



林西县防雹效果的统计检验

林大强

李喜生

(内蒙昭盟气象局) (内蒙林西县气象局)

林西县是内蒙昭盟冰雹灾害最严重的地区。自1967年开始防雹试验,一直持续到现在。随着防雹工作的开展,人们对防雹效果问题提出了种种疑问,本文试图通过对一些常用统计量的多种分层统计来讨论这个问题。现在常用的数理统计检验方法大致有三种:随机试验法,对比法和时间序列法。在缺乏对实验进行严格设计的情况下,我们采用的是时间序列法检验。

一、资料来源及说明

本文所用资料取自林西气象站观测资料和历年收集的雹情,以及在1981年进行的两次大规模的冰雹调查。

林西县面积约4000平方公里,在1954—1980年的27年中共有雹日306个,其中防雹前13年(1954—1966年)111个,防雹后14年(1967—1980)195个*。由于防雹的目的是防止雹灾,因而用受灾和成灾面积来进行效果分析比用雹日等参数更直接,意义也更明显。因此,我们根据收集资料的情况,采用了成灾面积(受灾减产30%以上者)和重灾面积(受灾减产80%以上者)分别进行统计分析。由于林西县以种植粮食作物为主,故可以不考虑作物种类对受灾情况的影响;至于作物生长期对它受灾情况的影响将在按月份分层统计时考虑到。

二、统计检验的基本出发点

如果只以防雹前后成灾和重灾的年平均值得比较(见表1),则防雹后的成灾和重灾面积比防雹前都有大幅度的增长,这与“防雹无效”、“冰雹越打越厉害”的看法是一致的。但是值得注意的是,防雹前后林西县冰雹活动情况有所不同,防雹后少数大范围的强冰雹活动对统计量的贡献很大,而防雹前却没有这种情况。从雷达资料分析,它们主要是属于超级单体、传播雹云等一些强冰雹过程。以1975年为例,全年共21个降雹日,而7月25日一次超级单体雹云造成的成灾和重灾面积就分别为其它20次过程总和的6.3倍和6.1倍。这些为数不多的强过程是使统计量在防雹后大幅度增长的重要原因。所以不加分析地笼统把防雹前后做对比是不合适的,除非认为防雹促使雹云发展成为超级单体等强雹云。从另一角度分析,目前较普遍的看法是,以现有手段对强烈雹云作业难以取得正效果,可能发生效果的主要是那些移动性不大的所谓“弱单体”雹云。下面就针对这类雹云的作业效果进行分析。

表1 防雹前后年平均值的变化情况

类别	防雹前年平均	防雹后年平均	防雹后比防雹前减少比率
成灾(千亩)	9.106	36.505	-301%
重灾(千亩)	6.215	18.635	-200%

鉴于缺乏长期的、完整的雷达资料,只能根据每次过程影响的范围来划分,即:每次降雹涉及范围小于或等于3个大队(约30平方公里)以下者认为是弱单体造成的,这样的弱单体数为270,占过程总数306的88%。

三、统计量的正态性检验

历年成灾及重灾的分布情况见表2。

表2 历年成灾及重灾面积分布 单位:千亩

年份	成灾	重灾	年份	成灾	重灾	年份	成灾	重灾
1954	3	3	1963	12.6	12.6	1972	28.5	18
55	4	0	64	0	0	73	7	0
56	9.6	0	65	8.1	8	74	6.977	0
57	29	25.8	66	6.78	1.5	75	4.7	4.7
58	0	0	67	4.5	3.5	76	9.2	1.3
59	4	0	68	16	14	77	14.3	8.5
60	6	6	69	23.2	7	78	16.94	4.44
61	5.5	5.5	70	10.977	0	79	2	0.4
62	29.8	25	71	8.7	2.7	80	.8	7.3

为检验两个统计量防雹前后均值差异的显著性,首先判别它是否服从正态分布,其结果见表3。

表3 成灾及重灾面积分布的正态性检验

类别	样本数 n	分组数 m+1	$\sum_{i=1}^{m+1} (np_i - v_i)^2 / np_i$	自由度 m-2	显著水平 α	λ 值	是否正态分布
成灾面积	27	6	9.45	3	0.01	11.3	是
重灾面积	27	7	28.2	4	0.05	9.49	不是

由表3可知,成灾面积可用正态分布近似,检验防雹前后年平均值差异可采用t-检验,而对重灾面积则需采用秩和检验。

四、防雹前后统计量差异的显著性检验

防雹前后成灾和重灾面积年平均值的变化情况如表4所示。

表4 防雹前后统计量年平均值的变化

类别	防雹前年平均 \bar{x}_1	防雹后年平均 \bar{x}_2	防雹后比防雹前减少比率
成灾(千亩)	9.106	11.485	-26%
重灾(千亩)	6.215	5.131	17%

1. 成灾面积值变化的t-检验

由于未知防雹前后的方差是否有显著性差异,

* 一日中全县范围内有一次以上降雹的为一个雹日。

故需先进行方差相等性检验 (F-检验), 结果见表 5。

由于 $F = 1.65$, 而 $0.3 < 1.65 < 3.15$, 即 $\lambda_1 < F < \lambda_2$, 故两者无显著差异, 可应用方差相等时的双侧 t-检验, 其公式为:

$$T = \frac{\bar{x}_2 - \bar{x}_1}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \cdot \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}$$

由此可求得 $T = 0.72$, 查自由度 $n_1 + n_2 - 2 = 25$ 时的 t 分布表, 在显著水平 $\alpha = 0.05$ 时 $\lambda = 2.06$ 。

由于 $0.72 < 2.06$, 可认为成灾面积在防雹后没有显著增加 (即减少 -26%, 见表 4)。

表 5 防雹前后受灾面积的方差相等性检验

样本数 n_1	样本数 n_2	方差 s_1	方差 s_2	$F = s_1^2/s_2^2$	分子自由度 $n_1 - 1$	分母自由度 $n_2 - 1$	显著水平 α	λ_1	λ_2	有否显著差异
13	14	9.66	7.53	1.65	12	13	0.05	0.3	3.15	无

表 6 防雹前后重灾面积的秩排列

秩	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
防雹前		0	0		0	0		0			1.5		3				5.5	6			8		12.6			25	25.8
防雹后		0		0		0	0.4	1.3			2.7			3.5	4.4	4.7			7	7.3		8.5		14	18		

做 μ 检验: $\mu = \frac{T - \text{均值}}{\text{标准差}} = -0.17$

在显著水平 $\alpha = 0.05$ 时, $\mu = -0.17$ 落在 $(-1.96, +1.96)$ 内, 故防雹后重灾面积减少 17% 也同样通过显著性检验。

五、对两种作业情况分别检验

林西县的防雹分为两个阶段, 即 1967—1972 年为单纯土法防雹, 1973—1980 年为高炮和土法结合防雹 (以下简称高炮防雹), 下面对两种情况分别进行效果检验。其均值变化情况见表 7。

表 7 两种防雹效果的比较 单位: 千亩

类别	成灾面积均值			重灾面积均值		
	防雹前	防雹后	减少比率	防雹前	防雹后	减少比率
土法	9.106	15.313	-68%	6.215	7.533	-21%
高炮	9.106	8.615	5%	6.215	3.33	46%

由表 7 可见, 土法防雹后无论成灾或重灾面积的年平均值都有所增加, 而高炮防雹则使两者都有所减少。现在检验这种差异是否显著。

1. 对成灾面积防雹前后差异的检验

由于分层后样本数的改变, 仍需做方差相等性检验 (F 检验), 其结果是肯定的。

再对它们分别应用方差相等时的 t-检验, 发现无论土法或高炮造成的差异都不显著。

2. 对重灾面积防雹前后差异的检验

由于重灾面积不遵从正态分布, 故采用秩和检

2. 对重灾面积年平均值变化的秩和检验

其样本数与成灾面积相同, 即防雹前 $n_1 = 13$, 防雹后 $n_2 = 14$ 。将资料按秩排列 (见表 6):

对样本数较小的 n_1 组求秩和 $T = 178.5$, 统计量 T 近于遵从正态分布:

$$N \left(\frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2}, \frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12} \right)$$

可求出其均值 = $\frac{n_1(n_1 + n_2 + 1)}{2} = 182$

标准差 = $\sqrt{\frac{n_1 n_2 (n_1 + n_2 + 1)}{12}} = 20.6$

验, 结果得到和成灾面积同样的结论: 无论土法或高炮防雹均未产生显著效果。

六、按月份的分层统计检验

在以上几种统计方法都没有得出防雹前后受灾情况有任何显著差异的情况下, 我们又根据作物生长期的不同, 粗略地按月份做了分层, 即把 6 月与 7—9 月分开统计。由于分层后无论成灾或重灾面积的变异系数均很大, 难以用正态分布近似, 故一律采用秩和检验。

1. 对 6 月份情况的秩和检验 (表 8)

由表 8 可见, 除土法防雹后成灾面积比防雹前有较大增长 (即减少 -107%) 外, 其他各统计量均有所减少, 最多甚至达 85%, 但由于这些量的起伏太大, 其变率仍在自然变化之内, 都没有通过显著水平 0.05 的检验。

2. 对 7—9 月的情况进行检验, 虽然统计量起伏小了, 但由于均值变化也不大, 仍都未通过检验 (见表 9)

七、对防雹前后各统计量按雹日平均值差异的检验

我们注意到, 防雹前有 111 个雹日、防雹后 14 年有 195 个雹日, 相差较大, 如把统计量按雹日平均来比较是有道理的。由于掌握有每个雹日的受灾情况, 做到这一点除了烦琐之外并无其它困难。但必须说明的是: 我们的观点是某一天是否为雹日并不受作业的影响。目前的防雹手段下, 我们从未发现作业会使雹云完全不降雹或是正好相反。否则只能认为是事先判断错误。我们只希望作业能使降雹情况有所改变。此外, 由于收集的是面上的而不是点上的资料, 即使降雹地点由于作业可能有所偏移也不会改变雹日。如忽略了这一点, 下面的分析将失去意义, 这也是我们不用雹日做为统计量的主要原因。

表8 6月份防雹情况的效果检验

年份	类别	均值变化情况 (千亩)			秩和检验						
		防雹前	防雹后	防雹后比防雹前减少比率	较小样本数 n_1	秩和 T	T 的均值	T 的标准差	μ 值	显著水平	有否显著差异
全部防雹年份 (14年)	成灾	0.885	0.857	3%	13	179	182	20.6	-0.19	0.05	无
	重灾	0.877	0.429	51%		180					
土法 (6年)	成灾	0.885	1.833	-107%	6	60	60	11.4	0	0.05	无
	重灾	0.877	0.833	5%		62					
高炮 (8年)	成灾	0.885	0.188	78%	8	85.5	88	13.8	0.18	0.05	无
	重灾	0.877	0.125	85%		84.5					

表9 对7—9月防雹效果的检验

年份	类别	均值变化情况			秩和检验						
		防雹前	防雹后	防后比防前减少比率	较小样本数 n_1	秩和 T	T 的均值	T 的标准差	μ 值	显著水平 α	有否显著差异
全部防雹年份 (14年)	成灾	7.529	10.435	-39%	13	153	182	20.6	-1.4	0.05	无
	重灾	5.154	4.689	9%		162.5					
土法 (6年)	成灾	7.529	13.48	-79%	6	77	60	11.4	1.49	0.05	无
	重灾	5.154	6.7	-30%		72.5					
高炮 (8年)	成灾	7.529	8.152	-8%	8	100	88	13.8	0.87	0.05	无
	重灾	5.154	3.18	38%		97					

表10 按雹日平均的效果检验

年份	类别	均值变化情况			秩和检验						
		防雹前	防雹后	防后比防前减少比率	较小样本数 n_1	秩和 T	T 的均值	T 的标准差	μ 值	显著水平 α	有否显著差异
全部防雹年份 (14年)	成灾	1.066	1.018	5%	111	14554	15041	631	-0.77	0.05	无
	重灾	0.787	0.455	42%		15041					
土法 (6年)	成灾	1.066	1.506	-41%	61	5656	5277	312	1.21	0.05	无
	重灾	0.787	0.741	6%		5091					
高炮 (8年)	成灾	1.066	0.710	33%	97	10404	10290	436	0.26	0.05	无
	重灾	0.787	0.275	65%		9369					

由于每个雹日的成灾和重灾面积的年变差很大,不可能使用正态分布来近似,故一律采用秩和检验,其结果见表10。

表10中唯一有显著性差异的是高炮防雹的8年中,按雹日平均的重灾面积比防雹前显著地减少了。

八、讨论

1. 本文仅讨论了对移动性不大的弱单体雷云的作业效果。正如许多人指出的那样,它在雷云中占绝大多数,而其危害程度占的比率却要小得多。对少数强烈雷云作业效果的统计分析不是本文所能解决的问题,而是目前许多人正在着力研究的课题。

2. 在选取成灾面积和重灾面积两个统计量后,采用0.05的显著性水平进行多种分层或交叉分层的统计检验,可以看出以下几点:

① 如以防雹前后为分界的话,则无论全年的年平均或分日的年平均或按雹日平均,都未发现作业有任何正的或负的效果。

② 对年平均值进行的统计分析表明,在不同的

作业情况下(即土法或高炮防雹)均没有任何效果。

③ 土法防雹(空炸炮)在任何一种分层统计中都没有表现出任何效果。

④ 高炮防雹只有在按雹日平均的重灾面积上表现了减少65%的正效果(其中包括系统的和随机的偏差)。

3. 土法防雹就其原理来说是不清楚的,一般认为的所谓冲击波对云施加的种种影响也早已被实验证实是错误的。本文所做的简单时间序列分析也发现它没有取得任何正或负的效果。

4. 高炮防雹国内外不少地区正在进行,也有取得正效果的实例,本文在一种分层统计中也发现了这一点。但对此项工作仍存在不少争议,解决该问题的关键在于进行包括科学的效果检验在内的周密的实验研究。

5. 本文是采用简单的办法把弱单体单独分出进行检验的,如果采用一些协变量并加以物理-统计检验的话,结果可能有所改变。