

# 气候与上海蔬菜均衡供应的优化规划

杨星卫 薛正平

(上海市气象科学研究所)

## 提 要

在露地的蔬菜生产中,气候是引起蔬菜上市量波动的主要因子。本文以按市场需求安排生产为基础,首次提出按气候变动调整蔬菜生产计划,建立了以市场供需差额最小、国家对蔬菜经营的财政亏损最小、土地占用面积较少为目标的多目标规划模型。模型考虑了气候作为随机因素对各品种蔬菜上市状况的定量影响,进一步提高了决策方案的预见性和可靠性。

模型对上海蔬菜生产的模拟分析结果表明:通过优化规划可使春、秋、冬三个季节的市场供需差额分别缩小25%、23%、10%,缩小计划品种的占地面积分别为3.04、1.92、0.77万亩,减少国家亏损324万元。

## 一、引 言

城市蔬菜均衡供应问题,是关系国计民生的一件大事。在中国目前的生产力水平情况下,绝大部分蔬菜置身于大自然的露天工厂中,环境气候条件既限制了它的生产力,又影响其稳定性,造成上市分布的不均衡和产量的波动性。

蔬菜又是鲜嫩商品,易腐易烂,不易运输保管,对淡季的调节能力极弱。如1982年和1984年作饲料和垃圾处理的蔬菜分别占全年上市量的1/4和1/3,而两年淡季中缺菜的天数分别为79天和53天。近年来,国家为确保上海市场供应,每年对蔬菜的经营亏损补贴5000多万元,1990年已突破8000万元。在以计划经济为主,市场调节为辅的蔬菜生产系统中,如何根据市场需求和气候变化科学规划蔬菜生产,缩小市场的供需差额,减少国家逐年增长的财政亏损,是一项有很大社会意义和经济意义的工作。

一般认为,解决市场的均衡供应问题,在产、供、销诸环节中,生产起决定性作用,因此我们把上海蔬菜生产的合理布局作为主要的研究任务。由于蔬菜生长是遗传特性和环境因子交互作用的结果,而蔬菜上市除上述因素外又受到人为决策(如播种面积,时间等)的干预。我们曾研究了上海各主要蔬菜品种的生长、上市与气候的关系<sup>[1]</sup>,分别建立数学模型<sup>[2]</sup>,并基于这些上市量预测模型,应用优化规划的数学方法,为城市蔬菜的合理布局提供优化决策方案。本文介绍上海蔬菜均衡供应多目标规划模型的组建,以及如何根据气候

变动调整优化决策方案。

## 二、模型的选择与组建

在一般的线性规划问题中,研究的都是仅有一个目标的最优决策问题。然而在实际问题中,衡量一个方案好坏标准往往不止一个,而这些标准的度量单位也常常各不相同。本文拟建模型,不仅要求达到保证需求的目标,而且要求在不影响菜农和市民经济利益的前提下,减少国家的财政亏损和占用较少的土地面积,因此需引用多目标线性规划模型。

目标规划模型的基本思想<sup>[3][4][5]</sup>是对每一个目标函数引进一个期望值(理想值),但由于种种条件的限制,这些期望往往并不都能达到。从而对每一个目标函数再引进正、负偏差变量,然后对所有的目标函数建立约束方程,并入原有的约束条件中,组成新的约束条件,在这组新的约束条件下,寻找偏差最小的方案。

目标规划模型的求解方法基本上分三大类:权系数法(或称效用系数法),优先等级法和有效解法。本文主要采用优先等级法。

首先考虑达成函数  $f$  中  $p_1$  级目标  $f_1(D^+, D^-)$  及与这部分目标有关的约束条件,得到一个单目标线性规划模型

$$\min f = f_1(D^+, D^-)$$

$$\sum_{j=1}^n c_j x_j + d_{ij}^+ + d_{ij}^- = b_i \quad x_i \geq 0$$

求出最优解  $f_1^*$ 。

然后考虑下一个优先级别的目标,即  $p_2$  级目标  $f_2(D^+, D^-)$ ,求它的最小值。但是,我们必须考虑以下的约束条件:①与  $p_1$  级目标有关的所有约束条件,②与  $p_2$  级目标有关的所有约束条件,③增加约束条件  $f_1(D^+, D^-) = f_1^*$ 。

这个约束条件用以在优化  $p_2$  级目标时将不退化已得的  $p_1$  级目标的最优值  $f_1^*$ 。以此类推。

上海是季风盛行区,四季分明,光热水基本同季,能被蔬菜作物充分利用。但上海因受冷暖空气交替影响,如夏季常受大雨、暴雨、干旱与高温的影响,冬季常受寒潮袭击。因此冬、夏常有缺菜的可能。上海蔬菜生产的特点是全年播种,全年收获。习惯上分三大播期:春播(2月1日~5月31日),火秋播(6月1日~10月31日),冬播(11月1日~1月31日)。本文以上海春播蔬菜均衡供应多目标规划模型为例,介绍建模思路。

上海春播蔬菜均衡供应多目标规划模型由达成函数和约束条件两大部分组成。

**达成函数:**

$$\min f = p_1 \left( \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{18} \alpha_{ij} d_{ij}^- + \sum_{i=1}^9 \sum_{j=1}^{18} \alpha_{ij} d_{ij}^+ \right)$$

$$+ \sum_{j=5}^{15} \alpha_j d_j^- + \sum_{j=5}^{15} \alpha_j d_j^+ + p_2 \alpha_2 D_2^+ + p_3 \alpha_3 D_3^+$$

其中  $p_k$ : 目标的优先级别( $k=1\sim 3$ ),  $\alpha$ : 偏差变量的权重系数,  $i$ : 品种代号( $i=1\sim 9$ ),  $j$ : 上市时段代号( $j=1\sim 18$ ,  $j=1$  表示 4 月上旬),  $d_{ij}^+$ ,  $d_{ij}^-$ :  $j$  时段  $i$  品种的上市量偏离规定需

求量的正、负偏差值,  $d_j^+$ ,  $d_j^-$ :  $j$  时段各品种合计上市量偏离规定需求量的正、负偏差值,  $D_2^+$ : 各品种亏损的合计值对期望亏损总额的正偏差值,  $D_3^+$ : 各品种合计播种面积对春播允许播种面积的正偏差值。

约束条件:

$$\text{品种需求量约束: } a_{ij}x_i + d_{ij}^+ + d_{ij}^- = b_{ij} \quad (i=1\sim 9, j=1\sim 18)$$

$$\text{逐旬需求量约束: } \sum_{i=1}^9 a_{ij}x_i + d_j^+ + d_j^- = \sum_{i=1}^9 b_{ij} \quad (j=5\sim 15^*)$$

其中  $x_i$ : 决策变量。即  $i$  品种的播种面积(万亩),  $a_{ij}$ :  $j$  时段  $i$  品种的亩上市量(百公斤),  $b_{ij}$ :  $j$  时段  $i$  品种的规定需求量(百公斤)。

$$\text{亏损约束: } \sum_{i=1}^9 (c_i + B_i - E_i) \cdot a_i \cdot x_i + D_2^+ = e$$

其中  $c_i$ : 种植  $i$  品种的收购单价(元/百公斤),  $B_i$ : 国家对  $i$  品种的补贴单价(元/百公斤),  $E_i$ : 品种的批发单价(元/百公斤),  $e$ : 期望的亏损总额(万元)。

$$\text{总面积约束: } \sum_{i=1}^9 x_i + D_3^+ = S$$

其中  $S$ : 春播菜田总面积(万亩)。

达成函数中一级目标( $p_1$ )的第一、第二项是保证上市品种种类的供需平衡,第三、第四项是保证上市数量的供需平衡;二级目标( $p_2$ )使国家的亏损补贴在承受限度内;三级目标( $p_3$ )保证播种面积不能超过允许播种面积。

### 三、计算结果

#### 1. 春播生产优化规划模拟结果

利用上述模型在 IBM-PC 微机对上对上海春播蔬菜的优化布局进行模拟试验。计算中各品种的需求量标准是根据蔬菜公司专家提供的历年销售统计数据,并考虑总生产量略大于总需求量原则(旺季宽容 10%, 淡季宽容 30%)确定的。以年供应量 88 万吨(不包括集市贸易成交量 27 万吨), 平均日供应量 2.4 万百公斤折算。各品种的逐旬亩上市量以 1986~1988 三年平均逐旬亩上市量为准。国家对各品种的单位收购价、补贴价, 批发价均以 1988 年的价格水平为准。优化方案以缩小供需差额为一级目标, 其中又以保证供应为主(负偏差权重系数为 1), 减少返销为辅(正偏差权重系数为 0.5)。亏损和面积的正偏差较小, 依次为二级、三级目标。

优化决策方案以表格形式提供给用户, 详见表 1、表 2。从表 2(纵行末端)可见, 目前上海春播蔬菜布局的主要问题是供大于求, 即实际上市量均大于规定需求量, 年平均偏多 28%, 占同期生产量的四分之一强。因此造成的浪费性亏损每年平均达 280 万元(仅春播生产)。依次分析规划后方案对目标的实现程度。

\*  $j=5\sim 15$  是春播蔬菜的集中上市时段, 除此仅有零星量上市。

表 1 城市蔬菜均衡供应优化决策方案

品 种	实际播种面积 (万亩)	设计播种面积 (万亩)	实际上市总量 (万公担)	设计上市总量 (万公担)	需求量 (万公担)	实际上市量偏差 (万公担)	设计上市量偏差 (万公担)
卷心菜	1.1043	0.5726	25.71	13.33	14.30	11.41	-0.97
蕃 茄	2.8014	2.1575	59.95	46.17	47.64	12.31	-1.47
茄 子	1.0569	0.7066	24.76	16.56	16.50	8.26	0.06
辣 椒	1.4146	1.2042	11.40	9.71	8.80	2.60	0.91
冬 瓜	2.6780	2.5216	52.44	49.37	47.32	5.12	2.05
黄 瓜	1.4426	1.3291	25.04	23.07	18.66	6.38	4.41
豇 豆	1.1836	1.1202	18.18	17.21	16.50	1.68	0.71
青 菜	1.4143	1.7181	31.52	38.31	30.70	0.82	7.61
土 豆	2.6804	1.4103	19.70	10.73	10.67	9.03	-0.30
合 计	15.78	12.74					

表 2 春播品种逐旬上市量(万公担)

月	5			6			7			8			合计	平均
	下	上	中	下	上	中	下	上	中	下				
实际上市量	17.64	28.87	33.72	30.35	29.33	25.79	24.29	15.67	13.36	11.34				
设计上市量	14.26	20.52	23.82	21.69	22.84	20.59	20.02	14.18	12.11	10.34				
需求量	14.73	20.52	22.66	22.00	21.36	19.56	19.36	14.28	12.11	10.47				
实际上市量 偏 差	2.91	8.42	11.06	8.35	9.01	6.31	4.93	1.39	1.25	0.92				
设计上市量 偏 差	-0.47	0.00	1.16	-0.31	1.48	1.03	0.66	-0.10	0.00	-0.13				
实际上市量 相对误差	0.20	0.41	0.49	0.38	0.44	0.32	0.25	0.10	0.10	0.09	2.78	0.28		
设计上市量 相对误差	0.03	0.00	0.05	0.01	0.07	0.05	0.03	0.01	0.00	0.01	0.27	0.03		

目标 1 供需差额较小:规划前逐旬上市量对规定需求量的平均相对误差为 28%,规划后为 3%,缩小供需差额 25%。且各品种的设计需求量均能基本满足规定需求量(见表 1)。其负偏差最大的蕃茄偏少 1.47 万公担,仅占该品种上市量的 2%。目标 3 占地面积较少,规划前春播计划品种占地面积 15.78 万亩,规划后计划品种占地面积 12.74 万亩,缩小占地面积 3.04 万亩。

## 2. 冬、秋播生产布局的模拟结果

用组建春播模型同样方法,组建了上海冬播、火秋播蔬菜均衡供应多目标规划模型。对冬播、火秋播蔬菜生产的模拟试验,结果如表3所示。表4、图1列出了冬、春、秋三个播期的模拟结果。由表4可见,原有春播生产布局不尽合理,供大于求情况较严重,相对而言,原有冬播布局较为合理。通过对各品种种植面积的优化组合,在春、秋、冬三个播期内可分别缩小供需差额25%、23%和10%,节省占地面积分别为3.04、1.92和0.77万亩,每年可望减少国家的财政亏损324万元。图1显示了规划前后逐月上市量的误差分布。规划后设计供应量误差明显小于实际供应量误差。

表3 冬、秋播优化规划结果

冬播	月份	1	2	3	4	5	6		
	实际供应量偏差 (%)	0.04	0.04	0.43	-0.13	0.01	0.02		
设计供应量偏差 (%)		0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00		
火秋播	月份	7	8	9	10	11	12	1	2
	实际供应量偏差 (%)	0.19	0.20	0.13	0.29	0.35	0.38	0.17	0.25
设计供应量偏差 (%)		0.01	0.00	-0.08	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00

表4 各播期模拟结果对目标的实现程度

播期	冬播	春播	火秋播
缩小供需差额 (%)	10.2	25	23
节省财政支出 (万元)	43.28	280.00	324.14
* 节省占地面积 (万亩)	0.77	3.04	1.92

\* 指国家统购包销的十七个主要品种的占地面积

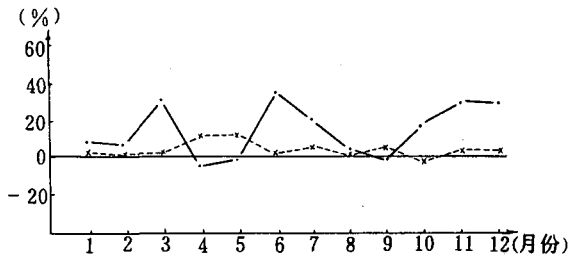


图1 上海蔬菜逐月上市量误差分布  
(折线为实际供应量误差,虚线为设计供应量误差)

#### 四、气候影响因子的引进

优化决策方案展示了减少蔬菜浪费性生产,提高菜篮子工程效益的前景,但在具体实施时,由于规划模型约束方程中的参数变量  $a_{ij}$  (亩上市量参数),  $b_{ij}$  (需求量标准参数),  $c_i$ ,  $B_i$ ,  $E_i$  (价格参数) 是随气象条件、消费结构、市场价格、行政干预等多种因素影响而变化的 (在上述模型计算中,都赋予一定值),这些随机因素的变化,特别是气象条件的变化,造成了蔬菜年际、年内上市量分布的差异性。因此用确定性的模型 (即以参数变量的平均值来代替当年的实际值) 作为决策的依据,用以指导复杂多变的蔬菜生产,是难以完全实现优化目标的。

1987 年,我们曾用 Logistic 函数描述各品种蔬菜的上市规律,并采用经过适当筛选、组合的气象因子对函数的参数进行估计的方法,分品种建立了蔬菜上市量分布的动态预测模型。经 1988、1989 两年实际对外服务,平均准确率分别达 88.79% 和 90.84%,得到了用户的好评。为减少规划的盲目性,我们将上市量预测模型引进至规划模型,即将亩上市量参数  $a_{ij}$  用预测模型计算的值来替代。由于蔬菜上市序列年际波动很大,其中既有气象条件影响,又有人为因素干扰,因此仅用某一年的气象预测序列作规划是不够全面的。同时,蔬菜布局还应保持相对稳定性。在没有建立同时考虑社会因素影响的上市量预测模型之际,用当年预测的上市量分布和历年的实际上市量分布找相似,用相似类型的平均值代替预测值,使其既能根据逐年的气候变化作相应的调整,又能保持相对稳定。本文采用灰色系统分析中的关联度方法寻找上市量分布的相似型。

蔬菜上市分布带有很大的随机性,上市时间早晚、上市峰值的高低以及持续时间长短,都表现出很大的年际波动。除了随机性大外,上市分布序列往往较短,多者 7~8 个样本点,少者 4~5 个样本点。灰色系统关联度分析较之其他相似分析的优点,在于更适合于对随机性大、样本点少的序列的分析处理。

根据文献[6],我们定义序列  $x_i$  与  $x_j$  的关联度  $r_{ij}$ :

①  $r_{ij} \in \{0, 1\}$ ; ②若序列  $x_i, x_j$  的几何形状 (即折线形状) 越接近,则  $r_{ij}$  越大; ③  $r_{ij}$  只与  $x_i, x_j$  的几何形状有关,而与它们在空间的相对位置无关; ④只有当序列  $x_i, x_j$  完全重合时,  $r_{ij}$  才等于 1。

关联度的计算是基于关联系数之上的,设有序列  $x_i, x_j$ , 则在  $t=l$  时刻的绝对差:

$$\Delta_{ij}(l) = |x_i(l) - x_j(l)| \quad l=1, 2, \dots, M \quad (M \text{ 为序列长度})$$

记所有差值中最小者为  $\Delta(\min)$ , 最大者为  $\Delta(\max)$ , 则序列  $x_i, x_j$  在  $t=l$  时刻的关联系数  $\varepsilon_{ij}(l)$  为:

$$\varepsilon_{ij}(l) = \frac{\Delta(\min) + \zeta \Delta(\max)}{\Delta_{ij}(l) + \zeta \Delta(\max)}$$

其中  $\zeta$  为小于 1 的正数,作序列  $\{\varepsilon_{ij}(l)\}$  的折线  $\varepsilon_{ij}$ ,  $\varepsilon_{ij}$  与横坐标之间的面积  $s_{ij}$  (称为关联面积) 与其自身的面积  $s_{ii}$  之比  $r_{ij}$ , 即为关联度:  $r_{ij} = s_{ij}/s_{ii}$ 。

通常为了计算方便,我们用  $\varepsilon_{ij}(l)$  的均值作为关联度的度量,即

$$r_{ij} = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M \varepsilon_{ij}(l)$$

在实际计算中取  $\zeta=0.5$ 。

运用上述关联度方法作蔬菜上市分布归类的不足之处,是没有考虑样本点上不同上市量对序列关联度的贡献。事实上上市量较大处的关联系数较之上市量小处对关联度有更大贡献,当以较大的权重。故设  $t=l$  时刻关联系数  $\varepsilon_{ij}(l)$  的权重:

$$p(l) = \frac{\sum_{s=1}^n x_s}{\sum_{s=1}^n \sum_{l=1}^M x_{sl}}$$

显然满足  $\sum_{l=1}^M p(l) = 1$ 。最后根据下式:

$$r_{ij}^* = \frac{1}{M} \sum_{l=1}^M p(l) \cdot \varepsilon_{ij}(l)$$

对蔬菜上市分布作归类,即找出预测序列与历史上上市序列中关联度最大的前三个序列为相似类型,并在多目标规划中运行,得到带有预测性的规划决策方案。预测序列可根据业已建立的上海市主要品种上市分布与气象条件关系的数学模型<sup>[2]</sup>,输入当年的实时气象资料,对模型参数进行估计,然后根据时间的变化,即可计算出各蔬菜品种的上市分布。

计算中以所得的预测序列( $F$ )为基准,将关联度较大的前三个序列作为相似类型( $S$ ),关联度较小的三个序列为最不相似类型( $D$ )。分析结果表明, $S$ 在整个曲线走向、趋势、数值大小等方面较之 $D$ 更接近 $F$ ,因而这样的相似分析是合理可信的(关联分析图略)。

## 五、讨 论

多目标线性规划在运筹学中是一个比较成熟的分支,但如何根据实际问题,提炼出一个较好的数学模型,往往比较困难;而构造的模型提供的优化决策方案在实际生产管理中能产生社会和经济效益,那就具有更大的实用价值。本文针对上海蔬菜供需不平衡状况以及由大量浪费性生产引起的国家财政亏损逐年增加趋势,组建了上海市蔬菜均衡供应多目标规划模型。若模型的优化方案得以实施,可望缩小供需差额 12%,减少国家亏损 324 万元,全年各播期都不同程度地减少了计划品种的占地面积。长期以来,人们认为天气不可捉摸,蔬菜上市量不可捉摸,因此蔬菜生产计划难免带有盲目性。本文通过在规划模型中引起蔬菜上市量分布的预测模型,较好地考虑了气候作为不可控因素对蔬菜供应的定量影响,提高了决策方案的预见性和可靠度。

本模型仅对气候波动造成的上市量波动作出响应,对其他参数变量如价格、消费结构、品种结构的调整等变化,均未作深入分析。而这些同样是合理安排生产和供应的前提条件。还有待今后进一步研究改进。

感谢 此项研究工作得到上海市科委和上海市气象局“科技发展基金”资助。在研究过程中,得到陈家麟博士、张国强副研究员的指导帮助。资料获取过程中得到上海市蔬菜公司计划物价科的大力协助,在此一并表示感谢。

## 参 考 文 献

- [1] 杨秋珍、杨星卫、李军,《上海蔬菜经济信息》,上海蔬菜经济研究会主办,1988—1990年。
- [2] Yang Xing-Wei and Chen Jia-Lin, A mathematical model for prediction of time course of vegetable supply based on meteorological factors, *Agric. For. Meteorol.*, **49**(1), 35—44, 1989.
- [3] 赵可培,目标规划及其应用,同济大学出版社,1987年。
- [4] 段彦青、柳克令,北京市主要蔬菜的均衡供应问题,北京农业工程大学学报,第3期,8—19,1986年。
- [5] 顾基发、魏权龄,多目标决策问题,应用数学与计算数学,第1期,28—47,1980年。
- [6] 邓聚龙,灰色控制系统,华中工学院出版社,1986年。

OPTIMIZATION OF THE CITY VEGETABLE SUPPLY  
BASED ON CLIMATE

Yang Xingwei    Xue Zengping

*(Shanghai Meteorological Research Institute)*

## Abstract

To vegetable production in field, climate is the major factor causing fluctuations of vegetable supply. A programming model with multi-objectives of balanced supply, maximum economic profit and minimum cultivated land areas based on demand of the market and the yearly climate variation is established. The quantitative influence of the climate as a random factor on the supply is considered. This has further enhanced the predictability and reliability of the programming model. The optimization of vegetable production in Shanghai obtained from simulation could reduce the imbalance between the demand and supply by 12%, cut 3.24 million yuan of government deficit and save  $1264 \times 10^4 \text{m}^2$  of cultivated land.