

# 平凉地区农作物布局的最佳种植决策

马鹏里 邓振镛 郭江勇

(中国气象局兰州干旱气象研究所,兰州 730020)

## 提 要

采用陇东地区及相邻的固原、长武、陇县共 18 个站 1951~2000 年的气象资料,计算了各站历年各时段干旱指数,划分了干旱等级,结合全区农作物夏、秋粮、小麦、玉米、高粱、马铃薯、油料种植面积、单产等资料,分析了气候因素与作物产量的关系。选用线性规划和减产率矩阵相结合的方法,建立确定型和随机型种植决策模型,优选出可供实施种植比例的最佳方案。结果表明:不论夏秋作物还是五种作物均在秋春连旱年减产率最大,达 30%~40%之间,在无气候干旱年,其减产率最小,为 12%~15%。随机型决策接近历年的情况,决策意义不大;确定型决策效果比较显著,其综合减产率普遍少 1%~3%,有优化决策价值。虽然确定型优于随机型,但其依赖于长期天气趋势预报的准确程度,应用种植决策还是以随机型与确定型兼用较为稳妥,风险性小。

关键词: 农作物 布局 种植决策

## 引 言

平凉地区位于陇东黄土高原沟壑区,大部分无灌溉条件,靠天吃饭,加之干旱发生频率较高,使得粮食产量低而不稳。如何充分利用气候资源,根据气候条件合理安排各种农作物的种植比例,使农业生产趋利避害,减少损失,这是摆在我们面前的重要任务。本研究是在分析气候变化与粮食产量丰歉规律、影响粮食作物产量的主要气候因素,建立夏秋作物产量气象模型和夏秋作物产量气候潜势估算的基础上,分别对平凉地区夏粮、秋粮和小麦、玉米、高粱、马铃薯、油料等五种主要农作物种植问题进行了确定型和随机型决策的探讨,从而求得在不同干旱年型下各种作物种植的最佳比例,期望减产最少,获得最高的粮食生产量。这对党政部门合理安排农作物种植比例具有一定的指导意义。

### 1 干旱的标准及其气候特征

干旱是平凉地区主要气候灾害之一,对农作物的生长发育影响非常严重<sup>[1]</sup>。为了给建立农作物最佳种植决策模型提供气候背

景,对干旱的气候特征再深入地进行分析很有必要。

#### 1.1 干旱指数及干旱标准

为使干旱的表达客观化、定量化,并具有区域的代表性,本文采用陇东地区及相邻的固原、长武、陇县共 18 个站的降水、气温、旱段长度、土壤湿度等资料,计算了各站历年春季(4~5月)、春末初夏期(5~6月)、伏期(7月中旬~8月中旬)、秋季(9~10月)的干旱(以下简称“四旱”)指数<sup>[2,3]</sup>,其计算表达式为:

$$DH = K + A + B - C \quad (1)$$

式中  $DH$  为干旱指数,  $K$  为干燥度,  $A$  为对应旱段与平均旱段之比,  $B$  为对应的降水量相对变率,  $C$  为土壤含水率(用小数表示)。

干燥度的表达式为:

$$K_{ij} = 0.16T_{ij}D_j/R_{ij} \quad (2)$$

式中  $T_{ij}$  为平均气温,  $D_j$  为旱段长度,  $R_{ij}$  为降水量, 0.16 为经验系数。式(1)、(2)中的  $i = 1, 2, \dots, n$ ,  $n$  为样本个数,  $j = 1, 2,$

3.4 为四个旱段。

为了进一步用干旱指数划分干旱的强弱,参照干燥度的划分方法,并与天气干旱进行了比较,结合当地农业生产的实际,确定以下的干旱标准:

- 当  $DH_{ij} < 2.0$             无旱  
     ( $DH_{ij} \leq 0.1$  为湿或涝)
- $2.0 \leq DH_{ij} < 4.0$     轻旱
- $4.0 \leq DH_{ij} < 6.0$     中旱
- $DH_{ij} \geq 6.0$             重旱

1.2 干旱的基本气候特征

利用 1968~2000 年历年陇东地区各站的干旱指数资料,分析了“四旱”发生的频率。春旱发生的频率在 23% 以上,且由南向北逐渐增大,北部环县、华池的频率高达 50%,即平均每两年就有一遇。春末初夏旱的频率比春旱更高,尤其是北部的环县高达 59%,其发生的频率空间也是由南向北增大,西、西南部的静宁、庄浪为陇东地区相对的少发区。伏旱的发生频率比春旱和春末初夏旱的频率小,而且高值区在中部呈南北走向,环县的频率最高为 41%,西南部的华亭,东部的正宁各有一少发区,其频率分布由东西少发区向中间递增。秋旱发生的频率比其它旱都小,最大频率在环县为 32%,其分布特征也是从南向北逐渐递增,东南部的宁县有一少发区,频率不足 10%。

2 干旱类型的划分及对产量的影响

我们利用全区 1951~2000 年的气象资料和上述干旱指数和干旱等级资料及全区农作物夏、秋粮、小麦、玉米、高粱、马铃薯、油料种植面积、单产等资料,分析了气候因素与作物产量的关系,以影响作物产量的主要因素降水为依据,将平凉地区的气候年型分为旱与不旱年型,其中旱年又分为五类季节性干旱(见表 1)。由表 1 可见,无旱气候年型出现频率为 24.4%,平均 4 年一遇;而旱年可占 75.6%,平均 10 年有 7~8 年发生季节性旱,其中,秋、春、夏(伏)季干旱各占 12.2%,春夏、秋春连旱年分别占 17.1%、14.6%,对农业生产影响最大。

为了定量计算不同干旱年型下,各种作

物产量的增减程度,我们用减产率( $C_j$ )来表述。

$$C_j = (M_j - M_m) \div M_m \times 100\% \quad (3)$$

式中  $C_j$  为第  $j$  类年型下的减产率,  $M_m$  为丰产年的平均产量,  $M_j$  为  $j$  类干旱年型下的平均亩产。夏秋作物和五种作物的单位面积减产率计算结果表明(见表 2),不同干旱年型对各种作物产量影响程度差别较大。发生秋春连旱对夏秋产量减产率居各干旱年型之首,平均减产可达 43.2%、24.3%,对小麦、玉米、高粱、油料的影响也是减产最多。发生一个季节干旱年型时,由于所在季作物生育期不一,其减产程度也有差别。因此,这也表明,根据不同干旱年型进行合理调整作物种植面积,对减少损失、增加产量有着重要意义。

表 1 不同干旱类型的出现频率

气候年型	气候旱类	出现频率/%
A	秋旱	12.2
B	春旱	12.2
C	夏伏旱	12.2
D	秋春连旱	14.6
E	春夏连旱	17.1
F	无旱	24.4

表 2 不同干旱类型各种作物的减产率(%)

年型	干旱类型	作物						
		夏粮	秋粮	小麦	玉米	高粱	马铃薯	油料
A	秋旱	20.5	11.8	18.7	12.5	12.5	23.5	5.8
B	春旱	25.9	8.9	22.4	10.1	25.7	20.4	25.8
C	夏伏旱	35.0	14.9	32.3	15.0	14.1	33.7	18.4
D	秋春旱	43.2	24.3	41.1	28.8	32.5	10.5	33.4
E	春夏旱	26.9	17.7	23.2	20.5	19.7	23.2	23.1
F	无旱	17.5	12.8	14.5	13.3	8.4	14.6	15.0

3 种植决策模型及优选方案

针对本区干旱多灾、以旱为主造成作物产量低而不稳的历史情况,寻求出不同干旱类型下的作物合理种植比例,使得在发生不同类型干旱时,期望粮食产量损失减少到最低程度。为此,这里选用线性规划<sup>[4]</sup>和减产率矩阵相结合的方法,建立种植决策模型,并由计算机进行随机抽样及优化排队,优选出可供实施种植比例的最佳方案。

3.1 确定型种植决策模型

确定型就是指已知未来将发生的干旱类型。它是完全依赖长期天气预报的准确性而

确定的决策方案。粮食作物种植比例最优方案求解的目标函数为

$$\text{MIN} Y_j = \sum_{i=1}^n C_{ij} K_i \quad (4)$$

式中  $Y_j$  为发生第  $j$  类旱时单位面积减产率的期望值;  $C_{ij}$  为第  $i$  种作物在  $j$  类旱时的减产率(见表2);  $K_i$  为第  $i$  种作物占  $n$  种作物总面积的百分比(见表3)。此目标函数是分别根据秋、春、夏(伏)、秋春、春夏和无旱的六类既定的干旱类型,按夏、秋作物和小麦、玉米、高粱、马铃薯、油料等五种作物进行计算,求得  $Y$  最小时的作物布局最佳比例,即为确定型最佳决策方案,但具有一定的风险性。

### 3.2 随机型种植决策方案

随机型是指不完全相信长期天气预报的干旱类型决策方案,注重在统计分析历史资料基础上,充分考虑各干旱类型发生的几率情况下而求取产量损失最小的决策方案,其目标函数为:

$$\text{MIN} Y = \sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^n C_{ij} K_i P_i \quad (5)$$

式中  $P_i$  为发生  $j$  干旱类型的几率(见表1),  $C_{ij}$ 、 $K_i$  同式(4)。由于此方案是以历史

资料统计分析为依据,对未来各干旱类型发生的可能性都考虑到的混合决策,它是从总体权衡选择作物布局最优组合。使得期望值  $Y$  总体损失最小,所以是比较稳妥,而且保险,但是保守的决策方案。

表3 平凉地区历年作物种植比例及决策约束界限(%)

作物	占总面积/%			约束界限	
	平均	最多	最少	上限	下限
夏作物	54.3	61.7	47.3	60	45
秋作物	45.7	52.3	38.3	55	40
小麦	63.1	72.0	55.9	70	45
玉米	15.6	26.1	3.4	35	10
高粱	5.2	8.1	1.7	10	0
马铃薯	8.9	12.7	4.5	13	4
油料	7.3	13.6	3.8	13	4

### 3.3 种植决策优化方案的结果

根据上述目标函数和约束条件(表3),运用式(4)、(5)求解方法,分别对确定型和随机型的干旱类型决策变量,按照期望减产最小而求解,可得夏秋作物和五种作物种植布局的最优比例。如表4所列的求解结果:不论夏秋作物还是五种作物均在秋春连旱类减产率最大,仍达30%~40%之间,在无气候干旱年,其减产率最小,在12%~15%间。

表4 平凉地区作物种植布局决策方案

	占总面积/%	夏秋作物			夏秋作物					减产率/%
		种植比例		减产率/%	种植比例/%					
		夏作	秋作		小麦	玉米	高粱	洋芋	油料	
确定型决策										
秋旱 A	100	55	45	15.28	50	23	7	10	10	13.64
春旱 A	100	55	45	15.70	55	25	5	10	5	17.08
夏伏旱 C	100	60	40	22.94	55	25	5	5	10	21.82
秋春旱 D	100	45	55	31.86	48	30	5	10	7	30.06
春夏旱 E	100	60	40	21.38	53	27	10	5	5	21.42
无旱 F	100	55	45	14.68	60	25	3	6	6	12.80
随机决策	100	55	45	18.44	53	25	4	10	8	18.50

为了检验上述决策方案的效果,我们选用1979年(春旱)、1980(秋、春连旱)、1986年(春、夏旱)、1987年(秋、春、夏伏旱)、1992年(春夏秋连旱)进行确定型和随机型决策检验,其结果如表5、表6。随机型接近历年的情况,效果不显著,决策意义不大。确定型决策效果比较显著,其综合减产率普遍少1%~3%,约可增加产量631~915万公斤,有优化决策价值,尤其是在春夏秋连旱的大歉产

表5 夏秋作物比例优化实况对比检验

年份	历史种植比例			优化种植比例			
	夏粮	秋粮	减增率	旱类	夏粮	秋粮	减增率
1979	52.3	47.8	-12.7	B	55	45	-12.0
1980	50.7	49.3	-25.2	D	45	55	-23.4
1986	59.6	40.4	13.9	E	60	40	14.0
1987	58.3	41.7	-26.6	D	45	55	-1.4
1992	64.2	35.8	29.7	D	45	55	39.5

之年(如1992年),可增产上亿公斤,就更显得应用不同干旱类型种植决策的重要性。而

表6 五种作物种植比例优化实况对比检验

年份	历史情况/%						优化种植/%					
	小麦	玉米	高粱	洋芋	油料	减增率	小麦	玉米	高粱	洋芋	油料	减增率
1979	58.9	20.7	3.7	9.6	7.3	-9.2	55	25	5	10	5	-7.8
1980	56.9	21.8	3.3	9.6	8.4	-29.9	48	30	5	10	7	-27.6
1986	65.7	13.1	1.6	8.4	11.2	15.0	53	27	10	5	5	16.8
1987	64.7	13.2	1.7	8.6	11.8	-0.2	48	30	5	10	7	1.3
1992	60.5	14.1	2.3	9.8	13.4	27.7	48	30	5	10	7	35.8

这些少减产的部分是在不增加任何投资成本情况下,仅依靠气象条件优化决策,合理安排作物种植比例而取得的增产效益。

#### 4 结论

(1)陇东干旱具有明显的地域差异,其发生频率一般由南向北逐渐递增,平凉地区干旱频率少于庆阳地区。在划分平凉地区的五类旱型中,春夏连旱和秋春连旱多于单一的其它季节性干旱。因此,季节性连旱对粮食产量的影响最大。

(2)根据不同旱类年型建立的最佳决策方案,虽然确定型优于随机型,但其依赖于长期天气趋势预报的准确程度。因此,应用种植决策还是以随机型与确定型兼用较为稳妥,风险性更小。

(3)按照种植决策方案安排作物布局,在不增加农业投入的情况下,就可以获得较高产量,经济效益是明显的。但是为了种植倒茬和供需平衡,有待在生产实践中不断加以完善。

#### 参考文献

- 1 杨小利,尹东.近50年平凉地区气候变化及其对农业生产的影响.气象,2001,27(5):16~18.
- 2 普布卓玛,周顺武.西藏地区旱涝等级划分及时空分布特征.高原气象,2002,21(2):210~216.
- 3 魏风英,张先恭.1991~2000年中国旱涝等级资料.气象,2001,27(3):46~50.
- 4 邱建军,肖炎南,幸德惠.2000年新疆粮棉协调发展的种植业线性规划.资源科学,2000,22(1):50~54.

## Study on Most Suitable Planting Decision-making for Crop Distribution in Pingliang Region, Gansu Province

Ma Pengli Deng Zhenyong Guo Jiangyong  
(Institute of Arid Meteorology, CMA, Lanzhou 730020)

#### Abstract

Based on the meteorological data at 18 stations in the east of Gansu Province and Guyuan, Changwu, Longxian from 1951 to 2000, the drought index every period at every station is calculated in every year and drought grade is divided, moreover, with the data of planting area and yield of crops such as summer crops, autumn crops, wheat, corn, jowar, potato, oil plants, the relation between climatic factors and crops yield is analyzed. At the same time, combining line layout with yield reduction rate matrix, planting decision-making model was divided into confirmed model and stochastic model, the most suitable planting project is selected. The result shows that whether summer and autumn crops or above five crops, the reduction rate of may be largest about 30%—40% in the years of autumn-spring drought, at may be least about 12%—15% in the years of no climatic drought. The stochastic decision-making model approached to average status, so decision-making's meaning is not too. But the confirmed decision-making model obtained marked effect that compositive yield reduction rate reduced 1%—3% universal, so decision-making's meaning is very much. In spite of confirmed model has more decision-making's meaning than stochastic model, the former must depend on exact prediction of long-range weather trend. In short, while institute project of planting decision-making for crops, taken into account confirmed model and stochastic model synthetically is reliable, riskless.

**Key Words:** crops distribution planting Decision-making