散娟, 孙建奇. 2014. 中国西部冬季降水年际与年代际变化的水汽输送差异 [J]. 气候与环境研究, 19 (4): 497-506, doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2013. 12183. Ao Juan, Sun Jianqi. 2014. Difference of water vapour transportation in the interannual and decadal variations of winter precipitation over western China [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 19 (4): 497-506.

中国西部冬季降水年际与年代际变化的 水汽输送差异

敖娟^{1,2,3} 孙建奇^{1,2}

1 中国科学院大气物理研究所竺可桢一南森国际研究中心,北京 100029
2 中国科学院气候变化研究中心,北京 100029
3 中国科学院大学,北京 100049

摘 要中国西部地区是著名的气候脆弱区,降水的多寡对其影响十分巨大。尤其是在全球变暖的背景下,西部地区的增暖、增湿异常显著,随之而来的西部地区气候变化也越来越受到关注。本研究主要分析了中国西部地区冬季降水的时空变化特征,结果表明:该地区冬季降水的最主要模态具有全区一致变化的特点,并且在 20 世纪80年代中期出现了一次显著的年代际突变,突变之后中国西部地区冬季降水明显增多。大气环流和水汽输送的分析结果显示,引起西部地区冬季降水年际和年代际变化的因子有着明显的差异。其中西风带水汽输送是影响西部地区冬季降水年代际变化的主要原因;而影响西部地区冬季降水年际变化的水汽则主要来自于阿拉伯海西南向的水汽输送;而且在不同年代际背景下,影响中国西部地区冬季降水的主要水汽输送通道是一致的。这些说明西部降水的预测必须要分不同时间尺度进行研究,短期气候预测需要综合考虑年际变化、年代际变化以及气候长期变化背景才会更为合理和可行。另外,西部降水年际变化因子在不同年代际背景下的稳定性,为建立该地区持续稳定的年际预测模型奠定了科学基础。

关键词 冬季降水 年代际变化 年际变化 水汽输送 环流场
 文章编号 1006-9585 (2014) 04-0497-10
 中图分类号 P434
 文献标识码 A doi: 10.3878/j.issn.1006-9585.2013.12183

Difference of Water Vapour Transportation in the Interannual and Decadal Variations of Winter Precipitation over Western China

AO Juan^{1, 2, 3} and SUN Jianqi^{1, 2}

1 Nansen-Zhu International Research Centre, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

2 Climate Change Research Center, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029

3 University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049

Abstract Western China is a highly climate-sensitive area, over which anomalous precipitation plays an important role. In this study, the temporal and spatial distribution features of winter precipitation over Western China are analyzed. The results show that the primary mode of winter precipitation over this area showed a homogeneous change and it underwent a significant decadal change around the mid-1980s, after which winter precipitation suddenly increased compared to the amounts before. Analyses of atmospheric circulation and water vapor transportation indicate that different factors influenced decadal variation and inter-annual variation of winter precipitation over Western China. The main cause for the decadal variation was westerly water vapor transportation at mid-to-high latitude; while the primary reason for the

资助项目 国家重点基础研究发展计划 2012CB955401,公益性行业(气象)科研专项 GYHY201306026,国家自然科学基金项目 41130103 作者简介 敖娟,女,1988 年出生,博士研究生,主要从事气候变化及其预测方面的研究。E-mail: aojuan@mail.iap.ac.cn

收稿时间 2012-11-09 收到, 2013-07-16 收到修定稿

interannual variation was southwesterly water vapor transportation from the Arabian Sea. In two different decades, the channel of water vapor transportation for winter precipitation over Western China was consistent. These findings indicate that prediction of winter precipitation over Western China should be studied on different timescales, and it would be more reasonable to synthetically consider the interannual variation, decadal variation, and even long-term variation in climate predictions. In addition, the consistence of interannual influential factors in different decades provides a scientific basis for development of a stable interannual prediction mode for winter precipitation in Western China.

Keywords Winter precipitation, Decadal variation, Interannual variation, Water vapor transportation, Atmospheric circulation

1 引言

中国西部地区年降水量相对较少,为典型的内 陆性干旱半干旱区,气候敏感度很高,降水异常对 西部地区工农业的发展及生态环境的改变起着至 关重要的作用。尤其是在施雅风等(2003)指出西 北地区在 20 世纪 80 年代增湿之后,中国西部地区 降水的变化及其机理引起了越来越多的关注。

已有研究表明,在空间上西北地区年降水主要 表现出3种分布特征,即整体一致型、东西反向型、 南北反向型(黄玉霞等, 2004)。在西北地区降水 的时空变化中,多种气候因子起着重要的作用。张 存杰等(2002)指出强的东亚冬季风使西北降水减 少,而强的东亚夏季风使西北东南部夏季多雨,中 部以西大部分地区少雨。北极涛动可以通过影响西 伯利亚高压和阿留申低压的强弱来影响东亚冬季 风 (Wang and Sun, 2009; Wang and He, 2012), 进 而影响到西部地区的降水。Li and Gary (2007)指 出,大西洋年代际振荡的冷(暖)位相对应强(弱) 东亚冬季风,可以造成中国西部冬季降水的减少 (增加)。王林等(2011)的研究发现,北太平洋 涛动的正负位相对应着西北部分地区的降水异常。 此外,王澄海等(2001)指出北太平洋海温异常与 西北春季降水有较好的相关。张存杰等(2003)发 现 ENSO 事件是影响西北地区秋季降水的主要因素 之一。李耀辉和李栋梁(2004)的研究进一步指出, 西北夏季降水在ENSO循环不同位相的异常特征各 不相同。魏锋等(2005)的研究显示,西北雨季降 水与同期、前期的 500 hPa 环流有关,但不同时期 的影响关键区有很大的不同。陈活泼等(2012)在 分析新疆地区夏季降水的年代际转型时发现, 东亚 一太平洋型遥相关波列在其中起着重要的作用。

除了环流因素外,水汽状况是决定降水发生的 另外一个重要条件。在对西北地区大气水汽含量做 了细致分析之后,靳立亚等(2006)指出,西北上 空对流层内的水汽含量具有明显的区域差异,东部和西部较丰富,中部较少。西北地区的水汽主要来自于孟加拉湾、南海、阿拉伯海以及西伯利亚和蒙古方向的水汽输送(俞亚勋等,2003)。西北地区夏季水汽的输送相对来说纬向大于经向,这明显不同于东部季风区主要以经向水汽输送的主要特征(黄荣辉和陈际龙,2010;李进等,2012; Wang and Chen,2012)。由于中国西部地区地形高度较高,该地水汽输送高度主要集中在 600~700 hPa,明显高于东部地区的 850 hPa,而且夏季水汽输送是冬季的两倍(高晓清,1994)。

关于西部地区降水的研究,之前的大部分工作 主要关注的是夏季的情况,对冬季降水研究的相对 较少,对其变异规律和归因的认知就更加不足。这 一方面可能是由于冬季的降水量本身就比较少,另一 方面则可能是由于在冬季人们更多关注于温度的异 常(康丽华等, 2006, 2009),比如寒潮等。但近 些年的观测结果显示,中国西部地区冬季暴雪事件 愈发频繁 (Sun et al., 2010), 这对该地区农牧业以 及人们的生命财产安全产生了巨大的影响。要对这 些极端暴雪事件增多的原因有一个深入的认识, 首 先需要对西部地区冬季平均降水的变化特征及其 主要影响因子有一个清楚的认识。因此, 在本文中 作者将首先探讨西部冬季降水的时空变化特征,在 此基础上分别从年际和年代际尺度上考察影响中 国西部降水的主要环流因子,找出影响冬季降水的 主要水汽输送通道,加深对中国西部冬季降水变异 规律的认识,为西部地区冬季降水的年际和年代际 预测提供科学基础。

2 资料

本文分析所用的大尺度环流和水汽资料为 NCEP/NCAR 的月平均再分析资料,该资料的水平 分辨率为2.5°(纬度)×2.5°(经度)。所用降水资 料为中国气象局信息中心提供的 756 台站的逐日观 测降水资料,该资料经过了严格的质量控制,在本 文中作者对其中的缺测值作了进一步处理,具体做 法为: 首先对于 1960~2009 年中累积缺测日数超 过总天数 1%或者某一年的缺测日数超过年总日数 10%的站点均被剔出; 之后再将所有缺测值用该日 对应的多年气候平均值代替,从而得到连续 50 年 的全国 535 个站点的资料。

本文关注的西部地区指的是100°E以西的中国 内陆,之所以如此选择主要基于3点考虑:首先从 降水量上来看中国东部明显大于西部;其次,从降 水变率来看中国东部降水也明显大于西部;第三, 从全国降水经验正交分解(Empirical Orthogonal Function, EOF) 来看, 100°E 以西的数值分布与东部的数值分布差异较大,而西部地区的分布比较一致(这一点在后文的 EOF 分析中也可以体现)。因此,在本文中选择 100°E 以西地区作为研究对象,可以较好地消除东部地区降水的影响,凸现出西部降水的空间变化特征。基于此,中国 100°E 以西的 90 个站点被选取出来,再将这些站点逐日的降水资料处理成冬季季节降水总量(前一年 12 月至 2 月)。

3 结果

为了考察中国西部地区冬季降水的空间分布 特征,这里采用了 EOF 方法。图 1a 为 EOF 第一模



图 1 中国西部地区 1960~2009 年冬季(前一年 12 月至 2 月)标准化降水场 EOF 第一模态: (a)空间分布(圆点代表观测站点); (b)时间主分量(虚线)以及标准化的冬季降水指数 *P*_{index}(实线)

Fig. 1 Empirical Orthogonal Function (EOF) mode 1 of standardized winter (DJF) precipitation over Western China for 1960–2009: (a) Space distribution (dots represent stations); (b) PC1 of EOF (dashed) and standardized winter precipitation index P_{index} (solid line)

态的空间分布。可以看到,中国西部地区冬季降水 第一模态呈现出较好的空间一致性,整个区域同时 变湿或者变干。第一模态的解释方差为 18.2%。在 时间域上,EOF 第一模态在过去 50 年既表现出较 强的年际变化,也表现出显著的年代际变化特征。 尤其是在 20 世纪 80 年代中后期,滑动 t 检验和 Mann-Kendall (MK)检验结果均显示:该时间序 列发生了显著的年代际突变。

EOF 第一模态的时空变化特征很好地代表了 中国西部地区冬季降水的整体变化特征。图 1b 的 两条曲线显示,中国西部地区区域平均的冬季降水 指数(*P*_{index})与 EOF 第一模态时间序列在年际和 年代际尺度上的变化都非常一致,两者的相关系数 在过去 50 年可以达到 0.85,通过了 99.99%的信度 检验。因此,在后续的分析中用 *P*_{index} 作为代表, 来进行中国西部地区降水整体变化的归因研究是 合理可行的。考虑到中国西部地区冬季降水既具有 较强的年际变化也具有显著的年代际变化,为了更 为清楚地认识西部降水在这两个时间尺度上的变 化原因及其异同点,在本文的后续研究中,作者将 从年际和年代际两个角度来分别探究影响中国西 部冬季降水异常的大气环流和水汽输送因子。

3.1 年代际变化

由图 2a 可以看出,影响中国西部地区冬季降水的水汽输送通道主要有南北两支,其中北支主要为欧亚大陆中高纬西风带水汽输送;南支主要为低纬阿拉伯半岛地区的反气旋性环流引起的来自于阿拉伯海的西南向水汽回流。由于该地区地形较高,这支水汽输送回流主要在对流层中层和中低层(700~500 hPa,图略)显示的比较明显。在700~500 hPa,图略)显示的比较明显。在700~500 hPa,图略)显示的比较明显。在700~500 hPa 的水汽分布图上,沿着反气旋性环流,从阿拉伯海到巴基斯坦再到中国西部存在一条湿舌,相反在较高纬度的欧洲地区水汽含量相对较小。与此对应的风场分布则为北面较高纬度风速大,而南面较低纬度风速小。因此,可以这样认为,北支水汽输送的主要贡献为欧亚大陆中高纬度较强的纬向西风,而南支水汽输送的主要贡献则是来自于阿拉伯海地区丰富的水汽。



图 2 1960~2009 年冬季整层积分水汽输送通量的(a) 气候态分布和(b) 关键区 A 和 B 内的区域平均

Fig. 2 (a) Climatology and (b) average in A and B areas for integral water vapor transportation from surface to 300 hPa in winter during 1960-2009

为了将这两条路径上的水汽输送情况更清楚 地展现出来,选择A(35°N~50°N,60°E~90°E)、 B(23°N~35°N,40°E~80°E)两个关键区(图2a 所示),将这两个关键区内的水汽输送通量做区域 平均,得到图2b中的曲线。可以看出,B区内的水 汽输送大于A区,其50年平均值是北支的2.2倍, 方差是北支的1.9倍,即南支水汽输送的量不仅大 于北支,而且其年际变化也较北支水汽输送大很 多。但突变前后时段,北支水汽输送增加了25%, 而南支水汽输送减少了8.4%。也就是说,北支水汽 输送的年代际加强对西部降水的年代际增加起着 决定性作用。然而,南支水汽输送的量值和变率都 明显大于北支,这说明南支水汽输送相较北支,在 中国西部冬季降水的年际变化中可能起着更为重 要的作用,这一点也被后续的研究证实。

另外,作者还计算了中国西部冬季降水在 20 世纪 80 年代中后期突变前后,整层水汽输送通量 的差值(结果如图 3a 所示)。对比图 2a 中气候态可 以看出,与中国西部地区冬季降水年代际偏多相对 应,欧亚大陆中高纬度地区的北支水汽输送是增强 的。但看不到源自于低纬阿拉伯海向中国西部地区 输送的南支水汽的增加,相反南支路径上的水汽输 送为偏北异常,对西部地区降水的增加有负的贡 献。

进一步,从定量的角度,作者计算了中国西部 地区 5 个边界上[图 3a 中:A(40°N,75°E)、B(30°N, 82.5°E)、C (30°N, 100°E)、D (42.5°N, 100°E)、 E (50°N, 87.5°E)]各自的整层水汽净通量。其中 西北边界(AE)的水汽输送前后 20 年增加了 13%, 对中国西部地区净水汽含量的增加有着最重要的 贡献。其他四条边界上,东边界(CD)流出减少 6%,对中国西部地区水汽含量的增加有一定的贡 献,南边界(BC)流入减少和东北边界(DE)流 出增加均对中国西部地区冬季水汽含量的增加有 负贡献,西南边界(AB)的水汽流入几乎无变化。 而中国西部区域平均的冬季降水在 20 世纪 80 年代



图 3 1990~2009 年与 1960~1984 年冬季(a) 整层积分水汽输送通量和(b) 500 hPa 水平风场及位势高度(单位: gpm)的差值场分布(阴影分别为水汽输送通量场和风场通过 95%显著性检验的区域)

Fig. 3 Differences of (a) integral water vapor transportation from surface to 300 hPa and (b) horizontal wind and geopotential height (gpm) at 500 hPa between 1990–2009 and 1960–1984 in winter (shadings are above 95% confidence level for water vapor transportation and wind, respectively)

后相对于之前增加了 17.7%。这些定量分析结果显示, 欧亚大陆中纬度西风异常引起的西北边界 (AE)水汽通量的增加,是引起中国西部地区冬季 水汽含量和降水年代际增加的一个主要原因, 这与 上文定性分析结果一致。

大气环流是水汽输送的介质,那么是什么样的 大气环流突变引起中国西部冬季水汽输送和降水 突变的呢?为此,作者分析了20世纪80年代中期 突变前后欧亚大陆上空环流场的变化。图3b为水 平风场和位势高度在前后两个时段的差值分布,可 以看出,年代际尺度上异常环流场的分布与异常水 汽输送的型态非常接近(850 hPa、300 hPa 与500 hPa 相似,图略),从欧洲西部至蒙古一中国北方一 带存在一个类似于欧亚遥相关型(EU)的"+-+"异常环流模态。中国西部正好处于该遥相关模 态异常低压之前和异常高压之后,这一环流型一方 面加大了对中国西部地区的西风水汽输送,为中国 西部地区冬季降水提供了有力的水汽条件;另外一 方面,异常槽前脊后的特殊位置为中国西部地区降 水的发生提供了一个有利的动力条件。

上述研究结果表明,尽管影响中国西部地区冬季降水的主要水汽输送通道有两条,但是在年代际尺度上起作用的主要是来自于类 EU 遥相关模态变化所引起的欧亚大陆纬向西风水汽输送的增强。因此,在理解和预测中国西部地区冬季降水年代际变化时,尤其需要关注欧亚大陆类 EU 型遥相关模态及其引起的纬向西风带和水汽输送的异常变化。

3.2 年际变化

为了探讨西部降水的年际变化特征,首先将区 域平均的降水去掉线性趋势,然后分别与去趋势 后的整层积分水汽输送通量、水平风场和位势高度 场做回归。图4的结果显示,在中国西部地区冬季 降水偏多年,从欧洲一北印度洋存在一个西北一东 南向的异常波列。位于中亚地区的异常气旋性环流 和位于北印度洋-阿拉伯海地区的异常反气旋性 环流,显著加强了两个系统中间的西南向水汽输



图 4 利用去趋势后的 P_{index} 回归的(a) 整层积分水汽输送通量场和(b) 500 hPa 水平风及位势高度(单位: gpm)的异常(阴影分别为水汽输送通 量场和位势高度场通过 95%信度检验的区域)

Fig. 4 Linear regressions of (a) integral water vapor transportation from surface to 300 hPa and (b) horizontal wind and geopotential height (gpm) at 500 hPa with detrend precipitation index (*P*_{index}) in winter (shadings are above 95% confidence level for water vapor transportation and wind, respectively)

送,异常的水汽输送一直可以到达中国西部地区, 造成中国西部地区冬季水汽含量的增加,进而有利 于该地冬季降水偏多。

将图 4a 中的异常水汽输送通量分布与图 2a 中 水汽输送通量的气候态分布相对照,可以看到影响 中国西部冬季降水年际变化的主要水汽路径是来 自于阿拉伯海的西南向水汽回流。这一异常偏南水 汽输送来自于阿拉伯海,但在计算 *P*_{index} 与海温的 关系时发现,阿拉伯海地区的海温异常与 *P*_{index} 的 相关并不显著。这说明,中国西部冬季降水异常与 阿拉伯海地区海温变化所引起的蒸发异常,进而导 致的该地区水汽含量异常的关系不大,但是与从阿 拉伯海回流的西南向的水汽输送通道的畅通与否 有着直接的关联,这一通道输送较多(少)的水汽 到中国西部,中国西部的冬季降水就会偏多(少)。

图 5 为影响中国西部冬季降水的环流指数 (*H*_{index})与 *P*_{index}的变化曲线。该环流指数定义为 图 4b 中 3 个区域[A (45°N~60°N, 10°E~30°E), B1 (32.5°N~47.5°N, 35°E~60°E) +B2 (45°N~ 52.5°N, 60°E~87.5°E), C (5°N~20°N, 55°E~ 80°E)]平均的标准化位势高度的线性组合,

 $H_{\text{index}} = 1/4 H_{\text{A}} + 1/4 H_{\text{C}} - 1/2 H_{\text{B}},$

其中, H_A、H_B、H_C分别为 A、B (B1+B2)、C 3 个区域平均的标准化位势高度。H_{index} 表征的是中 纬度欧亚大陆上空遥相关波列的年际变化情况。当 该指数为正时,中亚上空是异常的气旋性环流,而 阿拉伯海-北印度洋上空是异常的反气旋性环流, 这种分布型有利于低纬西南向的水汽向中国西部 地区输送,因此有利于中国西部地区冬季降水的增 加,反之亦然。可以看到的是, H_{index} 与 P_{index} 的变 化非常一致,在过去 50 年中两者的相关系数可以 达到 0.52,通过 99%的显著性检验,说明从西欧到 北印度洋地区的这一经向遥相关模态是影响中国 西部地区冬季降水年际变化的重要大气环流因素。

表1为在 H_{index} 异常(标准化的值大于0或者 小于0)及极端异常(标准化的值大于1或者小于 -1)年份中,中国西部冬季降水的异常分布情 况。可以看到,在过去50年中有21年 H_{index}为正 异常,其中降水偏多的年份有18年,占86%;在 H_{index}极端正异常的8年中,降水偏多的年份就有7 年。相反,在 H_{index}为负异常的29年中,降水偏少 的年份有22年,占76%;在 H_{index}极端负异常的7 年中,降水偏少的年份有6年。总体来看,H_{index} 与降水的同号率可以达到80%;极端异常情况下的 同号率可以达到87%。这一结果说明,H_{index}代表 的这一异常波列与西部降水有着较好的对应关系, 这一波列的正负异常在年际尺度上影响着中国西 部降水的多寡。

表 1 1960~2009 年去趋势后异常及极端异常的高度场指数(*H_{index}*) 与降水指数(*P_{index}*) 对应的年数

Table 1 Abnormal condition of detrend P_{index} relates to abnormal and extreme abnormal detrend H_{index} for 1960– 2009

高度场异常及对应年数			降水指数异常对应的年数/a	
异常情况	指数	年数/a	>0	<0
异常	>0	21	18	
	< 0	29		22
极端异常	>1	8	7	
	< -1	7		6

3.3 不同年代际背景下的年际变化

上文已经指出,中国西部冬季降水在 20 世纪







图 6 (a) 1960~1984 年和 (b) 1990~2009 年利用 *P*_{index}回归的整层积分水汽输送通量场的异常(浅色阴影为水汽输送通量通过 90%显著性检验的区域,深色阴影为通过 95%显著性检验的区域)

Fig. 6 Linear regressions of integral water vapor transportation from surface to 300 hPa against P_{index} during (a)1960–1984 and (b)1990–2009 (dark and light shadings are above 95% and 90% confidence levels)

80年代中后期出现了年代际突变。那么,在突变前 后的不同年代际背景下,影响中国西部降水年际变 化的水汽输送通道是否有所变化呢?为此,作者分 别计算了 1960~1984 年和 1990~2009 年两个不同 时段,与中国西部降水变化相关联的水汽输送异 常。在不同的年代际背景下,欧洲-北印度洋上空 仍然存在着西北一东南向的异常波列(如图 6 所 示)。位于中亚地区的异常气旋性环流和位于北印 度洋的异常反气旋性环流虽然型态和强度有所变 化,但是两异常环流之间的西南向水汽输送通道并 没有太大变化。这说明,影响中国西部地区冬季降 水年际变化的水汽输送通道并不随着年代际背景 的不同而出现显著变化。定量分析的结果也支持这 一结论。在突变前后的两个时段中,环流指数与降 水指数的相关系数都为 0.54, 关系比较稳定。表 2 和表 3 与表 1 相似,只是表 2 为突变前的 25 年,

表 3 为突变后的 20 年。对比两张表,可以看到 H_{index} 与 P_{index} 的关系对应得都很好,并无明显的变化。 在前后两个时段, H_{index} 与 P_{index} 的同号率分别为 72%和 80%,极端异常的 H_{index} 年份中,只有 1 年 的 P_{index} 出现符号不符的情况。由此可见,在不同 年代际背景下,南支水汽输送与中国西部地区冬季 降水的关系是稳定的。

表 2 1960~1984 年异常及极端异常的高度场指数 (*H*_{index}) 与降水指数 (*P*_{index}) 对应的年数

Table 2	Abnormal condition of P_{index} relates to abnormal
and extr	eme abnormal H _{index} for 1960—1984

		maen		
高度场异常及对应年数			降水指数异常对应的年数/a	
异常情况	指数	年数/a	>0	< 0
异常	>0	12	9	
	<0	13		9
极端异常	>1	3	3	
	< -1	6		5

表 3 1990~2009 年异常及极端异常的高度场指数 (*H*_{index}) 与降水指数 (*P*_{index}) 对应的年数

Table 3 Abnormal condition of P_{index} relates to abnormaland extreme abnormal H_{index} for 1990-2009

高度场异常及对应年数			降水指数异常对应的年数/a	
异常情况	指数	年数/a	>0	<0
异常	>0	9	7	
	<0	11		9
极端异常	>1	4	4	
	<-1	3		3

4 结论与讨论

本工作主要研究了中国西部地区冬季降水的 时空变化特征及其物理机理。结果发现,近 50 年 中国西部地区冬季降水的最主要模态呈现出全区 一致的变化特征,并且它的一致性变化表现出的是 增加的趋势。中国西部地区冬季降水在 20 世纪 80 年代中期出现一次显著的年代际突变。在年代际尺 度上,影响中国西部降水多少的主要因子为欧亚大 陆上空类似 EU 型遥相关模态的变化及其导致的欧 亚大陆中纬度地区西风水汽输送的异常。在年际尺 度上,从西欧到北印度洋地区的经向遥相关模态是 影响中国西部地区冬季降水的重要大气环流因素。 而且,在不同年代际背景下,虽然该波列的强度和 形状有所变化,但其引起的影响西部降水的关键水 汽输送通道并没有太大改变。这说明,影响中国西 部冬季降水的因子是稳定的,这为建立该地区在不 同年代际背景下持续有效的预测模型提供了科学 基础。此外,年代际和年际影响因子的不同意味着, 要对中国西部地区冬季降水有一个较好的预测,必 须综合考虑年际变化、年代际变化以及气候长期变 化的背景(王会军等, 2012),这样才能抓住该地 区冬季降水的特点。在本文中,作者主要是从环流 场的角度来探讨影响中国西部地区冬季降水的主 要气候因子,对于海温等缓变介质的作用并没有展 开讨论,这将是下一步研究的重点。

致谢 感谢两位审稿专家的宝贵意见。

参考文献(References)

陈活泼, 孙建奇, 范可. 2012. 新疆夏季降水年代际转型的归因分析 [J]. 地球物理学报, 55 (6): 1844–1851. Chen Huopo, Sun Jianqi, Fan Ke. 2012. Possible mechanism for the interdecadal change of Xinjiang summer precipitation [J]. Chinese Journal of Geophysics (in Chinese), 55 (6): 1844–1851.

505

- 高晓清. 1994. 西北干旱地区大气中水汽的平均输送 [J]. 高原气象, 13 (3): 307–313. Gao Xiaoqing. 1994. The mean moisture transfering in air over northwest arid region [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 13 (3): 307–313.
- 黄荣辉, 陈际龙. 2010. 我国东、西部夏季水汽输送特征及其差异 [J]. 大气科学, 34 (6): 1035–1045. Huang Ronghui, Chen Jilong. 2010. Characteristics of the summertime water vapor transports over the eastern part of China and those over the western part of China and their difference [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 34 (6): 1035–1045.
- 黄玉霞, 李栋梁, 王宝鉴, 等. 2004. 西北地区近 40 年降水异常的时空 特征分析 [J]. 高原气象, 23 (2): 246–252. Huang Yuxia, Li Dongliang, Wang Baojian, et al. 2004. Analysis on temporal-spatial features of annual precipitation in northwest China in 1961–2000 [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 23 (2): 246–252.
- 靳立亚, 符娇兰, 陈发虎. 2006. 西北地区空中水汽输送时变特征及其 与降水的关系 [J]. 兰州大学学报, 42 (1): 1–5. Jin Liya, Fu Jiaolan, Chen Fahu. 2006. Spatial and temporal distribution of water vapor and its relationship with precipitation over northwest China [J]. Journal of Lanzhou University (in Chinese), 42 (1): 1–5.
- 康丽华, 陈文, 魏科. 2006. 我国冬季气温年代际变化及其与大气环流 异常变化的关系 [J]. 气候与环境研究, 11 (3): 330–339. Kang Lihua, Chen Wen, Wei Ke. 2006. The interdecadal variation of winter temperature in China and its relation to the anomalies in atmospheric general circulation [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 11 (3): 330–339.
- 康丽华, 陈文, 王林, 等. 2009. 我国冬季气温的年际变化及其与大气环 流和海温异常的关系 [J]. 气候与环境研究, 14 (1): 45–53. Kang Lihua, Chen Wen, Wang Lin, et al. 2009. Interannual variations of winter temperature in China and their relationship with the atmospheric circulation and sea surface temperature [J]. Climatic and Environmental Research (in Chinese), 14 (1): 45–53.
- 李进,李栋梁,张杰. 2012. 黄河流域冬、夏季水汽输送及收支特征 [J]. 高原气象,31 (2): 342-350. Li Jin, Li Dongliang, Zhang Jie. 2012. Characteristics of water vapor transportation and budget of winter and summer in the Yellow River basin [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 31 (2): 342-350.
- Li S L, Gary T B. 2007. Influence of the Atlantic multi-decadal oscillation on the winter climate of East China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 24 (1): 126–135.
- 李耀辉, 李栋梁. 2004. ENSO 循环对西北地区夏季气候异常的影响 [J]. 高原气象, 23 (6): 930–935. Li Yaohui, Li Dongliang. 2004. Effects of ENSO cycle on the summer climate anomaly over northwest China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 23 (6): 930–935.
- 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 2003. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的 特征和趋势探讨 [J]. 第四纪研究, 23 (2): 152–164. Shi Yafeng, Shen Yongping, Li Dongliang, et al. 2003. Discussion on the present climate change from warm-dry to warm-wet in northwest China [J]. Quaternary Sciences (in Chinese), 23 (2): 152–164.

Sun J Q, Wang H J, Yuan W. 2010. Spatial-temporal features of intense

snowfall events in China and their possible change [J]. J. Geophys. Res., 115, D16110.

- 王林,陈文,冯瑞权,等. 2011. 北太平洋涛动的季节演变及其与我国冬春气候异常的联系 [J]. 大气科学, 35 (3): 393–402. Wang Lin, Chen Wen, Fong Soikun, et al. 2011. The seasonal March of the North Pacific Oscillation and its association with the interannual variations of China's climate in Boreal winter and spring [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences (in Chinese), 35 (3): 393–402.
- 魏锋, 丁裕国, 杨金虎, 等. 2005. 中国西北地区雨季降水与 500 hPa 高 度场的 SVD 分析 [J]. 干旱气象, 23 (4): 17–23. Wei Feng, Ding Yuguo, Yang Jinhu, et al. 2005. SVD analysis of the relationship between 500 hPa height fields and precipitation fields in rainy season in northwest China [J]. Arid Meteorology (in Chinese), 23 (4): 17–23.
- Wang H J, Sun J Q. 2009. Variability of northeast China River break-up date [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 26 (4): 701–706.
- 王会军, 范可, 郎咸梅, 等. 2012. 我国短期气候预测的新理论、新方法 和新技术 [M]. 北京: 气象出版社, 226. Wang Huijun, Fan Ke, Lang Xianmei, et al. 2012. Advances in Climate Prediction Theory and Techniques of China (in Chinese) [M]. Beijing: China Meteorological Press, 226.
- Wang H J, Chen H P. 2012. Climate control for southeastern China moisture and precipitation: Indian or East Asian monsoon [J]. Journal of Geophysical Research, 117, D12109, doi:10.1029/2012JD017734.

- Wang Huijun, He Shengping. 2012. Weakening relationship between East Asian winter monsoon and ENSO after mid-1970s [J]. Chinese Science Bulletin, doi: 10.1007/s11434-012-5285-x.
- 王澄海, 王式功, 杨德保, 等. 2001. 中国西北春季降水与太平洋海温的 相关特征 [J]. 应用气象学报, 12 (3): 383–384. Wang Chenghai, Wang Shigong, Yang Debao, et al. 2001. The correlation between the Pacific sea surface temperature (SST) and precipitation over northwest China [J]. Journal of Tropical Meteorology (in Chinese), 12 (3): 383–384.
- 俞亚勋,王劲松,李青燕. 2003. 西北地区空中水汽时空分布及变化趋势分析 [J]. 冰川冻土, 25 (2): 149–156. Yu Yaxun, Wang Jinsong, Li Qinyan. 2003. Spatial and temporal distribution of water vapor and its variation trend in atmosphere over northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese), 25 (2): 149–156.
- 张存杰,高学杰,赵红岩. 2003. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的 影响 [J]. 冰川冻土, 25 (2): 157–164. Zhang Cunjie, Gao Xuejie, Zhao Hongyan. 2003. Impact of global warming on autumn precipitation in northwest China [J]. Journal of Glaciology and Geocryology (in Chinese), 25 (2): 157–164.
- 张存杰,谢金南,李栋梁,等. 2002. 东亚季风对西北地区干旱气候的影响 [J]. 高原气象, 21 (2): 193–198. Zhang Cunjie, Xie Jinnan, Li Dongliang, et al. 2002. Effect of East-Asian monsoon on drought climate of northwest China [J]. Plateau Meteorology (in Chinese), 21 (2): 193–198.