

## 研究简报

## 鄱阳湖水环境要素与叶绿素- a 的灰关联模型{ GM(1, n) }

黄伟建<sup>1</sup> 陈菊芳<sup>1</sup> 徐 宁<sup>1</sup> 江天久<sup>1</sup>骆育敏<sup>1</sup> 黄贯虹<sup>2</sup> 齐雨藻<sup>1</sup>

(1. 暨南大学水生生物研究所, 广州 510632; 2. 广东民族学院计算机科学系, 广州 510633)

## ANALYSIS OF GREY MODELS { GM(1, n) } BETWEEN LAKEWATER ENVIRONMENTAL ESSENTIAL FACTORS AND THE INCIDENCE OF CHLOROPHYLL- a IN POYANGHU LAKE, CHINA

HUANG Wei-jian<sup>1</sup>, CHEN Ju-fang<sup>1</sup>, XU Ning<sup>1</sup>, JIANG Tian-jiu<sup>1</sup>,LUO Yu-min<sup>1</sup>, HUANG Guang-hong<sup>2</sup> and QI Yu-zao<sup>1</sup>

(1. Institute of Hydrobiology, Jinan University, Guangzhou 510632; 2. Department of Computer Science and Information Management, Guangdong Institute for Nationalities, Guangzhou 510633)

关键词: 灰模型; 叶绿素- a; 鄱阳湖; 环境因子

Key words: Grey model; Chl- a; Poyanghu Lake; Environmental factors

中图分类号: Q178.1 文献编码: A 文章编号: 1000- 3207(2001)04- 0416- 04

运用灰色系统理论对淡水湖泊鄱阳湖中叶绿素- a 与理化因子的关系进行研究, 用灰关联理论研究理化因子对叶绿素- a 数量变动影响的排列顺序, 确定有效因子; 利用有效因子进一步采用灰色模型<sup>[1, 2]</sup>对叶绿素- a 数量变动进行建模研究。

## 1 材料与方法

1.1 样品的采集与分析方法 所有数据如表 1 所示。采样地理位置、采样时间、采样方式和数据的分析方法见参考文献[3]。

1.2 灰关联分析 以叶绿素- a (Chl- a,  $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) 为母序列{  $X_0(t)$  }, 以湖水的温度 T、水位、蒸发量、总磷 TP、总氮 TN、氨盐  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、亚硝酸盐  $\text{NO}_2\text{-N}$ 、硝酸盐  $\text{NO}_3\text{-N}$ 、溶解氧 DO、高锰酸盐指数  $\text{COD}_{\text{mn}}$ 、生化需氧量  $\text{BOD}_5$ 、悬浮物 SS、透明度 SD 为子序列{  $X_i(t) (i = 1, 2, \dots, 13)$  }。在时刻  $t = k$  时, 经数据变换的母数列{  $X_0(k)$  }与子数列{  $X_i(k)$  }的关联系数  $\zeta_{0i}(k) (i = 1, 2, \dots, 13)$  用下式计算:

收稿日期: 2000- 05- 18; 修改日期: 2001- 02- 20

基金项目: 广东省高教厅资助项目

作者简介: 黄伟建(1959-), 男, 安徽省当涂县人, 主要从事水生态学和水环境保护的研究

表 1 鄱阳湖的数据

Tab. 1 The data of Poyanghu Lake

月 份	水温 ℃	水位 m	蒸发量 10 <sup>8</sup> m <sup>3</sup>	TP mg. L <sup>-1</sup>	TN Mg. L <sup>-1</sup>	NH <sub>4</sub> - N mg. L <sup>-1</sup>	NO <sub>2</sub> - N mg. L <sup>-1</sup>	NO <sub>3</sub> - N mg. L <sup>-1</sup>	DO mg. L <sup>-1</sup>	COD <sub>mn</sub> mg. L <sup>-1</sup>	BOD <sub>5</sub> mg. L <sup>-1</sup>	SS mg. L <sup>-1</sup>	SD cm	CHL- a mg. m <sup>-3</sup>
1	4.6	10.52	0.05	0.112	1.137	0.212	0.001	0.145	10.8	1.5	1.6	19.8	64	1.012
2	6.0	11.34	0.11	0.098	1.160	0.302	0.001	0.261	10.7	2.2	2.4	18.1	62	1.293
3	10.8	12.44	0.38	0.119	0.771	0.153	0.001	0.268	10.5	1.9	2.7	134.4	55	0.879
4	16.9	13.80	1.28	0.130	0.668	0.127	0.001	0.212	8.4	2.1	1.6	90.1	41	0.539
5	21.9	15.22	2.46	0.059	0.980	0.127	0.002	0.225	7.7	2.1	2.9	60.8	46	1.051
6	25.3	16.73	3.42	0.104	0.558	0.139	0	0.385	6.3	2.2	2.2	23.7	54	2.171
7	29.1	17.59	5.22	0.102	0.862	0.086	0.001	0.099	6.4	2.9	2.5	17.9	50	2.098
8	29.0	15.55	5.61	0.127	0.455	0.230	0.006	0.133	6.9	2.0	3.4	13.4	89	2.026
9	24.5	15.94	3.93	0.048	0.583	0.018	0.006	0.222	6.8	2.2	1.9	16.8	99	2.890
10	18.9	14.74	2.38	0.093	0.654	0.048	0.033	0.196	8.1	2.1	2.6	19.6	82	0.764
11	12.6	12.54	0.49	0.079	0.549	0.071	0.003	0.103	9.1	1.7	1.5	19.4	64	0.534
12	6.9	10.73	0.10	0.096	0.494	0.114	0.004	0.163	11.3	1.6	2.0	68.3	70	0.469

$$\zeta_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + p \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + p \Delta_{\max}}$$

式中:  $\Delta_{0i}(k)$  为  $k$  时刻两个序列的绝对差, 即  $\Delta_{0i}(k) = |X_0(k) - X_i(k)|$ ;  $\Delta_{\max}, \Delta_{\min}$  分别为各个时刻的绝对差中的最大值与最小值, 因为进行比较的序列在经数据变换后互相相交, 所以一般  $\Delta_{\min} = 0$ ;  $p$  为分辨系数, 其作用在于提高关联系数之间的差异显著性,  $p \in (0, 1)$ 。本文取  $p = 0.1$ 。

两序列的关联度可用两两比较序列各个时刻的关联系数之平均值计算(反映全过程的关联程度)。即

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^N \zeta_{0i}(k)$$

式中:  $\gamma_{0i}$  为子序列  $i(i = 1, 2, \dots, 13)$  与母序列  $\{X_0(k)\}(k = 1)$  的关联度;  $n$  为序列的长度, 即数据个数。在将数据代入运算时, 首先将数据初值化或均值化处理。设原始数列  $X(0) = \{X(0)(1), X(0)(2), \dots, X(0)(n)\}$  得其平均值为  $\bar{X}(0)$ ,

$$\bar{X}(0) = \frac{1}{n} \cdot \sum_{k=1}^n X(0)(k)$$

对  $X(0)$  作均值化处理, 得  $Y_1(0)$  为:  $Y_1(0) = \{Y_1(0)(1), Y_1(0)(2), \dots, Y_1(0)(n)\} = \left\{ \frac{X(0)(1)}{\bar{X}(0)}, \frac{X(0)(2)}{\bar{X}(0)}, \dots, \frac{X(0)(n)}{\bar{X}(0)} \right\}$

由于关联度不是惟一的, 所以关联度本身并不是关键, 而各关联度大小的排列顺序即关联序则更为重要。

结果如表 2 所示, 均值化处理后所得因子间关联度; 各因子对叶绿素- a 的浓度影响大小的排列顺

表 2 鄱阳湖各生态因子对叶绿素- a 的初值化关联度和排列顺序

	水温	水位	蒸发量	TP	TN	NH <sub>4</sub> - N	NO <sub>2</sub> - N	NO <sub>3</sub> - N	DO	COD <sub>mn</sub>	BOD <sub>5</sub>	SS	SD
叶绿素 a 均值化	0.678	0.636	0.589	0.588	0.533	0.568	0.501	0.597	0.522	0.643	0.641	0.465	0.641
排列顺序	1	5	7	8	10	9	11	6	12	2	3	13	4

序是: 温度、高锰酸盐指数、生化需氧量、透明度、水位、硝酸盐、蒸发量、总磷、氨盐、总氮、亚硝酸盐、溶解氧、悬浮物。

1.3 模型辨识和建模依据

通过灰关联分析, 提取建模所需变量。从文献[1—2]可知: 对鄱阳湖叶绿素- a 数量变动起主要影响的因子有: 温度、高锰酸盐指数、生化需氧量、透明度, 所以以 Chl. - a 浓度作为母序列 $\{X^{(0)}(t)\}$ ; 以 T、COD<sub>mn</sub>、BOD<sub>5</sub>、SD 为子序列 $\{X^{(i)}(t)\} (i= 1, 2, 3, 4)$ 构造模型。本文对平均值后的数列记作 $\{X(j), j= 1, 2, \dots, \dots, 12\}$  $\{X(j)\}$ 光滑性好、数量差异比较小, 可对其进行 GM(1, n) 建模。首先构造矩阵 B 及数据向量 Y<sub>n</sub>:

$$B = \begin{bmatrix} -X_1(2), & X_2(2), & \dots, & X_5(2) \\ -X_1(3), & X_2(3), & \dots, & X_5(3) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ -X_1(12), & X_2(12), & \dots, & X_5(12) \end{bmatrix}$$

式中:  $X_1(k) = 0.5X_1^{(1)}(k-1) + 0.5X_1^{(1)}(k) (k= 2, 3, \dots, 12)$  是数列 $\{X_1^{(1)}(j)\}$ 的均值, 其中 $\{X_1^{(1)}(j)\}$ 为生成数列第一列数 $\{X_1(j)\}$ , 即分别是叶绿素- a 数量的一次累加生成数列。而 Y<sub>n</sub>的计算公式为:

$$Y_n = [X_1(2), X_1(3), \dots, \dots, X_1(12)]$$

计算  $B^TB$  和  $B^TY_n$ , 则模型的参数估计值为:

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

所以可以列出 GM(1, N) 灰差分模型:

$$\dot{X}(k) + aX_1(k) = b_1X_2(k) + b_2X_3(k) + b_3X_4(k) + b_4X_5(k)$$

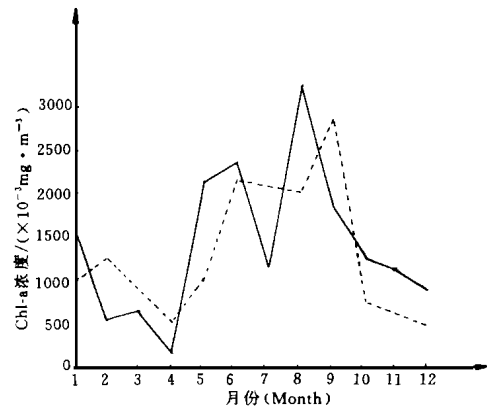


图 1 测量值和模型的模拟值的比较

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

$$\begin{aligned} y = & -aX_1(k) + b_1X_2(k) + b_2X_3(k) \\ & + b_3X_4(k) + b_4X_5(k) \end{aligned}$$

这里  $X_1$  为叶绿素- a 浓度、 $X_2$  为温度、 $X_3$  为高锰酸盐指数、 $X_4$  为生化需氧量、 $X_5$  为透明度。在运算时, 为了作图方便将叶绿素- a 浓度的数据放大 1000 倍, 运算结果为:

$$\begin{aligned} y = & -1.9559 * X_1(k) + 2.9362 * X_2(k) \\ & - 3.2538 * X_3(k) + 1.70961 * X_4(k) \\ & + 0.5044 * X_5(k) \end{aligned}$$

生成数列的模型值需还原, 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。对原始数列的模型值( $\hat{X}_0$ )和实测值( $X_0$ )作图, 纵坐标为叶绿素- a 浓度, 横坐标为月份。

在图 1 中, 虽然 GM(1, n) 模型的计算值在拟合时存在一定的误差, 但它们能够出现较好的对应峰, 可以说明模型的有效性, 在预测上有较高的参考价值。

2 结果与讨论

从灰色理论的角度来分析, 两者的不同原因是序列不同, 所以关联度不同。这体现了关联空间的整体性。整体性表明: 当关联比较是在一定的环境中进行时, 不同参考序列的取舍意味着环境不同, 因此比较结果不一定符合对称原理, 因为因素之间的相互影响并不是等价可逆的。各湖泊的研究结果应有差异, 鄱阳湖的研究结果是: 各因子对叶绿素- a 浓度的数量变化影响从数据的差异进行判断有差别, 温

- 度、高锰酸盐指数、生化需氧量、透明度因子对叶绿素- a 影响较为明显。属于“优势”因素。
- 2.1 无论在海洋、河流或湖泊, 温度对生物的生长都是一个非常有效的控制因子。所以鄱阳湖的温度对叶绿素- a 浓度数量变化的影响排在第一位, 在 0—30℃ 的范围内, 叶绿素- a 浓度基本上随着温度的升高而升高。
- 2.2 高锰酸盐指数对叶绿素- a 浓度数量变化的影响排在第二位, 它的影响是负面, 当高锰酸盐指数偏高时, 叶绿素- a 浓度应向下调整; 高锰酸盐指数偏低时, 可刺激叶绿素- a 浓度升高。
- 2.3 生化需氧量对叶绿素- a 浓度数量变化的影响排在第三位, 它的影响是正面的。
- 2.4 透明度对叶绿素- a 浓度数量变化的影响排在第四位, 湖泊的透明度越大, 叶绿素- a 浓度上升的越快和越高。

参考文献:

[ 1 ] 易德生, 郭萍编著. 灰色理论与方法[ M ]. 北京: 石油工业出版社, 1992

[ 2 ] 邓聚龙. 灰色控制系统[ M ]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1985

[ 3 ] 黄伟建等. 大鹏湾海水环境要素与浮游植物增殖的灰色模型研究[ J ]. 海洋学报( 英文版 ), 1999, 18( 1 ): 103—108