

吉林省大暴雨的统计分析

丁士晟

(吉林省气象科学研究所)

提 要

通过资料的统计分析,证明吉林省大范围大暴雨和局地大暴雨之间存在着明显的差异。大范围大暴雨不仅暴雨区面积大、水汽充沛、整层湿润、含有较大的内能,而且几乎都是由台风造成的——至少影响吉林省面积最大的九次大暴雨都如此。大范围大暴雨与环境场密切相关,而局地大暴雨与东亚环流关系不大。经过计算得到大范围大暴雨所需水汽,仅靠影响系统是不够的,它需要有大量源源不断水汽的补充,而局地大暴雨则所需水汽依靠影响系统已足有余。

大暴雨往往造成严重的灾害,特别是大范围大暴雨易引起人民生命财产的严重损失。本文根据吉林省暴雨有关气象、水文资料,对吉林省大暴雨进行一些统计分析。

一、大范围大暴雨和局地大暴雨

我们过去的研究曾给出日雨量大于100毫米、面积小于3,000平方公里、其暴雨中心日雨量大于150毫米的称为局地大暴雨。同时将三天雨量100毫米以上、面积大于10,000平方公里、其暴雨中心在200毫米以上的称为大范围大暴雨。据1953年到1975年气象、水文资料统计,吉林省共有11次局地大暴雨,20次大范围大暴雨。

首先让我们来分析怎样区分局地大暴雨和大范围大暴雨。

先用大于100毫米大暴雨的面积,对31次大暴雨进行最优二分割,由于大暴雨的面积相差几十倍甚至几百倍,所以不直接用大暴雨的面积,而对大暴雨的面积取对数后再进行最优二分割。如大于100毫米的面积为 x_i (单位平方公里)则有:

$$y_i = \log x_i$$

进行最优二分割,分为 $\{y_1, y_2, \dots, y_m\}$ 与 $\{y_{m+1}, y_{m+2}, \dots, y_n\}$ 二类,它们的总变差为:

$$S_n(2; m) = V_{1,m} + V_{m+1,n}$$

其中 n 为序列长度, m 为分割的序号, $V_{1,m}$ 和 $V_{m+1,n}$ 为变差, $V_{1,m} = \sum_{i=1}^m (y_i - \bar{y}_{1,m})^2$ 。

$$V_{m+1,n} = \sum_{i=m+1}^n (y_i - \bar{y}_{m+1,n})^2. \text{ 式中 } \bar{y}_{i,m} \text{ 和 } \bar{y}_{m+1,n} \text{ 都是平均数.}$$

最优二分割就是从 $n+1$ 个总变差中挑选一个总变差最小的, 并记为:

$$S_n^*(2) = \min_{1 \leq i \leq n-1} (S_n(2; i))$$

以暴雨面积取对数 y_i 进行最优二分割, $i = 1, 2, \dots, 31$, 计算的总变差由表 1 给出:

表 1 用暴雨面积的对数计算的总变差

m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
总变差	1787	1687	1549	1428	1279	1135	965	796	595	399
m	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
总变差	279	340	363	419	458	480	517	608	664	755
m	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
总变差	847	964	1056	1152	1259	1358	1462	1549	1687	1787

这样有 $S_n^*(2) = 279$ (当 $m = 11$).

这就是说对于大暴雨应分为二类, 一类是面积小的 11 次, 这正好是 11 次局地大暴雨. 另一类是面积大的 20 次, 这正好是 20 次大范围大暴雨. 这说明我们原来的标准, 从暴雨面积的角度来看, 这样分二类是合适的, 没有一次混杂, 并且分割是最优的.

当然, 只根据暴雨面积区分局地大暴雨和大范围大暴雨是不够的, 我们要问这两类大暴雨在物理特征上有没有本质的差别. 假相当位温 θ_{se} 可代表气团属性, 500, 700, 850 毫巴三层温度露点差之和 $\Sigma(T - T_d)$ 可以表示整层潮湿程度, 我们用这二个量对大暴雨进行分割. 在 31 次大暴雨中有 4 次缺少高空资料. 在 27 次大暴雨中有 10 次是局地大暴雨, 17 次是大范围大暴雨, 所取 θ_{se} 是 850 毫巴暴雨中心附近探空站的值, $\Sigma(T - T_d)$ 也是暴雨中心附近探空站的值. 进行最优二分割得到:

对于 θ_{se} 有 $S_n^*(2) = S_n(2; 10) = 671$

对于 $\Sigma(T - T_d)$ 有 $S_n^*(2) = S_n(2; 10) = 502$

它们均在 $m = 10$ 把序列分为两组, 前 10 个都是局地大暴雨, 后 17 个正好是大范围大暴雨. 不论 θ_{se} 还是 $\Sigma(T - T_d)$ 都可以很好区分局地大暴雨和大范围大暴雨, 也就是说, 我们原来将大暴雨分为二类是合适的, 区分的标准是适宜的.

二、大范围大暴雨和局地大暴雨的差别

我们将从下列几个方面来看大范围大暴雨和局地大暴雨有无明显差异.

表 2 给出吉林省大范围大暴雨和局地大暴雨不论在时间、地点、影响系统和副高形状等方面都有明显差异. 大范围大暴雨主要集中在盛夏较湿润的中、东部地区较多. 而局地大暴雨盛夏少, 初夏和晚夏在半干旱的西部地区多. 影响系统差异也很明显, 大范围大

表 2 大暴雨 x^2 检验表

	时 间		地 点		影响系统			副高形状	
	7.20—8.25	6.3—7.19 8.26—9.11	中东部	西部	台风	南来气旋	其它	块 状	偏东, 条状
大范围大暴雨	20	0	14	6	12	7	1	20	9
局地大暴雨	2	9	2	9	0	2	9	7	4
x^2	23.0		7.70		20.7			8.5	
$x^2_{0.01}$	6.6		6.6		9.2			6.6	

暴雨主要是台风和南来气旋(指江淮气旋和华北气旋), 而局地大暴雨没有由台风所造成的。副高呈块状中心在日本附近, 水汽北上输送到吉林省造成大范围大暴雨。

表 3 给出副热带高压脊线位置、西风槽南端位置、 $\Sigma(T - T_d)$ 、地面 T_d 、三层平均 θ_{sc} 和 $\theta_{sc_{100}} - \theta_{sc_{200}}$ 六项大范围大暴雨和局地大暴雨的平均值及 F 检验。

表 3 大暴雨 F 检验表

	副高脊线位置	西风槽南端位置	$\Sigma(T - T_d)$	地面 T_d	$\bar{\theta}_{sc}$	$\Delta\theta_{sc}$
大范围大暴雨	$31.4^\circ\text{N} \pm 3.8^\circ$	$24.2^\circ\text{N} \pm 5.1^\circ$	$4.6^\circ\text{C} \pm 2.6^\circ$	$21.0^\circ\text{C} \pm 2.3^\circ$	$343.9^\circ\text{K} \pm 4.4^\circ$	2.0°C
局地大暴雨	$25.0^\circ\text{N} \pm 5.8^\circ$	$28.7^\circ\text{N} \pm 4.3^\circ$	$15.5^\circ\text{C} \pm 7.5^\circ$	$18.5^\circ\text{C} \pm 1.4^\circ$	$328.1^\circ\text{K} \pm 6.3^\circ$	-2.8°C
F	9.26	6.50	32.2	9.76	21.9	3.31
$F_{0.01}$	7.60	4.18	7.77	7.77	7.77	7.77

大范围大暴雨和局地大暴雨在副高脊线位置、西风槽南端位置、 $\Sigma(T - T_d)$ 、地面 T_d 和平均 θ_{sc} 五项差异均很明显。副高偏北和西风槽偏南都说明有利于低纬度水汽向北输送到吉林省, 有利产生大范围大暴雨。整层湿润、露点大和 θ_{sc} 值大都说明水汽充沛, 含有较高内能, 也有利于产生大范围大暴雨。稳定度两者虽有差异, 但经 F 检验差异并不明显。

经 x^2 检验和 F 检验有九个方面都证明大范围大暴雨和局地大暴雨存在明显差异。除此以外, 影响吉林省的大范围大暴雨一般持续 2—3 天, 暴雨区随着天气系统明显移动, 而局地大暴雨一般仅持续 2—4 个小时, 暴雨区移动不明显。大范围大暴雨最大雨强比局地大暴雨小, 前者一般 40—80 毫米/小时, 后者一般 80—120 毫米/小时。大范围大暴雨 20 次无一例外都有低空急流相伴随, 暴雨中心在低空急流左侧 2—5 个纬距, 而局地大暴雨却不一定有低空急流。从雨区范围分析可知吉林省大范围大暴雨上升区有几十万平方公里, 而局地大暴雨的上升区仅几万平方公里。从时间、空间尺度来判断, 大范围大暴雨属于次天气尺度, 而局地大暴雨属于中尺度。

三、台风与吉林省暴雨

吉林省 20 次大范围大暴雨中有 12 次是受台风影响, 占 60%, 这 20 次中暴雨面积最大的 9 次均是受台风影响, 可见地处较高纬度的吉林省台风对它的影响是多么大。台风

影响吉林省时 θ_{se} 都比较大, 平均 $\theta_{se} = 345.3^\circ\text{K}$, 而非台风影响的大范围大暴雨平均 $\theta_{se} = 341.3^\circ\text{K}$ 。大范围大暴雨中 θ_{se} 最大的三次均是台风。当受台风影响时比较湿润, 平均 $\Sigma(T - T_d)$ 为 4.2°C , 而非台风影响则为 5.3°C 。台风造成的大范围大暴雨 100 毫米以上面积平均为 5.0 万平方公里, 比不是台风造成的大范围大暴雨的面积平均为 2.4 万平方公里大一倍多。

吉林省虽处高纬度, 但几乎每年都要受台风影响, 1954 到 1973 年这 20 年共有 51 个台风影响吉林省, 平均每年 2.55 次。影响吉林省台风大体上分三种情况:

(1) 台风(包括变性成气旋)经过吉林省, 平均每年 0.9 次, 这类台风对吉林省影响最严重, 如 1960 年 8 月 21—23 日受 6014 号台风影响, 吉林省东部地区普遍下了暴雨, 其中 100 毫米以上的面积达 108,000 平方公里, 是我省大暴雨中面积最大的一次大范围大暴雨, 也是人民生命财产损失最严重的一次大暴雨。这类台风往往还处在很远海面上吉林省就开始下雨, 如 6014 号台风在温州以东洋面上, 远离台风中心 1700 公里的长春受台风倒槽影响就开始下雨。

(2) 受台风环流影响, 平均每年 1.35 次。台风中心并不经过吉林省, 但它的环流雨区影响吉林省。在朝鲜转向或沿日本海北上的台风都可以影响吉林省造成大雨或暴雨。

(3) 台风在 $30^\circ-40^\circ\text{N}$ 、 $100^\circ-130^\circ\text{E}$ 之间消失, 但台风水汽进入西风带在吉林省与冷空气相遇, 产生大范围暴雨或大暴雨, 平均每年 0.3 次。1953 到 1975 年间共有 8 次台风消失在上述区域内, 其中 5 次产生大范围大暴雨, 是各类台风中产生大范围大暴雨机率最大的。

例如 1956 年 8 月 1 日强台风在浙江象山湾登陆, 在我国西北地区消失, 它的水汽 6 日移到吉林省和冷空气相遇, 使在蒙古气流的暖锋上发生锋生造成大范围大暴雨, 其 100 毫米暴雨面积达 66,000 平方公里, 是吉林省较大的一次大范围大暴雨。图 1 给出 1956 年 8 月 1—8 日 700mb 比湿动态图。从这图可清楚看到台风消失后其水汽对吉林省的影响。

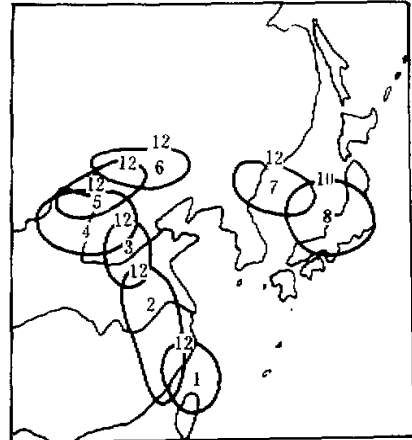


图 1 1956 年 8 月 1—8 日 700mb
比湿中心动态图
单位: 克/千克

四、大暴雨的水汽

上面讨论了影响吉林省大范围大暴雨和局地大暴雨的差别, 那末要问为什么这二类大暴雨有这么大的差别, 这些差别是偶然的呢还是必然的? 我们在此讨论这个问题。

先计算一下二类大暴雨的平均总降水量及天气系统拥有可降水部分。

局地大暴雨 11 次平均 100 毫米以上的面积为 880 平方公里, 暴雨中心雨量平均为 218 毫米, 可以估算局地大暴雨总降水量平均约为 4.4 亿方水。而局地大暴雨地面露点平

均 18.5℃, 850 毫巴到 300 毫巴可降水量为 28 毫米, 影响它的低值系统面积平均约为 50 万平方公里, 如果其它条件具备, 可降水量中有一半可以降落变为雨量, 则总降水量可达 70 亿方, 它是局地大暴雨平均降水量的 15.9 倍。或者说只要 3.2 万平方公里水汽集中起来, 就可以提供局地大暴雨所需的水汽, 它不需要从系统外提供水汽, 所以, 局地大暴雨与环境场——如副高、西风槽、低空急流等关系似乎不大。

大范围大暴雨 100 毫米以上平均面积为 47,800 平方公里, 暴雨中心平均雨量为 244 毫米, 可以估算它平均总降水量约为 202 亿方。20 次大范围大暴雨地面露点平均为 21.0℃, 850 毫巴到 300 毫巴可降水量为 36 毫米, 其低值系统平均面积约为 45 万平方公里(由于大范围大暴雨 60% 是台风影响, 台风到高纬度其面积一般都比气旋小, 所以它的低值系统平均面积反而比局地大暴雨小), 如果可降水量中有一半的水汽可变成雨量, 这样总降水量平均仅 81 亿方, 也就是它仅占大范围大暴雨总降水量的 40%。所以就大范围大暴雨而言, 低值系统拥有的水汽是不够的, 它还需要一定的环流背景, 使水汽源源不断地输送到吉林省。这种环流背景包括副高偏北, 其脊线在 31°N 附近, 副高呈块状, 其中心在日本附近, 西风槽南端偏南达 25°N, 并且有一支低空急流, 具备这些条件就有利于水汽由低纬向较高纬度的吉林省输送。但是在时间上只有盛夏才能具备这样的环境场。台风和南来气旋除了本身可以带来较充沛的水汽外, 它们的北上也往往使环境场有利于水汽向北输送。从这些分析就可以比较清楚地看到第二节所作的一些统计检验不是偶然的。

由于大范围大暴雨和局地大暴雨有许多本质上的不同, 所以, 在预报上也应采取不同的方法。如落区法在大范围大暴雨预报中有一定参考价值, 但是在局地大暴雨中就几乎没有用。对于局地暴雨我们应该建立一套独特的预报工具。

参 考 文 献

- [1] 陶诗言等, 中国之暴雨, 科学出版社, 1980。
- [2] 陶诗言、丁一汇、周晓平, 暴雨和强对流天气的研究, 大气科学, 3 卷 3 期, 1979。
- [3] 丁士晟, 近年来北方暴雨预报科研的进展, 北方灾害性天气文集, 气象出版社, 1981。

THE STATISTICAL ANALYSIS FOR HEAVY RAIN OF JILIN PROVINCE

Ding Shieheng

(Institute of meteorological Science of Jilin Province)

Abstract

Statistical analysis has shown that there exists the obvious difference between large area and local heavy rain. The characteristics of large area heavy rain are not only great rain-area, rich in vapour moist in whole layer and high potential energy, but also nearly all typhoon-caused. At least, so are nine heavy rains which had the greatest affecting area in Jilin province. The large area heavy rain is in close relationship with background circulation, but the local heavy rain is not. It is found by calculation that, the vapour only coming from the affecting system, is insufficient for the large area heavy rain, but sufficient for the local; as a result, the continuous complement of vapour in large quantities is required by the large area heavy rain.