

周晋红,李丽平,武捷. 山西春季典型干湿年份水汽输送特征差异[J]. 气象,2011,37(10):1270-1276.

# 山西春季典型干湿年份水汽输送特征差异<sup>\*</sup>

周晋红<sup>1</sup> 李丽平<sup>2</sup> 武捷<sup>3</sup>

1 山西省太原市气象局,太原 030082

2 南京信息工程大学大气科学学院,南京 210044

3 山西省气象信息中心,太原 030006

**提 要:** 应用山西 62 个气象站 1961—2008 年春季降水资料,同期 NCEP/NCAR 月平均再分析资料,用合成分析等方法探讨了山西春季典型干湿年份水汽输送特征差异。研究发现:春季典型干旱年,青藏高原南侧副热带偏西风及其在进入我国东部长江以南地区转向的西南风水汽输送减弱,高原北侧西风带水汽输送亦减弱,而西太平洋副高北侧西风水汽输送显著加强,西侧偏南风水汽输送减弱,使江南西南风向华北的水汽输送显著减少,山西偏北风水汽输送加大出现春旱;同时我国东部长江流域及向北到黄河流域、我国东部沿海水汽通量辐散加强,而华南及沿海水汽通量辐合加强;春季典型湿润年则相反。春季典型干旱年山西西风水汽通量减少和北风水汽通量增加量级相当,典型湿润年山西南风水汽通量增加明显大于西风水汽通量的增加。

**关键词:** 春季典型干湿年份,水汽输送,差异

## Different Characteristics of Water Vapor Transport Between the Typical Drought and Wet Years of Spring in Shanxi Province

ZHOU Jinhong<sup>1</sup> LI Liping<sup>2</sup> WU Jie<sup>3</sup>

1 Taiyuan Meteorological Bureau, Taiyuan 030082

2 Atmospheric Science Institute, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

3 Shanxi Meteorological Information Center, Taiyuan 030006

**Abstract:** Based on the 62 meteorological stations' precipitation data of spring in Shanxi Province from 1961 to 2008, and the contemporaneous NCEP/NCAR monthly mean reanalysis data, the different characteristics of water vapor transport between the typical drought and wet years of spring in Shanxi are analyzed by using composite analysis methods. The research shows that in the typical drought years of spring, the water vapor transport of the subtropical west wind over the south side of the Tibetan Plateau (TP) and that of SW wind in the south areas of the Yangtze River which comes from the turning of west wind vapor over the south side of TP are weakened, and so does the westerly vapor transport over the north side of TP, while the west wind vapor transport over the north side of the subtropical high in the West Pacific is strengthened remarkably, and the south wind vapor transport over the west side of the subtropical high is weakened, thus the southwest wind vapor transport from the south areas of the Yangtze River to North China is weakened, the north wind vapor transport in Shanxi is strengthened; Meanwhile, the vapor flux divergence is strengthened over the Yangtze River and the Yellow River Reaches in eastern China and its east coastal areas, while the vapor flux convergence is strengthened over southern China and its coast areas; and vice versa in typical wet years of spring in Shanxi Province. The order of the decrease of west wind

<sup>\*</sup> 山西省气象局科研项目(SXKYBQH20103222)资助  
2010 年 8 月 23 日收稿; 2011 年 6 月 9 日收修定稿  
第一作者:周晋红,主要从事天气、气候预报预测研究. Email: zjhlwh@sohu.com

vapor flux is equivalent to that of the increase of north wind vapor flux in the typical drought years of spring in Shanxi area, while in the typical wet years of spring, the order of the increase of south wind vapor flux is greater obviously than that of the increase of the west wind vapor flux in Shanxi area.

**Key words:** typical drought/wet years of spring, water vapor transport, difference

## 引 言

降水异常是引起旱涝异常的直接因素,而降水的形成一般需要三个条件,即水汽条件、垂直运动条件和云滴增长条件,充分的水汽供应是大降水形成必不可少的因素<sup>[1]</sup>。近年来针对华北夏季旱涝与东亚和太平洋水汽输送异常及环流异常的研究已有不少,并得出许多有意义的结论<sup>[2-10]</sup>,副高西北侧西南气流异常、南海和中高纬度西风带水汽输送异常等是造成华北夏季降水异常的主要原因。与华北夏季水汽输送特征研究相比,其春季水汽输送特征研究相对较少。华北春季气候的年际和年代际变化都与夏季明显不同,20 世纪 70 年代末以来华北夏季降水持续偏少<sup>[11]</sup>,而春季降水却有增加趋势<sup>[12]</sup>。2009 年张洁等<sup>[13]</sup>研究了中国春季典型降水异常及相联系的大气水汽输送,认为与华北春季降水异常相联系的异常水汽输送主要来源于东海,其源地则可追溯到中纬度西太平洋。

山西地处华北中南部,由于特殊的地理位置和气候影响,干旱频繁,特别是春旱对农业生产和人民生活影响巨大,常会造成人畜饮水困难、土地难以下种。降水偏少是造成春旱的根本原因。水汽是产生降水的源泉,源地的水汽主要通过大规模的气流被输送到降水区,并在降水区产生明显水汽辐合才能产生大的降水。表征水汽输送强度和辐合程度的物理量是水汽通量及水汽通量散度,本文将在前人研究的基础上,从春季多年平均、典型干旱年份水汽通量的整层经纬向输送、垂直积分的整层水汽输送通量及水汽通量散度及其与相应季节湿润年差异特征等几方面来揭示和阐释水汽输送异常对山西春季干湿气候形成的影响,对提高山西春季干旱短期气候预测水平、提升决策服务能力具有现实意义。

## 1 资料和方法

应用山西省分布较为均匀的 62 个气象站 1961—2008 年逐年春季(3—5 月)降水资料,同期

NCEP/NCAR 再分析资料中逐月平均风场、比湿场、地面气压场及 500 hPa 高度场格点资料,网格距  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 。

首先应用降水  $Z$  指数确定山西春季典型干湿年份,然后对典型干湿年份进行水汽输送的合成分析,分别计算春季典型干湿年份整层纬向水汽输送通量( $Q_{\lambda}$ )、整层经向水汽输送通量( $Q_{\lambda}$ )、整层水汽输送通量( $Q$ )和水汽通量散度( $D$ )的大小,并进行对比分析。最后,对近 48 年来春季最干旱年份 2001 年、最湿润年份 1964 年的同期环流和水汽输送特征进行研究。由于 300 hPa 以上水汽输送较小,本文在计算整层水汽输送通量及其散度时只考虑 300 hPa 及以下的层次,即 1000、925、850、700、600、500、400、300 hPa 共 8 层,垂直积分从地表开始到 300 hPa。具体计算方法如下:

$$Q_{\lambda} = -\frac{1}{g} \int_{P_s}^{300} vq dp; \quad Q_{\phi} = -\frac{1}{g} \int_{P_s}^{300} uq dp;$$

$$Q = -\frac{1}{g} \int_{P_s}^{300} \mathbf{V}q dp; \quad D = -\frac{1}{g} \int_{P_s}^{300} \nabla \cdot (\mathbf{V}q) dp$$

式中  $u, v$  分别为纬向风和经向风分量,  $\mathbf{V}$  是全风速矢量,  $q$  是比湿,  $P_s$  是地面气压。与水平风的方向一致,规定向东和向北的水汽输送通量为正,向西和向南的水汽输送通量为负;水汽通量散度  $D > 0$  表示水汽通量辐散,  $D < 0$  表示水汽通量辐合。差异显著性检验用  $t$  检验<sup>[14]</sup>。

## 2 典型干湿年份的确定

为了进行合成分析,选用能客观反映山西干湿程度的降水  $Z$  指数来表征山西春季干湿程度。对 1961—2008 年 62 站逐年春季降水量进行平均,组成 1961—2008 年山西春季降水量序列,并进行  $Z$  指数转换<sup>[15]</sup>,组成山西区域 1961—2008 年逐年春季  $Z$  指数序列,然后根据各级旱涝指标<sup>[15]</sup>,定义  $Z$  指数序列中重涝、大涝年份:1963、1964、1983、1990、1991、1998 年为春季典型湿润年,定义重旱、大旱年份:1962、1972、1981、1995、2000、2001 年为春季典型干旱年。

### 3 春季典型干湿年份水汽输送差异

#### 3.1 典型干湿年份水汽通量的纬向输送

对  $0^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ 、 $40^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$  区域春季多年平均 (1961—2008 年,下同) 整层纬向水汽通量、春季典型干湿年份整层纬向水汽通量距平分别进行合成分析,并研究典型干湿年份整层纬向水汽通量的距平差值场。春季平均年份(图略),亚洲和西太平洋上空主要存在两支南北不同的东西风水汽输送带,以  $20^{\circ}\text{N}$  附近为界, $20^{\circ}\text{N}$  以北主要是西风水汽输送,  $>100\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的较大西风水汽输送带从印度半岛中北部向东伸展到中南半岛,跨我国东部长江以南地区,最后到达西北太平洋,最大值位于东海东部太平洋海域,达  $200\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,这是青藏高原南侧副热带西风气流、高原北侧的西风带和逐渐加强北上的西太平洋副高(以下简称副高)北侧的西风气流汇合形成的纬向水汽输送;山西西风水汽输送通量较小,在  $50\sim 100\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  之间; $20^{\circ}\text{N}$  以南主要是从赤道西太平洋一直伸展到南海的东风水汽输送带,大值区位于赤道西太平洋,也达  $200\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,这是副高南侧偏东风带来的水汽;阿拉伯海中南部也有弱的东风水汽输送。山西春季典型干旱年(图略),我国东部黄河以南地区及沿海、西北太平洋  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$  之间出现明显正距平区,最大值在台湾岛以东太平洋,达  $30\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  以上;印度半岛北部到我国西部、我国东部黄河以北地区为负距平区,山西西风水汽通量比平均年份减少,在  $10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  以下,孟加拉湾、南海中部、菲律宾群岛中南部的东、西部海域也处于弱负距平区。春季典型湿润年(图略),我国南海、西北太平洋  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$  之间均为负距平区,绝对值最大值出现台湾岛以东太平洋,达  $50\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  以上;亚洲大陆整体处于正值区,从印度半岛南部向东经孟加拉湾到我国江南有大于  $10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的正值中心,我国长江以北东部地区到日本海也出现大于  $10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  的明显正距平区,山西西风水汽通量比平均年份偏多  $10\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  左右。从春季典型干旱年减湿润年的整层纬向水汽通量距平差值场(图 1)也可以看出,从印度半岛到孟加拉湾,以及我国大陆整个区域及日本海均为负距平差值,且我国东北东部到日本海北部干湿年份整层纬

向水汽通量差异显著,通过 0.05 的显著性水平检验;西北太平洋  $15^{\circ}\sim 35^{\circ}\text{N}$  之间为正距平差值,最大值达  $90\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  以上,也通过 0.05 的显著性水平检验。以上分析表明,典型干旱年份,青藏高原南侧的副热带西风水汽以及北侧的西风带水汽输送减弱,而我国东部黄河以南地区西风水汽输送略有增强,副高北侧西风水汽输送则显著增强,山西西风水汽输送减少;湿润年青藏高原南侧及我国东部地区及日本海的西风水汽输送明显加强,副高北侧西风水汽输送显著减弱,山西西风水汽输送增加。

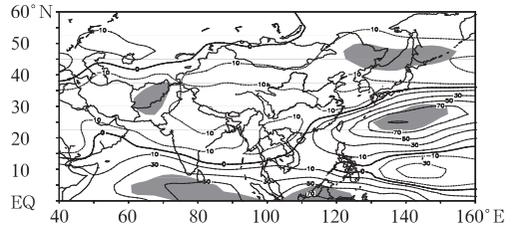


图 1 山西省春季典型干旱年减湿润年整层纬向水汽通量距平差值场(单位:  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) 和显著性  $t$  检验

阴影区表示通过 0.05 显著性检验

Fig. 1 The anomaly difference value field in the zonal vapor flux of the whole layer between the typical drought and wet years of spring (unit:  $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) and  $t$  test

The shaded areas are those with the confidence level passing 0.05

#### 3.2 典型干湿年份水汽通量的经向输送

同样对春季平均年份整层经向水汽通量、春季典型干湿年份整层经向水汽通量距平分别进行合成分析,并研究典型干湿年份的距平差值场。春季平均年份(图略),由南向北的水汽输送区域主要是从孟加拉湾向东北方向伸展,跨中南半岛和我国南海北部,再向北伸展到我国黄河以南区域,向东伸展到西北太平洋;向北水汽输送大值区位于北部湾附近,达  $120\sim 140\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。由北向南的水汽输送主要位于阿拉伯海、印度半岛和菲律宾群岛南部附近海域,最大值在阿拉伯海,达  $40\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  以上;我国北方以及向北到贝加尔湖广大地区也为北风水汽输送,山西处于其中,强度  $<20\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ 。典型干旱年(图略),日本海及向南到菲律宾群岛,以及  $150^{\circ}\text{E}$  附近以西太平洋处于正距平区,最大值在菲律宾群岛东部海面,达  $12\text{ kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$  以上;

南海及我国大陆及东部沿海处于负距平区,其中心位于我国东部长江以南,达 $-12 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,山西处于弱负距平区。典型湿润年(图略)则相反,从中南半岛跨南海北部,向北包括我国大陆及东部沿海均为正距平区,其中心位于我国东部长江以南,达 $50 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,山西的南风水汽输送距平也达 $15 \sim 30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,南风水汽输送明显增强;西太平洋区域为负距平区,南风水汽输送比平均年份减少最高达 $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上。典型干旱年减湿润年的经向水汽通量距平差值场(图 2)分布与干旱年近似,我国大陆及向北到贝加尔湖广大区域,以及我国东部沿海为负差值区,负值大值区位于我国中东部及沿海,中心区域在江南,达 $-60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,山西达 $-20 \sim -40 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 。黄河上游区域以及我国东部沿海典型干湿年份整层经向水汽通量差异显著,通过 0.05 的显著性水平检验。以上分析表明,典型干旱年,南海北部、我国黄河以南南部地区及沿海南风水汽输送显著减少,山西北风水汽输送加强,并伴随日本海及西太平洋南风水汽输送的增强;典型湿润年则相反。

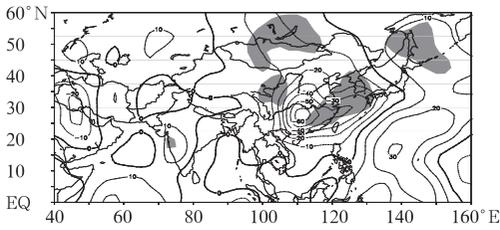


图 2 山西省春季典型干旱年减湿润年整层经向水汽通量距平差值场(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )和显著性  $t$  检验

阴影区表示通过 0.05 显著性检验

Fig. 2 The anomaly difference value field in the meridional vapor flux of the whole layer between the typical drought and wet years of spring (unit:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and  $t$  test

The shaded areas are those with the confidence level passing 0.05

### 3.3 典型干湿年份水汽通量整层输送

图 3 给出春季典型干旱年和湿润年整层水汽通量距平场以及两者的距平差值场。春季平均年份(图略)我国的水汽输送来源主要有三支:一支是青藏高原南侧的副热带西风水汽输送,另一支是副高西北侧的西南水汽输送;二者在我国南方交汇,向东

北方向伸展,中心最大值达 $200 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,为我国南方带来充沛的水汽;还有一支是中纬度的西风带水汽输送,相对较弱,山西处于该区域中。典型干旱年(图 3a),南海北部、东海及其东部西太平洋上出现偏西风距平,最大值达 $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,菲律宾群岛东部海面出现偏南风距平;从东北地区向西南经山西到河套出现东北风距平,我国东部黄河以南出现西北或北风距平,最大值在江南,达 $15 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,中南半岛北部、我国西部处于弱的偏东风距平中。典型湿润年则相反(图 3b),青藏高原南侧的偏西风距平在我国江南地区转为西南风距平,与南海北部偏南风距平、我国东海及西北太平洋的偏东风距平在我国江南合并加强北上,从江南到我国黄河中下游出现 $>30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 的强西南风水汽通量距平,最大值在江南,达 $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ 以上,山西偏南风水汽通量距平

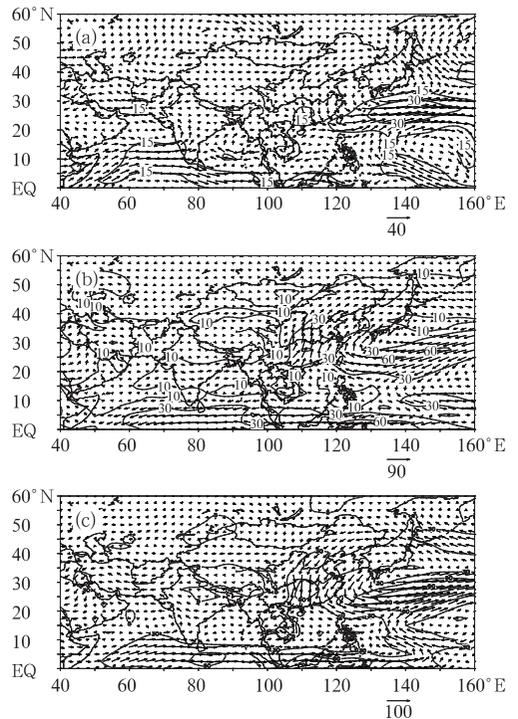


图 3 山西省春季典型干旱年(a)、湿润年(b)整层水汽通量距平场及典型干旱年减湿润年距平差值场(c)(单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 3 The vapor flux anomaly fields of the whole layer in the typical drought (a) and wet (b) years of spring and their anomaly difference value field (c) (unit:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

达  $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  左右;我国西部的西风水汽通量也有所增加。典型干旱年减湿润年整层水汽通量距平差值场分布表明(图 3c),与典型湿润年相比,干旱年东海以东太平洋的偏西风水汽通量增强  $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,最大达  $90 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  以上;高原南侧和我国西部的西风输送小于湿润年,而我国东部的偏北风水汽通量输送显著增强,最大偏北风距平差在江南,达  $60 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,山西达  $30 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  左右。以上分析表明:当春季青藏高原南侧的副热带西风水汽输送及其在我国江南转向的西南风水汽输送显著减弱,高原北侧西风带水汽输送亦减弱,同时副高西侧偏南风水汽输送减小,而其南北两侧偏东、西风水汽输送加强,特别是副高北侧偏西风水汽输送加强更明显,但副高位置偏东,使江南西南风向华北的水汽输送显著减少,山西偏北风水汽输送增加,出现春旱;反之则降水偏多,气候湿润。

### 3.4 典型干湿年份水汽通量散度差异

图 4 给出春季典型干旱年、湿润年整层积分的水汽通量散度距平场及干旱年减湿润年的距平差值场。可以看出:典型干旱年(图 4a),我国华南沿海附近到中南半岛北部、孟加拉湾出现明显的负距平中心,即水汽通量辐合加强,其绝对值最大值达  $0.9 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;我国东部长江流域及向北到黄河流域、我国东部沿海到日本岛南部附近海域为正距平区,大值中心位于日本岛南部,达  $1.5 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ;山西中东部也达  $0.9 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,整层水汽辐散明显加强。典型湿润年(图 4b)与干旱年基本相反,我国东部长江流域及以北区域、我国东部沿海及日本岛南部附近海域为显著负距平区,负值中心出现在西北地区东南部到日本岛西南部一线,达  $-2.5 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,山西在  $-1 \times 10^{-5} \sim -2.5 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  之间,整层水汽辐合明显强于平均年份;南海北部到我国华南地区为正距平区,最大值达  $1.5 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,整层水汽通量辐散加强;从干旱年减湿润年整层水汽通量散度距平差值场(图 4c)可以看出,正值中心出现在西北地区东南部到日本岛西南部一线,春季干旱年山西水汽通量辐散比湿润年增强  $1 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ,山西南部水汽辐散更明显,进一步说明山西春季整层水汽辐合减少则春旱,反之水汽辐合加强,降水偏多,气

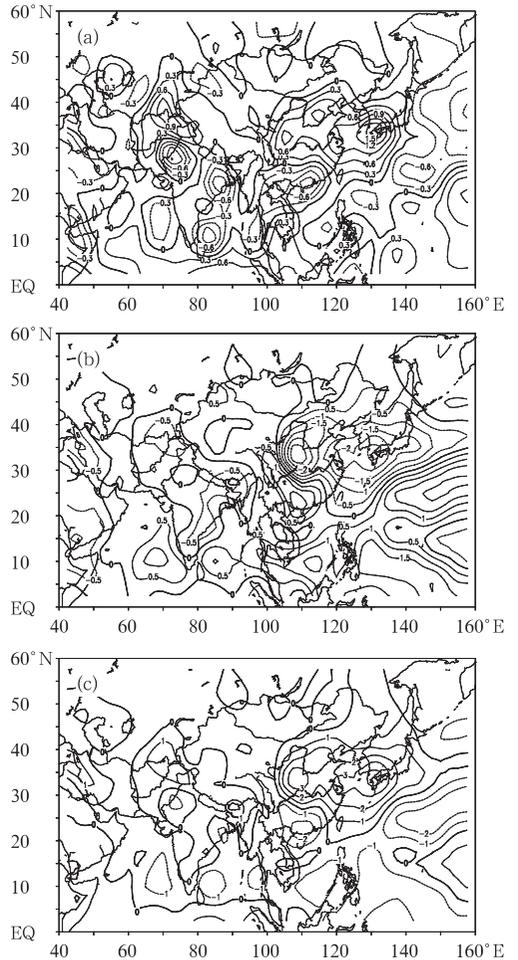


图 4 山西省春季典型干旱年(a)、湿润年(b)整层水汽通量散度距平场以及典型干旱年减湿润年距平差值场(c)  
(单位:  $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 4 The vapor flux divergence anomaly fields of the whole layer in the typical drought (a) and wet (b) years of spring and their anomaly difference value field (c)  
(unit:  $10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ )

候湿润。

## 4 2001年和1964年春季异常事件的环流特征及水汽输送

2001年和1964年春季分别是山西近48年来最干旱和最湿润的春季。图5分别给出了2001年和1964年春季500 hPa平均高度场、距平,以及整层水汽通量场。可以看出,2001年春季,500 hPa上(图5a)东亚大槽位于东亚沿岸,并存在弱的负高度距平,说明东亚大槽强于平均年份;从我国新疆北部

到西西伯利亚为一弱脊区,且存在明显的正高度距平,山西处于脊前槽后,盛行偏西北气流;北太平洋低纬度地区为正距平区,说明副高强于常年。1964年春季,500 hPa上(图5b)除东亚东部及西北太平洋为明显正距平区外,亚洲中高纬大部为负距平区,极为负距平中心区,太平洋中低纬度亦为负距平区;贝加尔湖西部有浅槽,我国北方环流平直;可见该年春季极涡显著偏强,东亚大槽平浅,副高偏弱,亚洲中高纬度多西风槽活动,对山西降水有利。从整层水汽通量输送来看,2001年春季(图5c),西太平洋副高南侧的偏东风水汽输送在中南半岛到南海北部转向为西南风水汽输送,与青藏高原南侧的偏

西风水汽在我国江南合并为偏西风水汽输送,并一直伸展到西北太平洋,山西处于西北风水汽输送中。1964年春季(图5d),青藏高原南侧的偏西风水汽输送在我国江南转为明显西南风水汽输送,并与在中南半岛到南海北部转向的副高西侧西南风水汽输送合并加强,西南风水汽输送一直向北伸展到华北南部,山西西南风水汽通量达  $100 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  以上,明显强于平均年份,为山西春季降水提供了充足的水汽。以上分析表明,环流异常与水汽输送异常紧密联系,而江南来自高原南侧西风转向的西南风水汽输送与副高西侧的西南风水汽输送的合并及向华北的输送是山西春季降水的关键。

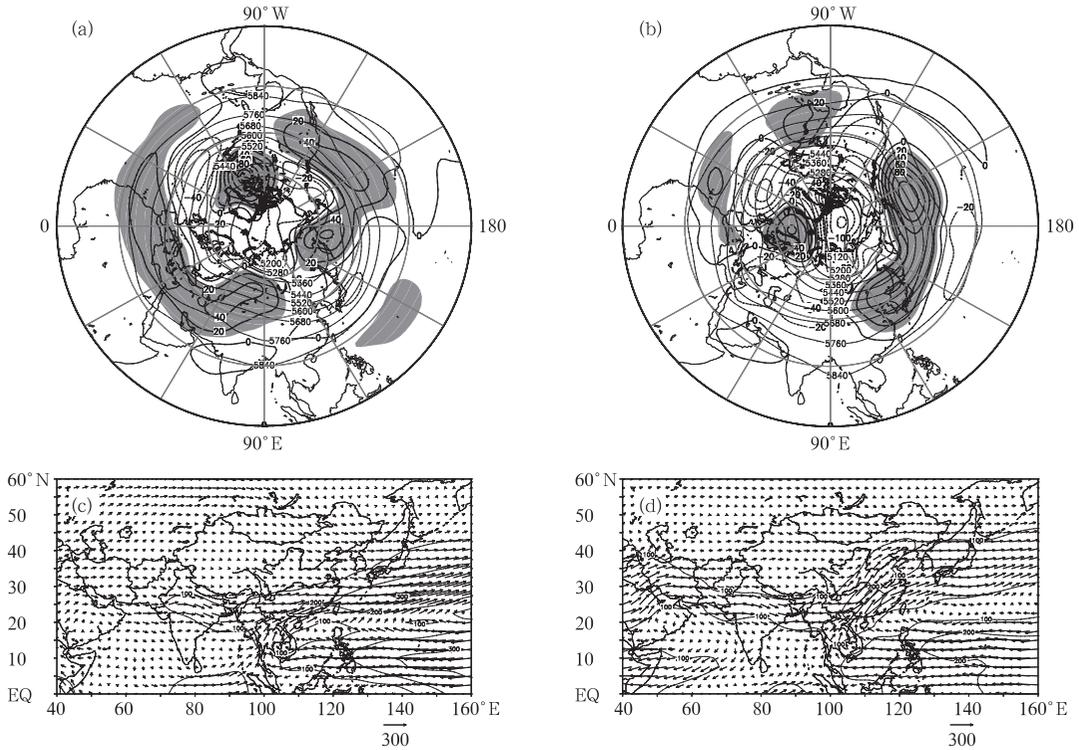


图 5 2001年(a,c)和1964年(b,d)春季500 hPa平均高度场及距平(a和b,单位:gpm; 阴影为正高度距平区)、整层水汽通量场(c和d,单位: $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ )

Fig. 5 The mean height field and its anomaly field at 500 hPa (a, unit: gpm), vapor flux field of the whole layer (c, unit:  $\text{kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) in spring of 2001, and the counterparts in spring of 1964 (b and d) The shaded areas are those with positive height anomalies

## 5 结 论

(1) 山西春季干湿与大气水汽输送异常紧密联系,典型干湿年份亚洲及西太平洋整层水汽通量的

经向、纬向输送以及整层垂直积分的水汽通量及水汽通量散度均存在明显差异。

(2) 当春季青藏高原南侧副热带偏西风及其在进入我国东部长江以南地区时转向的西南风水汽输送减弱,高原北侧西风带水汽输送亦减弱,而副高西

侧西南风水汽输送减弱,北侧西风水汽输送显著加强,但副高位置偏东时,江南西南风向华北的水汽输送显著减少,山西偏北风水汽输送加大出现春旱;反之气候湿润。从经纬向水汽输送看,春季典型干旱年,高原南、北侧西风水汽输送减弱,黄河以北西风水汽输送亦减弱,我国黄河以南东部地区及沿海南风水汽输送显著减弱,副高北侧西风、南风水汽输送显著增强,山西西风水汽输送减弱、北风水汽输送加强;春季典型湿润年则相反。春季典型干旱年,山西纬向西风水汽通量减少和经向北风水汽通量增加量级基本相当,都在  $10 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  左右,春季典型湿润年山西经向南风水汽通量增加明显大于纬向西风水汽通量的增加,差值约  $20 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$  左右。

(3) 春季典型干旱年,我国东部长江流域及向北到黄河流域、东部沿海到日本岛南部附近整层水汽通量辐散加强,特别是西北地区东南部到日本岛南部一线辐散加强更明显,而华南及沿海水汽通量辐合加强;山西整层水汽通量辐散比平均年份偏强。春季典型湿润年则相反,山西整层水汽通量辐合比平均年份偏强。与春季典型湿润年相比,典型干旱年山西水汽通量辐散偏强约  $1 \times 10^{-5} \sim 3 \times 10^{-5} \text{ kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 。

(4) 2001 年春季,500 hPa 上新疆北部高脊和东亚大槽偏强,山西处于脊前槽后,盛行偏西北气流,西南风水汽输送弱,出现异常干旱。1964 年春季 500 hPa 上,极涡偏强,东亚大槽偏弱,亚洲中高纬多西风槽活动,使江南到华北南部的西南暖湿气流输送显著强于平均年份,山西降水偏多,气候异常湿润。

## 参考文献

- [1] 朱乾根,林锦瑞,寿绍文,等. 天气学原理与方法[M]. 北京:气象出版社,2000:319-321.
- [2] 谢坤,任雪娟. 华北夏季大气水汽输送特征及其与夏季旱涝的关系[J]. 气象科学,2008,28(5):508-514.
- [3] 马京津,于波,高晓清,等. 大尺度环流变化对华北地区夏季水汽输送的影响[J]. 高原气象,2008,27(3):517-523.
- [4] 程玉琴,张少文,徐玉强. 赤峰地区夏季干旱强度预测方法研究[J]. 气象,2010,36(1):49-53.
- [5] 龚振淞,杨义文. 中国夏季旱涝气候预测相似模型[J]. 气象,2010,36(5):46-50.
- [6] 范广洲,吕世华,程国栋. 华北地区夏季水量丰、枯年大气水汽收支对比分析[J]. 兰州大学学报(自然科学版),2001,37(3):134-142.
- [7] 田红,郭品文,陆维松. 夏季水汽输送特征及其与中国降水异常的关系[J]. 南京气象学院学报,2002,25(4):498-502.
- [8] 李智才,宋燕,朱临洪,等. 山西省夏季年际气候异常研究 1. 山西省一致多雨年或少雨年[J]. 气象,2008,34(1):86-93.
- [9] 王智娟,周顺武,杨双艳,等. 山西夏季旱涝的大气环流异常特征[J]. 气象,2008,34(9):104-111.
- [10] 汪靖,吕江津. 天津地区雨季降水异常的前期强影响信号研究[J]. 气象,2010,36(11):12-17.
- [11] 魏风英. 华北地区干旱强度的表征形式及其气候变异[J]. 自然灾害学报,2004,13(2):32-38.
- [12] 周连童,黄荣辉. 我国华北地区春季降水的年代际变化特征及其可能成因的探讨[J]. 气候与环境研究,2006,11(4):441-450.
- [13] 张洁,周天军,宇如聪,等. 中国春季典型降水异常及相联系的大气水汽输送[J]. 大气科学,2009,33(1):122-134.
- [14] 魏风英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京:气象出版社,2007:28.
- [15] 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟,等. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报,1997,8(1):26-32.