

效果分析

一、统计检验

1974年夏季昭苏

气象站雹日数比历年都较少，现在要问，这种

偏少究竟是偶然的波动（即随机因素）造成的，还是反映了高炮防雹效果；如果是反映高炮防雹效果，那么，效果约有多大？

1. u 检验 将昭苏气象站历年夏季（6—8月）雹日数以三天为单位分成若干区间，计算累计频率，并用正态概率纸检验雹日波动的规律是否遵从正态分布。由附图可见，各点近于直线，偏离不大，故认为雹日数是遵从正态分布的。

关于高炮防雹效果的初步分析

新疆自治区气象局科研所

位于我区西部边境的昭苏县，是新疆冰雹最多的地区之一。据该县气象站（1956—1973年）记录，每年平均雹日为23天，最多年可达32天，对农业危害很大，几乎每年都有上万亩农田遭受冰雹灾害。1974年夏季，我们在昭苏地区首次开展了碘化银高炮防雹试验，使防雹区内广大农田基本免遭冰雹灾害。经统计检验，防区内的雹日数显著减少，显著性水平达到0.025。

基本情况

作业布局：在昭苏气象站上游西——西北——北方向上，布设高炮作业点三个，大致以气象站为中心呈扇形排列。气象站与各炮点相距5公里，每点配双筒三七高炮一门，控制上游方向移来的几支雹线，以保护灯塔牧场、羊场和种马场等地近十二万亩农田。在防雹区内外布设了冰雹、雨量观测点15个，雷达观测指挥点一个。

作业方法：当雹云进入高炮射程以内，以宏观为主，配合雷达，指挥高炮作业。作业时机、作业部位和用弹量根据当时雹云情况而定。

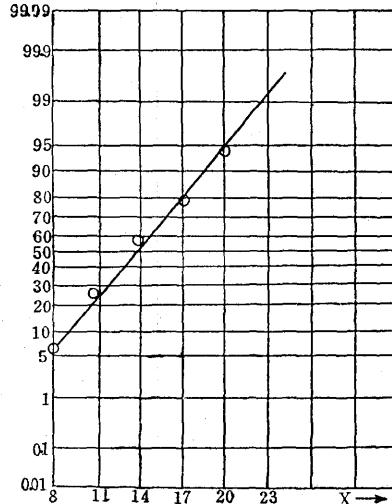
作业时间：6月1日至9月6日共进行14个高炮作业日，消耗炮弹1,325发。

降雹和灾情实况：从点上来看，昭苏气象站1974年夏季仅出现5个雹日，比以往任何年都少（见表）；从面上来看，防区内除种马场稍有轻微损失外，其他

昭苏气象站历年夏季（6—8月）雹日表

年份	1956	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74
雹日数	9	9	20	15	21	12	8	14	15	12	18	20	17	15	12	14	11	14	5

三个社场均未受冰雹灾害。而防雹前三年除了灯塔牧场外，其他三个社场每年均有不同程度损失。就种马场（一、三队）而言，防雹前三年（1971—1973年）平均受灾面积占播种面积的46%，损失产量占应收产量的45%，平均每年受灾面积8,000亩，损失粮食176万斤。1974年开展高炮防雹后，灾情显著减轻，受灾面积2,100亩，损失粮食5万斤，仅占应收产量的2%，比前三年平均减少35倍。



附图 正态概率纸

现已知1974年防雹后，实际雹日数 $x' = 5$ 天，假设防雹无效，即防雹后 $\mu = \mu_0$ ，

则 $u = \frac{x' - \mu_0}{\sigma_0}$ ，服从 $N(0, 1)$ 分布，

高炮防雹前共有18年雹日数资料，即防雹前样本平均值 (\bar{X}) ，标准差(S)分别为：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad x_i = 14.2^*$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2} = 3.9$$

$n = 18$

* 雹日数是离散变量，以天为单位，这里把它看成是连续变量。

现用样本平均值(\bar{x})和标准差(S),近似代替昭苏气象站历年雹日数总体均值(μ_0)和标准差(σ_0)。

$$\text{则 } \mu_0 = 14.2 \quad \sigma_0 = 3.9$$

$$\text{从而得到统计量: } u = \frac{x' - \mu_0}{\sigma_0} = \frac{5 - 14.2}{3.9} = -2.36$$

$$\text{取信度 } \alpha = 0.01, \text{查正态分布表, } u_{0.01} = 2.33$$

$$\text{可知: } u = -2.36 < -u_{0.01} = -2.33$$

即在0.01显著性水平上防雹后雹日数比防雹前显著地少了。可见,1974年夏季雹日数偏少,不完全是随机因素造成的,而包含有人工防雹的效果。或者说,人工防雹是有效的。这个判断错误的可能性为1%。

区间估计: 取 $\alpha = 0.05$,查正态分布表_{0.05} = 1.28,

$$\text{由 } P(u \leq -u_{0.05}) = 0.05$$

$$\text{可知 } P(u > -u_{0.05}) = 1 - \alpha = 0.95$$

$$\text{即 } u > -u_{0.05} = 1.28$$

上述不等式成立概率为0.95

$$\text{则 } \frac{x - \mu_0}{\sigma_0} > -1.28 \quad x > \mu_0 - 1.28\sigma_0 = 9.2 \text{ 天}$$

即如果不开展防雹,1974年夏季雹日数大于9.2天概率为95%。

$$\text{由 } x > \mu_0 - 1.28\sigma_0 \text{ 知 } -x < -\mu_0 + 1.28\sigma_0$$

$$x' - x < x' - \mu_0 + 1.28\sigma_0$$

$$\text{令 } \Delta x = x' - x \quad \text{则 } \Delta x < x' - \mu_0 + 1.28\sigma_0 = -4.2 \text{ 天}$$

即防雹后,雹日数减少4.2天以上的概率达到95%。

2. 回归分析 令y为昭苏气象站历年夏季雹日数,X为该站历年夏季雷雨日数(有雷暴,并同时有大于0.1毫米降水量)。

根据该站1956—1973年夏季雷雨日数和雹日数相关统计得出:

$$\text{回归方程: } y = 0.35x - 1.4 \quad \text{相关系数 } r = 0.68$$

自由度N=n-2,取信度0.01,查相关系数检验表,得到相关系数临界值为0.59。即r=0.68>r_{0.01}=0.59

可见他们的相关是成立的(显著性水平达到0.01)。

1974年夏季实际雷雨日数x'=38天,代入回归方程,得到1974年夏季雹日数估算值(y₀)。

$$y_0 = 0.35x - 1.4 = 11.9 \text{ 天}$$

$$1974 \text{ 年夏季昭苏气象站实测雹日数 } y'_0 = 5 \text{ 天}$$

假设人工防雹无效,则t值服从t一分布,

$$t = \frac{y_0' - y_0}{\sqrt{\frac{1}{n-2}(1-r^2)[1+\frac{1}{n}+\frac{(x'-\bar{x})^2}{sx^2}]sy^2}}$$

$$\text{式中 } sx^2 = \sum_{i=1}^n x_i^2 - (\sum_{i=1}^n x_i)^2/n = 974$$

$$sy^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - (\sum_{i=1}^n y_i)^2/n = 255$$

$$t = \frac{5 - 11.9}{\sqrt{\frac{1}{18-2}(1-0.68)^2[1+\frac{1}{18}+\frac{(38-45.1)^2}{974}]}} = -2.23$$

自由度N=n-2=16,取信度 $\alpha=0.025$,查t检验表得_{0.025}=2.12,

$$\text{即 } t = -2.23 < -u_{0.025} = 2.12$$

$$\text{由 } P(t \leq -u_{0.025}) = 0.025$$

可知,在0.025显著性水平上,人工防雹后实测雹日数比用回归方程估算的雹日数显著地少了。

二、个例分析

1974年9月6日和7日均出现了降雹天气,其中9月6日进行催化作业,将夏季作业最后剩余的100发炮弹全部用完,9月7日因无炮弹,故未作业,从而自然地构成了一对作业日与非作业日的随机比较。9月上旬正是昭苏盆地麦粒黄熟待收季节,对冰雹危害反映特别明显。尽管9月7日雹云强度比6日弱,但灾情比6日严重,作业日与非作业日构成明显的效果差异。现将这两天的天气形势、雹云特征、效果情况对比分析如下:

1. 天气形势 9月6日—7日是一次长波槽脊东移过程中,西西伯利亚大槽侵入新疆,形成了一次较为明显的天气过程。9月6日500毫巴高空图上,昭苏处于低槽前部,冷空气已侵入,主力偏北,9月7日接近低槽底部。地面图上,9月6日午后冷锋开始侵入伊犁地区,傍晚本站气压连续上升,锋面过境,形成一次中等强度的雷阵雨冰雹天气;9月7日无明显系统侵入,但由于高空槽尚未过境,有利于山区对流天气的发展,因此午后继续出现雷阵雨冰雹天气。从昭苏实况来看,9月6日雹云来势和范围都比7日强。

2. 雹云特征:

气压涌升值 9月6日14时20分至14时25分,降雹前气压涌升0.5毫巴,出现明显气压鼻;9月7日14时38分至14时52分(第一次降雹前)未出现气压鼻;略呈锯齿形下降,涌升值小于0.1毫巴。

闪电频数 根据自记闪电记录仪观测,9月6日闪电频繁,10分钟平均闪电次数36次,10分钟最大闪电次数达195次,根据对昭苏地区闪电特征观测结果分析,已达到降大冰雹指标;9月7日10分钟平均

闪电次数6次，最大闪电次数仅21次。

降水强度 根据2号炮点阵地自记雨量计观测记录，降雹时段内，平均每分钟降水量（包括雨滴）9月6日0.13毫米，9月7日第一次降雹0.05毫米，第二次降雹0.03毫米。

宏观特征 9月6日雹云云体大，颜色乌黑，来势较猛；9月7日云体小，来势较弱。另外，9月6日和7日两块雹云源地及移动路线基本上是一条线，都是由北山经2号炮点、羊场、种马场一队到马山。

3. 降雹实况：

9月6日2号炮阵地，19时23分至19时34分持续降雹11分钟，众数直径5—8毫米，最大直径10毫米。下游羊场、种马场一队，降雹强度减弱，雹粒稀拉，冰雹直径减小，众数直径3—5毫米。

9月7日2号炮阵地两次降雹，第一次降雹14时50分开始到15时19分终止，断续出现5次，累计降雹时间9分钟。第二次降雹16时17分开始到16时25分终止，中间出现间断，累计降雹时间4分钟。众数

直径2—3毫米，最大直径5毫米，雹粒稀拉，有的落地融化。下游羊场、种马场一队降雹强度加大，雹粒密集，众数直径5—8毫米。

4. 下游受灾情况：

羊场：有5千亩小麦，9月6日轻微受打，未受损失；9月7日损失较大，30%麦粒掉地，按亩产200斤估算（下同），损失粮食约20万斤。

种马场一队：尚有1,400亩小麦未收割，9月6日，5%麦粒掉地，损失粮食约1万4千斤，另有500亩油菜地未受损失；9月7日，500亩油菜损失50%，按亩产100斤估算，损失油菜籽2万5千斤；1,400亩小麦地又有10%麦粒脱落，损失粮食约2万8千斤。

上述对比分析可见，无论从天气形势、雹云的强度和阵地的降雹实况来看，9月6日的降雹天气比7日严重。但是9月6日进行了高炮作业，作业后高炮控制的下游地区降雹强度显著减弱，灾情比9月7日轻。9月6日受灾面积比9月7日少5倍，损失粮食少25倍。