

与华北干旱相关联的全球尺度气候变化现象

黄刚

中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

摘要 利用 ERA-40 再分析资料集的风、温度、水汽等再分析资料, 分析了华北地区干旱以及北非萨赫勒地区干旱化的气候特征及它们之间的关联, 指出在亚非季风区上空存在一个年代际的季风环流异常遥相关波列, 正是由于此波列的作用, 使得我国华北地区从 1965 年以后所发生的干旱与北非萨赫勒地区干旱化存在着明显的相关联。并且分析了这两地区的干旱与之相关联的全球气候变化背景, 指出由于 1965 年之后北、南半球气温变化差异的减少导致了亚非季风系统发生了年代际减弱和南撤, 从而使得华北和北非萨赫勒地区发生了持续干旱现象。

关键词 干旱 亚非季风带 南半球 北半球 气温差

文章编号 1006-9585 (2006) 03-0270-10 **中图分类号** P461 **文献标识码** A

Global Climate Change Phenomenon Associated with the Droughts in North China

HUANG Gang

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

Abstract The ERA-40 reanalysis data of wind, air temperature, water vapour etc. are used to analyze the climatological characteristics of the droughts in North China and the Sahelian region of North Africa and the relationship between them. It may be pointed out from the analyzed results that there is a likely teleconnection wave train in the summer monsoon circulation anomalies over the Asia-African monsoon regions on interdecadal time scale. Just because of the effect of this wave train, there exists an obvious relationship between the droughts occurred in North China from 1965 and the desertification occurred in the Sahelian region of North Africa. Moreover, the background of global climate change associated with the droughts occurred in these two regions is also analyzed in this paper. The results show that after 1965, the decrease of the difference between the air temperature over the Northern Hemisphere and that over the Southern Hemisphere has led to occurrence of the weakening and southward retreat of the Asia-African summer monsoon system on interdecadal time scale, which caused the persistent droughts in North China and the Sahelian region of North Africa.

Key words drought, Asia-African monsoon zone, difference of air temperature, the Northern Hemisphere, the Southern Hemisphere

1 引言

我国是一个气候灾害多发的国家, 干旱和洪

涝灾害对我国的国民经济发展影响巨大。根据多年的统计, 干旱占全国气象灾害影响面积的 50%, 洪涝灾害占 27.8%, 即 80% 左右的气象灾害是由

收稿日期 2006-04-04 收到, 2006-04-20 收到修定稿

资助项目 中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-218 和国家重点基础研究发展规划 2004CB418300、2006CB400500 及国家自然科学基金委青年项目 40305012

作者简介 黄刚, 男, 1971 年出生, 博士, 副研究员, 主要从事气候变化分析研究。E-mail: hg@lasg.iap.ac.cn

于旱涝灾害引起的, 因此对旱涝灾害的研究具有十分重要的科学意义^[1~3]。并且, 在我国旱涝灾害中, 干旱因持续时间长、影响范围广, 其危害最大^[4]。干旱及沙漠化现象越来越成为人们所关注的世界性问题。因此, 在中国科学技术蓝皮书中干旱列为我国气候灾害之首。

华北地区干旱化趋势对我国干旱灾害有着重要的影响, 严中伟等^[5]研究表明: 我国华北地区夏季降水在 1965 年前后发生了一次气候跃变。他们指出, 1965 年以后华北地区夏季降水明显减少, 干旱化趋势明显, 这种趋势与北非萨赫勒地区干旱化的趋势十分类似, 是一种应当重视的全球尺度的气候现象。因此, 研究华北地区和北非萨赫勒地区干旱的全球气候变化背景有其特殊的科学意义。在全球变化研究中, 我们强调的是那些大尺度多种环境要素均具有过渡性质的敏感带, 而这当中较典型的例子就是北非萨赫勒地区 and 我国华北地区的气候变化。从大气环流形势看, 这两地区处于夏季风影响的北缘地带, 季风强弱严重地影响当地雨量; 从植被分布条件来看, 它们正是森林草原交错地带; 从人类活动看, 它们是农牧业交错区^[6]。另外, 从更大的地理背景看, 它们的一边是低纬度沿海湿润区, 另一边则是副热带或内陆沙漠区。因此, 本研究选择了华北以及北非作为研究的重点, 并以此来分析全球气候变化与亚非季风带移动的关系及其对华北地区干旱和萨赫勒地区干旱化的影响, 以期从更广阔的空间来讨论与华北干旱相关联的全球气候变化的科学问题。

全球增暖在各区域的反映是不一样的。Hansen 和 Lebedeff^[7]的研究表明, 在最近 100 年中全球气温平均上升了 0.8°C , 其中从 20 世纪 70 年末到 90 年代中就上升了 0.3°C ; Bradley^[8]分析了北半球气温的变化且比较了中国气温与北半球气温变化的异同。由于南半球大部分是海洋, 因此, 它的增温与北半球不一样, 这就形成了南北半球增温的不一致, 这种不一致就会造成亚非季风系统的变化。因此, 本研究利用中国 160 台站的 1951~1998 年降水资料来分析华北地区干旱的演变。并且, 鉴于 NCEP/NCAR 再分析资料在 20 世纪 70 年代以前与实际探空资料偏差较大^[9], 故本研究利用 ERA-40 再分析资料^[10]等来分析华北

干旱的变化情况及其与非洲季风区降水变化的关联, 并从南北半球气温的变化来探讨其原因。

2 华北干旱的演变情况

本文首先利用中国 160 台站 1951~2004 年的降水观测资料, 分别分析了华北地区、江淮地区夏季降水的年际变化。如图 1 所示, 华北地区气候要素的变化和江淮地区的有所不同, 华北地区的变化倾向于年代际变化, 而江淮地区则更倾向于年际变化; 并且, 从图 1a 还可以看到, 华北地区的降水在 1965 年前后有一次较大的变化, 1965 年以后降水量一直偏少, 出现干旱趋势, 这种趋势一直延续到 90 年代。此外, 图 1a 还表明了 80 年代华北夏季降水严重减少, 干旱严重, 若以 10 年平均而论, 80 年代华北地区区域平均的夏季降

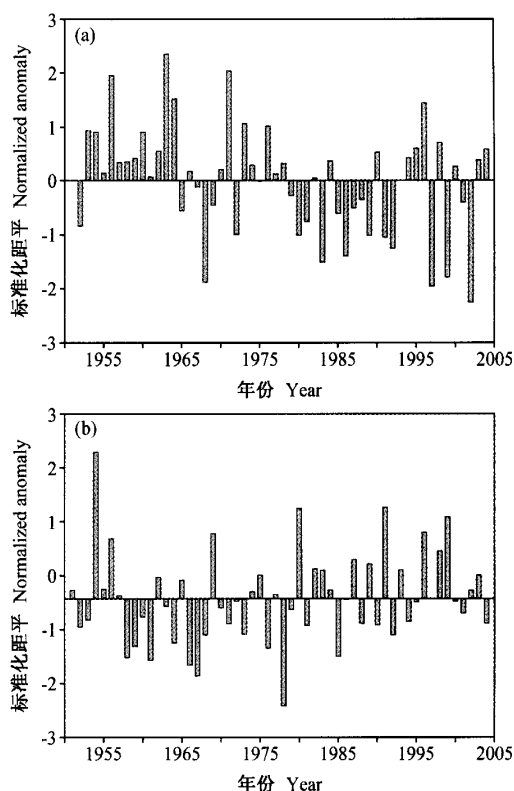


图 1 (a) 华北和 (b) 江淮地区夏季降水标准距平的年际变化

Fig. 1 Interannual variations of normalized summer monsoon rainfall in (a) North China and (b) Yangtze River and Huaihe River valley

水量比 50 年代的降水约减少了 20% 左右, 平均年降水量比 50 年代约减少了 1/3 左右。这与周连童和黄荣辉^[11]所分析的结果相同。

根据 Janowiak^[12]的研究, 北非萨赫勒地区是全球干旱化最严重的区域, 图 2 是北非萨赫勒地区降水标准化距平的年际变化。由图 2 可以清楚地看到, 从 60 年代中期, 北非萨赫勒地区降水持续减少, 形成了全球干旱化最为严重的区域。把图 2 与图 1 相比较, 可以清楚看到, 北非萨赫勒地区干旱化与我国华北地区干旱的发生具有同步变化的趋势, 只不过我国华北地区夏季降水从 1965 年开始减少, 之后夏季季风降水处于振荡, 并于 1976 年之后夏季降水发生持续性减少。

上述分析结果清楚表明了我国华北地区从 1965 年以后的干旱演变与北非萨赫勒地区的干旱化有类似的变化趋势。严中伟等^[6]也曾提出我国华北地区与萨赫勒地区的降水变化之间存在着正相关的关系。这说明华北地区的气候变化并不是一个局部现象, 而是与全球大范围的气候变化密切相关。

3 华北地区与北非地区季风变化的联系

造成华北地区和北非萨赫勒地区夏季降水减少的年代际变化, 主要还是由于亚非夏季风系统的变化所造成。为此, 下面从这两地区上空的经向和纬向风分量、水汽和经圈环流在 1965 年前后

的变化来分析亚非季风的年代际变化情况。

3.1 经向风的变化

全球偏南季风主要分布在广大北非季风区、亚洲季风区以及泛美季风区, 且偏南风主要集中在中低纬度, 它们驱动着季风。由于强季风在 700 hPa 流场上能够得到较好的反映, 为了表示北半球南风的变化情况, 我们利用 ERA-40 再分析资料计算了 1958~2002 年 700 hPa 整个北半球和华北地区面积平均的南风 (即只挑选南风 (经向风 >0), 再进行区域平均) 年际变化。图 3a 是北半球 1958~2002 年夏季面积平均的 700 hPa 南风年际变化, 而图 3b 代表华北地区 ($34^{\circ}\sim 40^{\circ}\text{N}$, $100^{\circ}\sim 125^{\circ}\text{E}$) 平均的夏季 700 hPa 南风的年际变化。从图 3a 和 3b 所示的南风变动情况来看, 两者具有非常类似的变化特征, 均是从 20 世纪 60 年代中期之后, 南风减弱明显, 只是在图 3b 所示的华北地区南风的变化较之整个北半球平均的变化更为明显, 它从 1958~1965 年期间平均的 $1.3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 减弱到 1980~1990 年期间平均的约 $0.95\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这是由于大气环流的年代际变化所引起的, 特别是由于华北地区所处的地理位置对季风系统非常敏感, 造成华北地区的变化要比整个北半球南风的变化更明显。

为了突出 1965 年前后气候变化对这两个地区的影响, 本研究采用了合成分析方法, 即利用区域平均南风的年际变化所呈现的年代际变化, 选取 1958~1965 年为南风较强的阶段, 同时选取 1980~1990 年期间为南风较弱的阶段, 用南风较

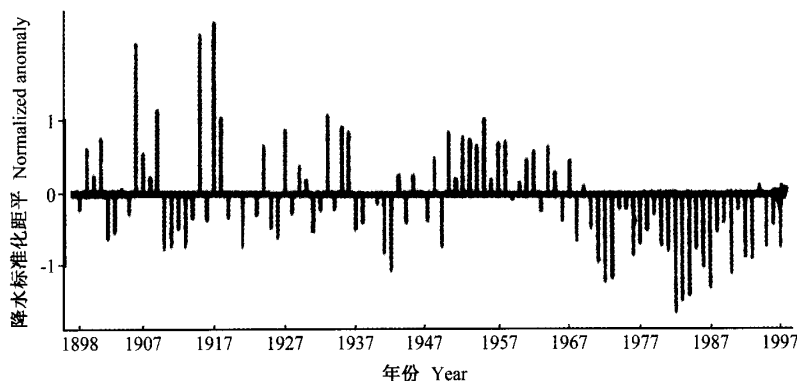


图 2 北非萨赫勒地区降水标准化距平的年际变化^[12]

Fig. 2 Interannual variations of normalized rainfall anomaly in the Sahelian region of North Africa (From Janowiak, 1988, and data is updated to 1997^[12])

强的阶段的气候要素减去南风较弱阶段的气候要素，从而突出了1965年前后华北地区和北非萨赫勒地区夏季风所发生的年代际变化。

首先，让我们看一下这两个地区对流层经向风在年代际时间尺度上的变化。图4是1958~1965年平均的经向风与1980~1990年平均经向风的差值（强南风减去弱南风）随高度和纬度的变化。从图4a所示的华北地区（沿100~125°E平均）的情况可以非常清楚地看到，在我国华北地区上空对流层中、低层有正的南风偏差值，且最大南风偏差中心值出现在30°N附近的近地面层，

可达 $0.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这说明在1965年以前华北地区的南风较1965年以后偏强，有利于大量水汽从我国华南、江淮流域流入华北地区，从而使华北地区维持较为湿润的气候状况。图4b表示北非的状况（沿0~40°E平均），从图4b也同样可以看到，在1965年前北非地区从近地层到500 hPa的对流层下层有正的南风偏差的出现，且南风偏差最大中心位于5~10°N上空的700~800 hPa附近，可达 $0.6\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。这些近地面层的强南风有利于大量水汽从东非沿岸流入北非萨赫勒地区，从而使此地区在1965年以前维持较为湿润的气候状况。

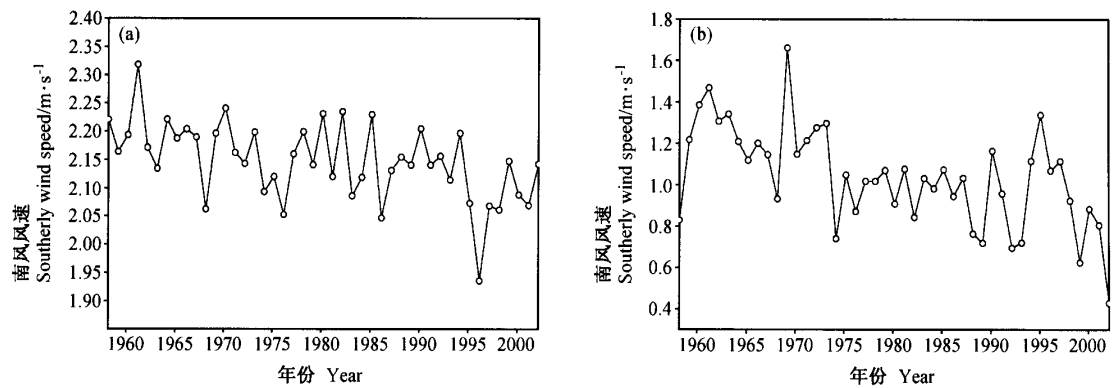


图3 1958~2002年 (a) 北半球区域及 (b) 华北地区 (34~40°N, 100~125°E) 平均的700 hPa夏季南风的年际变化。资料取之于ERA-40再分析资料

Fig. 3 Interannual variations of the regional mean southerly wind at 700 hPa averaged for (a) the Northern Hemisphere and (b) North China (34—40°N, 100—125°E) in summer (June—August). Data are from the ERA-40 reanalysis

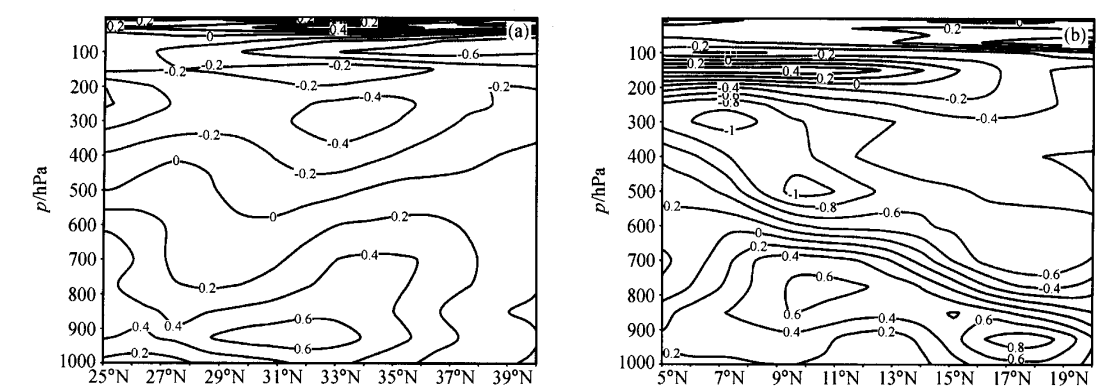


图4 (a) 东亚地区 (沿100~125°E平均) 和 (b) 北非地区 (沿0~40°E平均) 1958~1965年与1980~1990年平均的夏季经向风之差值 (即1958~1965年平均值减去1980~1990年的平均值) 随高度和纬度的变化 (单位: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)。资料取之于ERA-40再分析资料

Fig. 4 Latitude-altitude cross section of the difference between the summer (June—August) meridional component of wind averaged for 1958—1965 and that for 1980—1990 (units: $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$), (a) averaged zonally along 100—125°E (East Asia), (b) averaged zonally along 0°—40°E (North Africa). Data are from the ERA-40 reanalysis

并且,图 4a 与图 4b 比较,还可以看到北非上空的对流层上层经向风偏差也与华北地区的相同,它们均有很强的北风异常。

3.2 纬向风的变化

本小节合成分析了这两区域沿经向平均的夏季纬向风在 1958~1965 年与 1980~1990 年平均差值随高度和经度的变化。图 5a 为华北地区(沿 25~40°N 平均)夏季纬向风差值随高度和经度的变化,从图 5a 可以看到,纬向风差值最大中心出现在 700 hPa 附近,这表明:华北地区在 1965 年前对流层下层有较明显的西风异常,高层伴随着东风异常;图 5b 为北非的情况(沿 5~20°N 平均),可以看到,西风差值最大值中心也出现在 700 hPa 附近,这表明:在 1965 年以前北非萨赫勒地区对流下层也对应着西风异常,高层同样伴随着较强的东风异常,这点和华北地区变化一致。

从上述两地区夏季经向风和纬向风在 1958~1965 年与 1980~1990 年的变化情况可以看到:1965 年以前,华北和北非地区上空有较强西风异常以及南风异常,有利于此两地区处于较为湿润的状况;而 1965 年以后,这两地区上空的西风异常和南风异常都变得很弱,甚至变成东风异常和北风异常,这不利于两地区的降水,因而出现干旱。

3.3 水汽场变化

下面,分析能够较好代表水汽变化的比湿在此两地区的年代际变化。首先,分析 1958~1965

年和 1980~1990 年平均比湿的差值随高度和纬度的变化。图 6a 为东亚地区(沿 100~125°E 平均)的比湿的变化情况,由图可见,最大比湿差值中心出现在 35°N 附近。这表明:在 1965 年前华北地区(35~40°N)有大的比湿,且在此期间出现整层的强比湿,这有利于华北地区在 1965 年以前维持湿润的状况;而在 1965 年以后,整层比湿明显减弱,从而导致华北地区开始干旱。图 6b 为北非的情况,同样可以看到:在北非的比湿差值与华北地区变化一致,且最大差值出现在近地层。这表明,在 1965 年前萨赫勒地区的北部(14~20°N)出现整层较大比湿异常,最强位置在 15~20°N 之间,而在 1965 年以后,整层比湿明显减弱,从而导致此地区 1965 年之后干旱化。

3.4 垂直运动的变化

为了更好地说明此两地区在 1965 年前后夏季降水的年代际变化,本研究进一步分析两地区上空 1958~1965 年和 1980~1990 年平均夏季经圈环流的差别。图 7a 是东亚地区(沿 100~125°E 平均)上空经圈环流的年代际变化,可以看到,一个强偏差上升流位于 30~40°N 地区的上空,这表明:在 1965 年前华北地区(35~40°N)夏季有强的上升气流,而在 1965 年之后,华北地区夏季上升气流减弱,从而导致降水减少。图 7b 为北非地区(沿 0°~40°E 平均)的情况,同样可以看到,在 1965 年前萨赫勒地区与华北地区上空

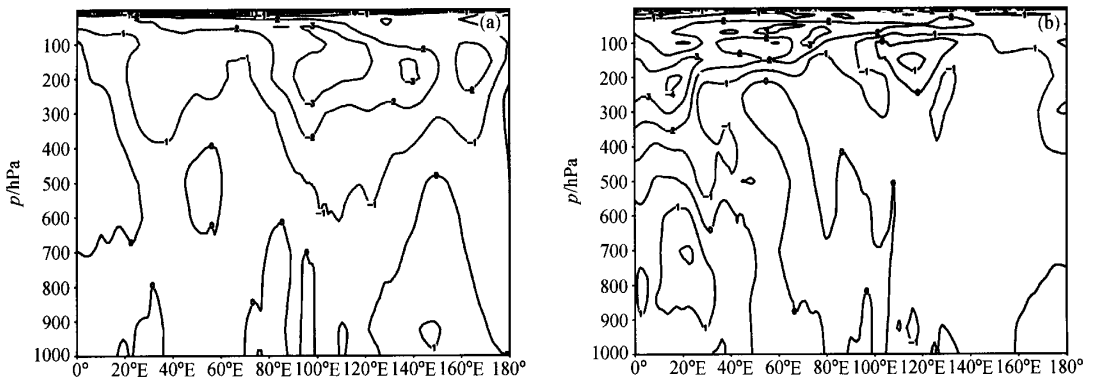


图 5 (a) 东亚地区(沿 25~40°N 平均)和 (b) 北非地区(沿 5~20°N 平均) 1958~1965 年与 1980~1990 年平均夏季纬向风的差值随高度和经度的变化(单位: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$)。资料取之于 ERA-40 再分析资料

Fig. 5 Longitude-altitude cross section of the difference between the summer (June–August) zonal component of wind averaged for 1958–1965 and that for 1980–1990 (units: $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$), (a) averaged meridionally along 25–40°N (East Asia), (b) averaged meridionally along 5–20°N. Data are from the ERA-40 reanalysis

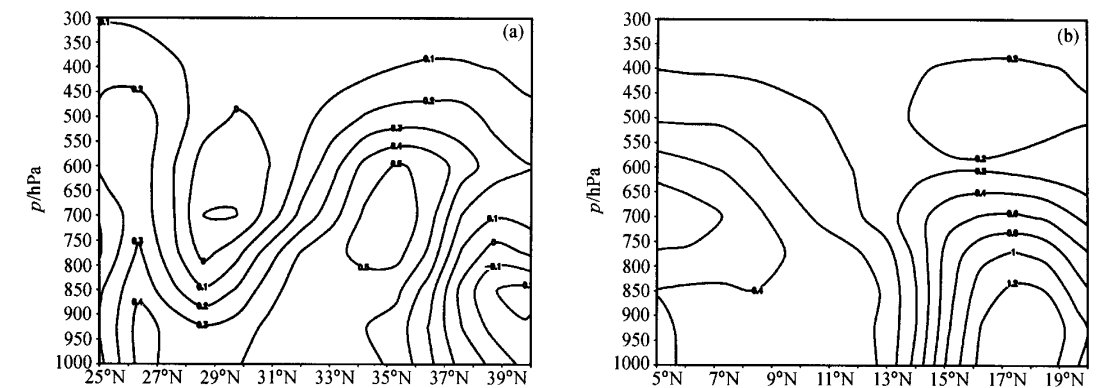


图 6 (a) 东亚地区 (沿 100~125°E 平均) 和 (b) 北非地区 (沿 0~40°E 平均) 1958~1965 年与 1980~1990 年平均夏季比湿的差值随高度和纬度的变化 (单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$)。资料取之于 ERA-40 再分析资料

Fig. 6 Latitude-altitude cross section of the difference between the summer (June–August) specific humidity averaged for 1958–1965 and that for 1980–1990 (units: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$), (a) averaged zonally 100–125°E (East Asia), (b) averaged zonally along 0°–40°E (North Africa). Data are from the ERA-40 reanalysis

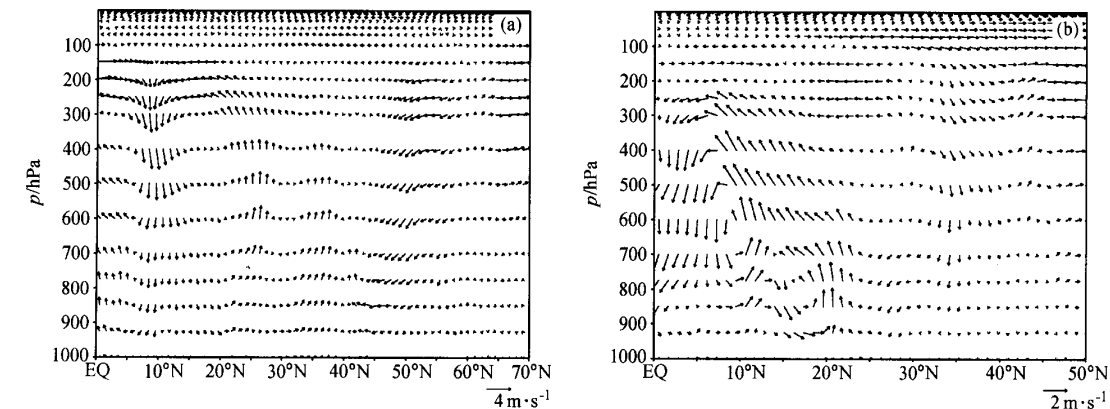


图 7 (a) 东亚地区 (沿 100~125°E 平均) 和 (b) 北非地区 (沿 0~40°E 平均) 1958~1964 年与 1980~1990 年平均夏季经圈环流 (v, w) 的偏差环流 (图中 w =原始值 $\times 50$)。资料取之于 ERA-40 再分析资料

Fig. 7 The difference between the summer (June–August) meridional circulation averaged for 1958–1965 and that for 1980–1990, (a) averaged zonally along 100–125°E (East Asia), (b) averaged zonally along 0°–40°E. In the figures, the vertical motion is multiplied by 50 and data are from the ERA-40 reanalysis

的变化一致, 在它的北部 (15~20°N) 上空出现较强的偏差上升流, 这表明在 1965 年前北非萨赫勒地区的北部有较强的上升流异常, 而在 1965 年之后 (特别在 1980~1990 年期间), 此上升流异常变弱, 不利于降水, 因此, 1965 年以后, 在北非萨赫勒地区引起严重的干旱化现象。

从上述气候要素场的年代际变化可以明显看到: 华北地区和北非萨赫勒地区无论是经向风、纬向风或是水汽和经圈环流, 在 1965 年以后 (特别是 80 年代) 相对于 1965 年前都有非常大的变

化。正是由于出现如此大的季风环流变化才造成华北地区的持续干旱现象和北非萨赫勒地区的干旱化。

4 华北地区和北非地区在年代际水平环流场变化的联系

从上述两地区经向风、纬向风以及水汽和经圈环流在 1965 年前后差值分析的结果可以看到, 华北地区与北非地区气候的年代际变化有一定关

联,而这些关联是由于亚非季风带上季风环流变化的关联所致。为了更好地表征华北地区季风环流在 1965 年前后的变化与北非萨赫勒地区季风环流的关联,本文利用合成分析方法分析了 1958~1965 年合成的 700 hPa 距平环流场(图 8a),以及 1980~1990 年合成的 700 hPa 距平环流场(图 8b)。从图 8a 可以清楚地看到:在 1965 年以前从中大西洋地区到北非地区有非常强的西风以及西南风异常;在萨赫勒地区上空有一气旋性环流异常,在阿拉伯半岛和伊朗高原上空有一反旋性环流异常,并且在南亚印度半岛和中印半岛以及我国华南地区上空有一气旋性环流异常,副热带西太平洋和东亚上空有反气旋性环流异常,而在日本北海道和鄂霍茨克海上空有一气旋性环流异常,这些环流异常似如一波列分布;并且,从高纬度地区也有一清楚的欧亚型环流异常^[13],即在西北欧有一反气旋环流异常,在东欧上空有一气旋性环流异常,而在乌拉尔地区上空有一气旋环流异

常,在蒙古高原上空有反气旋性环流异常。这两个遥相关型波列在我国华北和东亚上空交汇。同样,从图 8b 也可以看到,在 1965 年之后,从大西洋到北非有一强的东北风异常;而从北非萨赫勒地区经南亚到东亚的亚非季风带上出现了一个与 1965 年以前相反分布的环流异常分布,即在北非萨赫勒地区上空有一强的反气旋环流异常,在阿拉伯半岛和伊朗高原上空有一明显的气旋性环流异常,在印度半岛和中印半岛上空有一反气旋环流异常,在日本以东的西太平洋上空有一气旋性环流异常,在日本北海道和鄂霍茨克海上空有一强的反气旋性环流异常;并且,在高纬地区也出现了一个与 1965 年之前相反的欧亚型环流异常分布,在西欧上空出现一反气旋性环流异常,在北欧和东欧上空出现气旋性环流异常,在乌拉尔地区上空出现一反气旋性环流异常,在蒙古高原和贝加尔湖上空出现强的气旋性环流异常。这两波列同样在我国华北和东北上空交汇。

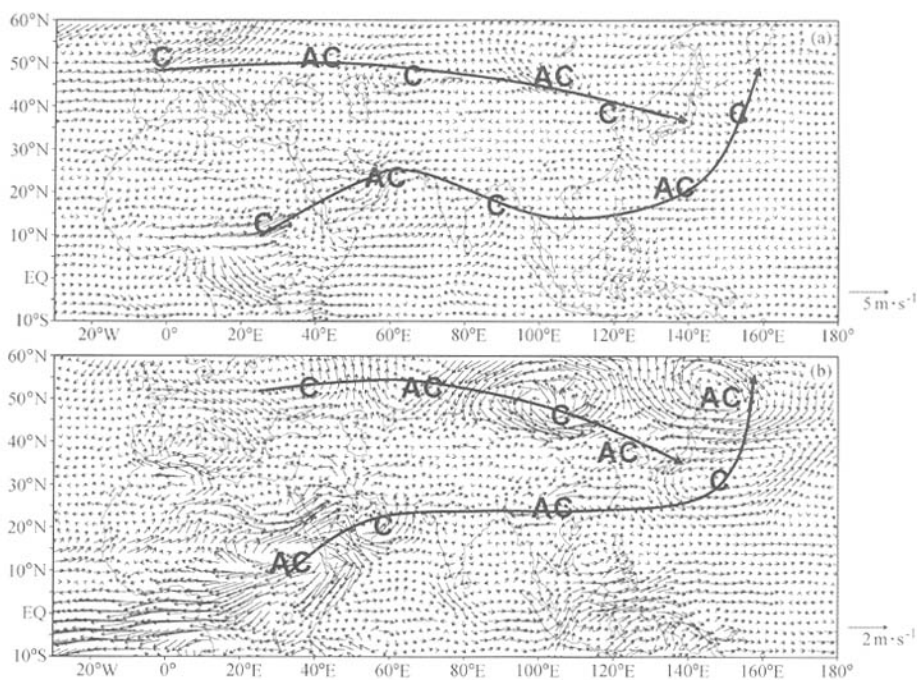


图 8 (a) 1958~1965 年与 (b) 1980~1990 年合成的 700 hPa 环流异常分布。C 表示气旋性环流异常, AC 表示反气旋性异常。取 1961~1990 年气候平均为正常值。资料取之于 ERA-40 再分析资料

Fig. 8 The composite anomaly distributions of circulation at 700 hPa (a) for the period of 1958–1965 and (b) for the period of 1980–1990. In the figures, C and AC indicate the cyclonic and anticyclonic circulation anomalies, respectively. The climatological mean of monthly (June, July and August) wind field at 700 hPa is taken as the normals. Data are from the ERA-40 reanalysis

因此, 从上分析, 可以看到无论在 1965 年前或是在 1965 年之后, 从北非萨赫勒地区经南亚到东亚的夏季亚非季风带的环流异常出现了一个遥相关波列, 只不过 1965 年之后的波列分布与 1965 年前的分布相反, 这个遥相关波列把萨赫勒地区夏季的气候异常与华北地区的气候异常联系在一起。由此可以说明华北地区 1965 年之后的气候异常与萨赫勒地区的气候异常相关联的机理。

5 地区干旱化与全球气候变化的关联

上述分析结果清楚地表明了华北地区干旱与北非地区干旱化无论在经向风、纬向风以及水汽和经圈环流在 1965 年前后的变化, 或是在水平环流场 1965 年前后的变化都是密切相关联的。这种关联是否与全球气候变化有关, 这是值得进一步探讨的重要问题。为此, 有必要从全球海表和陆表温度在 1965 年前后的变化, 进一步分析南、北半球海温和气温变化不一致所导致的亚洲非季风的年代际变化。

5.1 海温在 1965 年前后的变化

本节利用英国 GISST3 最新的海温资料合成分析了 1958~1965 年 (强南风) 平均的与 1980~1990 年 (弱南风) 平均的夏季 (6~8 月) 海温变化 (见图 9)。从图 9 可以清楚地看到一个现象, 差值的正值中心出现在北半球中高纬度海洋, 而负值中心出现在热带和南半球海洋上。这表明:

在 1965 年前亚洲季风系统出现强南风的时候, 北半球中高纬度海洋的海温相对是高温时期, 而整个南半球海温处于相对低温; 而从 1965 年之后, 特别在 1980~1990 年期间, 从热带西太平洋、热带西印度洋以及南半球的海表温度升温明显, 而在北半球中高纬度海洋则减温或没有明显升温。因此, 从图 9 可以看到, 北半球中高纬度海洋在 1965 年前后海表温差为正, 而在热带海洋和南半球海洋的海表温差为负值。这种现象造成的结果是: 1965 年以前南、北半球海洋的海表温差大, 故低纬南风偏强, 整体季风带偏强; 而 1965 年以后, 由于热带海洋和南半球海洋增暖效应的加剧, 造成南、北半球海洋的海表温差逐渐缩小, 从而导致了季风减弱, 使得华北和北非萨赫勒地区干旱化日趋严重。

5.2 全球气温在 1965 年前后的变化

为了进一步说明南、北半球温差在 1965 年之后减少, 本研究利用 ERA-40 再分析资料分析了 1958~2002 年全年和北半球夏季 (6~8 月) 平均的南、北半球表面附近 2 m 处气温之差 (见图 10)。从图 10a 可以看到, 年平均的南、北半球表面 2 m 处气温之差在 1958~1965 年期间是较高的, 大约为 1.65 °C; 而从 1965 年之后南、北半球年平均气温减少, 特别在 1980~1990 年期间只有 1.4 °C 左右; 但从 90 年代以后南、北半球年平均气温又上升到 1965 年之前的状态。并且, 从图 10b 所示的北半球夏季南、北半球表面附近 2 m 处气温之差在 1976 年之前特别在 1965 年之前较

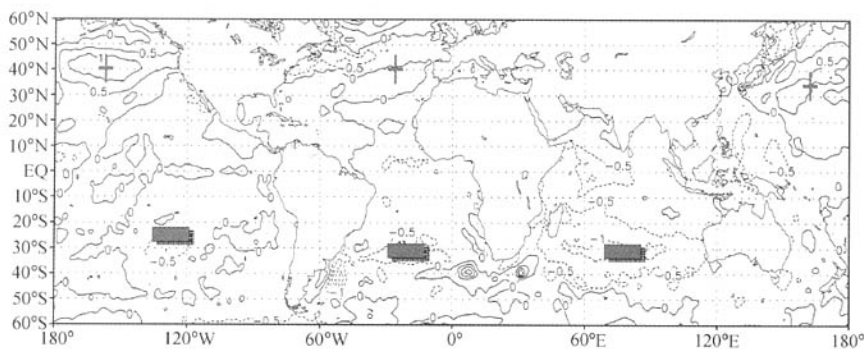


图 9 1958~1965 年与 1980~1990 年平均夏季海温的差值 (单位: °C)。图中 “+” 为 1965 年前高温; “-” 为 1965 年前低温。资料取自 GISST3

Fig. 9 Difference between the summer (June—August) SST averaged for the period of 1958—1965 and that for the period of 1980—1990 (units: °C). In the figure, the positive and negative indicate warming and cooling before 1965, respectively. Data are from GISST3

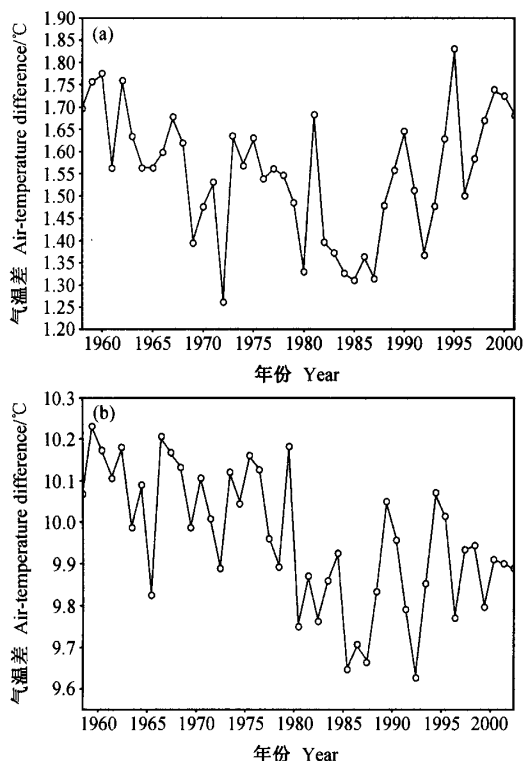


图 10 1958~2002 年 (a) 南、北半球年平均和 (b) 北半球夏季 (6~8 月) 2 m 处气温之差的年际变化

Fig. 10 Interannual variations of the difference between (a) the annual mean and (b) boreal summertime seasonal mean air-temperature at 2 m height near the surface averaged for the Northern Hemisphere and that for the Northern and Southern Hemisphere, respectively

大, 大约为 10.1 °C 左右; 在 1965~1980 年期间两半球 6~8 月气温之差处于振荡; 从 1980 年之后, 南、北半球夏季气温之差明显减少, 只有 9.8 °C 左右。因此, 相对于 1958~1965 年期间, 1980~1990 年期间北半球夏季与南半球冬季平均 2 m 处气温之差明显减少, 这可能是由于南半球从 1965 年升温明显所致。

6 小结

本研究从 ERA-40 风场、温度和水汽等的再分析资料分析了华北干旱以及北非萨赫勒地区干旱化的气候特征及它们之间的关联; 并且, 利用再分析资料对与这两地区干旱相关联的全球环流

变化状况进行分析, 指出了在亚非季风带上存在着一个年代际的大气环流遥相关波列, 并表明了正是由于此波列的作用, 使得我国华北地区的所发生的干旱与北非萨赫勒地区的干旱化存在着明显的相关联现象。此外, 本文还利用 ERA-40 再分析资料分析了此两地区的干旱与全球气候变化的关联, 分析结果表明, 南、北半球的海温异常和气温差异对华北干旱以及北非萨赫勒地区干旱化提供了全球尺度的气候背景。这一点无论是在南、北半球 2 m 气温的差值, 还是海面温度上均有十分明显的表现。1965 年之后, 由于这种南、北半球的气温、海温差异减少, 东亚夏季风和北非季风带北界发生了南移并减弱, 从而导致了位于亚洲季风区北缘的华北地区干旱和非洲季风区北缘的北非萨赫勒地区出现干旱化特征。

本研究的分析结果只是从观测资料分析得到, 南、北半球气温差或海温差的减少如何导致亚非季风带北界的南移和季风的减弱, 还应进一步从机理和数值模拟来深入探讨, 关于亚非季风带上的年代际大气遥相关波列的形成机理等也有待于进一步研究。

参考文献 (References)

- [1] 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 我国夏季降水的年代际变化及华北干旱化趋势. 高原气象, 1999, 18: 465~476
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The inter-decadal variation of summer precipitations in China and the drought trend in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, 18: 465~476
- [2] 张庆云. 1880 年以来华北降水及水资源的变化. 高原气象, 1999, 18: 486~495
Zhang Qingyun. The variations of the precipitation and water resources in North China Since 1880. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, 18: 486~495
- [3] 黄荣辉, 周连童. 我国重大气候灾害的特征形成机理和预测研究. 自然灾害学报, 2002, 11: 1~9
Huang Ronghui, Zhou Liantong. Research on the characteristics, formation mechanism and prediction of severe climatic disasters in China. *Journal of Natural Disasters* (in Chinese), 2002, 11: 1~9
- [4] 黄荣辉, 张庆云, 阮水根, 等. 我国气象灾害的预测预警与科学防灾减灾对策. 北京: 气象出版社, 2005. 148 pp
Huang Ronghui, Zhang Qingyun, Ruan Shuigen, et al. *Prediction and Warning of Meteorological Disasters in*

- China and Scientific Decision for the Prevention and Mitigation of These Disasters* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2005. 148 pp
- [5] 严中伟, 季劲均, 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, **33**: 97~103
- Yan Zhongwei, Ji Jianjun, Ye Duzheng. Northern Hemispheric climate jump in the 1960s. I. Precipitation and surface air temperature variations. *Science in China* (Ser. B) (in Chinese), 1990, **33**: 97~103
- [6] 严中伟. 关于全球冷暖和亚非夏季风区干湿变迁之联系的一个述评. 地理学报, 1995, **50**: 471~479
- Yan Zhongwei. Assessment on the global warming and cooling and their association with the dry/wet change in the monsoon region of Asia and Africa. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 1995, **50**: 471~479
- [7] Hansen J, Lebedeff S. Global surface air temperature: Update through 1987. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **15**: 323~326
- [8] Bradley R S, Diaz H F, Jones P D, et al. Secular fluctuations of temperature over the Northern Hemisphere land.
- The climate of China and Global Climate. -Proceedings of the Beijing International Symposium on Climate, Oct. 30—Nov. 3, 1984. Beijing, China, 76~87
- [9] Inoue T, Matsumoto A. Comparison of summer sea level over East Eurasia between NCEP/NCAR reanalysis and ERA-40 for the period of 1960—99. *J. Meteor. Soc. Japan*, 2004, **82**: 951~958
- [10] Uppala S. ECMWF Reanalysis, 1957—2001, ERA-40. ERA-40 Project Report Series, 2002, **3**: 1~10
- [11] 周连童, 黄荣辉. 关于我国夏季气候年代际变化特征及其可能成因的研究. 气候与环境研究, 2003, **8**: 274~290
- Zhou Liantong, Huang Ronghui. Research on the characteristics of interdecadal variability of summer climate in China and its possible cause. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8**: 274~290
- [12] Janowiak J E. An investigation of interannual rainfall variability in Africa. *J. Climate*, 1998, **1**: 240~255
- [13] Wallace J M, Gutzler D S. Teleconnections in the geopotential height field during the Northern Hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.*, 1981, **109**: 784~812