

用深层地温预报汛期降水趋势

汤懋苍 吴士杰

(中国科学院兰州高原大气物理研究所)

我们曾指出，下垫面热量储放是引起天气变化的重要因素之一^{[1]、[2]}。还曾推导出一个适合于做长期降水预报的公式^[3]。

$$A_1 R = \lambda \frac{\partial T_D}{\partial z} - C_s \rho_s D \frac{\partial T_s}{\partial t} - A_2 T_{s1} + A_3 T_s - A_p u_s - A_p v_s - R^* \alpha_{s0} - \frac{L E_p}{f_0} f_0 \quad (1)$$

式中 A_1 、 A_2 、 A_3 和 A_p 、 f_0 均是只与气候平均状态有关的系数； R 是降水距平百分率； λ 为土壤导热系数； T_D 为深度 D 处的地温距平， C_s 、 ρ_s 分别为土壤的比热和密度。

由 (1) 式可见，影响降水的因素可分为三类：

(1) 下垫面温度及其分布和变化 (T_{s1} , $\frac{\partial T_D}{\partial z}$ 和 $\frac{\partial T_s}{\partial t}$)；(2) 大气的温度距平(T_s)和风(u_s 和 v_s)；(3) 初始时刻下垫面反照率(α_{s0})和土壤湿度(f_0)。值得注意的是，这三类因素并非相互无关，如地表温度距平(T_{s1})与大气温度距平(T_s)往往是同号变化，而且数值相差不大。而 $A_2 \approx A_3$ ，故 (1) 式右端三、四两项往往相互抵消。地表反照率(α_{s0})和土壤湿度(f_0)对长期天气的影响是明显的^[5—7]，但是，目前尚没有足够的实测资料可用。一般说来， α_{s0} 的大小基本上决定于土壤湿度^[4]和植被生长状况，在自然状况下，植被的生长又与土壤湿度和温度关系密切，而土壤湿度又与降水量本身有密切关系。故从 (1) 式来看，能够独立地影响长期降水的因素大致是两个：(1) 下垫面因素，如地温状况 ($\frac{\partial T_D}{\partial z}$, $\frac{\partial T_s}{\partial t}$) 等，(2) 环流因素 (u_s , v_s)。

关于大尺度环流因素和某些天文因素对汛期降水的影响，已经有过许多研究。下面我们只讨论下垫面温度对汛期旱涝的影响。

一、关于 Q 的计算

(1) 式右端的头两项 ($\lambda \frac{\partial T_D}{\partial z} - C_s \rho_s D \frac{\partial T_s}{\partial t}$)，实质上是表征土壤热储量变化的，将它写成差分形式，就得到从冬到夏土壤给大气的热量距平值。

$$Q = C_s \rho_s k_s \frac{T_{s1} - T_{s2} - \tau}{\Delta z} + C_s \rho_s D (T_{s1} - T_{s2}) \quad (2)$$

一般来说 $A_2 T_{s1} \approx A_3 T_s$ ，若取 $u_s = v_s = \alpha_{s0} = f_0 = 0$

(即不考虑环流因素和初始的下垫面因素)，则由 (1) 式可得 $A_1 R = Q$ ，即 R 和 Q 成正比，只要能得出 Q ，即可预报出 R 。下面讨论 (2) 式中各参数的取值。

汛期预报大致是半年预报。根据我们的统计，深度为 1.6 米的地温距平符号的同号持续期大致是半年，愈往深层持续期愈长^[2]。因此从时间尺度的对应来说，应该用 1.6 米及其以下的地温资料作为汛期预报的预报因子。于是 (2) 式中各项的取值应该是： $\tau = \text{半年}$ ； $D = 3.2$ 米（应该取得更深，但目前无此资料）； $T_{s1} - T_{s2} = T_s - T_1$ （下标 3 和 1 分别表示 3.2 和 1.6 米）； $T_s - T_{s2}$ 是从冬到夏 0—3.2 米的平均地温变化，用 1.6 米地温代替； C_s 、 ρ_s 、 k_s 随地点变化，平均可取为 $C_s = 0.25$ 卡/克·度， $\rho_s = 1.5$ 克/厘米³， $k_s = 5 \times 10^{-3}$ 厘米²/秒。这样 (2) 式可写成：

$$Q = 120(T_s - T_{s2}) + 180(T_s - T_1) \quad (3)$$

(3) 式中的 T_s 及 $(T_s - T_1)$ 都是汛期出现的实况，因而是需要预报的。当春季作预报时，只有 T_s 是已知的。所以，要用 (3) 式作降水预报，还需进一步简化。下面分两种情况讨论。

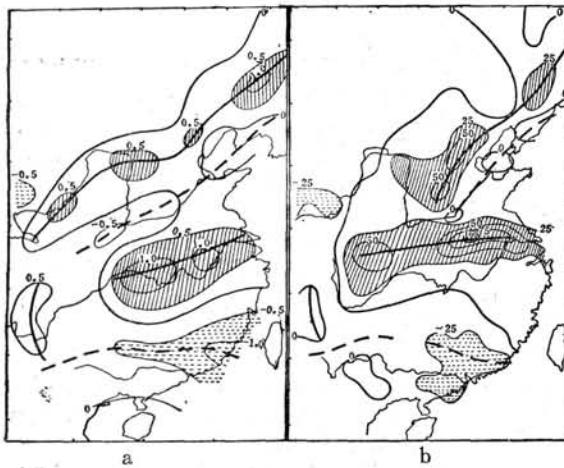
二、设 $T_{s2} = 0$ 的情形

若假设 $T_{s2} = T_{s1} = 0$ ，则由 (3) 式可得 $Q = 120 T_s$ ，这就是说，汛期 (4—9 月) 降水距平 (以下简称 R) 将与冬季 (头年 11 月至当年 2 月) 的 1.6 米平均地温距平成正比。也许有人会说，上述假设条件太苛刻了，实际情况很难满足。事实上若用单点资料作预报，准确率确实很低。我们统计了我国 22 个地温记录年代较长 (15 年以上) 的测站， T_{s1} 与 R 的同符号率平均只略高于 50%，40°N 以北的测站甚至低于 50%，同符号率最高的华北北部 3 站 (北京、天津、太原) 平均也只有 64%，长江中下游 5 站 (武汉、黄石、长沙、南昌、上海) 平均只有 60%。但是若用 T_{s1} 的分布图来做 R 的区域预报，效果如何？我们对比分析了我国 1955—1974 年共 20 年的 T_{s1} 与 R 分布图，发现从较大范围来看，效果较好。表 1 列出了九块记录较密地区的同符号率。可以看出，区域性的同符号率比单点要高出 10—15%。对 40°N 以南地区来说，已经可以用来预报汛期降水分布趋势。

附图是 1955 年 11 月—1956 年 2 月 T_{s1} 分布 (a) 图和 1956 年 4—9 月降水百分率 (b) 图，将这些图对照起来，可见大部分地区 T_{s1} 与 R 的分布形势是一致的，尤其是对淮河大水在 T_{s1} 分布图上有反映。另外，对 1958 年的黄河中游大水、1959 年江淮流域大旱等都有反映 (图略)。

表1 各区域 $T_{\text{冬}1}$ 与 R 的同符号百分率统计

区 域	长江下游	两 湖	汉 水	中 原	京 津	晋 北	内蒙南部	陇 东	东北中部
同 号 率 (%)	74 (14/19)	81 (13/16)	72 (13/18)	75 (15/20)	74 (14/19)	79 (15/19)	71 (12/17)	69 (11/16)	60 (9/15)

附图 a. 1955年11月—1956年2月1.6米地温距平
b. 1956年4—9月降水距平百分率

有意思的是，有些年份的正、负距平区虽然对应得不好，但它们之间的高值轴线和低值轴线仍对应得比较好。在1955—1974年20年的 $T_{\text{冬}1}$ 分布图上总共可分析出95条极值轴线（100°E以西地区未分析），其中有77条（占总数81%）在250公里以内有R的极值轴线与其对应。可见用 $T_{\text{冬}1}$ 的轴线来预报汛期降水的分布趋势，效果是可以的。

为什么 $T_{\text{冬}1}$ 与 R 的极值轴线的对应关系比它们之间的符号对应关系要来得更好？我们认为其基本原因可能是，影响长期天气的环流因子的尺度比下垫面因子的尺度要大得多（如季平均的500毫巴高度距平场其尺度为几千公里，而 $T_{\text{冬}1}$ 的尺度只是几百公里）。取（1）式右端的第2、5、6三项，设 $T_{\text{夏}1} = 0$ ，可得

$$A_1 R = C_s \rho_s D T_{\text{冬}1} = \vec{A}_{\text{so}} \cdot \vec{A}_s \quad (4)$$

式中 $\vec{A}_{\text{so}} = \vec{i} A_{\text{px}} + \vec{j} A_{\text{py}}$ ， $\vec{V}_s = \vec{i} u_s + \vec{j} v_s$ 为4—9月对流层平均风速的距平。因（4）式右端两项是同量级的（3），可见因为 \vec{V}_s 的影响，R与 $T_{\text{冬}1}$ 的符号不会对应得很好。对（4）式两边施以梯度运算，因为

$$\text{grad}(C_s \rho_s T_{\text{冬}1}) \gg \text{grad}(\vec{A}_{\text{so}} \cdot \vec{V}_s)$$

所以（4）式可简化为

$$A_1 \cdot \nabla R \approx C_s \rho_s D \cdot \nabla T_{\text{冬}1} \quad (5)$$

由（5）式可以得到，R与 $T_{\text{冬}1}$ 的极值轴线的对应应该很好。

三、 $T_{\text{夏}3} \neq 0$ 的情况

上节设 $T_{\text{夏}3} = T_{\text{夏}1} = 0$ ，对单站预报来说，是过于简化了。现在，我们再根据3.2米地温距平(T_3)的

变化趋势，分三种情况来讨论 $T_{\text{夏}1}$ 和 $T_{\text{夏}3}$ 的取值。

1. 地气正常年 在一般年份， $T_{\text{夏}1}$ 要向 T_3 靠近，因为 T_3 的同号持续期大致为2—3年[2]，所以 T_3 反映着一种更长周期的变动，故可取 $T_{\text{夏}1} = T_{\text{冬}3}$ ， $T_{\text{夏}3} = T_{\text{冬}3}$ 代入（3）式得

$$Q = 120(T_1 - T_3)_{\text{冬}} \quad (6)$$

2. 地气热年 这时 T_3 具有较高的正值，表明3.2米以下热量储存较多，预示着未来将是深层土壤向上的传导热起主要作用，这时 T_1 的变化周期要比半年长得多，因而可以取 $T_{\text{夏}1} = T_{\text{冬}1}$ ， $T_{\text{夏}3} = T_{\text{冬}3}$ ，代入（3）式得

$$Q = 180(T_3 - T_1)_{\text{冬}} \quad (7)$$

3. 地气转变年 这时 T_3 变化剧烈，深层地温的周期性不好预料，我们仍取 $T_{\text{夏}3} = T_{\text{夏}1} = 0$ ，代入（3）式得

$$Q = 120T_{\text{冬}1} \quad (8)$$

关于区别上述三种年份的标准，《用深层地温做汛期旱涝预报的初步方法》[8]一文有详细讨论。按以上假定作单站预报，按三级统计，历史机率在80%左右。

四、实际预报结果

应用本文所述方法，我们已经作了5年的汛期预报（1975—1979年），于每年3月发布，其结果简述如下：在100°E以东、24°N以北的地区（东北和四川除外），5年共预报过12条多雨轴线，15条少雨轴线，它们与实况的偏差见表2。若认为偏差在200公里以内算正确，则准确率为83%（22.5/27），若认为偏差在150公里以内为正确，则准确率为68%（18.5/27），详见表2。

表2 多(少)雨轴预报与实况偏差统计

年 份	多雨轴偏差 (公里)				少雨轴偏差 (公里)					
	1975	1976	1977	1978	1979	1975	1976	1977	1978	1979
编 号	I	40	50	130	130	100	70	100	50	300 > 230
	II	150	160	70	空	200	130	80	80	100
	III	40	170*					50	100	180
	IV							180		

* 西段<100公里，东段>200公里

对华北和长江中游两块地区（为地温记录最密的区域），5年来的趋势预报效果也较好（见表3）。

五、结束语

综上所述，我们认为，用冬季1.6米地温极值轴

表 3

年 代		1975	1976	1977	1978	1979
华 北	预报	少雨	多雨	北多西少	北多南少	北多南少
	实况	少雨	多雨	北多南少	北东多南少	北多南少
长 江 中游	预报	多雨	少雨	偏多	正常偏少	正常略偏多
	实况	多雨	少雨	多雨	少雨	正常略偏少

线作汛期(4—9月)降水极值轴线预报,效果是可以的。若用Q代替 $T_{冬1}$,则效果会更好,尤其对单站预报是如此。

现在的问题是,目前有1.6和3.2米地温观测的气象台站尚不到50个,且多数在北方地区。这势必影响到 $T_{冬1}$ (或Q)的分布图分析精度。若全国专区一级气象台都能恢复此项观测,对长期天气预报必将大有好处。

最后应该指出,若要做汛期降水定量预报,只考虑深层地温显然是不够的,必须将(1)式中其余各项都考虑进去。

参考资料

- [1] 汤懋苍:气候变迁和超长期预报文集,105—110页,科学出版社,1977年
- [2] 汤懋苍等:下垫面能量储放与天气变化(已投气象学报)
- [3] 汤懋苍等,一个地气联合的长期天气预报模式,1978年全国气象学年会
- [4] S. B. Idso etc., J. Applied Met., Vol. 14, No. 1, P109—113, Feb. 1975.
- [5] J. G. Charney, Dynamics of deserts and drought in the Sahel, Q. J. R. M. S., Vol. 101, No. 428, P193—202, Apr. 1975.
- [6] J. Namias, Influences of abnormal surface heat sources and sinks on atmospheric behavior, Proceedings of the International in Tokyo, Nov. 7—13, 1960, PG15.
- [7] J. Walker and P. R. Rountree, The effect of soil moisture on circulation and rainfall in a tropical model, Q. J. R. M. S. Vol103, No. 435, P29—46, Jan. 1977.
- [8] 中国科学院兰州高原大气物理研究所,用深层地温作汛期旱涝预报的初步方法,1976年石家庄全国长期预报经验交流会材料选编。