专业气象服务

果实类蔬菜上市过程的动态定量预测

杨秋珍　陈其欢

（上海市气象科学研究所）

大城市蔬菜供应状况的好坏是关系到千家万户的大事。做好各类蔬菜上市过程及其量的预测，将能为城市蔬菜的均衡供应提供有用的信息。

蔬菜生产有其特殊之处。不仅品种多，且收获部位也不同。在收获时间上，蔬菜又不象其它作物那样集中，而是分期分批采收、不断上市，前后可持续数月。这些特点决定了蔬菜预测的特殊性。本文以上海地区果实类蔬菜中豇豆及蕃茄为例，来讨论其上市过程的定量预测。

一、资料说明

本文根据上海市蔬菜公司1977—1986年蕃茄、豇豆逐日上市量及其栽培面积资料，以旬为单位，换算成每旬亩上市量。每年上市过程，蕃茄持续7旬（5月下旬—7月下旬），豇豆有9旬（7月上旬—9月下旬）。

二、方法

各年的上市量趋势基本相同，设想用如（1）式统一函数形式来描述。

$$y = f(x, \theta) \qquad (1)$$

式中，θ为函数的参数集合；x为时间，以旬为单位；y为相应于x的上市量值，单位是每亩担或公担。

这样，各年上市量分布存在的差异，实质上是外界因素的干扰使函数参数取值不同而致。在外界诸因素中，栽培、管理等因素通常较稳定，气象因子年际间多变。故本文假定前者为常量，把θ集中的参数看成气象因子的函数。通过某年θ的预测，便能确定该年的上市函数及其上市量分布。

三、果实类蔬菜上市模型函数的确定

蕃茄和豇豆都是多花序果实蔬菜。前者为总状聚散花序，后者为总状花序。由于各个花序以及同一花序不同花朵分化时间有早有晚和交叉重迭，加上播期上的差异，形成了分化数两头少、中间多的特点。旬上市量相应有抛物线型的变化规律。

但实际工作中，用抛物线来拟合各年的上市过程误差较大。用正交多项式分析发现，在相同的显著性水平（$\alpha = 0.05$）上，尽管各年均是2次项贡献最大，但不少年份除了2次项外，还选中3次甚至4次项。说明旬上市量的变化有更高的速率。

仔细分析旬上市量值，发现上市速率在上市高峰前基本呈指数增长，高峰过后不断减小，直至最后增长率趋于零。这个过程正符合S型增长规律。豇豆和蕃茄高低产年的旬累积上市量曲线如图1、2所示。

目前，描述S型生长规律的模型函数有MMF，Weibull，Richards，Logistic，Gompertz等[1]。比较之下，我们选择了

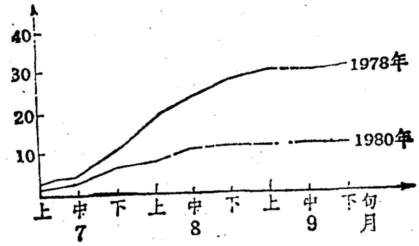

图1　豇豆高低产年的旬累积上市量曲线（单位：公担/亩）

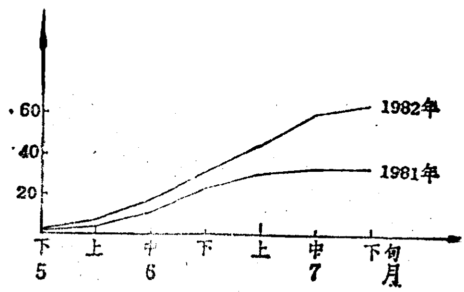

图 2 蕃茄高低产年的旬累积上市量曲线
（单位：公担/亩）

Logistic模型函数，这是

$$\text{Logistic:}\ Y=\frac{c}{1+e^{(a-bx)}} \quad (2)$$

由于（2）式的理论性较强，亦最接近线性性态[2]，这就使模型参数集θ元素a、b、c的最小二乘估计（（LS估计）易于求得。对于线性模型[2]，当假定残差是随机变量、有零均值和有限方差时，则θ的LS估计也是ML（最大似然）估计，它是无偏的、正态的，具有最小方差，经一次迭代求解便能得之。（2）式θ集有与线性模型很相似的性质，它的LS估计经几次迭代亦很快得到。而其它的模型有较强的非线性，难以收敛到准确的LS估计。

四、果实类蔬菜各年合适参数的估计

（2）式中各参数的意义如下：c表示旬上市速率为零时的累积上市量，即最大上市量；a与旬累积上市量的初始值有关；b则与旬累积上市量从初值（由a决定）到终值（由c决定）的速度有关。

可见，这些参数是反映上市量分布的特征量，能否选择到对各年上市过程拟合得最佳的合适参数，直接关系到对气象因子的依赖性及上市预测的优劣。

（2）式通过变换成为如下形式：

$$W=\ln(c/y-1)=a-bx \quad (3)$$

不难看出，参数的求解是通过x回归W来实现的，故c的确定是关键。c定了，a、b也跟着被确定。c的意义前有所述，故当统计资料完整（指最后旬旬上市量趋于零时），最后旬的累积上市量即为最大上市量c值（如冬瓜、茄子等）。但生产中，由于统计截止时段所限，资料往往不完整，即旬上市量还很大时便不予统计了。如蕃茄统计截止时段为7月下旬，但该旬的上市量平均为3.0担/亩。这样若仍把7月下旬的累积上市量作为c，拟合效果很差，如蕃茄相对误差可达18.4%。此时只有估计一个合适的c值，才能使上市过程的拟合精度提高。

合适c的遴选过程依据最小二乘法原理〔见（4）式〕。因（2）式具线性性态，故Q对c来说

$$Q=\sum_{t=1}^{n}\left(Y_t-\frac{c}{1+e^{(a-bx)}}\right)^2 \quad (4)$$

是一个单峰函数即$Q=\varphi(c)$。这样通过不断的迭代，总能求得对应于（4）式取最小值的那个c，这便是我们所要估计的合适c。其获取过程参见图3。而由这个合适c通过（3）式求得的相应a、b值，亦即是所要估计的合适a、b。

各年蕃茄、豇豆的合适参数及由此决定的模型函数对各年上市过程的拟合状况见表1。

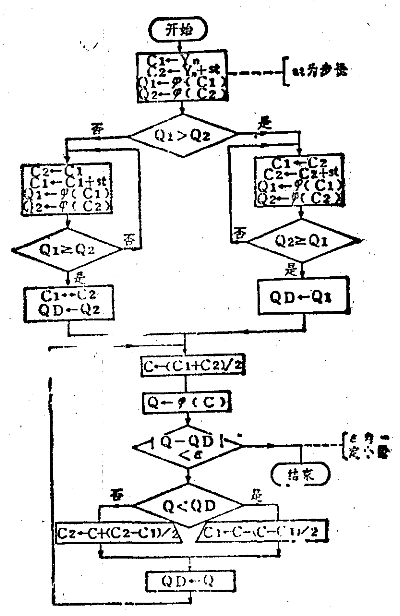

图3 合适c的获取过程框图

表1 豇豆和蕃茄各年合适参数值及对旬累积上市量拟合的相对误差

年份 \ 项目	豇豆 a	豇豆 b	豇豆 c	豇豆 相对误差	蕃茄 a	蕃茄 b	蕃茄 c	蕃茄 相对误差
1977	4.0707	1.1927	18.2524	1.85%	6.1598	1.3948	48.2588	6.19%
1978	3.5959	0.9628	31.1795	1.17%	5.0793	1.2630	58.5721	6.14%
1979	4.4334	1.2023	24.0112	1.66%	4.7672	1.1664	43.2354	2.56%
1980	3.7420	1.1031	12.3223	2.67%	6.3141	1.4890	36.0332	6.11%
1981	3.0726	0.9325	15.0847	2.69%	5.1630	1.5378	32.1105	1.72%
1982	2.0925	0.7556	12.9004	3.88%	4.6131	1.1204	65.2466	4.67%
1983	3.7857	0.8636	20.1156	2.82%	4.2203	1.2094	39.9286	3.08%
1984	2.6806	0.9554	23.3074	2.01%	6.3161	1.5384	50.2528	4.58%
1985	2.7149	0.8676	16.1285	1.76%	5.6425	1.3835	52.2668	3.18%
1986	3.8841	1.2598	18.7699	1.10%	4.8659	1.3789	47.8296	2.55%
平均				2.04%				4.10%

模型（2）对豇豆、蕃茄各年上市过程拟合的平均相对误差分别为2.04%和4.1%。以蔬菜公司允许误差15%来看，是较为令人满意的。

五、参数回归方程的建立及上市量预测

确定了豇豆、蕃茄各年的合适参数后，我们就可以寻找它与气象因子的关系，建立回归方程。

（一）参数回归方程：

本文运用时段滑动相关法，普查了自上年12月至当年9月的候平均气温，候平均最高和最低气温，界限温度及积温量，日较差，日照，雨日，雨量等气象因子与各参数的关系，选取了单相关系数达显著或极显著，时间较前又有一定生物学意义的因子作为初选因子，用逐步回归法在$\alpha=0.05$水平下筛选，最后得出豇豆和蕃茄参数方程如下：

（1）豇豆参数回归方程：

$$\hat{a}=0.0774897+0.00627236S_{2-1-6}+0.000479827R_{3-6-4}+0.156915D_{6-4-3}$$

$$\hat{b}=0.91778-0.000385019R_{5-3-4}+0.0254234D_{12-1-6}+0.000575137S_{2-2-6}$$

$$\hat{c}=31.6585-0.0119028R_{3-1-5}+0.754958D_{6-6-4}+0.022882S_{2-4-3}$$

（2）蕃茄参数回归方程：

$$\hat{a}=11.80183-0.0119398T_{g3-5-4}+0.002377R_{1-1-5}-0.0104839T_{d1-6-2}$$

$$\hat{b}=3.091922+0.000939073T_{g1-1-2}-0.001547113T_{g5-4-6}+0.04121689D_{3-4-5}$$

$$\hat{c}=92.71611-1.644773D_{3-5-4}-0.1552415S_{3-3-2}-0.1150588S_{5-6-3}$$

上述各式中S表示日照，R表示雨量，D表示雨日，T_g为最高温度，T_d为最低温度。其所带下标的意义以2-1-6为例，表示2月第1候到第6候。

各参数回归方程的回归效果均为极显著。详见表2。

表2 蕃茄、豇豆各参数回归方程精度状况

		复相关系数	F统计量值	剩余标准差
蕃茄	a	0.9848	64.28**	0.1711
	b	0.9823	54.92**	0.0349
	c	0.9927	134.91**	1.4903
豇豆	a	0.9926	134.31**	0.1090
	b	0.9891	90.41**	0.0306
	c	0.9935	151.49**	0.8055

$F_{0.01}(3,6)=9.78$

（二）上市模型函数回报及1987年试报情况

用各参数回归方程求得的各年蕃茄和豇豆的参数值，代回（2）式得各年的模型函

数，据此便可求出蕃茄和豇豆各年的逐旬累积上市量即回报值。其回报相对误差，蕃茄平均为5.8%，豇豆平均为4.5%。各年回报相对误差见表3。

我们对1987年蕃茄和豇豆进行了试报，结果也较理想，其中蕃茄试报相对误差为7.7%，豇豆试报相对误差为5.4%。其试报详细情况参见表4和表5。

表3 蕃茄、豇豆上市模型的各年回报相对误差

项目 \ 年	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	平均
豇豆回报相对误差(%)	6.68	2.17	3.97	7.98	3.14	9.33	3.23	1.92	4.27	2.04	4.50
蕃茄回报相对误差(%)	3.20	15.06	6.40	5.20	4.30	5.20	5.20	4.40	6.27	2.78	5.80

表4 1987年豇豆逐年累积上市量及其预测结果 (单位:公担/亩)

月 \ 旬	7月			8月			9月		
	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
试报值	0.95	2.60	5.64	8.88	10.81	11.59	11.86	11.95	11.97
实际值	1.78	4.73	6.28	9.01	10.33	11.49	11.82	11.86	11.88

表5 1987年蕃茄逐旬累积上市量及其预测 (单位:公担/亩)

月 \ 旬	5月	6月			7月		
	下旬	上旬	中旬	下旬	上旬	中旬	下旬
试报值	0.12	1.02	2.68	6.47	12.10	16.16	17.69
实际值	0.22	0.93	3.62	7.18	11.06	15.31	17.16

参考文献

〔1〕陈家麟，植物生理中的数学模型，植物生理学进展，中国植物生理学会、上海植物生理学会，1987.7。

〔2〕D. A. Ratkowsky. 非线性回归模型，南京大学出版社，1986。