

油松毛虫发生的灰色预测模型*

屠泉洪

夏乃斌

邵海荣

(北京林业大学)

摘 要

本文应用灰色系统(grey system)理论建立油松毛虫越冬幼虫(hibernating larvae of Chinese-pine caterpillar)种群数量的灰色方程,利用上一年上树(或下树)平均虫口数预测上一年上树(或下树)平均虫口数,或利用上一年下树的平均虫口数预测下一年上树的平均虫口数,所建模型经检验预报精度在90%以上。

关键词 油松毛虫, 灰色系统, 模型。

油松毛虫越冬幼虫是跨年度的关键虫态,它既是上一年度种群数量变动的“暂时结束”,又是下一年度种群数量变动的重新开始,在种群数量变动的时间序列过程中,它起着“承上启下”的作用。根据该虫态具有转移生境的特性,在生物学上将其整个越冬过程分解为上一年越冬幼虫下树过程和下一年越冬幼虫上树的过程;从数学上视其整个越冬过程为一灰色系统。如果把越冬幼虫的下树数量视为输入,则下一年越冬幼虫的上树数量即为输出,据其输入和输出两者之间的数量关系,利用灰色系统(grey system)理论建立测报模型,对种群数量变动及时地给出预报,它对控制种群数量变动和适时地进行防治均具有重要意义。

长期以来,害虫管理中的测报建模的研究始终是一个中心课题,人们常采用回归建模,它需要积累大量的资料,通过筛选,从中找出“最优”回归模型,由于资料调查一般较困难及误差的存在,往往使测报模型的精度较低,而灰色系统建模正好能克服上述的缺点,它不需要调查环境因子,只要有输入输出的数量就能建模^[1],所以在实际应用中带来了方便。

灰色系统理论,近几年发展迅速,已广泛地应用于国防、工业、农业、社会、经济、气象等领域^[1-3],但在林业害虫管理中还未见报道,笔者作一探索。

一、材料和方法

1. 标准地概况 根据油松毛虫越冬幼虫的数量和分布,我们于1984—1986年相继在密云县五座楼林场和乔麦峪林场各选一块有代表性的油松纯林作为标准地。松林面积约50亩与30亩,根据坡向坡位对标准地又划分为小区,以示油松毛虫越冬幼虫数量发生的不同生境条件,林地海拔110米;油松生长良好,22年生,郁闭度0.7,平均树高3.5米。在五座楼林场标准地采用棋盘式抽样方法,以株为抽样单元,各年分别抽取111株、149株、149株,样株均匀地分布在标准地内,在乔麦峪林场标准地用整片抽样,共9块144株,每株逐一编号。

2. 调查方法 为了准确地获得油松毛虫越冬幼虫每天上树或下树的数量,我们用围塑

* 本课题是“六五”国家攻关项目,在张执中教授主持下完成,在调查过程中得到密云县五座楼林场、乔麦峪林场及本校毕业班学生吴刚、纪杰的帮助,在此一并致谢。

本文于1989年2月23日收到。

料环, 涂虫胶等阻隔方法, 从越冬幼虫上树(或下树)开始到结束, 每天上午 9:00—11:00, 下午 2:30—5:00, 定时逐株调查记录幼虫上树(或下树)的数量。

3. 建模机理 设 $\{X^{(0)}(k)\}$, $k=1, 2, \dots, n$ 为一随机序列, 由于受随机因素的影响, 序列可能出现较大的波动, 灰色系统建模理论就是对波动较大的随机序列作累加处理^[1-6], 得一累加序列(accumulative sequence), 当累加到一定次数以后, 波动减弱, 就可拟合指数型曲线, 即是说用微分方程来描述。

记一次累加序列为: $\{X^{(1)}(k)\} = \{X^{(1)}(k) = \sum_{s=1}^k X^{(0)}(s)\}$, $k=1, 2, \dots, n$ 。GM

(1,1) 模型, 即单序列的一阶线性微分方程为:

$$\frac{dX^{(1)}(t)}{dt} + aX^{(1)}(t) = u, \quad X^{(1)}(0) = X^{(1)}(1)$$

其解形式

$$X^{(1)}(t) = \left[X^{(1)}(0) - \frac{u}{a} \right] e^{-at} + \frac{u}{a}$$

设 $\hat{a}$ 为参数向量, 根据最小二乘法, 得

$$\hat{a} = \left(\frac{a}{u} \right) = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

其中 $Y = (X^{(0)}(2), X^{(0)}(3), \dots, X^{(0)}(n))^T$

$$B = \begin{pmatrix} -\frac{1}{2}[X^{(1)}(2) + X^{(1)}(1)], & | \\ -\frac{1}{2}[X^{(1)}(3) + X^{(1)}(2)], & | \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}[X^{(1)}(n) + X^{(1)}(n-1)], & | \end{pmatrix}$$

二、灰色模型与求解

1. GM(1, 1)模型 (1)用上一年上树平均虫口数预测下一年上树的平均虫口数

两标准地实测平均虫口序列, 记为 $X^{(0)}(k)$: 0.88, 1.83, 1.85, 2.06, 2.97, 4.68 (原始数据均除以 100, 单位头), 一次累加序列为 $X^{(1)}(k)$: 0.88, 2.71, 4.56, 6.62, 9.59, 14.27, 得

$$\hat{a} = \left(\frac{a}{u} \right) = \begin{pmatrix} -0.2885 \\ 0.8694 \end{pmatrix}$$

对方程 $\frac{dX^{(1)}(t)}{dt} + aX^{(1)}(t) = u$ 的解

$$\begin{aligned}
 X^{(1)}(t) &= (0.88 + 3.0135)e^{-0.2885t} - 3.0135 \\
 \text{即 } X^{(1)}(k) &= 3.8935e^{+0.2885(k-1)} - 3.0135, \quad k=1, 2, \dots, 6 \\
 X^{(1)}(k): &0.88, 2.182, 3.920, 6.238, 9.332, 13.461 \\
 \hat{X}^{(0)}(k): &0.88, 1.302, 1.738, 2.318, 3.004, 4.129
 \end{aligned}$$

记模型的残差为 $\varepsilon^{(0)}(k) = X^{(0)}(k) - \hat{X}^{(0)}(k), k=1, 2, \dots, 6$

作一阶残差拟合 $\frac{d\varepsilon^{(1)}(t)}{dt} + a_1\varepsilon^{(1)}(t) = u_1, \varepsilon^{(1)}(0) = \varepsilon^{(0)}(1)$

$$\text{求得 } \hat{a}_1 = \begin{pmatrix} a_1 \\ u_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1.5777 \\ 0.7486 \end{pmatrix}$$

$$\varepsilon^{(1)}(k) = -0.4771e^{-1.5777(k-1)} + 0.4771$$

原有模型的解加上残差函数, 得到系统模型的修正解

$$\begin{aligned}
 X^{(1)}(k) &= 3.8935e^{+0.2885(k-1)} - 0.4771e^{-1.5777(k-1)} - 2.5364 \\
 (k=1, 2, \dots, 6)
 \end{aligned}$$

检验模型精度, 模型还原值与实际值列于下面:

还原值	实测值
$\hat{X}^{(0)}(1) = 0.88$	$X^{(0)}(1) = 0.88$
$\hat{X}^{(0)}(2) = 1.68$	$X^{(0)}(2) = 1.83$
$\hat{X}^{(0)}(3) = 1.83$	$X^{(0)}(3) = 1.85$
$\hat{X}^{(0)}(4) = 2.32$	$X^{(0)}(4) = 2.06$
$\hat{X}^{(0)}(5) = 3.10$	$X^{(0)}(5) = 2.97$
$\hat{X}^{(0)}(6) = 4.13$	$X^{(0)}(6) = 4.68$

按灰色模型的后验差检验方法, $q_k = X^{(0)}(k) - \hat{X}^{(0)}(k), k=1, 2, \dots, 6$, 检验预测值的可信程度, 即

$$S_1^2 = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (X^{(0)}(k) - \bar{X})^2, \quad \bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X^{(0)}(k)$$

$$S_2^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n (q_k - \bar{q})^2, \quad \bar{q} = \frac{1}{n-1} \sum_{k=2}^n q_k$$

$$\text{得精度指标 } C = \frac{S_2}{S_1}, \quad P = p(q_k - \bar{q} < 0.6745S_1)$$

本模型计算结果为:

$$\begin{aligned}
 S_1^2 &= 1.429, \quad S_2^2 = 0.084, \quad \bar{q} = 0.07 \\
 C &= 0.2425 < 0.35, \quad P = 1
 \end{aligned}$$

模型为一级。

用(1)预测1937年上树平均虫口数,取 $k=7$ 得 $\hat{X}^{(0)}(7)=5.1774$,实测值为 $X^{(0)}(7)=4.96$,预报精度为95.6%。

(2)用上一年下树平均虫口数预测下一年下树平均虫口数

实测下树平均虫口序列, $X^{(0)}(k)$:

$$4.27, 6.45, 5.73, 5.54, 6.11, 7.77, (7.48)$$

经计算得

$$\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.05346 \\ 5.32089 \end{pmatrix}$$

$$X^{(1)}(k) = 103.8003 e^{0.05346(k-1)} - 99.5303 \quad (2)$$

$$k=1, 2, \dots, 6.$$

后验差检验:

$$C=0.6, P=0.84$$

预测, $k=7$, $\hat{X}^{(0)}(7)=7.6247$, 实测 $X^{(0)}(7)=7.48$, 预测精度98%。

2. GM(1,2)模型 用上一年下树的平均虫口数预测下一年上树的平均虫口数

实测虫口序列:

$X_1^{(0)}(k)$ (上树平均虫口): 1984年1.76, 1985年2.04, 1986年3.92, (1987年4.96)

$X_2^{(0)}(k)$ (下树平均虫口): 1983年5.86, 1984年6.83, 1985年7.09

GM(1,2)模型

$$\frac{dX^{(1)}(t)}{dt} + aX^{(1)}(t) = bX_2^{(1)}(t), \quad X_1^{(1)}(0) = X_1^{(0)}(1)$$

参数向量

$$\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = (B^T B)^{-1} B^T Y$$

其中

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2}(X_1^{(1)}(2) + X_1^{(1)}(1)), & X_2^{(1)}(2) \\ -\frac{1}{2}(X_1^{(1)}(3) + X_1^{(1)}(2)), & X_2^{(1)}(3) \\ \vdots & \vdots \\ -\frac{1}{2}(X_1^{(1)}(n) + X_1^{(1)}(n-1)), & X_2^{(1)}(n) \end{bmatrix}$$

$$Y = (X_1^{(0)}(2), X_1^{(0)}(3), \dots, X_1^{(0)}(n))^T$$

作一次累加, 求解得:

$$\hat{a} = \begin{pmatrix} a \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -0.6139 \\ 0.020 \end{pmatrix}$$

$$\begin{aligned} X_1^{(1)}(k) &= \left[X_1^{(1)}(0) - \frac{b}{a} X_2^{(1)}(k) \right] e^{-a(k-1)} + \frac{b}{a} X_2^{(1)}(k) \\ &= (1.76 + 0.0326 X_2^{(1)}(k)) e^{0.6139(k-1)} - 0.0326 X_2^{(1)}(k) \quad (3) \end{aligned}$$

模型后验差检验, $S_1^2 = 0.92$ $S_2^2 = 0.614$

得 $C = 0.125$, $P = 1$, 模型为一级

用1986年下树预报1987年上树虫口, 以 $k = 4$, 代入(3)式, 得 $\hat{X}_1^{(0)}(4) = 4.6749$, 而 $X_1^{(0)}(4) = 4.96$, 预报精度94.25%。

若用(1)、(3)式预报的平均值作为1987年上树虫口预报值则为 $\hat{X}_1^{(0)} = 4.9262$, 精度达99%。

三、结果与讨论

1. 应用灰色系统理论建立种群动态预测模型能取得较好效果, 本文建立的(1)(2)(3)式, 从后验差检验预报精度都是令人满意的。

2. $GM(1,1)$, $GM(1,2)$ 模型在取得新的信息后, 可用新陈代谢模型提高相邻预测值的精度。对残差模型修正后仍不理想可再次进行残差修正, 以提高预测精度。

3. 灰色建模着眼于数量, 要求数据量较少, 具有推广应用前景。若要建立长期的灰色预测模型, 还须积累虫情资料, 方可在生产实践中得到广泛应用。

参 考 文 献

- [1] 邓聚龙著, 1985, 《灰色系统(社会、经济)》第18—42页, 第80—86页, 国防工业出版社。
- [2] 易德生, 1987, 灰色数列预测, 预测杂志, (4), 18—22。
- [3] 张炳祥、罗建军, 1985, 灰色动态模型(GM)在粮食预测中的应用, 系统工程, (4), 36—37。
- [4] 王义刚, 1988, $GM(1,1)$ 的直接建模方法及性质, 系统工程理论与实践, (1), 27—31。
- [5] 罗荣桂、陈伟, 1988, 灰色建模的一点改进与应用, 系统工程理论与实践, (2), 46—52。
- [6] 刘孝贤, 1988, 灰色系统中含有负值项数列的数据提升建模方法, 系统工程理论与实践, (2), 32—35。

GREY MODEL FOR PROJECTING THE BURST OF DENDROLIMUS TABULAEFORMIS TSAI ET LIU

Tu Quanhong, Xia Naibin, Shao Hairong
(Beijing Forestry University)

In this paper, the theory of grey system was applied to set up a grey equation for the population size of the hibernating larvae of *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu, in which the average number of the caterpillar climbing up or down trees in the previous year was used to project that in the next year. The average number of the caterpillar climbing down trees in the previous year alone can also be used to predict the average number of the caterpillar that may climb up trees in the next year. The model set up has been tested to have a forecasting accuracy of higher than 90%.

Key words: *Dendrolimus tabulaeformis* Tsai et Liu, grey system, model.