

飞机人工增雨的农业效益评估^①

王以琳 薛晓萍 刘 文

(山东省气象科学研究所, 济南 250031)

提 要

利用催化剂线源扩散模式确定人工增雨作业后的目标区, 并采用非随机活动对比区和目标区分层历史回归的方法估算作业效果。为评估增雨对农业的影响, 利用自然降水对农作物产量贡献的积分回归, 获得降水对农作物贡献系数。建立了每次人工增雨对主要农作物的经济效益模型。从而可根据增雨量对农作物产生的直接经济效益进行实时、动态、定量评估。

关键词: 人工增雨 效果评估 效益模型

引 言

山东的水资源严重短缺已成为制约经济发展的重要因素之一。飞机人工增雨是山东省目前主要的立体抗旱措施, 其中有很多科学问题需要解决, 如何估算作业的效益就是一个非常重要的问题。虽然山东春、秋季降雨过程较少, 只要抓住实施飞机人工增雨的有利时机, 可以收到很好的效果, 这对改善土壤墒情, 提高农作物的气象产量有一定作用。为此, 在筛选参量和非参量检验方法的同时, 针对山东作业的实际情况, 采用非随机活动对比区和目标区分层历史回归单次试验效果估算方法, 在每次增雨作业后估算增雨量。并利用不同时间内每毫米增雨对某种作物的直接贡献, 建立农作物经济效益评估模型, 估算每次作业后可能产生的经济效益。这一方法经编程后使其系统化, 提高了实用性。下面概述这种方法。

1 增雨量估算

增雨作业后根据扩散原理, 确定航线形成的影响区。根据所属天气系统, 参照这种系统的总雨量图 and 对比区与影响区的相关性,

确定对比区。然后进行历史区域回归分析, 求出增雨量。

1.1 天气系统分类

在效果估算中, 为实现天气系统分层历史回归方法, 我们将 1979~1988 年 4~6 月, 9~10 月(飞机作业季节)的 759 个降雨日分为 4 类 14 种天气系统。4 类天气系统分别为: 南方气旋类、北方气旋类、冷锋类和其它类。

南方气旋类指由西南或南方移来的地面气旋。它包括黄淮气旋、江淮气旋和江南气旋(在气旋东移过程中, 按其中心通过 120°E 所在纬度分类, 33.5°N 以北属黄淮气旋, 30.0~33.5°N 之间属江淮气旋, 30.0°N 以南为江南气旋)。由于很多南方气旋形成于地面倒槽中, 它们的宏观特征、形成机制和物理量相似, 因此把地面倒槽也归于南方气旋中。

北方气旋是发生在极锋锋区上的锋面气旋。它包括蒙古气旋和黄河气旋。蒙古气旋多发生在蒙古中部和东部, 黄河气旋多发生在黄河中、下游至渤海一带。按气旋东移过程中, 气旋中心通过 120°E 时所在的位置, 中心

^① 本文由国家“九五”(96-020)05 专题和省局“山东飞机人工增雨条件和催化部位的实时决策系统”课题资助

在 41~45°N 之间的为蒙古气旋,在 41°N 以南为黄河气旋。

冷锋是伴随西风槽的地面锋区。根据冷空气南下的路径,可把冷锋分成三路。冷空气经蒙古、华北向东南方向移动的为西北冷锋,冷空气经河西走廊东移的为河西冷锋,冷空气自贝加尔湖以东南下的为北方冷锋。

其它类天气系统包括静止锋、地面辐合区、台风外围、高压外围和锢囚锋。

1.2 天气系统的统计特征

把 759 个降雨日分成 4 类天气型的主要依据是它们的高空形势、宏观特征和路径,同

时也兼顾个例数的多少,以便在回归分析中有较多的样本。表 1 列出了 759 个降雨日的统计结果。从表 1 中可以看出南方气旋类降雨日数最多,占总降雨日数的 33.7%。其中黄淮气旋是平均每站降雨量最大、降雨范围最广的天气系统。平均每个降雨日有 80.4 个站降雨,占山东总测站的 64.32%,其次是静止锋。西北冷锋和黄淮气旋是降雨几率最大的天气系统。由表 1 可知,南方气旋、北方气旋和冷锋类天气系统在人工增雨作业中是我们最为关注的天气系统。

表 1 天气系统统计量

天气系统	降雨日数 /天	月平均雨 日/天	平均每站降 雨量/mm	平均降雨站 数/个	占全省降雨测站 百分比/%	
南方气旋	黄淮气旋	129	2.58	12.54	80.47	64.32
	江淮气旋	74	1.48	6.70	57.3	45.84
	江南气旋	17	0.34	3.71	42.5	34.00
	倒槽	36	0.72	4.97	48.6	38.88
北方气旋	蒙古气旋	43	0.86	5.93	41.4	33.12
	黄河气旋	88	1.76	9.57	54.8	43.84
冷锋	西北冷锋	152	3.04	5.62	39.7	31.76
	河西冷锋	43	0.86	4.75	52.8	42.24
	北方冷锋	14	0.28	7.23	48.9	39.19
其它	静止锋	9	0.18	11.80	73.3	58.64
	辐合区	35	0.7	6.15	36.5	29.20
	台风外围	5	0.1	3.60	39.2	31.36
	高压外围	109	2.18	3.46	31.4	25.11
	锢囚锋	5	0.1	8.14	59.8	47.84

1.3 影响区和对对比区

由于每次飞机人工增雨作业的航线不同,对比区和影响区的地理位置也不同。为此,采用活动对比区和影响区方法。在确定影响区时考虑到平流输送、湍流扰动和播撒线源之间催化剂的叠加后,碘化银的扩散浓度可表示为^[1]:

$$q = \frac{Q}{4\pi Kt} e^{-\frac{(x-u)^2}{4Kt}} \left[e^{-\frac{(x-H)^2}{4Kt}} - e^{-\frac{(x+H)^2}{4Kt}} \right] \quad (1)$$

式中 Q 是单位线源的核生成率, H 是作业高度, K 是湍流系数, t 是扩散时间, u 是作业时

飞机实测风在航线垂直方向的投影。根据式(1)可以确定催化线源某一时刻、某一地点的粒子浓度,也可以给出粒子浓度的空间分布。根据给定碘化银粒子浓度,可确定催化剂在扩散区内的某一范围为播撒线源的影响区。这样确定的催化影响区去掉了线源之间可能影响不到的空白区。它与烟团扩散模式^[2]或理论推断都很相似。由于在微机上可以实现这种催化剂的模拟扩散,这种方法在山东人工增雨的效果估算中已经使用。

在确定对比区时,考虑到对比区和影响

区的雨量分布趋势应基本相同,相关性好。为此,累加每类天气系统降雨日的雨量,得到这类天气系统的总雨量图。各类天气系统的总雨量分布不同。图 1 是南方气旋类天气系统

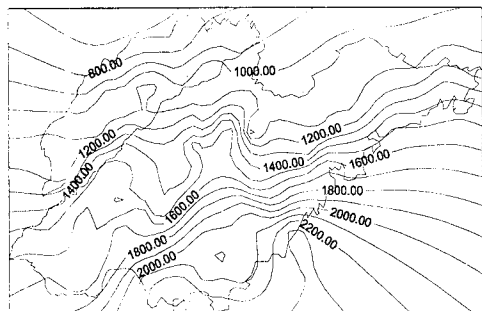


图 1 256 个南方气旋总雨量分布

256 个降雨日的总雨量分布图(其它三类天气系统的总雨量图略)。从图 1 上可以看出这类天气系统的等雨量线基本呈东北—西南走势。影响区确定后,在影响区的上风方或侧方

选择对比区,对比区和影响区应位于总雨量图的同—等雨量线上。它们一般相隔约 30~50km 以防污染。对比区的面积与影响区的面积应基本相当。在选择历史回归个例时,为了有较好的降雨代表性,选择对比区和目标区中大于等于 2/3 个测站有降雨的个例作为历史样本。历史回归中对比区和目标区的相关系数要通过 $\alpha = 0.05$ 的检验。

1.4 雨量资料处理和检验

效果估算时采用对比区和目标区中测雨站的逐时雨量资料。由于用 t 检验法检验效果的显著度,要求参加统计的历史样本雨量服从正态分布。我们对同一类天气系统影响区和对比区的区域平均雨量资料进行对数、二次方根、三次方根、四次方根和五次方根的变数变换。经柯尔莫哥洛夫拟合度检验,从中取正态拟合度较大的变数变换。历史区域回归的样本用变换后的区域平均雨量。单个事件 t 检验统计量如下^[3]:

$$t = \frac{y - \hat{y}}{\sqrt{\frac{(1-r^2)}{n-2} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 \left[1 + \frac{1}{n} + \frac{(x - \bar{x})^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \right]}}} \quad (2)$$

式中 n 是建立回归方程的历史样本数, x_i, y_i 是历史样本值, \bar{x}, \bar{y} 是历史样本平均值, x, y 是作业实测值, \hat{y} 是如不催化目标区自然降雨量的估计值, r 是相关系数。

2 增雨对作物产量的效益分析

2.1 降水与产量关系的分析

根据文献[4,5](小麦、玉米、甘薯和棉花)不同生育时段的需水指标,山东主要农作物在生长期水分供需矛盾较大。而山东农业用水主要靠自然降水。尤其在 1997 年底黄河小浪底工程开始截流以后,黄河每年分配给山东 70 亿立方米水,解决三分之一有效灌溉面积的先天优势不复存在,水资源的严重短缺将使光、热资源得不到充分利用,产量降低。作物产量对自然降水的依赖性越来越大,二者关系较密切。若视每一旬为作物的一个

生育时段,则旬自然降水对作物产量的贡献可用 Fisher R. A. 的积分回归表示出来,其模型为^[6]:

$$y_{wi} = c_0 + \int_0^{\tau} a_j(t) R_{ij}(t) dt \quad (3)$$

式中 y_{wi} 为气象产量, R_{ij} 为降水因子, c_0 为常数项, i 为样本数, $j = 1, 2, \dots, \tau$ (生物时段), $a_j(t)$ 为偏回归系数,即每旬内毫米增雨对每公顷作物产量的增产值,由它便可分析作物生育期内不同时段降水对产量的影响及其变化特征。根据山东的气候特点以及作物长期的水分供需差,将山东分为鲁东、鲁中和鲁西三大区域,其中鲁东区包括威海、烟台、青岛和潍坊,鲁中区包括淄博、临沂、日照、泰安、滨州、枣庄、莱芜和东营,鲁西包括菏泽、济宁、台儿庄、济南、聊城、德州。由积分回归

模型计算得出各区域作物4~6月、9~11月 2。

逐旬毫米增雨对产量的动态影响系数见表

表2 每毫米降水对作物产量的贡献/kg·hm⁻²

旬	小麦			玉米			甘薯			棉花	
	鲁东	鲁中	鲁西	鲁东	鲁中	鲁西	鲁东	鲁中	鲁西	鲁中	鲁西
上/4	6.015	3.000	2.115								
中/4	5.595	2.445	1.590							1.365	0.900
下/4	5.220	1.800	1.020							0.885	0.930
上/5	4.920	1.035	0.405	3.075	2.880	0.735	0.870	7.800	3.000	0.495	0.930
中/5	4.695	0.150	-0.240	3.705	2.115	1.650	2.370	5.265	2.280	0.210	0.915
下/5	4.575	-0.855	-0.945	3.870	1.515	2.130	3.285	3.420	1.695	0.000	0.855
上/6	4.560	-1.980	-1.680	3.660	1.065	2.235	3.690	2.160	1.230	-0.135	0.795
中/6	4.665			3.150	0.735	2.055	3.690	1.380	0.900	-0.195	0.690
下/6				2.46	0.52	1.66	3.37	1.02	0.69	-0.21	0.58
上/9				-0.30	1.050	-0.42	0.030	2.145	1.545	0.360	-0.42
中/9				0.690	1.230	0.300	0.495	1.725	1.920	0.405	-0.570
下/9	3.195			2.310	1.395	1.515	1.485	0.915	2.310	0.420	-0.71
上/10	4.725	3.030	2.145				3.075	-0.42	2.730	0.375	-0.83
中/10	6.015	3.180	2.670				5.355	-2.34	3.180	0.180	-0.92
下/10	7.080	3.360	3.135				8.430	-4.97	3.630	0.105	-1.05
上/11	7.935	3.540	3.525								
中/11	8.595	3.720	3.855								
下/11	9.075	3.900	4.110								

2.2 增雨对作物效益的评估模型

人工增雨对作物的直接经济效益是通过其最终形成的产量表现出来的,若进行的增雨作业次数为n,每次增雨量以Δr_i表示,某作物j每公顷的气象产量的变化为:

$$\Delta Y_{wj} = \sum_{i=1}^n a_j(t) \Delta r_{ij} \quad (4)$$

现以C_j代表作物产量的市场价格(元),M_j代表某作物在各省市的种植面积(公顷),K_u代表气候区域,l为单次增雨作业区域内有收益的县市数,每次人工增雨对全省主要农作物的经济效益模型为:

$$s = \sum_{j=1}^4 C_j \cdot \Delta r \cdot \sum_{u=1}^{K_u} \sum_{i=1}^l M_j(u, i) \cdot a_j(u, i) \quad (5)$$

由表2和上式可对农作物因人工增雨量产生的直接经济效益进行实时、动态、定量评估。

3 实例分析

1998年4月11日受黄淮气旋的影响山东出现了一次降雨过程,潍坊飞机作业基地

的安26飞机于18:50~22:08组织了一次夜航。作业中燃烧碘化银丙酮溶液40kg,含AgI约800g。碘化银溶液的成核率约为10¹²个·g⁻¹(-8℃)^[7],催化区的温度为-8℃,K为40m²·s⁻¹,风向188度,风速18.1m·s⁻¹,作业高度4200m。线源的成核率Q为单位长度燃烧碘化银的克数与碘化银溶液成核率的乘积。按照催化剂扩散模式,取经扩散后粒子浓度大于等于5个·L⁻¹的区域为催化线源的影响区。图2标出这次作业的航线、对比区和影响区。计算得到影响区面积为2.45×10⁴km²,对比区面积2.01×10⁴km²。在历史回归库中选择了77个符合对比区和影响区选择条件的样本。它的回归方程为:

$$y = 0.55 + 0.62x \quad (6)$$

两区的相关系数r=0.72,影响区的绝对增雨量0.92mm,相对增雨25.42%,影响区内总增雨量0.226×10⁸m³。

4月中旬人工增雨直接受益的主要作物是小麦和棉花,小麦正处于拔节至抽穗的生

长关键期,棉花处于播种、出苗阶段。增雨对产量的影响均为正效益。由式(4)、(5)和表2可知,小麦增产 $250.53 \times 10^4 \text{kg}$,棉花增产 $4.15 \times 10^4 \text{kg}$,直接经济效益 370.49 万元。

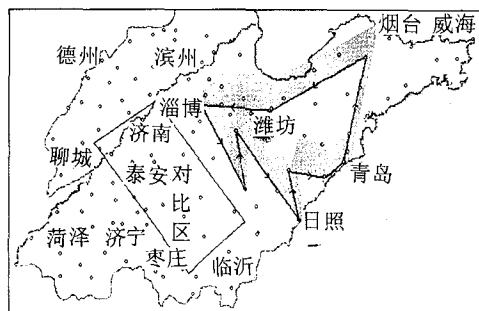


图2 1998年4月11日效果估算示意图
箭头线为航线,阴影区为影响区

4 小结

①为解决飞机增雨作业中没有固定目标区的问题,采用非随机活动对比区和目标区分层历史回归单次试验效果估算方法,可在每次增雨作业后估算增雨量。

②由计算扩散方程和给定扩散区内粒子浓度的方法得到的影响区去掉了线源之间可能影响不到的空白区,比较符合实际情况。以

系统的总雨量图和对比区与影响区的相关系数确定对比区的方法人为因素比较小,相对比较客观。

③农作物产量与降雨量的关系密切,由积分回归模型得到每旬毫米增雨量对各作物产量的贡献系数,并由此建立增雨对作物产量直接影响的效益动态评估模型,把人工影响天气与农业生产有机的结合在一起。

致谢:感谢胡志晋、陈万奎研究员对本文提出的宝贵意见。

参考文献

- 1 申亿铭.云中催化剂的扩散.北京:气象出版社,1994,69~100.
- 2 余兴等.层状云中非垂直多条播线源催化剂扩散的数值模拟.气象学报,1998,56(6):708~723.
- 3 曾光平,吴章云.人工降雨.福州:福建科学技术出版社,1997,100~104.
- 4 史可琳,薛晓萍等.莱州湾沿岸地区作物水分诊断.山东师大学报,1996,(3):48~52.
- 5 薛晓萍,史可琳等.莱州湾沿岸作物产量与降水通径分析研究.山东农业大学学报,1998,(2):176~182.
- 6 魏淑秋.农业气象统计.福州:福建科学技术出版社,1985,157~162.
- 7 鄧大雄.燃烧 AgI 丙酮溶液产生冰核气溶胶.气象,1991,17(3):3~8.

The Effect Assessment of Cloud Seeding for Agriculture

Wang Yilin Xue Xiaoping Liu Wen

(Shandong Research Institute of Meteorological Science, Jinan 250031)

Abstract

The regression analysis method of non-stochastic process and movable control over the target area was used to assess seeding effect. The target area was determined by diffusion equation. For assessment effect of cloud seeding for agriculture, contribution coefficient of precipitation to crop production was obtained using integral regression of precipitation. An economic-benefit model of main crop was established. It can be used to assess quantitative effect of cloud seeding.

Key Words: cloud seeding effect assessment benefit model