

西北地区夏季降水与大气水汽含量状况区域性特征*

王秀荣** 徐祥德 苗秋菊

(中国气象科学研究院, 北京 100081)

P426 A

摘要 运用 NCEP/NCAR 1958~1997 年格距为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的多个气象要素资料和 1960~2000 年西北地区 95 个测站的夏季降水资料, 对西北地区夏季水汽含量特征及其水汽状况特征进行了分析。分析研究结果表明: (1) 夏季西北地区西部整层大气水汽含量分布与降水的分布特征基本相似, 而对于西北地区中东部, 二者分布特征略有不同, 无论干、湿年西北中东部大气水汽含量均存在相对高值区, 表明西北地区整层大气水汽含量具有区域性可开发潜力。(2) 西北全区夏季在 20 世纪 60 年代中期以前和 80 年代中期以后, 大气中水汽含量较多, 70 年代前后较少。对于西北各个分区而言, 北疆区夏季空中水汽含量最大, 高原东北区最少。(3) 西北地区夏季降水和西北地区西部哈萨克斯坦地区以及赤道东印度洋和赤道西太平洋交汇处的大气水汽含量相关最为显著。

关键词: 西北地区; 夏季; 水汽含量; 水汽源地

1 引言

西北地区干旱主要表现为降水量极少, 除了新疆北部地区以外, 夏季又是西北绝大部分地区降水最为集中的季节。每个地区降水量的多寡不但和该地区的地理位置有关, 也和大尺度环流背景下的水汽输送特征密切相连。1934 年, 竺可桢^[1]首先提出中国降水与东亚季风有密切关系; Starr^[2]的研究表明水汽平流在区域水分平衡中起到重要作用。大气中的水分含量和水汽输送不仅与大气环流有着密切的联系, 而且是全球能量和水分循环过程的重要一环, 对区域水分平衡起着重要作用。对其正确的估计能对大气环流的形成和演变有更深入的了解, 达到合理利用水资源, 实现可持续发展目标。

过去对于水汽问题的研究^[1,3~5]一般讨论的范围多限于我国东南部和热带低纬度地区, 涉及的内容主要包括暴雨形成的水汽条件、水汽源地、输送路径、水汽辐合及其与中国雨季和雨带的关系等, 而对我国的西部地区特别是西北部地区关注较少。过去的一些研究受到资料和计算条件等的限制, 使用的资料年代短^[6]; 且资料来源主要靠单站的探空资料^[7], 所以存在站点分布不均匀、台站变迁以及观测规范、时次、仪器变更等多种因素的影响, 使得探空资料温度、湿度序列中存在明显的不均一性。基于

2002-09-15 收到, 2002-10-20 收到修改稿

* 国家科技部社会公益研究专项资金项目“西北地区生态环境监测预测方法研究”资助

** 现在国家气象中心工作

此种情况,本文利用比较详尽的资料对西北地区夏季降水和整层大气中水汽含量的时空分布特征及水汽输送特征进行了分析。

2 资料和计算方法

本文运用了较为客观的 NCEP/NCAR1958~1997 年共 40 年再分析资料(纬向风 u 、径向风 v 、温度 T 、比湿 q 、位势高度 Z 、地面气压 p_s , 格距为 $2.5^\circ \times 2.5^\circ$), 以及我国西北地区 (105°E 以西, 35°N 以北) 内 95 个加密测站的 1960~2000 年夏季 (6~8 月) 降水资料, 并利用了相关分析、合成分析等诊断方法。本文所用到的计算公式为:

(1) 大气中水汽含量

考虑西北地形的区域性特征, 从地表到大气顶单位面积的空气柱内的水汽含量为

$$W(\lambda, \varphi, t) = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_s} q dp,$$

其中 q 为比湿, p_s 、 p_t 分别为地面气压和大气顶气压。 W 也可称作是大气的可降水量, 它代表着假设整个空气柱中的水汽凝结时所能得到的液态水量。

(2) 水汽输送通量矢量

某单位气柱整层大气水平水汽输送通量矢量可以由下式来计算, 即

$$Q = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_s} \mathbf{V} q dp = \frac{1}{g} \int_{p_t}^{p_s} (u, v) q dp,$$

式中, $\mathbf{V}$ 为该单位气柱各层大气的风速矢量, u 和 v 分别为东西风和南北风分量, q 是该单位气柱各层大气的比湿, p_s 为地面气压。由于水汽在 300 hPa 以上含量很小可以忽略, 因此在本文中, $p_t = 300 \text{ hPa}$ 。

3 西北地区夏季降水区域性气候特征

运用旋转自然正交函数分解 (REOF) 方法对西北夏季降水进行分析后发现, 西北地区夏季降水异常可以划分为北疆区 (异常中心区域位于 ($45.5 \sim 48.0^\circ\text{N}$, $86.5 \sim 90.5^\circ\text{E}$) 及 ($43.0 \sim 44.5^\circ\text{N}$, $89.0 \sim 94.5^\circ\text{E}$))、南疆区 (异常中心在南疆盆地 ($37.0 \sim 39.0^\circ\text{N}$, $76.5 \sim 84.5^\circ\text{E}$) 及 ($37.0 \sim 42.0^\circ\text{N}$, $78.5 \sim 85.5^\circ\text{E}$))、内蒙古西部区 (异常中心在河西走廊东南到内蒙古西部附近 ($40.0 \sim 42.5^\circ\text{N}$, $96.0 \sim 103.5^\circ\text{E}$))、高原东北区 (异常中心在高原东北部 ($37.0 \sim 40.0^\circ\text{N}$, $89.0 \sim 92.5^\circ\text{E}$); ($38.5 \sim 42.0^\circ\text{N}$, $92.5 \sim 96.0^\circ\text{E}$) 及 ($38.0 \sim 40.0^\circ\text{N}$, $96.0 \sim 101.5^\circ\text{E}$)) 共 4 个异常区域。此划分结果分别与文献 [8] 西北干旱分区有关的北疆、沙漠盆地、河西走廊、青海高原相对应。

4 西北地区夏季整层大气水汽含量和地面降水的气候特征对比分析

西北地区是全国夏季降水最少的地区, 大气中的水汽含量情况也基本如此。那么,

在西北地区内部水汽含量的时空分布情况如何？其与夏季降水时空分布特征有何相同和不同？

4.1 水汽含量与地面降水空间分布特征

从图 1a 中可见，西北地区夏季大气水汽含量最大值中心位于天山北部附近，在南疆地区东部向北到河西走廊的西部，然后再向南到青海省的西北部地区，水汽含量值逐渐减小，而向东到西北地区东北部的的水汽含量值又逐渐加大。图 1a 中的整层大气水汽通量矢量（滤掉大尺度的系统后）显示，夏季水汽通量大值中心主要位于北疆地区，且本地区水汽通量呈现辐合形势，因此，此地区的水汽含量值较大；南疆盆地东部向北到河西走廊西部，再向南到青海省北部该范围内的水汽通量值为西北地区内最小，所以此地区的水汽含量为西北地区最少。而对于河西走廊西部地区，由于此处水汽流大多只为“过路”，没有辐合，所以造成此地区水汽含量值也并不大。

将图 1a 和图 1b 进行比较后发现，西北地区的西部水汽含量分布和夏季降水分布特征基本相似，即北多南少；而对于西北地区东部，夏季整层大气水汽含量分布特征与夏季降水分布特征有些不同，夏季降水分布显示为西北地区东南部降水明显多于西

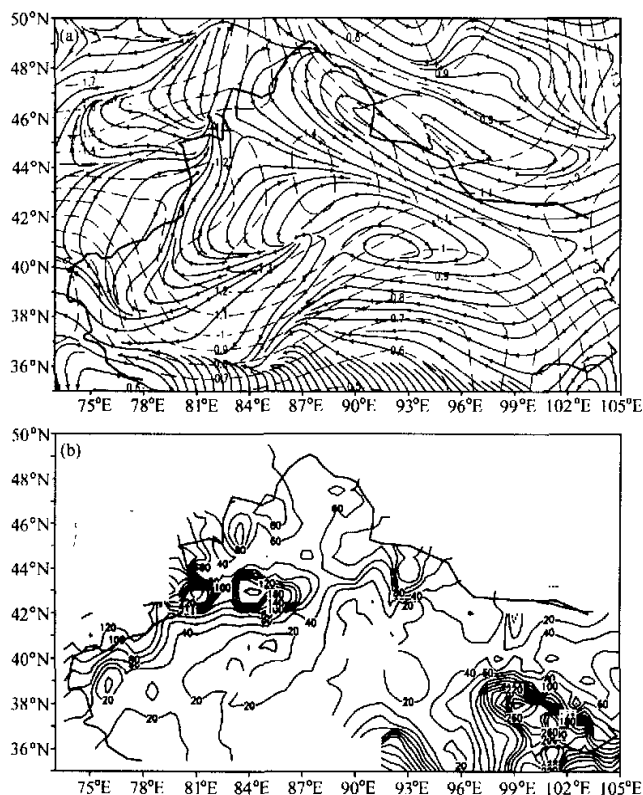


图 1 (a) 西北地区夏季整层大气平均水分含量（单位：cm）和水汽通量分布（单位： $10^{-3} \text{ kg cm}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ，矢量场为水汽通量，虚线为整层大气水分含量）以及 (b) 西北地区夏季总降水平均分布（单位：mm）

北地区的东北部降水,水汽含量则是从西北地区的东北部向西南方向逐渐变小。这是因为根据水汽平衡方程可知,一个地区降水的大小不仅仅和此地区大气中的水汽含量有关,还和水汽动力辐散辐合效应、区域性地表水汽蒸发量等因素有很大的联系。总之,西北地区全区夏季整层大气水分含量的分布特征主要集中在西北地区的西部和东部,东部地区水汽含量和天山北部地区的整层大气水汽含量相当。水分含量较少的地方主要在西北地区中部,尤其以青海省的西部和北部地区为最少。这是由于西北地区东南方向受东亚季风环流影响,多盛行东南暖湿气流,而西北方向具有开放的东西走向的气流通道,使得来自大西洋和北冰洋等地以及欧亚大陆蒸散的西风暖湿气流能够长驱直入。而塔里木盆地东南方向的且末、若羌一带和吐鲁番盆地为极端干旱少雨区,柴达木盆地四周地形比较闭塞,水汽含量和降水也很少。

4.2 西北全区水汽含量的时间演变特征

由以上分析可知,西北地区夏季整层大气水汽含量和西北地区夏季降水一样,都具有很强的局地特性。那么,西北地区夏季整层大气中的水汽含量年变化特征又是如何呢?

图2为西北地区全区1958~1997年夏季大气水分含量的演变图。从图中可见,西北地区全区夏季整层大气水汽含量的年际和年代际变化比较明显,西北地区夏季在1958~1966年之间整层大气水汽含量较多,1967年到1985年之间整层大气中水分含量平均较少;而到了1986年以后至1996年,水汽含量又有增多的趋势,同时年际变化较以前相对稳定。图2还表明,西北地区空中水汽含量在近40年里存在三峰特征,其中第一峰值区大概位于1960~1966共7年时间,而后两个峰值变化时间尺度约为15年左右。将西北全区夏季整层大气中的水汽含量演变趋势与西北全区夏季降水量演变趋势(图略)对比分析可见,二者变化趋势也基本相同,都显示为20世纪60年代前期和70年代到80年代的气候值偏小,90年代的气候值偏大。同时,夏季空中水汽含量远大于夏季地面降水,水汽含量与降水的变化幅度在各个年份不很一致。这是由于降水量受多种因素影响,降水量与水汽含量在各个年份增多或减少的幅度并不一致,这样,使得有的年份里水汽含量和地面降水的差值较小,而在有的年份里差值就较大。

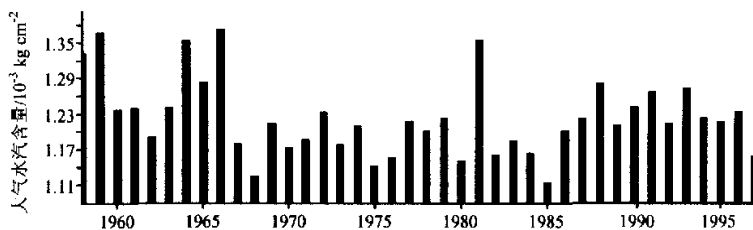


图2 西北地区全区夏季整层大气水汽含量随时间的分布比较

4.3 夏季西北地区各个分区整层大气水汽含量时间演变特征

由于西北地区天气的强局地性,有必要对西北地区各个不同天气区的水汽含量分别进行分析,以便对西北地区整层大气中水汽含量有一个较为全面的认识。在此我们将4个夏季异常降水区的整层大气水汽含量单位面积平均值绘制在一起,用以比较各

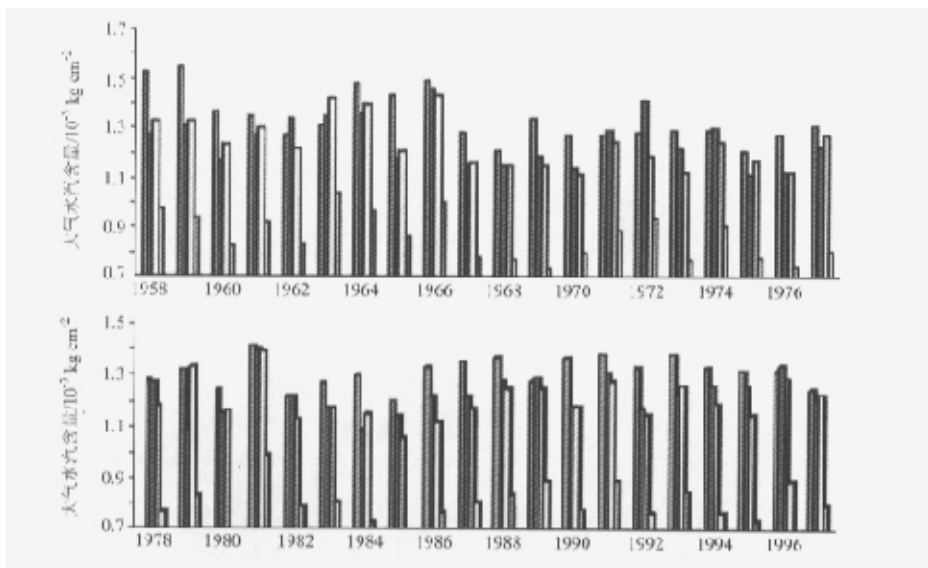


图3 西北地区夏季各个分区水分含量的时间变化曲线

各年里的直方图序列从左往右依次为北疆区、南疆区、内蒙古西部区、东北高原区

个地区水汽含量的不同特征。

由图3可见,各个分区夏季的水汽含量随时间演变的年代际变化和西北地区全区夏季水汽含量的年代际变化相一致,即20世纪60年代中期以前和80年代中期以后各个分区的水汽含量平均都多于70年代前后的水汽含量。同时,从历史角度看,各个分区夏季水汽含量大小的排序比较固定,北疆地区夏季水汽含量最多,南疆地区次之,然后是内蒙古西部区,水汽含量最小的区域为青海省北部的东北高原区,此结果也符合西北地区全区夏季水汽含量平均分布形势(图1a)。

5 夏季西北地区干、湿年水汽分布区域性特征

由西北地区夏季总降水与夏季整层水汽含量的相关(图4)可见,在中高纬地区的夏季,西北地区的西部哈萨克斯坦地区周围的整层大气水汽含量与西北地区夏季总降水为一大范围的显著正相关区域。在阿尔泰山脉的东南部和河套西北部地区的水汽含量与同期夏季西北地区降水也为显著正相关区域。低纬度地区的赤道东印度洋与赤道西太平洋交接处为显著正相关。这表明,西北地区夏季降水在中低纬周边或远距离地区存在不同程度的相关关系。

根据文献[9]对西北地区夏季干、湿年划分结果,分析了西北地区夏季干、湿年欧亚地区水汽含量距平分布(图略),可见水汽含量在西北夏季干、湿年里的距平,在前面提到的西北地区夏季降水和水汽含量相关高值区内呈相反分布。西北地区夏季降水多时,从赤道西太平洋、赤道印度洋、孟加拉湾、阿拉伯海向北到西北地区西部哈萨克斯坦附近,水汽含量偏多,反之偏少。同时,河套地区附近、日本海东部的北太

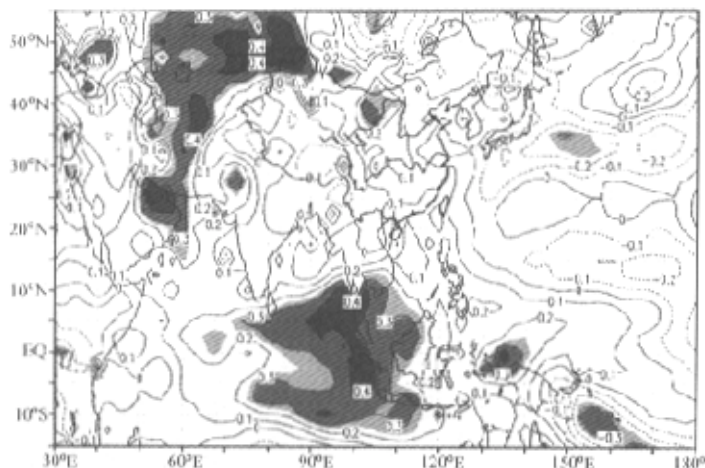


图4 西北地区夏季总降水与整层大气水汽含量的相关分布图
阴影区从浅至深依次为检验信度超过90%、95%、98%的地区

平洋地区水汽含量在西北地区湿润年大于干旱年。西北夏季总降水与水汽含量的相关以及干、湿年水汽含量距平分布,描述了西北地区夏季降水异常的强信号区域性特征。

另外,对比西北地区夏季干、湿年的降水距平分布以及水汽含量距平图(图5a、b)发现,水汽含量在夏季降水干、湿年对比也很明显,同时,对比干、湿年水汽含量分布特征还可发现,除了西北西部水汽含量显著偏高外,无论干、湿年西北大气水汽含量中东部均为相对高值区。上述分析结果表明该地区大气水汽含量具有区域性空中水资源可开发潜力。

6 结论

经过全文分析,得出如下结论:

(1) 西北地区西部夏季整层大气中的水汽含量分布特征与西北地区西部夏季降水的分布特征基本相似,而对于西北地区东部,二者分布特征略有不同。且夏季空中水汽含量远大于夏季地面降水,说明空中水资源具有可开发性。

(2) 西北全区夏季在20世纪60年代中期以前和80年代中期以后,大气中水汽含量较多,70年代前后较少。对于西北夏季各个分区而言,北疆区夏季空中水汽含量最大。东北高原区水汽含量最小,且此特征的历史持续性较好。

(3) 西北各个分区水汽含量虽然局地差异较大,但由于受相同的大尺度环流背景场影响,其年代际变化比较类似,但各个年份里略有差异,说明一个地区降水量的大小和本地区大气中水汽含量为正相关关系。但在年际变化上,由于降水量受多种因素制约,降水量增多或减少的幅度并不与空中水汽含量增多或减少的幅度完全一致。

(4) 对西北夏季降水产生影响的水汽含量强信号在赤道附近的东印度洋和西太平洋交接范围内,以及伊朗高原附近及其北部的哈萨克斯坦地区。影响西北地区夏季降水

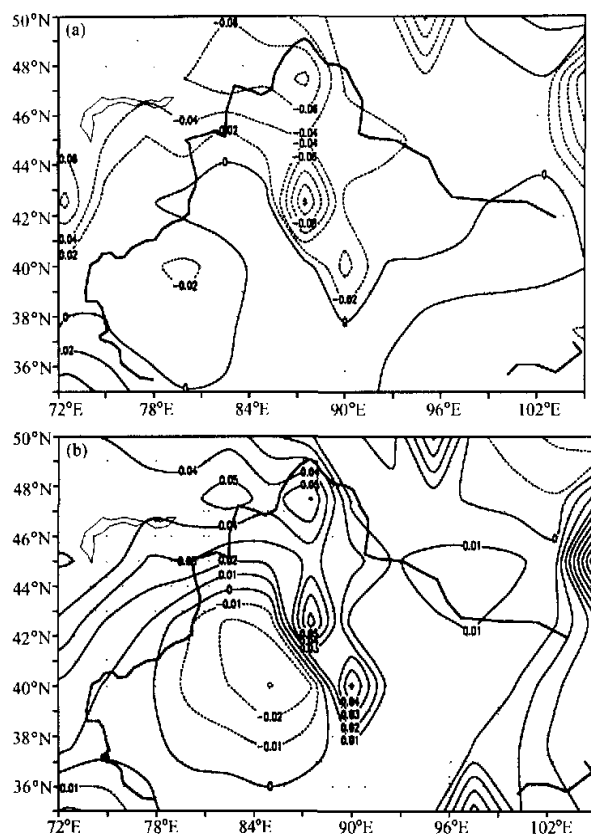


图5 西北地区夏季干(a)、湿(b)年大气水汽含量距平分布(单位: cm)

异常的水汽通道主要为伊朗高原的北部。

参 考 文 献

- 1 竺可桢, 东南季风与中国之雨量, 地理学报, 1934, 1, 1~27.
- 2 Starr, V. P., Direct measurement of the hemispheric poleward flux of water vapor, *J. Meteor. Res.*, 1955, 14, 217~225.
- 3 徐淑英, 我国的水汽输送和水分平衡, 气象学报, 1958, 29 (1), 33~43.
- 4 黄荣辉、张振洲、黄刚等, 夏季东亚季风区水汽输送特征及其与南亚季风区水汽输送的差别, 大气科学, 1998, 22 (4), 460~469.
- 5 白肇烨、徐国昌, 中国西北天气, 北京: 气象出版社, 1988, 202~254.
- 6 崔玉琴, 西北内陆上空水汽输送及其源地, 水利学报, 1994, 9, 79~87.
- 7 王旭、马禹、赵兵科等, 新疆“96·7”特大暴雨水汽输送通道的研究, 新疆气象, 1999, 25 (5), 5~9.
- 8 李栋梁、谢金南、王文, 中国西北地区夏季降水特征及其异常研究, 大气科学, 1997, 21 (3), 331~340.
- 9 王秀荣、徐祥德、姚文清, 西北地区干、湿夏季的前期环流和水汽差异, 应用气象学报, 2002, 13 (5), 550~559.

Regional Characteristics of Summer Precipitation and Water Vapor Amount in Northwest China

Wang Xiurong, Xu Xiangde, and Miao Qiuju

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081)

Abstract The features of the water vapor amount in Northwest China, the water vapor sources for its summer rainfall, and the water vapor transport affecting its summer rainfall are investigated by using 40 years' NCEP/NCAR data with the resolution of $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ in the period of 1958~1997. The main conclusions are as follows: (1) The distribution features of the water vapor amount and the precipitation in west of Northwest China in summer are similar, whereas they are different in the east of the region. (2) The water vapor of Northwest China regionally has the potential for exploitation. (3) There are more water vapor in the atmosphere of Northwest China before the mid 1960s and after the mid 1980s, but less around the 1970s. (4) There is more air water vapor in the north of Northwest China compared with other areas of Northwest China. (5) The summer rainfall of Northwest China is most significantly correlated with the water vapor amount over Iranian Plateau and between the Equatorial Eastern Indian Ocean and the Equatorial Eastern Pacific.

Key words: Northwest China; summer; water vapor amount; sources of water vapor