} + \dots + b_{N-1} X^{(1)}_{t-N+1} + \alpha_t$

GM(0-N)模型与线性回归模型及 ARMA模型表达形式相似, 但有本质上区别。

统计回归模型: $X_t = \rho_2 X_{t-2} + \rho_3 X_{t-3} + \dots + \rho_N X_{t-N} + \epsilon_t$

ARMA模型: $X_t = \Phi_1 X_{t-1} + \Phi_2 X_{t-2} + \dots + \Phi_p X_{t-p} + \alpha_t$

其区别表现在: ①建模的对象不一样, 前者建立在生成数列基础之上, 后者建立在原始数据基础之上; ②对原始数据性质的要求不一样, 统计回归模型要求残差量 ϵ 是零均值的独立序列, ARMA模型要求 α 是白噪声, 而 GM(0-N)模型无需预先知道各时间序列之间是否相互独立, 模型是对不同变量的时间序列在某个点的线性关系的量化, 模型的成功与否通过残差检验, 为了提高模型精度与对残差作出解释, 文章提出摆动差分模型, 其推导过程如下:

令残差 $\rho^{(0)}(t) = X^{(0)}(t) - X^{(0)}$, t 一次累加后得 $\rho^{(1)}(t)$, 对 $\rho^{(1)}(t)$ 进行离散富氏变换, 当 $t = 2^m$ 时, 用快速富氏变换法, 当 $t \neq 2^m$ 时用 Goertzel 递推法分别求出富氏系数 a_i b_i 据此可以得到表达式: $\rho^{(1)}(t) = a + \sum (a_i \cos \theta_i + b_i \sin \theta_i)$ 其中 $i=1, 2, 3, \dots, t$ 当 t 为偶数时 $K=t/2$ $i=1, 2, 3, \dots, K$ 当 t 为奇数时, $K=(t-1)/2$, $\theta_i=(2\pi i)/t$, 因此差分摆动模型

* 本课题为海南优秀中青年科研和教学奖励基金资助项目, HNY02号。

通讯作者: 黄勃 男, 研究员。现从事海洋水产养殖, 海洋生物学等研究。

收稿日期: 2004年 9月 6日。

为: $X_i^{(1)} = b_2 X_2^{(1)} + b_3 X_3^{(1)} + \dots + b_{n-1} X_{n-1}^{(1)} + \sum (a_j \cos \theta_i + b_j \sin \theta_i) + a_i$

统计回归模型的残差 ϵ 与 ARMA模型的 α 需满足前述条件, 但 GM(0 N)模型的残差 ρ 不需满足相似的条件, 若数据足够多时, 可求出 ρ 的谱密度, 分析其变化规律, 原利用相关分析, 找出造成 ρ 变化的原因; 若数据不多时, 通过关联度分析找出引起 ρ 变化的各种因素的主次顺序, 从而对残差序列进行量化。

二、结果与讨论

本研究运用 1981年海岸带调查底栖生物部分的数据 (这里主要指大型底栖无脊椎动物), 其中包括多毛类环节动物、甲壳动物、软体动物和棘皮动物。胶州湾的底栖生物以多毛环节动物种数最多, 共 156种, 软体动物在胶州湾全年内共采到 94种, 在底栖生物组成中占 28.5%, 全年内以菲律宾蛤仔生物量最高, 也是整个底栖生物生物量最高的种。甲壳类在采泥样品中总种数少于多毛类和软体动物而居第三位, 计 66种。棘皮动物在胶州湾种数不多, 共采到 14个种, 棘皮动物一个突出的特点是各站各月取样出现的种数比较稳定, 几乎无多大变化。因此, 在以上四类群底栖生物生物量中共有 330个物种, 基本能反映底栖生物的全貌。

1. 底栖生物与非生物环境因子的关联分析

底栖生物与非生物环境因子的关系, 拟选底层水温、盐度、溶解氧、底层有机质 (包括溶解有机质、颗粒有机质)、底层总氮、底层磷酸盐及底层 pH 个环境因子通过关联度分析, 其关联度为: $r(\text{温度}) = 0.89 > r(\text{有机质}) = 0.88 > r(\text{磷酸盐}) = 0.75 > r(\text{总氮}) = 0.70 > r(\text{溶解氧}) = 0.58 > r(\text{盐度}) = 0.55$ 。关联度数据说明底层水温的变动与底栖生物生物量的变动关系最密切, 次之为海水中有有机质含量。周年内温度的变化引起底栖生物生物量变化是其进化过程中适应环境的长期结果, 而底层海水中有有机质是许多滤食性底栖生物获得饵料来源的途径之一, 底层海水中有有机质含量与沉积物中有有机质含量常有一种动态平衡, 即底层海水中有有机质含量与沉积物中有有机质含量有关, 许多底层生物直接吞食沉积物中有有机质。底层海水中总氮含量及磷酸盐含量与底栖生物生物量的变化关系不大。盐度这一环境因子在非生物环境因子讨论时, 发现它周年内数量变动不大; 溶解氧与底栖生物生物量变化关系很弱, 是因为胶州湾海水溶解氧含量充足。

2. 底栖生物生物量差分摆动模型的建立

从关联序分析可知温度是影响胶州湾底栖生物数量变动的主要环境因子, 底栖生物 $X_i(K)$ 与底层水温 $X_5(K)$ 关系的数学模型如下:

$$X_i(K) = 2.740\,296 X_5(K) + 58.178\,34 + \sum (a_j \cos \theta_i + b_j \sin \theta_i) \quad (1)$$

$$a_j = -38.971\,100\,0 \quad -31.517\,910\,0 \quad -25.297\,890\,0 \quad -29.496\,220\,0 \\ -33.428\,490\,0 \quad 4.583\,346\,E-001$$

$$b_j = -11.412\,210\,0 \quad -2.586\,694\,0 \quad -9.11\,400\,630 \quad -4.500\,117\,0 \quad 19.019\,180\,0 \\ 0.000\,000\,0$$

$$\theta = 2\pi \cdot i/N, \quad i=1, \dots, N, \quad N=12$$

底栖生物与生物环境因子的关系主要体现在吞食沉积物中有机质 ($X_1(K)$)的同时, 被肉食性鱼类 ($X_3(K)$)、底栖生物食性鱼类 ($X_2(K)$)所食, 其灰差分模型为:

$$X_1(K)+0.1287842Z_1(K)=100.0625X_2(K)-228.9063X_3(K)+3.355891\times10^{-4}X_4(K)+4.033058+\sum(a_j\cos\theta_i+b_j\sin\theta_i)\tag{2}$$

$a_j=-4.283756E-001\quad 9.929612\ 0\quad 6.750198\ 0\quad 4.762065\ 0\quad 3.448867\ 0$
 $-1.743558\ 0$
 $b_j=-3.647038\ 0\quad 3.650911E-002\quad -9.081058\ 0\quad -3.222981\ 0\quad -17.836810\ 0$
 $0.000000\ 0\quad \theta_i=2\pi\ i/N\quad i=1\ 2\ \dots\ N\quad N=12$ 模型值与实测值误差 $<0.01\%$

3. 底栖生物与环境因子变动的综合模型

综合考虑上述三个生物环境因子及水温的变动对底栖生物生物量变化的影响, 建立数学模型

$$X_1(K)+0.6296997Z_1(K)=-287.9375X_2(K)+455.5X_3(K)+4.004538\times10^{-4}X_4(K)+1.998047X_5(K)\tag{3}$$

模型值.....	实测值.....	误差.....
$X_0(2)=50.5316\dots\dots$	51.49.....	1.861327%
$X_0(3)=58.85806\dots\dots$	60.60.....	2.8745%
$X_0(4)=68.98497\dots\dots$	68.98666.....	0.002455149%
$X_0(5)=82.25723\dots\dots$	75.38666.....	-9.113781%
$X_0(6)=93.27142\dots\dots$	91.07666.....	-2.409798%
$X_0(7)=103.7999\dots\dots$	111.29.....	6.730224%
$X_0(8)=110.6387\dots\dots$	105.2633.....	-5.106656%
$X_0(9)=104.2416\dots\dots$	97.83667.....	-6.54653%
$X_0(10)=80.72168\dots\dots$	74.55.....	-8.278585%
$X_0(11)=51.84354\dots\dots$	61.7733.....	16.07456%
$X_0(12)=41.43671\dots\dots$	30.09833.....	-37.67112%

底栖生物生物量与温度的关系模型及与生物环境因子的关系模型的建立意义在于只要知道温度或有关生物因子, 就能推算底栖生物生物量的多少, 与综合模型相比, 为环境临测及底栖生物资源量的估算提供简便的方法。由关联序分析及综合模型 (3)可知模型 (1)的摆动部分是由于未包含底栖生物食性鱼类、肉食性鱼类及有机质环境因素造成, 模型 (2)的差分摆动部分是由于未包含水温造成的。

参 考 文 献

邓聚龙. 1985. 灰色系统 (社会、经济). 北京: 国防工业出版社. 25~106
黄勃, 刘瑞玉, 崔玉珩等. 1993. 专家系统开发工具 (TUL语言)与海洋生物学研究. 海洋科学, 5: 15~16
李荣冠, 江锦祥. 1995. 大亚湾埔渔洲红树林大型底栖生物生态研究. 中国红树林研究与管理. 北京: 科学出版社. 140
刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山等. 1986. 黄海、东海底栖生物的生态特点. 海洋科学集刊, 27: 153~173
刘瑞玉, 崔玉珩, 徐凤山等. 1992. 胶州湾大型底栖生物生态研究. 胶州湾生态学和生物资源. 北京: 科学出版社. 223

- 项静恬. 1991. 数字时间序列的频域分析. 北京: 气象出版社, 567~579
- 余日清. 1995. 深圳福田红树林大型底栖动物的种类组成研究. 中国红树林研究与管理. 北京: 科学出版社, 132~135
- Deng Ju ong. 1982. Control problems of grey systems. Systems and Control Letters. **3**(5): 285~294
- Hannon B, et al. 1989. A seasonal analysis of the Southern North Sea ecosystem. Ecology. **70**(6): 1916~1934
- Haus M. 1990. Ecosystem modeling. Science or technology. Journal of Hydrology (Amsterdam). **116**(1~4): 25~34
- Michael Becka Wolf and Urfer. 1996. Statistical aspects of pollution toxicokinetics. Environmental and Ecological Statistics. **3**: 51~64

Macrobenthic Biomass Annual Dynamic Models in Jiaozhou Bay

HUANG Bo LIU Ruiyi

(¹ Hainan University, Haikou 570228)

(² Institute of Oceanology, Chinese Academy of Sciences, Qingdao 266071)

ABSTRACT

Based on GM(0-N) model and statistical theory, a new model was developed. It is shown below: $X_i^{(1)} = b_2 X_2^{(1)} + b_3 X_3^{(1)} \dots + b_{N-1} X_{N-1}^{(1)} + \sum (a_j \cos \theta_j + b_j \sin \theta_j) + a_i$

The macrobenthic annual biomass kinetic model in Jiaozhou Bay is established by using the GM(0-N-σ) model follow as:

$$X_1(K) = 2.740296 X_2(K) + 58.17834 + \sum (a_j \cos \theta_j + b_j \sin \theta_j) \quad (1)$$

$$a_j = -38.9711000 \quad -31.5179100 \quad -25.2978900 \quad -29.4962200 \\ -33.4284900 \quad 4.583346E-001$$

$$b_j = -11.4122100 \quad -2.5866940 \quad -9.11400630 \quad -4.5001170 \\ 19.0191800 \quad 0.0000000$$

$$\theta = 2\pi \cdot j/N, \quad j=1, \dots, N, \quad N=12$$

$$X_1(K) + 0.1287842 Z_1(K) = 100.0625 X_2(K) - 228.9063 X_3(K) + \\ 3.355891 \times 10^{-4} X_4(K) + 4.033058 + \sum (a_j \cos \theta_j + b_j \sin \theta_j) \quad (2)$$

$$a_j = -4.283756E-001 \quad 9.9296120 \quad 6.7501980 \quad 4.7620650 \quad 3.4488670 \quad -1.7435580 \\ b_j = -3.6470380 \quad 3.650911E-002 \quad -9.0810580 \quad -3.2229810 \\ -17.8368100 \quad 0.0000000$$

$$\theta_j = 2\pi \cdot j/N, \quad j=1, 2, \dots, N, \quad N=12$$

The total difference (the observed value minus the modeled value) < 0.01%. The GM(0-N) model of macrobenthic annual biomass kinetics are also established. It is:

$$X_1(K) + 0.6296997 Z_1(K) = -287.9375 X_2(K) + 455.5 X_3(K) + \\ 4.004538 \times 10^{-4} X_4(K) + 1.998047 X_5(K) \quad (3)$$

Where X_1 is biomass of benthos; X_2 : biomass of zoobenthos feeders; X_3 : nekton feeders; X_4 : contents of organic matter is sediment; X_5 : water temperature.