

内蒙古典型农牧交错区作物优化布局决策分析

白美兰^{1,2} 郝润全³ 侯琼¹

(1 内蒙古气象科学研究所, 2 内蒙古气象探测资料中心, 3 内蒙古气象科技开发中心, 呼和浩特 010051)

摘要 利用线性规划方法,以赤峰地区的巴林左旗为例,分析了内蒙古典型农牧交错区在各种干旱年型以及干旱年型未定的情况下,农作物的最优种植方案。并将此优化方案结果与实际作物种植情况进行效益分析评价,以验证此方案的增产效益,降低种植风险。结果表明:使用确定型或随机型优化方案,实际产量均有明显增产,并且确定型优化方案的增产效益高于随机型方案。但由于受到长期天气预报技术水平的限制,有时未来的干旱年型难以准确判定,此时使用随机型方案,粮食作物增产效益稳定,风险性低。

关键词 农牧交错区 线性规划 粮食作物 优化布局

引言

农牧交错区是指以种植业与舍饲畜牧业为主的农区和以放牧畜牧业为主的牧区之间的过渡地带,年降水量 250 ~ 400 mm 之间^[1]。在全国范围内,农牧交错区主要集中在内蒙古自治区境内,从大兴安岭西侧一直延伸到黄土高原北部和西部。由于该区域生态环境敏感而且脆弱,以及人类利用的不合理性,使资源利用中的矛盾更为突出,生态环境恶化严重,是荒漠化威胁最为严重的地区之一^[1]。目前,有关这方面的研究成果较多^[2~4],但主要是针对农牧交错区生态环境演变以及农业地区作物高产栽培模拟优化决策方面的研究,而把农牧交错区和作物优化布局结合起来研究的较少。随着国家对生态环境问题的日益重视,在农牧交错区出台了一些相应的措施,如产业结构调整、退耕还林还草等技术,逐步改变过去传统的耕作制度,压缩粮食作物的种植面积和比例。这就需要对有限的可耕地,制定出定量的科学的作物布局最优方案,用最低代价和支付,最大限度提高粮食产量,解决该地区群众生活的“温饱”问题。本文就此问题做些初步的分析探讨,为相关部门宏观决策提供参考。

1 问题的引出

农牧交错带是一条生态脆弱带。在该区域里并存着以农业、草业、林业和畜牧业生产为主的多种生产方式,其基本特点为气候类型多、土壤类型多、蒸发量大、降水量少且年际变率大。年平均气温为 2 ~ 8 °C,光照充足,温度和光照基本能满足农牧业生产要求;年降水量为 250 ~ 400 mm,且多暴雨,降水变率大,尤其是年际间变化更大,有的年份降水量达 500 ~ 600 mm,甚至达 700 mm,而有的年份还不到 200 mm。20 世纪 90 年代以后,农牧交错带气温逐年升高,但降水增加不明显,而蒸发量猛增,气候表现为明显的干热特征,导致极端气候事件频繁发生^[5]。干旱在该地区发生几率最高,危害最重,是粮食生产最主要的制约因素。由于该区域生产力水平低,经济落后,抗灾能力差,多年来粮食生产一直低而不稳。造成这种状况的主要原因是粮食作物布局的不科学性。各地仍以传统种植方式为主,同时考虑主管部门的指令性要求,对自然灾害的变化如干旱等考虑甚少,使作物布局带有很大的盲目性。如何考虑自然灾害变化的利弊,最大可能地提高粮食作物的产量效益,最大限度地发挥其生产潜力,是本文研究分析的问题所在。

内蒙古科技厅“内蒙古典型农牧交错区农业气候资源细化和利用研究”项目资助

作者简介:白美兰,女,1964 年生,硕士,高级工程师,主要从事气候应用和气象灾害监测评估研究,Email: nmghrq@sina.com

收稿日期:2005 年 2 月 16 日;定稿日期:2005 年 5 月 17 日

2 粮食作物布局决策模型的建立

2.1 建模思路及资料的分析处理

2.1.1 建模思路

粮食作物布局优化模型的设计,必须从当地的实际出发,首先考虑社会生产的需求,同时考虑自然条件的限制;另外,必须体现出好的经济效益。本文对社会需求方面,主要考虑近年来该地区粮食作物种植的实际情况;对自然条件主要考虑干旱灾害的影响,因巴林左旗春季发生轻旱以上的累计频率为 69%,夏季为 33%,秋季为 44%,春夏连续发生轻旱以上的累计频率为 42%,即使是春、夏、秋 3 季连旱,其轻旱以上累计频率也达 25%。可以说几乎每年都有程度不同、季节不同的干旱发生,因而干旱已成为制约当地农牧业生产的主要因素;关于经济效益,主要以产量的高低作为评判的标准。

2.1.2 资料的分析处理

选用巴林左旗 1971~2000 年的农作物单位面积产量资料如玉米、谷子、小麦等,根据历年实际种

植面积的大小,分别计算各种作物的实际种植比例。把干旱分为春旱、夏旱、秋旱以及春夏连旱、夏秋连旱、春秋连旱和春夏秋连旱等 7 种。不同干旱类型其划分标准不同^[5],春旱指标定义为:日平均气温稳定通过 5℃初日后连续 55 天累计降水量小于 70 mm 和 4~6 月间接墒雨日期距平小于 -12 天;夏旱指标定义为:6 月中旬至 8 月累计降水量的距平百分率小于 -15%和连旱日数大于 25 天;秋旱指标定义为:8 月下旬至 9 月上旬累计降水量距平百分率小于 -25%;基于上述标准,将春、夏、秋 3 种干旱单独发生时,分别定为春旱、夏旱和秋旱;上述 3 种干旱同一年发生 2 种以上时,则定义为连旱年型,包括不旱共 8 种年型,要求这 8 种年型的交集为空,其具体年型见表 1。

从表 1 可看出,巴林左旗的干旱年型主要以连旱年型为主,不旱年型发生几率较小,进一步说明随着气候的变暖,干旱是制约当地农牧业发展的主要因素之一^[6]。

表 1 巴林左旗干旱年型划分

	春旱	夏旱	秋旱	春夏连旱	夏秋连旱	春秋连旱	春夏秋连旱	不旱
出现年数	8	0	4	5	2	5	2	4
发生频率/%	26.7	0	13.3	16.7	6.7	16.7	6.7	13.2

2.1.3 经济作物产量资料的分析处理

影响作物最终产量形成的各种自然和非自然因素可划分为趋势产量和气象产量两部分,即^[7]:

$$Y = Y_t + Y_w \tag{1}$$

其中 Y 为粮食单产, Y_t 是趋势产量,第 k 年趋势产量的求算方法为:

$$Y_{t,k} = (Y_{k-2} + Y_{k-1} + Y_k + Y_{k+1} + Y_{k+2})/5 \tag{2}$$

Y_w 是受以气象要素为主的因子影响的产量分量即气象产量,其计算方法为:

$$Y_w = Y - Y_t \tag{3}$$

为了消除逐年间生产力水平的差异,按公式(4)分别求得各作物逐年间气候相对波动产量 C_k :

$$C_k = (Y_w / Y_t) 100\% \tag{4}$$

在本文以后的分析研究中,使用的都是历年气候相对波动产量资料。

2.2 建模原理及方法

线性规划是目前决策分析优化布局中使用最为

广泛,且最为有效的方法之一^[8]。其方法为:

在 n 个决策变量 $X_j (j = 1, 2, 3, \dots, n)$ 所构成的线性系统中,求满足于约束条件:

$$\sum_{r=1}^m \sum_{j=1}^n A_{rj} X_j \geq B_r \tag{5}$$

使得目标函数

$$f(x) = \sum_{j=1}^n C_j X_j \tag{6}$$

达最大的一组解即为最优解。式中 X_j 为决策变量, n 为决策变量的个数, A_{rj} 为决策变量技术参数, C_j 为决策变量效益参数, m 为约束条件方程的个数, B_r 为约束限量值, r 为约束方程的序号。

2.3 决策变量的设定

在布局决策分析中,主要寻求布局最优方案即最佳种植比例,故可将每种种植比例视为一个变量。在赤峰北部的巴林左旗,主要种植小麦、玉米、谷子、杂粮等,本文所设置的决策变量是这 4 种作物的种植比例,分别用 X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 表示。

2.4 约束条件的确定

种植比例受多种因素的制约,它的变化范围是有限的。本文用这个限度作为约束条件。根据1971年以来的粮食作物资料,分析历年各种作物的种植比例,确定上述4种作物种植比例的上下限(表2)及约束方程。

表 2 4 种作物种植比例及约束界限 %

	种植面积	玉米	谷子	小麦	杂粮
历年变化范围	100	6~28	15~44	3~26	30~60
约束上限	100	28	44	26	60
约束下限	100	6	15	3	30

约束条件方程为:

$$\begin{aligned} X_1 + X_2 + X_3 + X_4 &= 100 & (7) \\ 6 &\leq X_1 \leq 28 \\ 15 &\leq X_2 \leq 44 \\ 3 &\leq X_3 \leq 26 \\ 30 &\leq X_4 \leq 60 \end{aligned}$$

2.5 目标函数的确定

如何能在各种干旱年型中,选出粮食作物布局的最优方案,使产量达到最高,这是本文的欲达目标。这个目标用决策变量的函数表示,并应用线性规划决策方法进行优化,进而得到所需要的最佳选择。这个用以进行最佳选择的函数称为目标函数。根据实际情况,建立了2种数学模型。

2.5.1 确定型目标函数

所谓确定型是指未来干旱类型是确定的,即预测未来将发生第*i*种干旱时,则目标函数为:

$$Y_i = \sum_{j=1}^4 C_{ij} X_{ij} \quad (j = 1, 2, 3, 4) \quad (8)$$

从中求取最大者。式中, Y_i 为发生第*i*种干旱时单位

面积产量的期望值, X_{ij} 为发生第*i*种干旱时第*j*种作物面积占总面积的比例, C_{ij} 为发生第*i*种干旱时第*j*种作物产量效益系数。

2.5.2 随机型目标函数

所谓随机型是指未来将发生干旱,但具体类型难以确定。此时,仅靠线性规划方法难以进行最优方案的选择,需要将对策论方法与线性规划方法相结合^[9],通过对历史资料的统计分析,在掌握各类干旱发生几率的基础上,采用混合策略方法来解决选优问题。其目标函数为:

$$Y_u = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^4 P_i C_{ij} X_j \quad (9)$$

从中求取最大者。式中 Y_u 为单位面积混合决策期望值, P_i 为第*i*种干旱出现几率, C_{ij} 为第*i*种干旱发生时第*j*种作物产量效益系数, X_j 为第*j*种作物面积占总面积的比例, k 为干旱类型总数。

3 作物布局决策模型的优选

基于前述线性规划方法原理以及决策变量、约束条件、目标函数的设定,在干旱年型划分的基础上,求取目标函数中所涉及到的产量效益系数。

3.1 利用气候相对产量计算 C_{ij}

按照公式(4)分别求得各作物逐年气候相对产量后,再计算第*j*种作物在第*i*种年型时的气候相对产量平均值,该平均值即为由气候相对产量求得 C_{ij} 。

3.2 利用实际单位面积产量资料计算 C_{ij}

根据各作物历年的实际单位面积产量值,求取第*j*种作物在第*i*种年型的单位面积产量平均值,该平均值即为实际单产产值求得的 C_{ij} ,计算结果如表3所示。

表 3 2 种算法计算的 C_{ij}

干旱年型	利用气候相对产量计算				利用实际单产计算			
	玉米	谷子	小麦	杂粮	玉米	谷子	小麦	杂粮
春旱	-12.2	-6.5	-1.6	-20.0	1255.5	1102.2	1971	675
夏旱	0	0	0	0	0	0	0	0
秋旱	8.4	3.7	12.6	6.5	1513.5	117.5	2080.5	915
春夏连旱	14.8	5.8	1.3	-1.3	1741.5	1345.5	2089.5	975
夏秋连旱	-8.4	-5.1	-3.2	-10.6	1155.0	1110.0	1309.5	615
春秋连旱	6.9	-3.1	19.4	-21.2	1732.5	1036.5	2856	555
春夏秋连旱	-21.3	-40.7	-17.1	-31.1	1219.5	1177.5	1140	525

注:1971~2000年夏旱年型没有单独出现,单产为1hm²产量。

由于受诸多因素制约和影响,巴林左旗粮食作物单产在 1971 ~ 2000 年间波动性较大,但总的趋势是波动式的上升。同时从表 3 可看出,各类干旱年型由于出现年份、时段不同,致使各类干旱年型的产量效益系数可比性差,但在同一年型中各作物之间有较好的可比性。

3.3 决策模型规划

根据前述确定的目标函数和约束条件,应用线性规划求解方法中单纯形法,对确定型(共 7 种)和随机型干旱年型按照不同产量效益系数,分别进行求解,可得 14 种最优解。至此,对于未来将发生的每一种干旱年型,均有与之对应的作物布局优化方案可供决策者选用(表 4)。

表 4 巴林左旗 4 种粮食作物布局优化方案

%

干旱年型	种植总面积	最佳种植比例							
		利用气候相对产量计算				利用实际单产计算			
		玉米	谷子	小麦	杂粮	玉米	谷子	小麦	杂粮
春旱	100	25	20	10	45	15	31	6	48
夏旱									
秋旱	100	28	30	20	22	14	34	10	42
春夏连旱	100	20	35	6	39	13	35	9	43
夏秋连旱	100	22	40	5	33	16	41	3	40
春秋连旱	100	28	40	10	22	18	22	9	51
春夏秋连旱	100	15	20	5	60	21	38	4	37
随机型干旱	100	28	40	10	22	25	38	10	27

3.4 决策方案的优选问题

对每一种年型,2 种产量效益系数,就有 2 种布局优化方案。虽然均是从产量方面进行考虑,但其目标函数的意义不同。采用实际单产方案时,总产可望得到最高,但气候产量并不是最大;采用气候相对产量方案时,气候产量可望实现最大,但总产并非最高。若产量效益系数不同,布局优化方案相同时,采用该方案,则无论是总产还是气候产量,均可实现最高,当然这种种植方案是最理想的。但在实际应用中,此种方案出现概率较小,只能是有关部门在进行布局决策时,可根据欲达目标,选择适用的布局优化方案。

表 5 巴林左旗各年型作物布局优化方案增产效益 kg

干旱年型	年份	确定型增产效益		随机型增产效益	
		气候相对产量	实际产量	气候相对产量	实际产量
春旱	1998	265	2233	52	1968
夏旱					
秋旱	1992	554	2443	497	1760
春夏连旱	1997	251	2529	- 49	1529
夏秋连旱	1982	579	1793	571	894
春秋连旱	2000	419	2163	275	1693
春夏秋连旱	1978	430	1395	321	583

注:近 30 年夏旱年型未出现,干旱年型主要以季节连旱型为主。

从表 5 看出,若巴林左旗实施作物优化布局方案,则所有年型总产均有增加。尤其是确定型方案,增加效益明显,且大多数年份增产 1500 kg 左右;随机型方案虽大多数年份都有增产,但增产幅度小于确定型年型,大约为 1000 kg 左右,因而在未来干旱年型可准确预测的情况下,使用确定型优化方案,增产效益明显。但目前由于中、长期天气预报准确性还未达到此精度,建议在未来年型未定的情况下,使用随机型方案,其增产效益稳定,风险较低。

4 优化决策方案效益分析评价

为了验证表 4 中各优化方案的经济效益,选用近 30 年的作物实际种植总面积和单位面积产量资料(只选取代表年份),分别计算在各种年型下,优化决策模型所产生的最佳种植面积和总产,并与实际产量进行比较,分析其增产效益(增产效益 = 按优化决策模型的计算值 - 实产值),结果见表 5。

5 结 论

(1) 用线性规划方法安排农牧交错区粮食作物的种植方案,是促进当地农业发展的重要措施之一。它克服了以往种植方式单一的缺点,通过不同年型使用不同优化种植方案,在不增加任何投入的情况下,就可使粮食产量有较大幅度的提高。这对于地处半干旱气候区,生态环境脆弱的农牧交错带来说,其意义是十分重大的。

(2) 线性规划方法简便,易于推广。在内蒙古农牧交错带的绝大多数区域是可行的。尤其是在当今的信息网络快速发展的时代,通过 Internet 网络、手机短信等多种方式,可获得未来天气预报的趋势,使得此种方案实施起来,更为实用可行。

参考文献

[1] 韩建国,孙启忠,马春晖,等.农牧交错带农牧业可持续发展技

术[G].北京:环境科学与工程出版中心,2004:2-8,43-48.

- [2] 张羽,陈荣江,薛应征.水稻高产栽培优化决策研究[J].河南职业技术学院学报,2004,(3):15-17.
- [3] 杨启国.小麦栽培模拟优化决策系统介绍及应用[J].甘肃气象,2001,(1):45-48.
- [4] 格日乐,孙保平,汪季,等.阴山北麓农牧交错带生态经济系统的量化研究[J].干旱区资源与环境,2005,(2):170-173.
- [5] 于淑秋,林学椿,徐祥德.中国气温的年代际振荡及其未来趋势[J].气象科技,2003,3(3):11-18.
- [6] 连志鸾.石家庄极端冷暖天气气候事件及其与气候变暖[J].气象科技,2004,32(2):16-21.
- [7] 吴鸿滨.内蒙古自治区主要气象灾害分析[M].北京:气象出版社,1990:18-26.
- [8] 卢开澄.组合数学[M].北京:清华大学出版社,1999:286-307.
- [9] 李世奎.中国农业灾害风险评价及对策[M].北京:气象出版社,1999:312-317.

Decision Analysis of Grain Crop Rational Layout in Inner Mongolia Typical Farming Pastoral Region

Bai Meilan^{1,2} Hao Runquan³ Hou Qiong¹

(1 Inner Mongolia Research Institute of Meteorology, 2 Inner Mongolia Meteorological Sounding Data Center, 3 Inner Mongolia Meteorological Scientific and Technological Center, Huhhot 010051)

Abstract: The grain crop rational layout schemes in various drought conditions are analyzed by means of the linear programming method, taking Balinzuo Qi in Inner Mongolia as an example of the typical farming-pastoral region. In order to verify the yield-increasing effectiveness of the schemes and decrease the planting risk, the comparison analysis and assessment of the results between crop rational layout and reality are made. It is proved that the actual yields of various crops increased through using the optimal schemes, and the yield increase is more evident when drought types were defined compared with the case without defined drought types. However, the crop yield increment is steady with the risk index being lower through adopting the random scheme when the drought type cannot be determined accurately.

Key words: farming-pastoral region, linear programming, grain crop, rational layout