

# 与华北地区春季降水量异常 关联的大气环流异常\*

陆日宇

(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

**摘 要** 华北地区的春旱极大地影响着农作物的播种和生长。因此, 尽管华北地区的春季降水量没有夏季降水量那么多, 但它的变化规律及其原因也是一个非常值得研究的问题。在本文中, 我们指出, 相对平均值而言, 华北地区春季降水量的年际变化相当大。早年降水量的变化幅度相对较小, 而降水多的年份之间降水量却有相当大的变化。进而, 我们分析了在年际变化时间尺度上, 与华北地区春季降水异常相关联的大尺度大气环流异常。发现在华北春季降水多时, 东亚地区上空在整个对流层中存在一反气旋式环流异常, 即与季节演变特征相符, 而在热带地区存在与季节演变相反的环境异常。东亚地区上空这种反气旋式环流使得东亚大槽偏东、偏弱, 并使得在我国东部地区出现南风异常, 这种南风异常一直达到华北地区, 为华北地区的降水提供有利条件。此外, 反气旋式异常随高度向西斜, 也为扰动的发展提供了有利的环流背景。本文对对流层高层经向风的分析结果表明, 与华北春季降水密切相关的东亚地区反气旋式环流异常和南北风异常与出现在北半球中纬地区的波列有关系, 但关于该波列产生的原因却有待进一步的研究。

**关键词:** 华北; 降水量; 大气环流异常; 年际变化

## 1 引言

在中国, 干旱是最为严重的自然灾害。许多学者对干旱的地区分布规律做了大量的研究。徐瑞珍、王蕾<sup>[1]</sup>将中国按纬度分成5个地带, 统计了严重干旱出现的频次, 发现从南到北干旱的发生频次不断增多, 到 $35^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$ 达到最大值, 而再往北又开始减少。

中国华北地区人口密集, 土地、矿产资源丰富。然而, 华北地区又是水资源十分贫乏的地区之一。水资源的缺乏已严重地妨碍了华北地区工农业生产的进一步发展, 严重影响着华北地区经济的持续发展, 是华北地区今后经济发展中必须解决的重大问题<sup>[2]</sup>。

正因为如此, 中国学者对黄河流域的干旱以及干旱发生的主要大尺度大气环流型进行了大量的研究<sup>[3~12]</sup>。这些研究表明, 夏季华北地区的降水异常一方面与中高纬地区的大尺度大气环流型有关, 另一方面与副热带和热带大气环流系统有关。

尽管对华北地区降水量的变化规律已经有了大量的研究, 但这些研究基本上都是针对夏季降水量的, 另外还有一些针对年降水总量的研究。而对华北地区春季降水量的研

2000-02-25 收到, 2001-01-18 收到修改稿

\* 中国科学院“九五”重大应用基础研究项目“中国华北地区水资源变化及其调配研究”第二课题(编号: ZK951-A1-203-02)以及中国科学院重点研究项目“ENSO对东亚气候异常的影响及其物理过程的研究”(编号: ZK952-S1-404)联合资助

究却极少。其中的原因是由于华北地区的降水受到东亚季风的影响, 呈现出集中在夏季出现的趋势, 夏季降水量在年降水总量当中占有相当大的比重。

然而, 事实上, 华北地区春旱也是一个非常严重的问题。华北地区春季日照充足, 空气干燥, 温度上升很快, 同时由于风多风大, 蒸发强烈, 土壤失墒很快。一般来讲, 华北地区春季降水较少, 降水量远远低于蒸发量, 水分亏缺严重, 因而常常发生干旱, 以致于有“十年九春旱”的说法。据统计, 华北地区发生春旱的机率在 70% 左右<sup>[13]</sup>。春季正值春播作物播种和幼苗营养生长之际, 干旱可使种子不能正常出苗, 造成缺苗断垄。干旱还会导致不能适时播种, 严重春旱年要等到下透雨后才能播种, 这样, 作物生长期的缩短会致使秋后不能正常成熟就遭冻而枯死。干旱还可以导致幼苗生长不良, 发育缓慢, 严重时甚至枯死。所有这些都会影响到农作物的最终产量。因而, 华北地区春季降水量的变化规律及其原因是一个非常值得研究的问题。

## 2 资料

本研究用到了两部分资料: 第一部分为中国台站月降水总量资料, 计有 160 个台站, 时间从 1951 年到 1998 年。利用这部分资料, 我们分析了华北地区春季降水量的变化; 第二部分资料为 1958~1997 年 NCAR/NCEP 再分析资料, 包括位势高度和水平风场, 资料水平网格距为  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ , 垂直等压面分 12 层: 1000、925、850、700、600、500、400、300、250、200、150、100 hPa。

## 3 与华北地区春季降水异常相关联的大尺度大气环流异常

首先, 我们给出华北地区春季降水量的变化。根据中国 160 个台站月降水总量资料, 计算了华北地区平均的春季降水总量。这里, 春季取为 3、4、5 月, 并采用 ( $35^{\circ} \sim 40^{\circ} \text{N}$ ,  $110^{\circ} \sim 125^{\circ} \text{E}$ ) 范围内 16 个台站平均的春季降水量代表华北地区平均的春季降水总量。之所以选择这一范围, 是因为这一区域发生旱灾的可能性最大<sup>[1]</sup>。此外, 这里所选择的这些台站与“九五”重中之重项目“我国短期气候预测系统的研究”中选定的 17 个站大体相同, 只有承德、临沂等几个站不同。应该说这 16 个台站确能代表华北地区。图 1 给出了 1951~1998 年华北地区春季降水量的变化。与夏季降水量明显不同的是, 春季降水量的变化没有表现出明显的年代际变化特征, 也没有夏季降水量变化中自 1965 年左右降水量明显减少的现象。相反地, 可以发现华北地区春季降水量呈稍微增加的趋势。

另外一个明显的特征是, 在以上分析的 48 年时段中, 华北春季降水量处于平均线以下的年份有 31 年之多, 远多于在平均线以上的年份 (为 17 年), 这一结果与以前的研究结果一致。此外, 虽然华北春季降水量平均在 120 mm 左右, 但在多雨的年份, 可以多到 220 mm, 而在干旱的时候, 可以少到只有 80 mm。因而可以说, 华北春季降水量的变化幅度相当大。如果我们用方差除以平均值来代表变化幅度, 那么华北地区春季降水量的变化幅度只是略小于夏季的变化幅度。此外, 早年降水量的变化幅度相对较小, 而降水多的年份之间降水量却有相当大的变化。

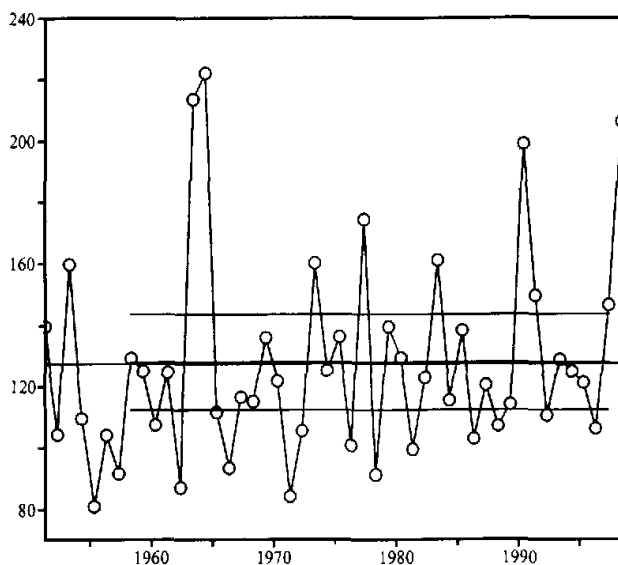


图 1 1951~1998 年华北地区春季降水量的变化 (单位: mm)

粗直线和两条细直线分别为时段缩短到 1958~1997 年时的平均值和大于、小于平均值半个方差的两条线

为了进行合成分析, 将时段缩短到 1958 年至 1997 年, 并给出超出和低于平均值半个方差的两条线 (图 1)。这个时段与 NCAR / NCEP 再分析资料的时段一致。从图 1 中可以看到, 这个时段平均的降水量与 1951 年到 1998 年平均的降水量几乎完全相同。在这个时段中, 降水量超过平均值半个方差的年份有 7 年: 1963、1964、1973、1977、1983、1990、1997 年, 降水量少于平均值半个方差的年份有 13 年: 1960、1962、1965、1966、1971、1972、1976、1978、1981、1986、1988、1992、1996 年。

下面对上述降水多的 7 年和降水少的 13 年进行大气环流的合成分析。图 2 为华北夏季降水多的 7 年和降水少的 13 年的 850 hPa 合成风场的差值。我们知道, 副高在夏季最为强大。春季, 副高形成并不断加强, 从春季平均图上, 副高的西南风在扫过中国南部沿海地区之后, 折向西太平洋, 与来自北方中纬度的西北风汇合后, 继续吹向东北方向。副高的西南风在扫过中国南部沿海地区之后, 除了折向西太平洋之外, 还有一支继续吹向北, 并一直吹到华北地区。从图 2 中我们可以看到, 在南海南部、孟加拉湾南部为显著东风异常区, 在西太平洋另有一大片东北风异常区。这种异常实际上是与大气大尺度环流的季节演变相联系的, 这一点我们可以从与图 3 的比较中看出。图 3 给出了从 1980 年到 1997 年 18 年平均的风场在春季里逐月变化。18 年已足够长, 其平均足以用来代表气候平均态。

图 3a 表示 4 月风场减去 3 月风场, 而图 3b 表示 5 月风场减去 4 月风场, 从中可以看出最明显的季节演变特征是印度洋、孟加拉湾南部和南海南部为明显的西风加强, 并以西南风一直吹到西太平洋。比较图 2 和图 3 可以发现, 在以上所讨论的区域中,

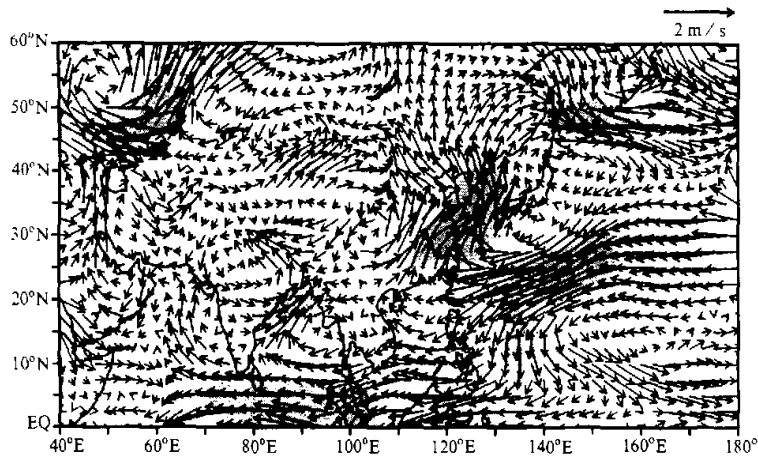


图2 华北春季降水多的7年和降水少的13年的850 hPa合成风场的差值  
阴影区表示超过95%信度的区域

850 hPa 风场在降水多和降水少的年份之间存在的差别，基本上是与春季里的季节演变特征相反的。也就是说，当华北地区春季降水多的时候，热带地区的季节演变比较缓慢，春季平均的环流呈现初春时的特征。

然而，华北地区及其周围地区上空合成的环流差别和季节演变特征却不是相反的。在合成的环流差别图（图2）上，在中国东部沿海地区以及东海，朝鲜半岛，南风在降水多的年份中明显强于在降水少的年份。而在季节演变（图3）中，这些地区基本上也是以南风加强为主。此外，在季节演变过程中，东亚大槽不断减弱，特别是由3月份到4月份。而华北春季降水较多时伴随的环流异常是东亚大槽的减弱以及东亚急流的减弱和北移（图略）。因而，在华北地区及其周围地区上空，合成的环流差别与季节演变之间呈现出一致的变化趋势。华北地区春季降水异常可能与东亚地区大气环流的季节演变快慢有关联。这种在降水多的年份的南风加强不仅在对流层低层存在，而且在对流层上层也明显地存在着。图4给出了200 hPa风场在降水多和降水少的年份之间的差值，从中可以更为清楚地看到在中国东部地区为显著的南风加强。另外，可以看到在东亚地区上空为一十分明显的反气旋式环流异常。实际上，在850 hPa等压面上也能看到类似的反气旋式环流异常，只不过没有200 hPa上的这么清楚，而且其位置偏东一些。

图3和图4表明中高纬主要环流系统在东亚地区为东亚大槽，降水多年东亚大槽偏东、偏弱。华北春季降水量的变化因东亚大槽的位置和强度变化产生，即随冬季结束，东亚大槽将逐渐减弱，反映槽后偏北气流减弱，对应下沉气流减弱，同时有助于偏南气流带来较多的水汽，这都将有利于春季降水。

中国东部地区和近海上的南风异常，即降水多年南风显著强于降水少年，不仅在850 hPa和200 hPa上出现，实际上这种南风异常贯穿了整个对流层(图5)。沿35°N，

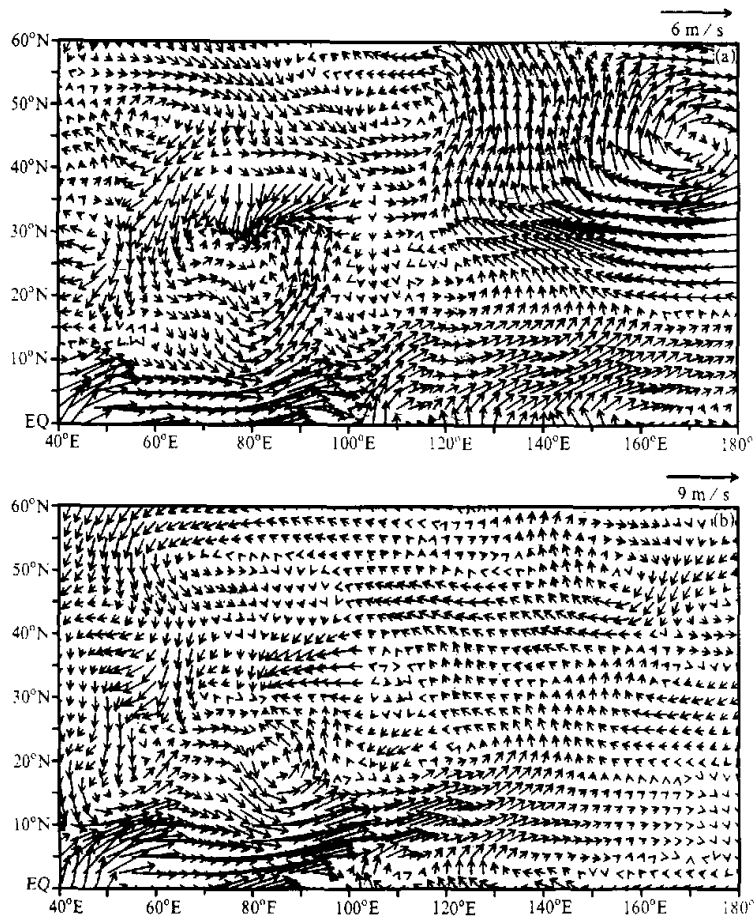


图3 1980~1997年18年平均的850 hPa风场在春季里逐月变化

(a) 4月风场减去3月风场; (b) 5月风场减去4月风场

在东亚地区上空均为南风异常, 这种南风异常随高度略向西斜, 强度也不断增加, 在200 hPa上达到极大值。

东亚地区上空出现的反气旋式异常在位势高度场上也能够看到。图6给出了位势高度异常沿35°N的垂直分布。从中也可以看到在东亚地区上空有一显著的位势高度正异常, 即反气旋式分布。位势高度异常也是随高度略向西斜, 强度也不断增加, 在200 hPa上达到极大值。

由此, 可以认为华北地区春季降水异常与东亚地区上空的这种反气旋式环流关系密切。这种反气旋式环流使得东亚大槽偏东、偏弱, 并使得中国东部地区南风加强, 这种加强了的风一直达到华北地区, 为华北地区的降水提供有利条件。此外, 反气旋式异常随高度向西斜, 也为扰动的发展提供环流背景。

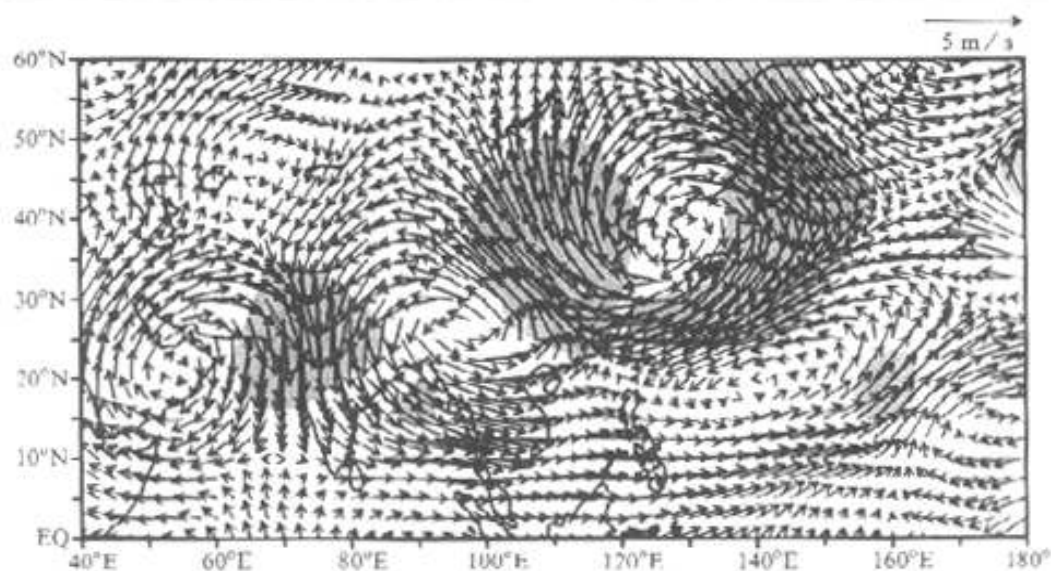


图 4 200 hPa 风场在降水多和降水少的年份之间的差值  
阴影区表示超过 95% 信度的区域

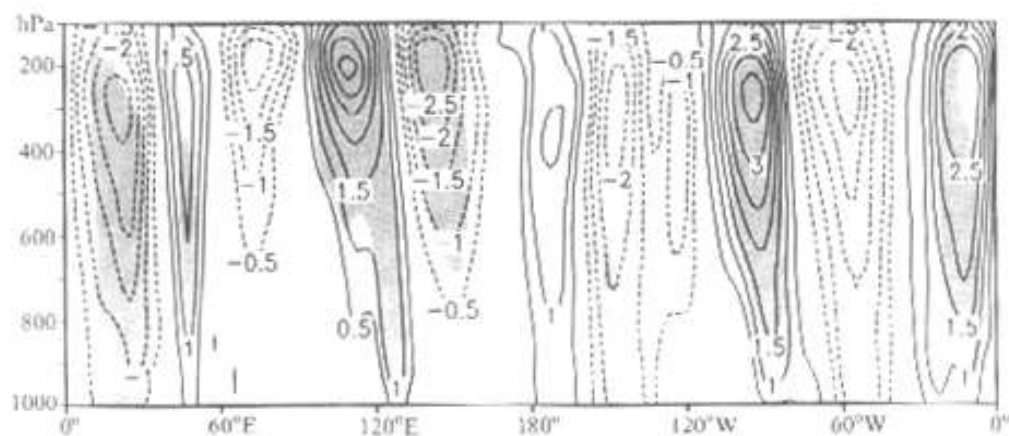


图 5 南风异常在降水多和降水少的年份之间的差值沿 35°N 的垂直分布  
阴影区表示超过 95% 信度的区域

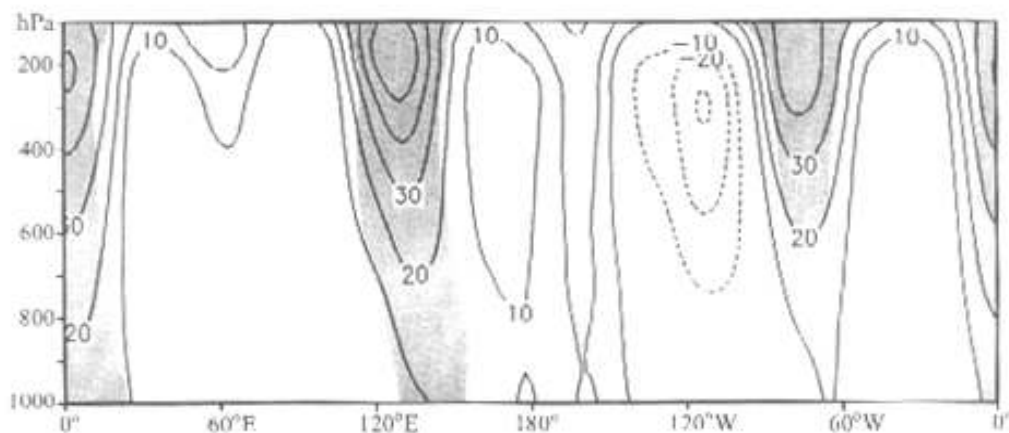


图 6 位势高度异常在降水多和降水少的年份之间的差值沿 35°N 的垂直分布  
阴影区表示超过 95% 信度的区域

## 4 对东亚反气旋式环流异常产生原因的探讨

季节平均的气候异常往往受海温异常、陆表状况的影响,为了探讨华北地区春季降水异常产生的原因,特别是与降水异常密切相关的东亚反气旋式环流异常产生的原因,下面首先分析一下这个反气旋式环流异常与其他地区环流异常之间的可能联系,即遥相关。因华北地区位于青藏高原和天山山脉等的下游,选择较高层次的等压面是合理的。此外,图5和图6表明东亚反气旋式环流异常在200 hPa等压面上最明显,因而,本文选择200 hPa等压面进行分析。最后,关于分析什么要素再进行一次说明,分析遥相关时,最早多用500 hPa位势高度场(如文献[14]),后来,因为位势高度场不能用来很好地讨论低纬度、特别是两半球之间的遥相关,开始采用对流层上层的流函数(如文献[15])或相对涡度(如文献[16])。然而,在欧亚大陆上空强大的急流以及它的南北移动具有强大的信号,致使涡度和流函数以及它们的异常都表现为沿纬向的分布,进而掩盖掉可能的遥相关信号,特别是在春季这个环流变化比较剧烈的季节中,而经向风场却较少受到急流及其南北移动的影响,于是,在本文中,将对200 hPa等压面上的经向风场进行分析。

图7为200 hPa等压面上经向风异常的分布。沿着欧亚大陆南部到东亚和北太平洋地区为正负相间的经向风异常分布。该波列状分布似乎一直延续到北美和大西洋地区,但信度较弱。信度最强的地方为东亚地区。Hoskins和Ambrizzi<sup>[16]</sup>指出,Rossby波可以沿着西风急流向西传播。东亚地区正好为急流经过的地方,而且东亚地区的气候明显受到急流变动的影响,因而,东亚地区的气候有可能受到沿着西风急流西传的波列的影响。

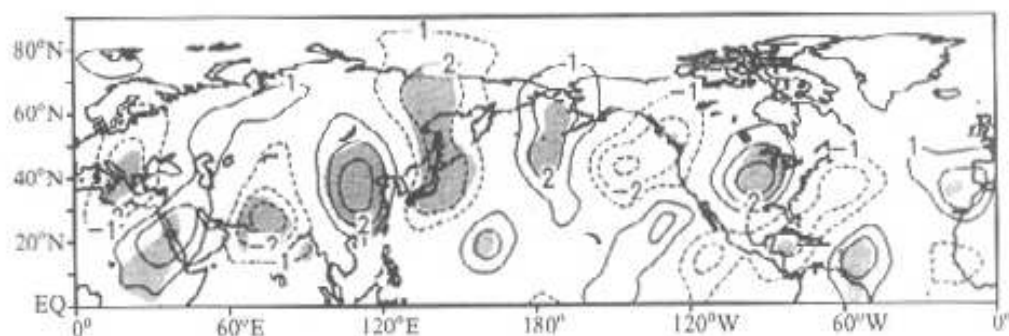


图7 南风异常在降水多和降水少的年份之间的差值在200hPa等压面上的分布  
阴影区表示超过95%信度的区域

比较图7(或图5)和图6,就会发现位势高度场也不适合于本文对欧亚大陆上空可能的遥相关型的讨论。图6中只有显著的正异常,却没有相间其中的显著负异常。

本文还分析了热带地区的热力异常,但未能发现与上述遥相关型,东亚地区上空出现的反气旋式环流异常和华北地区春季降水异常有明显的联系。这方面将有待于今后进行进一步的研究。

## 5 总结

华北地区春季降水量的变化与夏季不同, 它没有表现出明显的年代际变化趋势。华北地区春季降水量的年际变化却十分明显, 且很有特点。若以方差除以平均值来代表变化幅度, 那么华北地区春季降水量的变化幅度只略小于夏季的变化幅度。此外, 早年降水量的变化幅度相对较小, 而降水多的年份之间降水量却有相当大的变化。

本文进而分析了在年际变化时间尺度上与华北地区春季降水异常相关联的大尺度大气环流异常, 发现在华北地区春季降水多时, 东亚地区上空在整个对流层中均有反气旋式环流异常的出现, 这种反气旋式环流异常使得南风在中国东部地区加强并一直吹到华北地区, 为降水提供水汽来源和有利条件。同时, 合成分析结果还表明, 与华北地区春季降水多和少相关联的热带地区风场基本上表现为与春季里的季节演变特征相反, 而东亚地区上空环流异常却与季节演变特征相符。然而, 我们未能发现热带地区风场异常与东亚地区上空的反气旋环流之间可能有的联系。

这种反气旋式环流使得东亚大槽偏东、偏弱, 并使得中国东部地区南风加强, 这种加强了南风一直达到华北地区, 为华北地区的降水提供有利条件。此外, 反气旋式异常随高度向西斜, 也为扰动的发展提供了有利的环流背景。

我们还初步探讨了东亚反气旋环流异常产生的原因, 分析结果表明热带地区的热力异常似乎不能说明为东亚地区上空反气旋式环流异常产生的原因。本文对对流层高层经向风的分析结果表明, 与华北春季降水密切相关的东亚地区反气旋式环流异常和南北风异常与出现在北半球中纬地区的波列有关系。

**致 谢** 审稿人指出原稿中一些错误, 并对结果分析给与了很好的建议, 在此表示感谢。

## 参 考 文 献

- 1 徐瑞珍、王蕾, 我国近 500 年旱涝的初步分析, 全国气候变化学术讨论会文集, 北京: 科学出版社, 1978.
- 2 宫德吉, 华北干旱和半干旱地区的水环境现状和水资源应用问题, 气候与环境研究, 1997, 2, 193~198.
- 3 严中伟、季劲钧、叶笃正, 60 年代北半球夏季气候跃变 I. 降水和温度变化, 中国科学 B 辑, 1990, 97~103.
- 4 严中伟、季劲钧、叶笃正, 60 年代北半球夏季气候跃变 II. 海平面气压和 500 hPa 高度变化, 中国科学 B 辑, 1990, 879~885.
- 5 李崇银、廖清海, 东亚和西北太平洋地区气候的准十年尺度振荡及其可能机制, 气候与环境研究, 1996, 1, 124~133.
- 6 武炳义、黄荣辉、高登义, 冬季北极海冰长期变化对华北降水的可能影响, 高原气象, 1999, 18, 590~594.
- 7 谢庄、崔继良、刘海涛、赵思雄、孙建华、陈红、曾庆存, 华北和北京的酷暑天气 I. 历史概况及个例分析, 气候与环境研究, 1999, 4, 323~333.
- 8 孙建华、陈红、赵思雄、曾庆存、谢庄、崔继良、刘海涛, 华北和北京的酷暑天气 II. 模拟试验和机理分析, 气候与环境研究, 1999, 4, 334~345.
- 9 叶笃正、黄荣辉等, 长江黄河流域旱涝规律和成因研究, 济南: 山东科学技术出版社, 1996.
- 10 Liu, Y., Y. Ding and Y. Li, Transport of water vapor over North China during the drought period in summer of 1980, *Adv. Atmos. Sci.*, 1992, 9, 213~222.
- 11 Zhang Renhe, A. Sumi and M. Kimoto, A diagnostic study of the impact of El Nino on the precipitation in China, *Adv. Atmos. Sci.*, 1999, 16, 229~241.



- 12 Huang Jiayou, The response of climatic jump in summer in North China to global warming, *Adv. Atmos. Sci.*, 2000, **17**, 184~192.
- 13 张养才、何维勋、李也奎, 中国农业气象灾害概论, 北京: 气象出版社, 1991.
- 14 Wallace, J. M. and D. S. Gutzler, Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**, 785~812.
- 15 Hsu, H.-H. and S.-H. Lin, Global teleconnections in the 250-mb streamfunction field during the Northern Hemisphere winter, *Mon. Wea. Rev.*, 1992, **120**, 1169~1190.
- 16 Hoskins, B. J. and T. Ambrizzi, Rossby wave propagation on a realistic longitudinally varying flow, *J. Atmos. Sci.*, 1993, **50**, 1661~1671.

## Atmospheric Circulation Anomaly Associated with the Spring Rainfall Anomaly in North China

Lu Riyu

(Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

**Abstract** The spring droughts in North China greatly effect the sowing and growing of crops. Thus, the variation of spring rainfall in North China and its reason should be studied, although the rainfall in spring is less than that in summer in North China. This study shows that the interannual variation of spring rainfall in North China is great, comparing with the mean. The variation amplitude of precipitation is smaller among drought years, while is larger among flood years. Furthermore, we analyzed the large-scale atmospheric circulation anomaly associated with the spring rainfall anomaly in North China on the interannual timescale. It is found that there is an anticyclonic circulation anomaly at the whole troposphere over East Asia in flood spring, i.e., being consistent with the seasonal tendency. In the tropics, however, the associated circulation anomaly is contrast to the seasonal tendency. The anticyclonic anomaly over East Asia is related to eastward shifted and weaker East Asian trough, and related to southerly anomaly over eastern China that extends poleward into North China and is favorable to rainfall in North China. In addition, the anticyclonic anomaly exhibits a westward tilt with height, which is favorable to the development of disturbances. The analysis on the meridional velocity at upper troposphere shows that the associated anticyclonic anomaly and southerly anomaly is related to a wave train in the Northern Hemisphere middle latitudes. The mechanism for the wave train, however, is unknown and need to be studied further.

**Key words:** North China; precipitation; atmospheric circulation anomaly; interannual variation.