

文章编号: 1000-2022(2005)02-0254-06

我国西北地区东部可降水量变化趋势的初步研究

张玉娟¹, 谢金南², 罗哲贤¹

(1. 南京信息工程大学 气象灾害和环境变化重点实验室, 江苏 南京 210044;

2. 甘肃省气象局, 甘肃 兰州 730020)

摘要:用 1951 年 1 月—2000 年 12 月 NCEP/NCAR 再分析比湿资料, 分析了西北地区东部天水市上空对流层整层可降水量的演变特点, 并与全球同纬度带的情况作了对比。结果指出: 近 50 a 来, 西北地区东部对流层可降水量处于明显的下降阶段, 其下降幅度在全球同纬度带中最大, 是 20 世纪 90 年代中后期天水重大干旱事件发生的一个背景条件。

关键词:西北干旱; 可降水量; 变化趋势

中图分类号: P468 **文献标识码:** A

分析西北地区东部干旱问题时, 降水量是最重要的一个气象要素。但是, 仅分析地面测量的降水量还不够, 因为, 引起干旱的地面降水短缺可能有两种不同的原因。一是水汽条件, 即该区域上空整层水汽含量少; 二是动力条件, 即使低层大气中含有充沛的水汽, 但缺乏上升运动将这些水汽输送至凝结高度以上成云致雨。对这两类情况的区分不仅有助于西北干旱问题认识的深化, 而且有一定的应用潜力。

引起西北地区东部重旱的主要原因是降水量的异常短缺。因此, 长期以来, 研究工作的注意力大多集中在区域降水的分析方面^[1-3], 对于对流层下层或整层水汽的状况或者称之为可降水量的状况注意不够。对西北干旱区域对流层水汽含量及其变化的研究, 其结果相对而言很少。这部分归因于西北地区探空站网点的稀疏, 比湿等探空资料太少。随着探空资料和各种非常规资料的不断增加, 资料方面的困难将被逐步克服。在此背景下, 西北地区东部重旱时段对流层可降水量的特征这个问题也将引起越来越多的关注。

张广周等^[4]用西北地区 8 个代表站的探空资料, 分析了干旱阶段和偏涝阶段对流层中下层相对湿度的差异。结果指出: 在西风带气候区 (以乌鲁木齐为代表), 这两个阶段夏季对流层中下层相对湿度变化不大; 但在西北地区东部 (以张掖、民勤、兰州为代表), 干旱阶段夏季对流层中下层相对湿度与偏涝时段相比, 明显减少; 而且西北地区东部对流层中下层有变干的趋势。后来, 蔡英等^[5]用 1958—1997 年期间对流层整层 8 个层次月平均比湿的 NCEP/NCAR 再分析格点资料, 计算了各个年代整层或 700 hPa 以下气柱可降水量, 据此认为, 近 50 a 来,

收稿日期: 2004-02-20 改回日期: 2004-04-05

基金项目: 甘肃省十五攻关项目 (CGS OR-A45-118)

作者简介: 张玉娟 (1980-), 女, 甘肃庆阳人, 硕士生. E-mail: zhyj_8001@yahoo.com.cn.

华北和西北地区东部夏季 7 月的大气可降水量处于下降趋势之中。

文献 [5] 主要分析的是全国范围降水量的特征, 没有着重分析西北地区东部降水量的部分, 也没有分析西北地区东部降水量的变化特征在全球同纬度地带相应变化中所具有的地位。本文将对这些问题继续研究。

1 天水重大干旱事件期间大气降水量的变化背景

1994—1997 年西北地区东部连续少雨干旱, 甘肃省天水市位于 4 a 连旱区域的中心。天水降水量有 3 a 达到严重干旱的标准, 形成了历史上少见的水重大干旱事件。这次干旱事件的气候特征^[6-7]、环流形势^[8]及卫星监测^[9]等均已研究成果。本文从降水量的角度分析得出新的结果。

天水位于 105°E, 34°N, 用 (105°E, 35°N) NCEP/NCAR 再分析格点的比湿资料来分析。资料年代为 1951 年 1 月—2000 年 12 月, 由于资料限制, 本文选取 1 000 hPa, 850 hPa, 700 hPa, 500 hPa, 400 hPa, 300 hPa 6 个层次。计算步骤如下:

(1) 计算 1951 年 1 月—2000 年 12 月历年逐月 (105°E, 35°N) 格点上空整层的大气可降水量 W , W 由下式定义^[5]:

$$W = \frac{1}{g} \int_{p_s}^{p_t} q \phi_0 \quad (1)$$

式中, g 为重力加速度, $p_s = 1\ 000\text{ hPa}$, $p_t = 300\text{ hPa}$, q 为比湿, 用上述 6 个层次的比湿资料可以求出 W (单位: mm) 的估计值。

(2) 计算 1951 年 1 月—2000 年 12 月历年逐月 (105°E, 35°N) 格点上空可降水量 W 的距平百分率。注意到干旱半干旱区域月降水量和月可降水量一般都不是正态分布, 需要对月可降水量资料予以处理, 以减少连续序列中的不均匀性。本文采用文献 [6] 的方法, 即将 1 a 分为 8 个时段。第 1 时段为 4 月, 第 2 时段为 5 月, 依次类推, 第 7 时段为 10 月, 第 8 时段为 11 月至次年 3 月。这样, 得到一个样本量为 49×8 的可降水量的连续序列。对各个时段的可降水量分别计算距平百分率, 得到样本量为 49×8 的可降水量距平百分率的连续序列。

(3) 计算各个年代降水量的累积距平百分率 S_w 。将上述可降水量距平百分率的连续序列分为 5 个年代来分析: 例如在 1951—1960 年这 10 a 中, 共有 80 个时段, 将这 80 个时段的可降水量距平百分率依次累加, 可得到 80 个可降水量距平百分率的累积值, 记为 S_w , 对其他 4 个年代也类似计算, 可以得到 50, 60, 70, 80, 90 各年代可降水量累积距平百分率的分布曲线 (图 1)。

由图 1 可以清楚地看到, 20 世纪 50 年代和 60 年代前期, 天水可降水量处于上升阶段, 整层水汽含量比较充沛。60 年代中期起上升终止; 60 年代末起, 进入下降阶段。90 年代中后期的天水重大干旱事件就发生在这个下降阶段, 说明天水上空整层大气中可降水量明显减少, 是天水重大干旱事件的一个背景, 水汽条件的欠缺是这次重大干旱事件的一个可能原因。

可降水量和降水量的减少是重旱的一个必要条件。实际上, 影响农业生产的干旱不仅与降水有关, 还与其他要素有关, 如气温的高低。高温会加大地面水分和土壤水分的蒸发, 加大植被蒸腾。因此, 实际的干旱往往要考虑降水和气温的综合作用。

图 2 是 1951—2000 年天水 (用 (105°E, 35°N) 格点代表) 850 hPa 年平均空气比湿和年平均空气温度的变化曲线。显然, 近 50 a 来, 850 hPa 比湿是下降的 (图 2a)。这与图 1 的结果一致, 也与文献 [5] 的结果相近。此外, 从 80 年代末起, 天水的气温处于上升阶段之中 (图

2b), 这是天水重旱的另一背景。

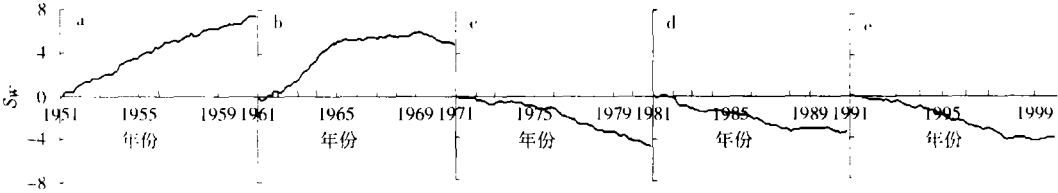


图 1 1951 年 1 月—2000 年 12 月天水可降水量累积距平百分率 S_w 随时间的变化
a 50 年代; b 60 年代; c 70 年代; d 80 年代; e 90 年代

Fig 1 Temporal variations of the cumulative anomaly percentage of precipitable water
in Tianshui during January 1951 to November 2000
a the 1950's b the 1960's c the 1970's d the 1980's e the 1990's

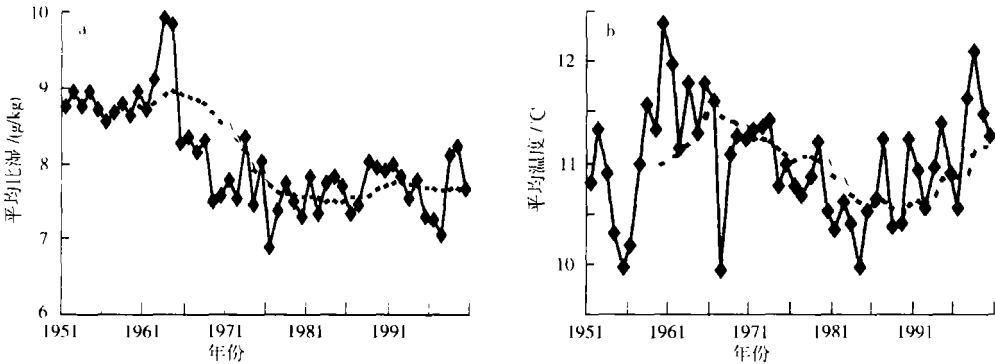


图 2 1951—2000 年天水 850 hPa 年平均比湿 (a) 和年平均温度 (b) 的变化 (虚线为 10 a 滑动平均)

Fig 2 Temporal variations of 850 hPa annual mean specific humidity (a) and temperature (b)
in Tianshui during 1951—2000 (the dashed line denotes 10-year running mean curves)

相对湿度是比湿与饱和比湿的比值。温度升高, 饱和比湿增大。这时, 即使比湿不变, 相对湿度也会减小。因此, 在一定程度上, 相对湿度可以反映水汽含量和温度的共同影响。

与上述计算可降水量累积距平百分率 S_w 的步骤相似, 计算了 1951 年 1 月—2000 年 12 月天水 850 hPa 相对湿度的累积距平百分率 (图略)。结果表明: 从 20 世纪 60 年代末以来, 天水 850 hPa 相对湿度也处于下降阶段, 这与图 2 的结果是一致的。

2 西北地区东部同纬度带可降水量的演变特征

图 1 和图 2 清楚地说明: 从上世纪 60 年代末以来, 西北地区东部大气可降水量呈现下降的趋势。下面继续分析: (1) 这种下降的趋势在北半球同纬度带的其他地区是否也存在; (2) 西部地区东部可降水量趋势下降的幅度, 与其他地区相比, 有什么特点。

沿 40°N 纬圈从经度 0°起每隔 10 个经度选取 1 个格点, 得到 36 个格点。读取这些格点上空 6 个层次历年 7 月的 NCEP/NCAR 再分析资料的比湿值。利用这些资料, 用 (1) 式计算了各个格点上空历年 7 月整层大气的可降水量。这样, 得到了样本数为 50 的 36 个时间序列。用下式计算可降水量的趋势系数^[11]:

$$r_{xt} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(i - \bar{t})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (i - \bar{t})^2}}$$

(2)

式中, $\bar{x}$ 为 $\{x_i\}$ 的均值, $\bar{t}$ 为自然数序列 $\{i\}$ 的均值, $n = 50$ 。若 $r_{xt} > 0$ 意味着序列呈上升趋势; 若 $r_{xt} < 0$ 呈下降趋势。

用 (2) 式计算了各个格点上空 7 月大气可降水量序列的趋势系数。为消除小的扰动, 对各个格点的趋势系数进行 3 点滑动平均 $\bar{r}_{xt}$, 计算方法如下:

$$\bar{r}_{xt}(\lambda) = (r_{xt}(\lambda - 10) + r_{xt}(\lambda + 10) + r_{xt}(\lambda)) / 3$$

0

其中, λ 为计算格点的经度值, 计算结果列于表 1。

表 1 1951—2000 年 7 月 40°N 各个经度格点上大气可降水量序列的趋势系数 $\bar{r}_{xt}$

Table 1 The trend coefficient $\bar{r}_{xt}$ of air precipitable water over every grid at 40°N in July during 1951—2000

经度 (°E)	$\bar{r}_{xt}$	经度 (°E)	$\bar{r}_{xt}$	经度 (°W)	$\bar{r}_{xt}$	经度 (°W)	$\bar{r}_{xt}$
0	-0.19	100	-0.47	0	-0.19	100	0.13
10	-0.26	110	-0.40	10	-0.25	110	0.11
20	-0.25	120	-0.43	20	-0.17	120	0.07
30	-0.02	130	-0.39	30	-0.19	130	-0.03
40	0.06	140	-0.36	40	-0.11	140	-0.11
50	-0.03	150	-0.33	50	-0.07	150	-0.24
60	-0.18	160	-0.39	60	-0.01	160	-0.28
70	0.00	170	-0.40	70	0.07	170	-0.32
80	-0.20	180	-0.37	80	0.09	180	-0.37
90	-0.17			90	0.15		

从表 1 可以归纳出以下几点: (1) 西北地区东部 7 月大气可降水量下降的趋势, 并不是在北半球同纬度的所有区域都存在, 在 (70~ 120°W) 区域, 7 月大气可降水量呈现上升趋势。(2) 在青藏高原以西的 (30~ 90°E) 区域, 7 月大气可降水量长年变化趋势不太明显。(3) 西北地区东部以东, 经西北太平洋至北太平洋中部, 即 (100°E~ 180°) 区域, 7 月可降水量明显下降, 而西北地区东部 (100°E 附近), 又是该区域下降趋势最明显的地区。因此, 西北地区东部 7 月大气可降水量的下降趋势在全球同纬度带中, 表现最为清楚。

3 再分析格点比湿资料可用性的初步验证

上述结果是从 NCEP/NCAR 再分析的比湿资料得到的。为了初步验证这些资料的可用性, 利用探空资料进行类似的计算, 对不同资料来源的计算结果进行对比。

资料取自中国高空气象记录月报^[12]。表 1 中有 (120°E, 40°N) 和 (90°E, 40°N) 两个格点的计算结果。本文取相邻探空站北京 (116°39'E, 39°59'N) 和乌鲁木齐 (87°6'E, 43°8'N) 从 1 000 至 300 hPa 计 6 层 7 月月平均气温和温度露点差的探空资料, 计算了各层的比湿值, 再用 (1) 式计算北京和乌鲁木齐上空整层大气的可降水量。受资料的限制, 资料年代为 1981—1999 年。结果表明, 1981—1999 年期间, 7 月北京上空整层大气可降水量略有增加的趋势, 这一点在探空资料和再分析资料的计算曲线 (图 3a) 上有比较一致的反映。无论是探空资料, 还

是再分析资料(图 3b), 7月乌鲁木齐上空整层大气可降水量均呈现明显增加的趋势。值得指出的是, 西北地区东部(以天水站为代表)和西北地区西部(以乌鲁木齐站为代表)两者可降水量趋势相反。这个结果与文献[13]是一致的。文献[13]指出: 西北地区西部降水量无减少趋势, 南疆流域降水量有增多趋势。但西北地区东部多连旱, 多重旱, 干旱范围扩大。上述对比初步说明, 再分析格点上的比湿资料大致可用, 在定性趋势方面比较可靠。

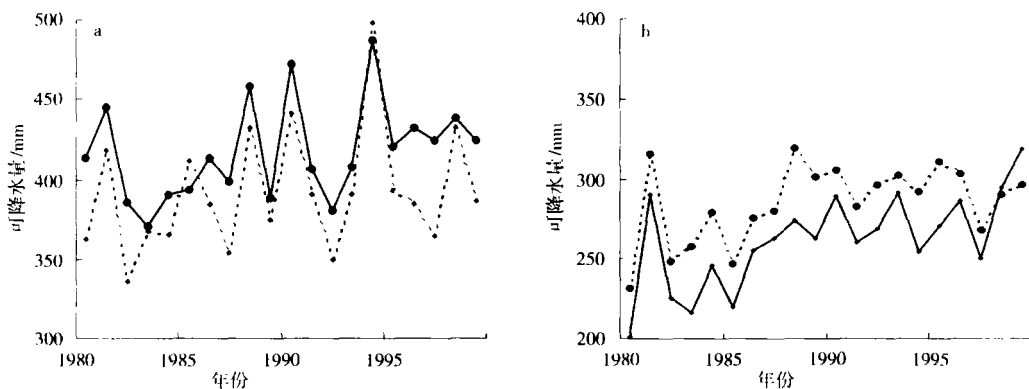


图 3 北京 (a)、乌鲁木齐 (b) 1981—1999 年 7 月大气可降水量随时间的变化
(实线: 探空资料; 虚线: 再分析资料)

Fig 3 Temporal variations of July air precipitable water
in Beijing (a) and Wuhan (b) in the period of 1981—1999

(solid lines the radiosonde data dotted lines the reanalysis gridded data)

4 结果和讨论

本文用 1951 年 1 月—2000 年 12 月期间 NCEP/NCAR 再分析比湿资料, 对天水重旱的相关问题进行了研究。初步认为, 近 50 a 来, 天水上空整层大气的可降水量处于明显的下降阶段之中, 也就是说, 所谓西北地区东部干旱化的趋势, 不仅表现在地面降水量的长期演变方面, 而且表现在对流层整层水汽含量方面。天水重旱就是在这样一个长期背景之下发生的。本文还进一步分析了与西北地区东部同纬度带区域可降水量的演变特征, 结果显示: 西北地区东部可降水量下降的幅度在全球同纬度带中是最大的。为了大致验证再分析格点比湿资料的可用性, 对比了实测探空资料与再分析资料的计算结果, 趋势定性一致。

西北地区东部可降水量的特征涉及的问题很多, 如可降水量的细微分布, 可降水量与动力条件的联系, 为什么西北地区东部可降水量减少的趋势在同纬度带中是最明显等, 这些问题均需继续研究。

参考文献:

- [1] 赵从兰, 刘厚赞, 谭志华. 1997 年夏季华北特大干旱及其成因 [J]. 南京气象学院学报, 1998, 21 (3): 440-445.
- [2] 江志红, 丁裕国. 近 40 年来我国降水量年际变化的区域性特征 [J]. 南京气象学院学报, 1994, 17 (1): 73-78.
- [3] 余卫红, 方修琦. 近 50 年我国北方地区旱涝的时空变化 [J]. 北京师范大学学报, 2001, 37 (6): 838-842.
- [4] 张广周, 马镜娴, 谢金南. 季风边缘区域气候变化的观测研究 [C] / 谢金南. 中国西北干旱气候变化与预测研究 (一). 北京: 气象出版社, 2000: 25-28.
- [5] 蔡英, 钱正安, 宋敏红. 华北和西北干湿年间水汽场及东亚夏季风的对比分析 [J]. 高原气象, 2003, 22 (1): 14-23.
- [6] 马镜娴, 李艳. 天水干旱若干问题的初步研究 [J]. 新疆气象, 1998, 21 (6): 1-2.

- [7] 刘德祥, 王宝灵, 蔡忠兰, 等. 甘肃省河东地区近 4 年少雨干旱的事实分析 [J]. 甘肃气象, 1998 16 (1): 31-34
- [8] 白虎志, 谢金南, 王宝灵, 等. 1997 年甘肃特大干旱事件的诊断分析 [J]. 高原气象, 1999, 18 (1): 55-62
- [9] 郭 锐, 李栋梁, 蔡晓军, 等. 1995 年中国西北东部特大干旱的气候诊断与卫星监测 [J]. 干旱区地理, 1997, 20 (3): 69-74
- [10] 马镜娴, 戴彩娣. 西北地区东部降水量年际和年代际变化的若干特征 [J]. 高原气象, 2000 19 (2): 166-171
- [11] 施 能, 陈家其, 屠其璞. 中国近 100 年来四个年代际变化的气候变化特征 [J]. 气象学报, 1995, 53 (4): 431-438.
- [12] 北京气象中心资料室. 中国高空气象记录月报 (公开本) [M]. 北京: 气象出版社, 1980—1999
- [13] 谢金南. 西北地区干旱预测系统研究专题研究成果综述 [C] / 谢金南. 中国西北干旱气候变化与预测研究 (一). 北京: 气象出版社, 2000: 1-8

A Preliminary Study on the Evolutionary Trend of Precipitable Water in the East of Northwest China

ZHANG Yu-juan¹, XIE Jin-nan², LUO Zhe-xian¹

(1. Key Laboratory Meteorological Disaster and Environmental Variation, NU IST, Nanjing 210044, China

2 Gansu Meteorology Bureau, Lanzhou 730020, China)

Abstract By utilizing of the NCEP/NCAR reanalysis grided humidity data during January 1951 to November 2000, the evolutionary feature of the whole tropospheric precipitable water over Tianshui in the east of Northwest China is analyzed and contrasted with those in other places at the same latitude over the world. Results show that in the past 50 years, precipitable water in the troposphere over the east of Northwest China was in a descending and its descending amplitude is the largest among those at the same latitude. This reveals a background condition for the severe droughts at Tianshui in the mid-late 1990's.

Key words drought in Northwest China, precipitable water, evolutionary trend