植物资源与环境 1994，3(1)：27～32
Journal of Plant Resources and Environment

溧阳马尾松年轮与当地作物产量之间关系的初步研究*

夏 冰 贺善安 兰 涛

（江苏省 中国科学院植物研究所，南京 210014）

摘要 江苏溧阳的马尾松（*Pinus massoniana* Lamb.）年轮年表与当地农作物产量间关系的分析表明，作物产量的波动系数可用马尾松年轮年表前一年年轮指数的非线性回归方程来描述，根据该回归方程计算的过去116年的作物产量系数与有关气象灾害文献的历史记载相吻合；同时发现该作物产量系数具一定的周期，因此采用滑动自回归（ARMA）模型对未来10年（1991～2000年）作物产量的波动情况进行了预测。

关键词 年轮分析；作物产量；ARMA；产量预测

A preliminary study on the relationships between tree rings of *Pinus massoniana* Lamb. and local crop yield Xia Bing, He Shan-An and Lan Tao (Institute of Botany, Jiangsu Province and Academia Sinica, Nanjing 210014), *J. Plant Resour. & Environ.* 1994, 3 (1): 27～32

The relationships between the tree ring chronology of *Pinus massoniana* and local crop yield were analyzed by nonlinear step regression model. The estimated yield indices calculated from the model for past 116 years were matched with historical meteonology records, they also showed particular cycle in some degree. The yield indices were modeled successfully by the ARMA, by which the yield indices for the future 10 years (1991～2000) were forecasted.

Key words tree ring analysis; crop yield; ARMA; yield forecast

一、引 言

树木年轮与气候变化之间存在着一定的关系，利用树木年轮生长特性可实现对某范围内过去气候的重建，获得气候的代用资料。同样，作物产量，除了社会发展和其他条件的趋势性影响外，其产量的波动主要受气候波动的影响。我国是一个自然灾害频繁的国家，这种气候波动使作物产量在年度间产生不稳定，无疑给社会和国民经济带来很大影响。能否利用普遍存在的树木年轮来分析或预测作物产量，显然是一件值得尝试的有价值的工作。而且此类研究在国际也不多见[3]。由于历史的原因，1978年以前的作物产量统计数可靠性小，无法使用，而树木年轮资料不仅年代长且可靠性大。以现有作物产量的年轮资料为依据建立统计模型来分析过去作物产量的变化并预测未来作物产量的波动是本文的目的所在。

收稿日期 1993-10-25
* 江苏省科委项目90247。 黄致远、杨开红、徐建华同志协助野外取样，谨致谢意。

二、材料和方法

所用年轮年表为取自江苏省溧阳的马尾松(*Pinus massoniana* Lamb.)。取样地马尾松片林有20多株，树龄近百年，高约20 m。取回的芯样经打磨定年后测定年轮宽度，得各芯样年轮宽度系列。对各年轮宽度系列进行标准化处理，得平均年轮宽度系列，简称年轮年表。年表长度为118年(1872～1990)。

溧阳县1978～1990年的作物(包括水稻和小麦)平均产量(kg/亩)由南京市统计局提供。

将1978～1990年的马尾松年轮年表记为SXii；其前1年和前2年的前期生长量分别记为SXi1、SXi2；1978～1990年溧阳县的作物平均产量记为C。为剔除作物平均产量中非气候因素(如社会生产水平等)产生的影响，须对Ci进行多项式回归，以保证该回归值能反映作物产量的趋势。记回归方程的各回归值为Ri，则记：

$$Ii = Ci/Ri \cdots\cdots\cdots\cdots (1)$$

式中Ii(简记为I)为作物产量系数。如果I<1，表示气候对作物生长不利，产量减少；如果I>1，则表示气候适宜，作物增产。

以I为自变量，年轮年表及其1～2年前期生长的各种曲线形式为因变量进行逐步回归，建立统计模型，并对统计模型进行检验和分析，对达到显著水平的回归模型，将年轮年表(长度为116年，即1874～1990年)代入求出1874～1990年的产量系数。利用求得的116年长度的产量系数，可预测未来10年(1991～2000年)的产量系数。方法采用时间系列分析中的滑动自回归(ARMA)模型[2]，首先通过计算该时间系列中自相关和偏相关函数，判断模型的类别和各类别阶数，然后计算模型的各个参数，如果所得模型可反映原系列的变化情况，则可用该模型预测未来10年的产量指数。具体计算由统计软件在计算机上完成。

三、结果与讨论

1. 作物产量系数与年轮年表的统计分析

作物产量系数与年轮年表两者的回归方程是：

$$\hat{I} = 3.484 \cdot SXi1 + \frac{0.467}{SXi1} - 1.072 \cdot e^{SXi1} \cdots\cdots\cdots\cdots (2)$$

$(R^2 = 0.9961)$

模型及R的F检验均达极显著水平，利用估计的$\hat{I}$经(1)式换算后得估计的作物产量和实际作物产量的比较(图1)。从图1可以看出，估计值与实际值比较接近且变化趋势相同。因此作物产量的估计值是可靠的。图2为根据(2)式推测的过去116年溧阳作物产量系数，图中产量系数I>1，表示气候利于增产，I<1，则表示气候不利于作物生长。从图2中还可以发现，1985～1990年，产量系数除1988年为正且接近于1外，其余年份均为负值，说明那些年份气候不利于作物生长；此外，70年代初和60年代初及1905～1945年，产量系数也为负值。虽然上述结果只是对溧阳一地而言，但气候的波动往往是较大范围的，用1949年以来气象灾害分级[1]来验证，1962、1963年我国旱涝灾害严重，1972年干旱严重，1986、1987、1989年长江中下游地

区严重涝灾，这些情况在图2中均有所反映。

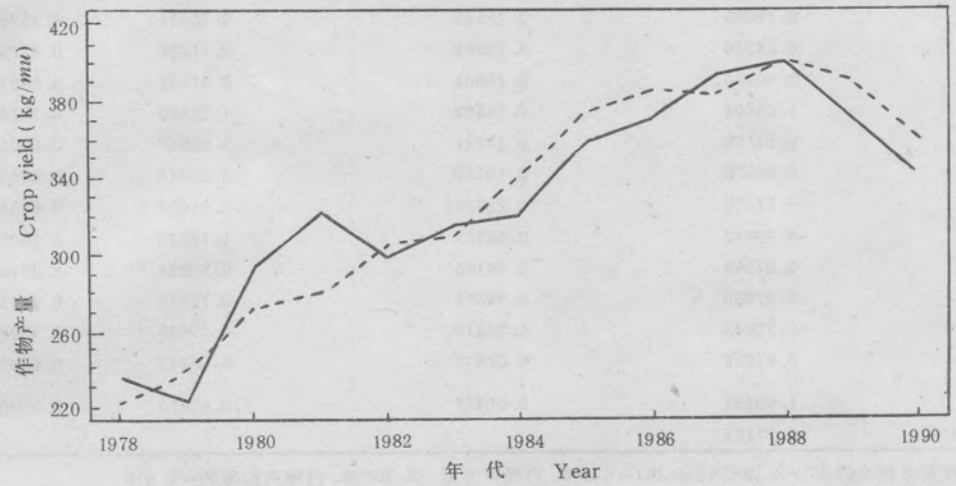

图1　由年轮资料计算的作物产量的估计值和实际值比较

Fig 1　A comparison between estimated crop yields (calculated from the tree ring data) and observed crop yields

Dashed line indicates the estimated yields and solid line indicates observed yields

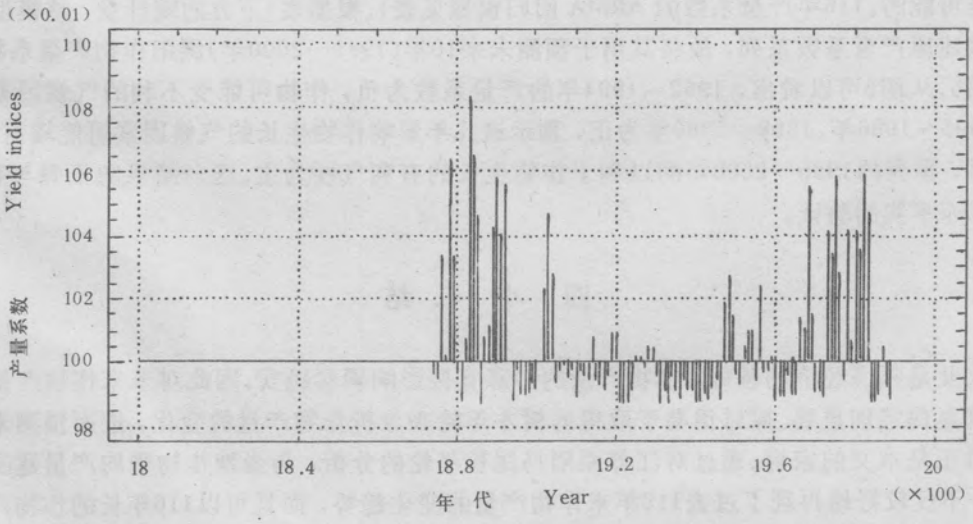

图2　由年轮资料计算的江苏溧阳过去116年(1874～1990年)的产量系数

Fig 2　The yield indices calculated from tree ring data for past 116 years (1874～1990) in Liyang, Jiangsu Province

表1 滑动自回归模型*
Tab 1 The model of ARMA

参数项 Parameter	参数项估计值 Estimate	标准差 Stand. error	T-值 T-value	P-值 P-value
AR(1)	0.05634	0.18391	0.30636	0.75996
AR(2)	-0.30345	0.20814	-1.45786	0.14798
AR(3)	-0.16999	0.22542	-0.75411	0.45254
AR(4)	0.14240	0.19994	0.71220	0.47798
AR(5)	0.00264	0.19804	0.01331	0.98940
AR(6)	-0.20594	0.15520	-1.32690	0.18753
AR(7)	0.51118	0.13121	3.89583	0.00018*
MA(1)	-0.60576	0.19532	-3.10144	0.00250*
MA(2)	-0.74670	0.29672	-2.51652	0.01343*
MA(3)	-0.39843	0.35373	-1.12635	0.26269
MA(4)	0.07568	0.36155	0.20933	0.83461
MA(5)	-0.27030	0.37367	-0.72337	0.47113
MA(6)	-0.22842	0.29417	-0.77649	0.43927
MA(7)	0.01290	0.20657	0.06243	0.95035
MEAN	1.00497	0.00477	210.69873	0.00000
CONSTANT	0.97161			

*前20个残差自相关的 $X^2=3.18<X^2_{0.05}(20)=8.260$，白噪声方差=0.00028，白噪声标准差=0.016
Chi-square statistic (X^2) on first 20 residual auto-correlations=3.18 ($<X^2_{0.05}(20)=8.260$), white noise variance=0.00028, white noise standard deviation=0.016

2. 作物产量系数的预测

为了解溧阳作物产量波动的规律，对用模型估计的116年的作物产量系数作自相关和偏相关(图3及图4)，其达到显著性自相关的阶数有1,3和7阶，其相关系数分别为0.54，0.25和0.32；其达到显著性偏相关的阶数为1,5和7。这说明该系列中含有一定的规律性，用其预测未来是可能的。116年产量系数的 ARMA 回归模型见表1。根据表1下方的统计量，该模型能较好地描述原产量系数系列，故将其用于预测未来10年(1991～2000年)溧阳作物产量系数，结果如图5。从图5可以看出，1992～1994年的产量系数为负，作物可能受不利的气候因素影响大；1995～1996年、1998～2000年为正，预示这几年影响作物生长的气候因素可能较有利。总体上讲，预测的1995～2000年间以利于作物生长的有利气候为主。这一结果的正确与否，还有待未来事实的验证。

四、小 结

农业是国民经济的基础，作物产量的多寡直接影响国泰民安。因此对未来作物产量进行预测就显得特别重要。探讨用易于取得的树木年轮来分析作物产量的变化，进而预测未来作物产量正是本文的宗旨。通过对江苏溧阳马尾松年轮的分析，与当地作物平均产量建立回归模型，不仅较好地再现了过去116年来作物产量的变化趋势，而且可以116年长的作物产量变化为基础，预测未来10年(1991～2000年)作物产量的波动情况。当然，对未来的预测还有待于将来事实的验证。而且本文所研究的对象仅限于江苏溧阳，进一步的研究有待于多点取样分析后综合讨论。

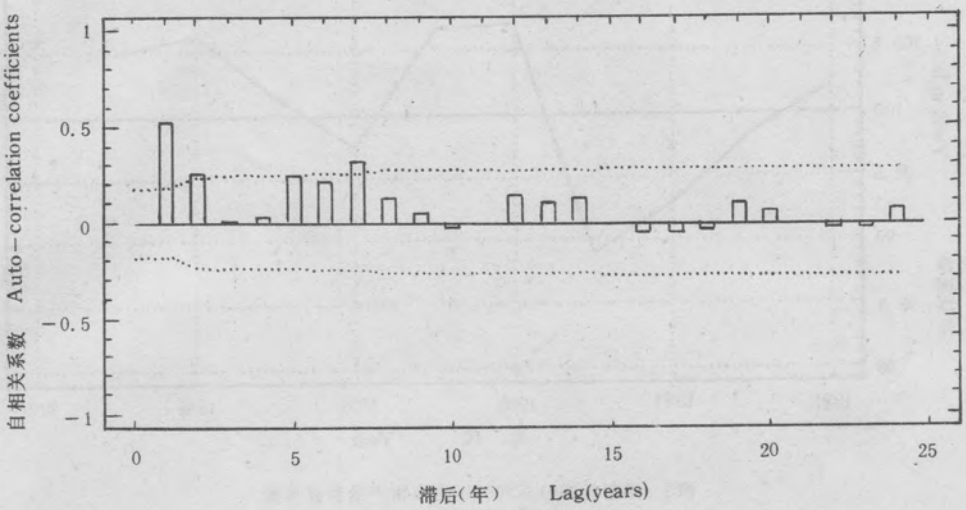

图3　江苏溧阳作物产量系数的自相关系数。虚线表示95%的置信限

Fig 3　Auto-correlation coefficients of the yield indices of Liyang, Jiangsu Province

dashed lines indicate significance with $\alpha=0.05$

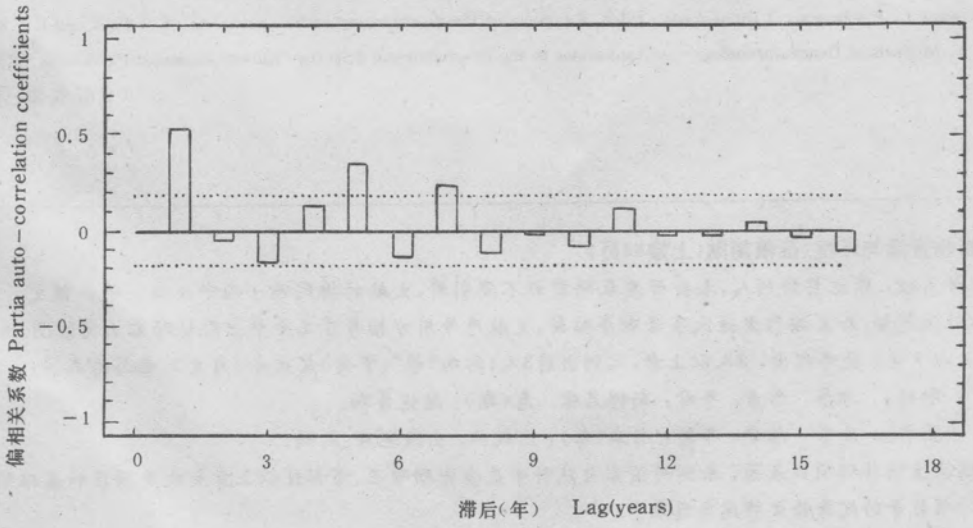

图4　江苏溧阳作物产量系数的偏相关系数。虚线表示95%的置信限

Fig 4　Partial auto-correlation coefficients of the yield indices of Liyang, Jiangsu Province

dashed lines indicate significance with $\alpha=0.05$

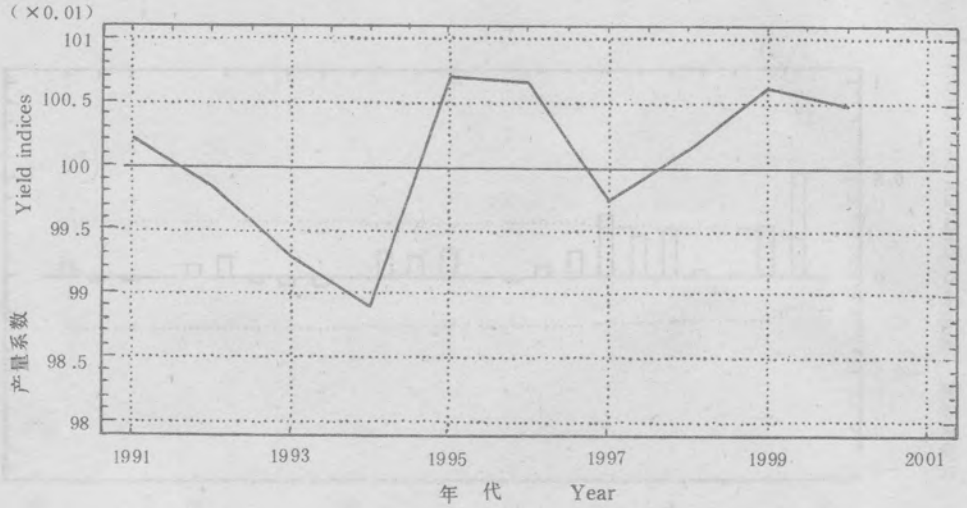

图5 溧阳县1991～2000年的作物产量系数预测

Fig 5 The forecast of yield indices for Liyang County for 1991～2000

参 考 文 献

1 气候变化与作物产量课题组. 1992：气候变化与作物产量，中国农业科技出版社，北京. 40～41.

2 杨位钦，顾 岚编著. 1988：时间系列分析和动态数据建模(修订本)，北京理工大学出版社，北京.

3 Kairiukstis L, E Vaganov, J Dubinskaite. 1990：Examples of Dendrochronological Prognoses, In：E R Cook and L A Kairiukstis (ed.), Methods of Dendrochronology——Appications in the Environmental Sciences. Kluwer Academic Publishers. 323～332.

(责任编辑：许定发)

《植物资源与环境》征稿简则(上接64页)

(8) 参考文献：择主要的列入，未公开发表的资料不要引用，文献的排列顺序为中—日—西—俄文，中、日文以姓氏笔划、外文按作者姓氏字母顺序编排。文献序号用方括号在正文中出现处的右上角注明。文献作者3人以下者，全部列出，3人以上者，只列出前3人，后加"等"(中文)或 *et al.*(外文)。书写格式为：

期刊： 序号 作者. 年份：期刊名称 卷(期)：起讫页码。

图书： 序号 作者. 年份：书名(卷)，出版社，出版地点。页码。

四. 来稿请注明科研项目来源，本刊对国家自然科学基金资助项目、省部级以上重大攻关项目和基础研究基金资助项目等的优秀论文将优先发表。

五. 来稿请勿一稿两投，稿件处理情况将于收稿后4个月内通知作者。稿件一经刊登，酌付稿酬，并赠送该期期刊1册及单印本30份。不拟刊登的稿件尽早退回作者。编辑部对稿件有删改权。

六. 来稿请挂号寄：南京市中山门外，江苏省中国科学院植物研究所内，《植物资源与环境》编辑部(邮政编码：210014)。