

中国西北干旱、半干旱区春季地气温差的年代际变化特征及其对华北夏季降水年代际变化的影响

周连童 黄荣辉

中国科学院大气物理研究所, 北京 100080

摘要 利用我国1951~2000年夏季降水观测资料分析了我国夏季降水的年代际变化特征, 表明了我国夏季降水在1976年前后发生了一次明显的气候跃变, 在1976年之后华北地区和黄河流域夏季降水明显减少, 出现了严重持续干旱, 而西北地区从20世纪70年代后期开始, 降水增多, 且西北地区降水振荡位相要超前于华北地区降水振荡位相5~8年。并且, 本文从1960~2000年我国西北干旱、半干旱区的地温、气温观测资料分析了我国西北干旱、半干旱区的地气温差($T_s - T_a$)的变化特征, 其结果表明了在20世纪70年代后期以前, 我国西北干旱、半干旱区的地气温差大部分年份偏低, 低于平均值, 而从70年代后期之后到2000年, 我国西北干旱、半干旱区的地气温差偏高。此外, 本文还分析了西北干旱区地气温差变化的最大地区新疆西部春季地气温差与我国夏季降水的相关关系, 其正相关区分别位于西北地区、东北地区和长江流域, 而负相关区分别位于华北地区东部和西南地区, 这表明我国西北干旱、半干旱区春季地气温差可能是华北地区夏季降水年代际变化的原因之一。

关键词 降水 地气温差 年代际变化 干旱半干旱区

文章编号 1006-9585 (2006) 01-0001-13 **中图分类号** P463 **文献标识码** A

Characteristics of Interdecadal Variability of the Difference Between Surface Temperature and Surface Air Temperature in Spring in Arid and Semi-Arid Region of Northwest China and Its Impact on Summer Precipitation in North China

ZHOU Lian-Tong and HUANG Rong-Hui

Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080

Abstract The characteristics of interdecadal variability of summer precipitation and its possible cause are analyzed by using the observed data of summer precipitation for recent 50 years from 1951 to 2000 and the observed data of surface temperature (T_s) and surface air temperature (T_a) for forty one years from 1960 to 2000. The results analyzed from summer precipitation in China show that the interdecadal variability of climate in China is very obvious during recent 50 years. The abrupt change of climate in China occurred in 1976. From 1977 to 2000, summer precipitation obviously decreased and the persistent droughts occurred in North China and the Yellow River basin. Moreover, the analyzed results also show that evolution trend of summer precipitation anomalies in Northwest China is about 5—8 years earlier than that of in North China. In order to investigate cause of the interdecadal variability of climate in China, the difference between surface temperature (T_s) and surface air-temperature (T_a), i. e., $T_s - T_a$

收稿日期 2004-08-11 收到, 2005-06-08 收到修定稿

资助项目 国家自然科学基金资助项目 40231005 与中国科学院知识创新工程重要方向项目 KZCX3-SW-218

作者简介 周连童, 男, 1974 年出生, 在职博士生, 从事气候年代际变化及机理研究。E-mail: zlt@mail. iap. ac. cn

in the arid and semi-arid region of Northwest China are analyzed. The analyzed results show that the $T_s - T_a$ also appeared an obvious interdecadal variability. Before the late 1970s, $T_s - T_a$ anomalies were negative, but its anomalies became largely positive from the late 1970s to 2000. the largest positive anomaly value are in the western of Xinjiang Province. The correlations between summer precipitation in whole China and the $T_s - T_a$ in the western of Xinjiang Province in spring from 1960 to 2000 show that positive correlation regions is in Northwest China, Northeast China and the Yangtze River basin respectively, but negative correlation region is in east of North China and Southwest China respectively. Therefore, the interdecadal variability of $T_s - T_a$ in arid and semi-arid region of Northwest China in spring may are one of some causes of interdecadal variability of summer precipitation in North China.

Key words precipitation, difference between surface temperature and surface air temperature, interdecadal, arid and semi-arid region

1 引言

从 20 世纪 90 年代中期起, 年代际气候变化 (interdecadal climate variability) 已成为国际气候学研究的热门问题之一, 也是气候变化与可预测性研究计划 (CLIVAR) 的重要研究内容之一。

与全球同样, 中国气候的年代际变化是很显著的。许多学者对全球和我国气温的年代际变化作了深入研究, 如 Hansen 和 Lebedeff^[1] 指出, 最近 100 年全球气温约上升了 $0.8\text{ }^{\circ}\text{C}$, 特别从上世纪 70 年代末到 90 年代末约上升了 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$; Bradley 等^[2] 和王绍武等^[3] 分析了中国气温的年代际变化及其与北半球气温变化的异同, 指出中国气温变化总的趋势是与北半球气温变化相类似, 但在年代际时间尺度的变化上, 两者有所不同。黄荣辉等^[4] 利用中国 160 站降水资料分析了中国降水的年代际变化, 指出中国东部处于亚洲季风区, 降水有明显的年代际变化。周连童和黄荣辉^[5] 利用了中国 160 台站 1951~2000 年夏季降水和气温的观测资料综合分析了近 50 年中国气候的年代际变化特征, 指出中国东部夏季降水的年代际变化比夏季气温的年代际变化更明显。

近年来关于东亚和我国气候年代际变化的成因已引起许多学者的关注。Nitta 和 Yamada^[6] 指出北半球环流有明显的年代际变化, 太平洋北类型 (PNA) 遥相关存在着很明显的年代际变化; 并且, 许多学者指出东亚夏季风存在着很明显的年代际变化, 这种变化已经严重地影响着中国气候的变化^[7~9]。年代际变化不仅发生在大气, 而且也发生在海洋, 黄荣辉等^[4]、Zhang 等^[10] 指出热带中、东太平洋的海表温度 (SST) 存在着年

代际 ENSO 循环。黄荣辉等^[4]、Chang 等^[11] 的研究表明了热带太平洋 SST 的年代际变化影响着东亚季风的变化, 从而影响着中国气候的年代际变化。Chao 等^[12] 分析了 20 世纪近 100 年太平洋 SST 的年代际变化, 其分析结果也表明了太平洋 SST 有明显的年代际变化。

上述的研究都表明了热带太平洋热力状况的年代际变化影响着北半球环流和东亚季风的年代际变化, 从而影响着中国气候的年代际变化, 特别是影响着华北地区夏季降水的年代际变化。然而, 季风是由海陆热力差异所造成, 它不仅仅与海洋热力变化有关, 而且也与陆地热力状况变化有关。我国西北地区, 它包括内蒙古西部、甘肃、宁夏、青海和新疆等省和自治区, 位于 107°E 以西, 35°N 以北, 这里地处干旱、半干旱气候区, 大部分地区的降水不足 200 mm , 甚至有的地区不足 50 mm , 并且近百年来有些地区有明显的干旱化趋势。在春、夏季, 我国西北和中亚由于缺乏水汽, 天空经常少云并受到强太阳辐射的直接辐射, 地面温度很高, 加上这里大片陆地不是沙漠就是戈壁, 对太阳辐射的吸收很强, 地面温度在中午有的地方可达到 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 因此, 这个地区成为整个欧亚大陆上陆面感热最强的地区, 可称为欧亚大陆中的“热垫”。由于我国干旱、半干旱区在春、夏季是欧亚大陆陆面感热通量最强的区域, 它的热力变化肯定对东亚夏季风环流也有很大影响。然而, 目前在这方面的研究还比较少, 因此, 有必要研究中国西北干旱区、半干旱区感热的年代际变化及其对我国气候年代际变化的影响。由于感热正比于地气温差, 因此, 本文主要研究中国西北干旱、半干旱区地气温差的年代际变化及其对华北地区夏季降水年代际变化的影响。

鉴于上述原因，本研究应用我国常用的 160 个测站 1951~2000 年夏季降水逐月观测资料，我国西北干旱、半干旱区 60 个测站的地表温度和地表附近的气温的逐时观测资料来分析我国西北干旱区、半干旱区地气温差年代际变化及其对我国夏季降水年代际变化的影响，特别是对我国华北夏季降水的年代际变化的影响。

2 中国华北地区夏季降水的年代际变化特征及其与西北地区夏季降水变化的比较

我国东部由于地处东亚强季风区，气候的年际和年代际变化从降水方面反映尤其明显^[4,5]，正如周连童等^[5]的分析结果，20 世纪 50 年代降水偏多，从 1965 年以后降水明显减少，干旱开始，但

在 70 年代初干旱趋势有所缓和；从 1977 年开始，此区域降水明显减少，并一直延续到 80 年代和 90 年代，80~90 年代华北区域平均的降水比 50 年代约减少了 30% 左右，发生了持续干旱。这种持续干旱到 21 世纪初还一直在延续。所以，我国东部季风区夏季风降水在 1976 年前后的确存在着一个跃变。这个气候跃变使得华北地区降水明显减少，出现持续干旱。

我国西部地区地处非季风区，其气候变化与处于季风区的华北地区的气候变化有明显不同。正如文献 5 的分析结果，我国西北地区夏季降水的年际变化特征是：20 世纪 50~60 年代，西北地区降水偏少；从 70 年代起，西北地区降水开始增加，有不少年份降水偏多；从 80 年代到 90 年代西北地区降水持续偏多，大约比气候平均值偏多了 20%~30%。

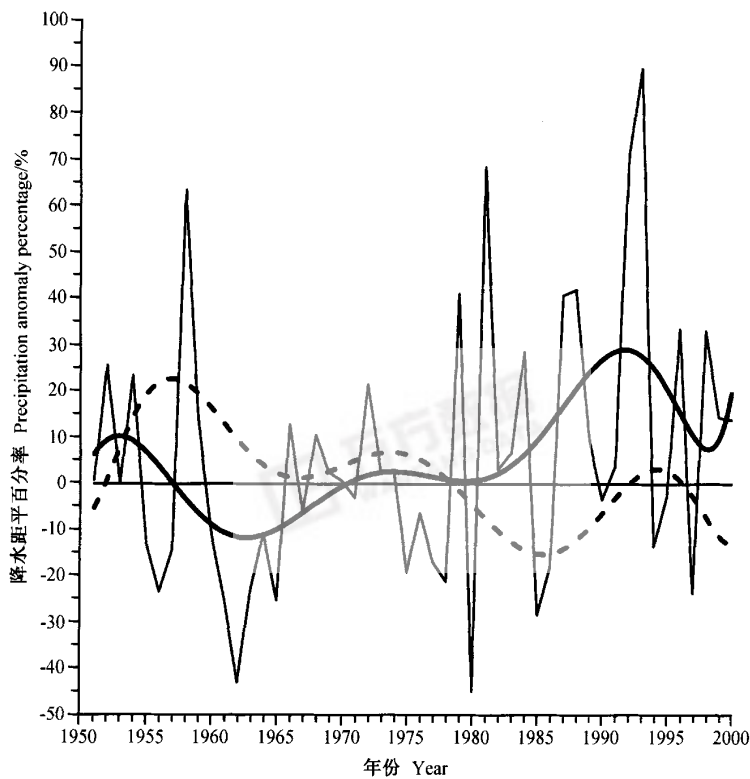


图1 我国西北地区夏季6~8月降水距平百分率的年际变化(细实线)与趋势(粗实线)以及华北地区6~8月降水距平变化趋势(虚线)。取1961~1990 30 年各月平均值作为气候值
Fig. 1 Interannual variations (thin solid line) of precipitation anomaly percentage in summer (JJA) in Northwest China and the trends of precipitation anomaly in summer (JJA) in Northwest China (bold solid line) and North China (dashed line), respectively. The climatological mean of monthly precipitation averaged for 1961—1990 is taken as normal

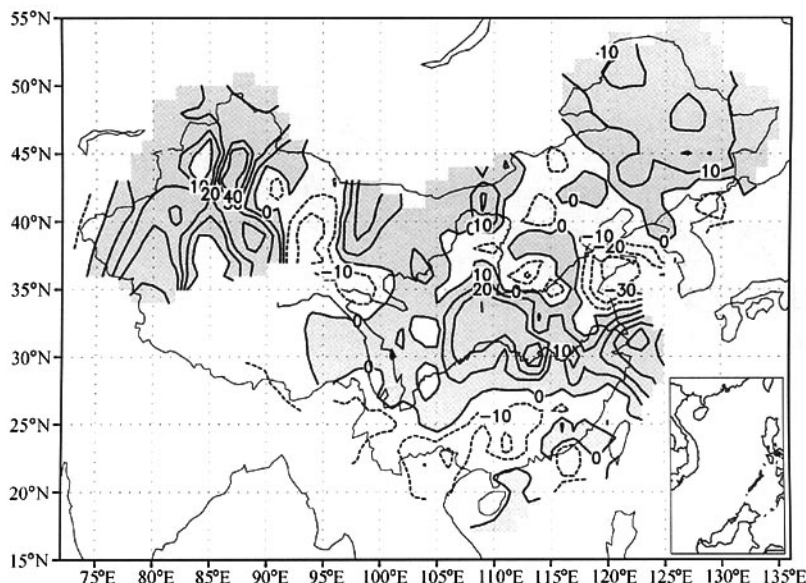


图 2 1977~2000 年期间与 1967~1976 年期间平均的中国夏季降水距平百分率之差。(单位: %), 取 1961~1990 30 年各月平均值作为气候值, 实线区为正值, 虚线区为负值

Fig. 2 Difference between the summer precipitation anomalies (percentage) averaged for 1977—2000 and those averaged for 1967—1976 in China (units: %). The solid and dashed lines indicate positive and negative values, respectively, and the positive anomaly areas of precipitation are shaded. The climatological mean of monthly precipitation averaged for 1961—1990 is taken as normal

从以上分析可以看出, 华北地区与西北地区两者的夏季降水有相反的变化趋势。为了更进一步比较此两地区降水变化趋势的差别, 本文采用多项式拟合方法^[13]来描述华北与西北地区夏季降水变化趋势。图 1 中的粗实线与虚线分别是西北与华北地区 1951~2000 年夏季 6~8 月降水距平 8 次拟合而成的降水距平变化趋势。从图 1 可以清楚看到, 我国华北地区夏季降水与西北地区的夏季降水距平在年代际时间尺度上存在着相反的变化关系。在 20 世纪 50~60 年代, 华北地区降水偏多, 西北地区降水偏少, 从 70 年代起, 华北地区降水开始变少, 而西北地区降水开始增加 (有不少年份降水偏多); 并且, 从 80 年代迄今, 华北地区降水一直偏少, 发生持续严重干旱, 而西北地区降水偏多, 大约比气候平均值偏多了 20%~30%。此外, 从图 1 的粗实线与虚线变化趋势还可以看到, 西北地区降水距平的振荡位相要超前于华北地区降水距平振荡位相 5~8 年。这表明西北地区降水的增加 (减少) 之后 5~8 年华北地区夏季将会出现降水的减少 (增加)。

为了更好地显示我国降水在 70 年代后期的气候跃变, 我们分析了全国 1977~2000 年与 1967~1976 年全国夏季降水之差 (见图 2)。从图 2 可以看到: 从 1977 年起到 2000 年, 华北地区降水明显比 1976 年之前减少, 出现了长时期的持续干旱, 江南与华南地区降水相比 1976 年之前也有一定减少; 而长江流域、江淮流域和西北地区夏季降水比 1976 年之前明显增多。并且, 还可以看到, 西北与华北地区降水的年代际变化呈现出相反趋势。

3 中国西北干旱、半干旱区区域平均的地气温差的年际变化特征

上面已分析了我国华北和西北地区夏季降水的年代际变化特征, 表明了华北地区从 20 世纪 70 年代后期夏季降水明显减少, 发生持续干旱, 而西北地区降水明显增加。为什么会发生这样明显的气候年代际变化, 这是值得深入讨论的问题。这可能是由于全球气候系统变化所引起, 特别是

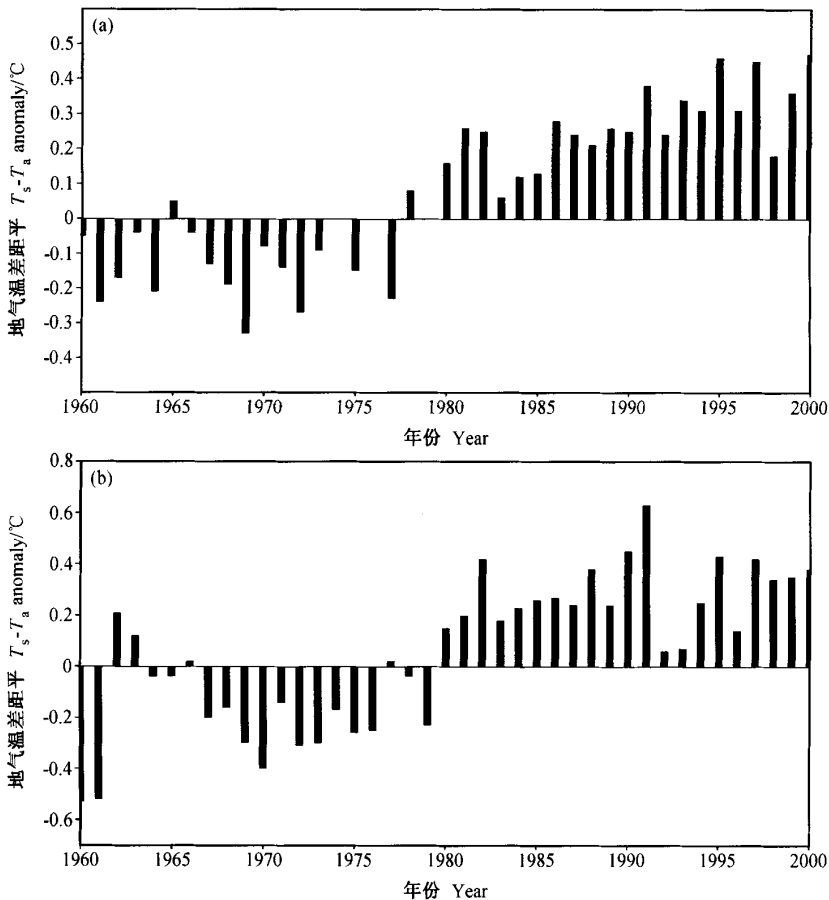


图3 我国西北干旱、半干旱区区域平均的 T_s-T_a 距平的年际变化 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。 (a) 春季 (3~5 月); (b) 夏季 (6~8 月)。取 1961~1990 30 年各月平均值作为气候值

Fig. 3 Interannual variations of T_s-T_a anomaly in spring (MAM) (a) and summer (JJA) (b) averaged for the arid and semi-arid region of Northwest China (units: $^{\circ}\text{C}$). The climatological mean of T_s and T_a in various months averaged for 1961—1990 is taken as their normal, respectively

与东亚气候系统变化密切相关^[14]。正如引言所述,不仅海洋的热力变化会使得亚洲季风产生异常变化,而且,陆面的热力变化也会影响亚洲季风的变化。为此,本节将从我国西北干旱、半干旱区感热 (本文只用地气温差) 来分析我国气候年代际变化特征的可能成因。

中亚和我国西北干旱地区在晚春和夏季是全球感热最强的地区,布和朝鲁等^[15]利用 NCEP/NCAR 再分析资料研究了夏季欧亚大陆的陆面感热通量分布,指出夏季我国干旱、半干旱区在整个欧亚大陆上是陆面感热通量最强的地方,而潜热通量最弱。根据《国家基础研究发展规划》首批启动项目“我国重大气候灾害的形成机理与预

测理论研究”所进行的“我国西北典型干旱区陆-气相互作用观测试验”四年多的观测结果^[16],在夏季中午,敦煌戈壁区经常可观测到 $1\,000\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ 的太阳辐射,最大可达 $1\,038.1\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,白天地表净辐射可达 $600\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,春、夏季这个区域的感热经常可达到近 $400\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$,为潜热的 50 倍。这表明在我国西北干旱区热量输送通量主要是感热。因此,本节从我国西北干旱、半干旱地区春、夏季的感热变化来分析我国夏季降水年代际变化的原因。

一般地表面的感热通量可写成

$$Q_s = \rho_s c_p C_D |V_s| (T_s - T_a), \quad (1)$$

这里, ρ_s 和 T_a 分别为地面附近空气的密度和气温,

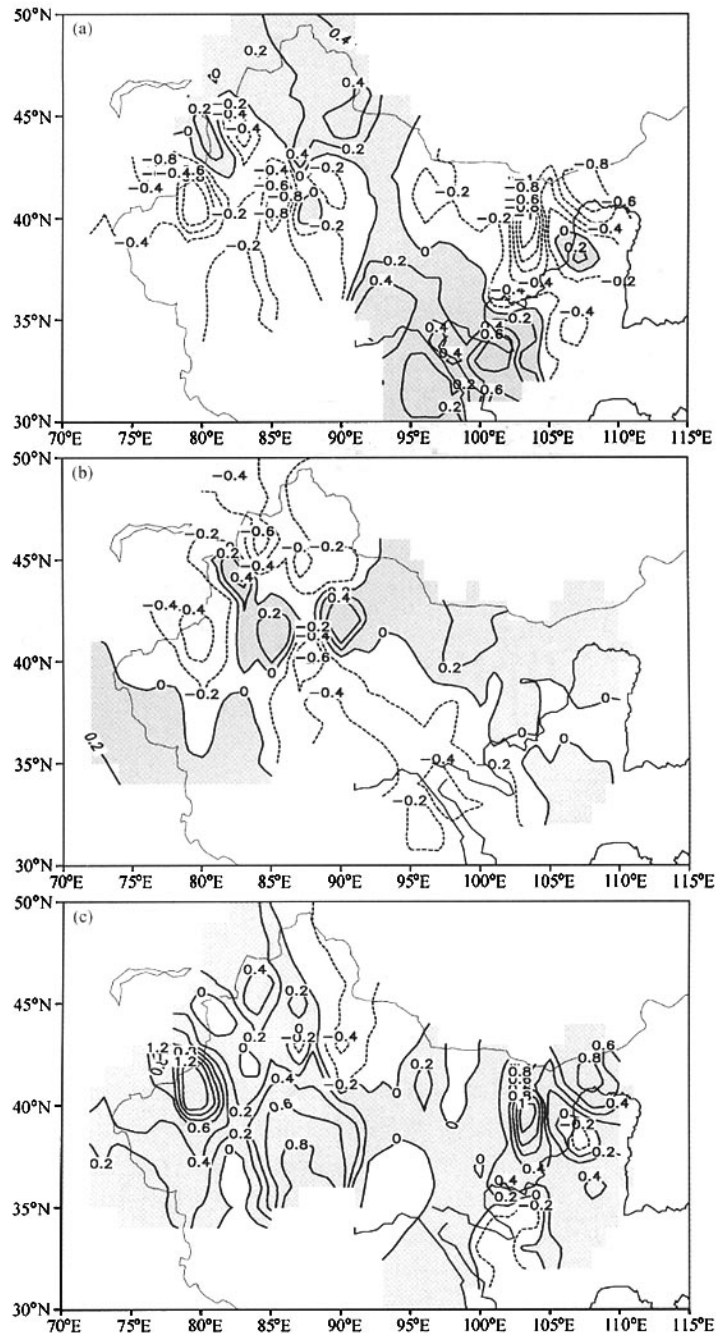


图 4 中国西北干旱、半干旱区 20 世纪各年代春季 $T_s - T_a$ 距平的分布 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。 (a) 60 年代; (b) 70 年代; (c) 80 年代; (d) 90 年代。取 1961~1990 30 年各月平均值作为气候值。图中实线表示正距平, 虚线表示负距平

Fig. 4 Distributions of $T_s - T_a$ anomaly in spring in the arid and semi-arid region of Northwest China in the 1960s (a), the 1970s (b), the 1980s (c) and the 1990s (d) (units: $^{\circ}\text{C}$). The climatological mean of T_s and T_a in various months averaged for 1961—1990 is taken as their normal, respectively. In the figures, the solid and dashed lines indicate positive and negative values, respectively, and the positive anomaly areas are shaded

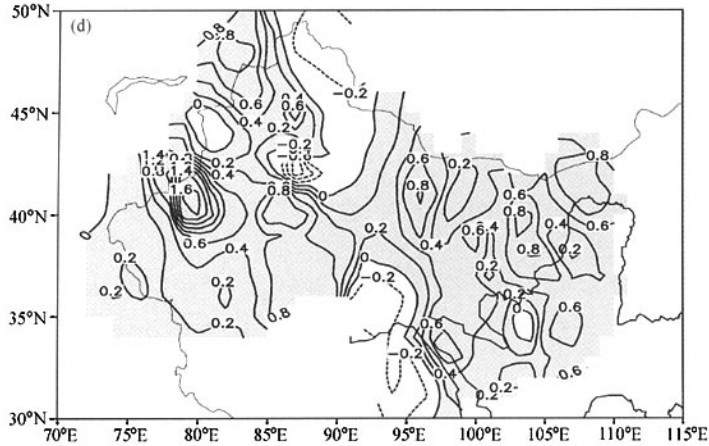


图 4 (续)

c_p 是比热, C_D 是空气的拖曳系数, V_s 是地面附近的风速, T_s 是地表面的温度。

从 (1) 式可以看到地表面的感热通量正比于地气温差。为此, 本节分别计算春季 (3~5 月) 和夏季 (6~8 月) 地气温差 ($T_s - T_a$) 的变化。我们选取了西北干旱、半干旱区 60 个台站的地温、气温逐日的 4 个时次 (02、08、14 和 20 时, 北京时) 的资料, 首先把每天 4 个时次求平均, 计算出每天的地温、气温数据, 然后再根据每天的数据计算出月平均数据, 这样就得出我国西北干旱、半干旱地区 60 个台站 1960~2000 年的地温、气温的月平均资料。

韦志刚等^[17] 讨论了我国西北干旱、半干旱地区 $T_s - T_a$ 年际变化, 本文主要目的是研究我国西北干旱、半干旱区 $T_s - T_a$ 的年代际变化。为了更清楚地说明这个年代际变化, 首先必须分析我国西北干旱、半干旱区春季和夏季 $T_s - T_a$ 的年际变化, 为此, 我们利用上述所计算的我国西北干旱、半干旱区 60 个台站 1960~2000 年的 T_s 、 T_a 的月平均值来计算西北干旱、半干旱区春季和夏季的 $T_s - T_a$ 区域平均值的年际变化。图 3a 和 3b 分别表示西北干旱、半干旱区区域平均的春季和夏季 $T_s - T_a$ 的年际变化。从图中可以清楚地看到, 我国西北干旱、半干旱区春季和夏季的 $T_s - T_a$ 的变化趋势基本一致, 春季和夏季西北干旱区区域平均的 $T_s - T_a$ 的距平从 20 世纪 70 年代末到 2000 年都为正值, 而在 20 世纪 70 年代后期之前, $T_s -$

T_a 的距平值都为负。这表明了从 20 世纪 70 年代末, 我国西北干旱、半干旱地区的 $T_s - T_a$ 发生了一次跃变, 我国西北干旱、半干旱区的地气温差从 20 世纪 70 年代末期明显增强了。此外, 由图 3a 和 3b 我们还可以看到, 我国西北干旱、半干旱地区 $T_s - T_a$ 的年际变化特征并不十分明显, 然而其年代际变化是非常明显的。

4 中国西北干旱、半干旱区地气温差的年代际变化特征

上一节的分析已经清楚地表明了我国西北干旱、半干旱区的 $T_s - T_a$ 在 20 世纪 70 年代后期有很大的跃变, 因此, 有必要详细分析一下我国西北干旱、半干旱区整个区域各个年代的春季 (3~5 月) 和夏季 (6~8 月) $T_s - T_a$ 的变化特征。图 4a~d 分别表示我国西北干旱、半干旱区 20 世纪 60、70、80 和 90 年代的春季 $T_s - T_a$ 的距平分布。如图 4a 所示, 在 60 年代, 我国西北干旱、半干旱区 $T_s - T_a$ 距平大部分地区为负值, 只有新疆北部和青海西部为正值; 到了 70 年代, $T_s - T_a$ 距平从新疆中部开始逐步增大, 即由负值变为正值 (见图 4b); 到了 80、90 年代, 如图 4c~d 所示, 我国西北整个区域的 $T_s - T_a$ 距平都增大了, 几乎都变为正值, 并且, 从图中还可以看到, 新疆西部 $T_s - T_a$ 距平值最大, 达到 1.6 °C。由此可以说, 从 20 世纪 80 年代开始, 我国西北干旱、半

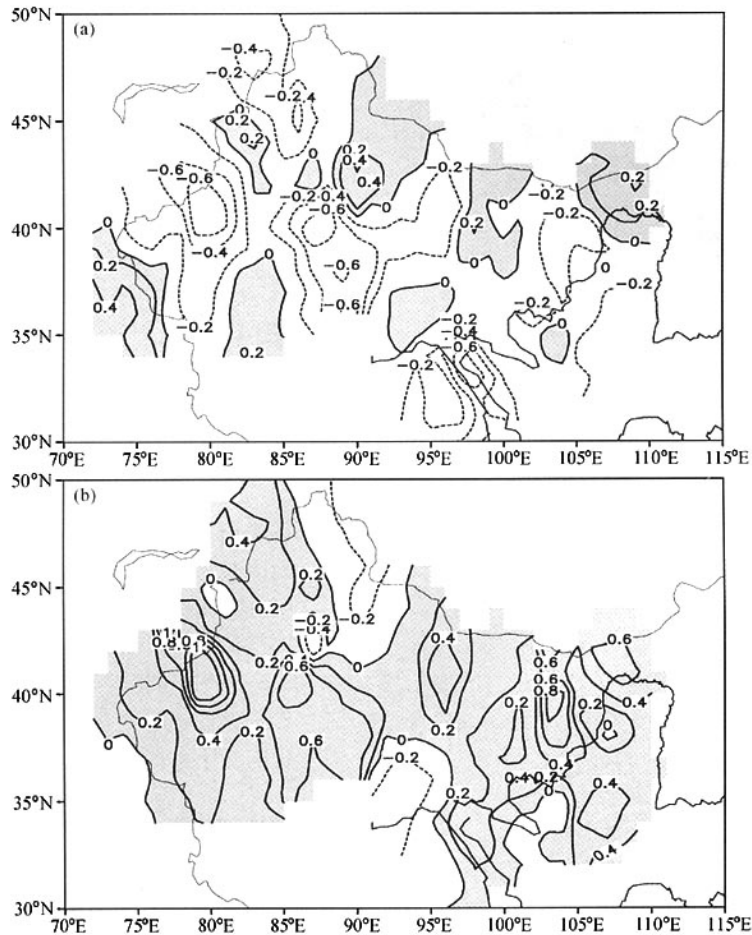


图 5 中国西北干旱、半干旱区春季 (3~5 月) $T_s - T_a$ 距平的分布 (单位: $^{\circ}\text{C}$)。 (a) 1967~1976 年; (b) 1977~2000 年。取 1961~1990 30 年各月平均值作为气候值; 图中实线表示正距平, 虚线表示负距平

Fig. 5 Distributions of $T_s - T_a$ anomalies in spring (MAM) in the arid and semi-arid region of Northwest China averaged for 1967—1976 (a) and averaged for 1977—2000 (b), respectively (units: $^{\circ}\text{C}$) . The climatological mean of T_s and T_a in various months averaged for 1961—1990 is taken as their normal, respectively. In the figures, the solid and dashed lines indicate positive and negative values, respectively, and the positive anomaly areas are shaded

干旱区的地气温差显著增强了。正如图 3a 和 3b 所示, 西北干旱、半干旱区的春季地气温差的年代际变化似乎比夏季更明显 (夏季此地区地气温差的年代际变化图略)。

为了更清楚地分析我国西北干旱、半干旱区的地气温差在 20 世纪 70 年代后期所发生的跃变, 我们分别分析了 1967~1976 年和 1977~2000 年春季和夏季的 $T_s - T_a$ 的变化特征。图 5a 和 5b 分别表示 1967~1976 年和 1977~2000 年平均的春季 $T_s - T_a$ 距平变化分布图, 而图 6a 和 6b 分别表

示 1967~1976 年和 1977~2000 年平均的夏季 $T_s - T_a$ 距平变化分布图。如图 5a、5b 和图 6a、6b 所示, 无论春季或者夏季, 在 1967~1976 年期间, 我国西北干旱、半干旱区的地气温差 $T_s - T_a$ 距平大部分地区为负值, 而在 1977~2000 年期间, 我国西北干旱、半干旱地区 $T_s - T_a$ 距平为正值, 大部分地区的 $T_s - T_a$ 距平值都高于平均值, 最大的正距平区位于新疆西部。

从上分析, 我们可以清楚地看到, 我们西北干旱、半干旱区无论春季或夏季的地气温差的年

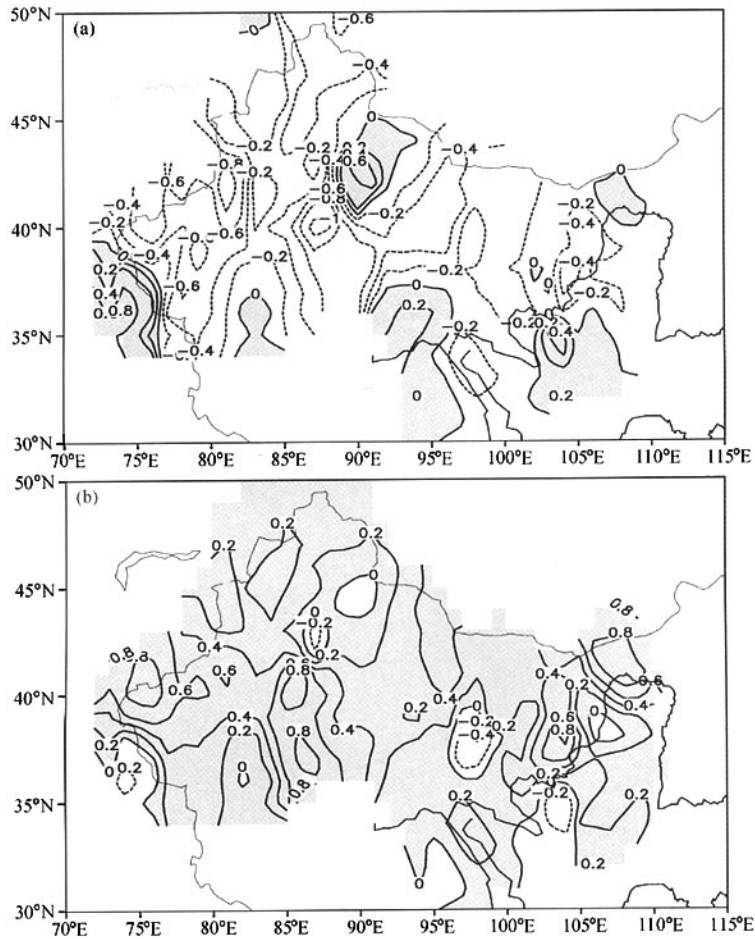


图6 与图5同，但为夏季的情况

Fig. 6 As in Fig. 5 but for summer

代际变化是显著的，特别在 20 世纪 70 年代后期发生了一次跃变，由负距平变为大的正距平。这表明我国西北干旱、半干旱区地气温差从 20 世纪 70 年代后期到 2000 年明显增大。

5 我国西北干旱、半干旱区地气温差的年代际变化对华北降水年代际变化的影响

Wei 等^[17]的研究表明，新疆南部地区春季的 $T_s - T_a$ 与我国长江流域夏季的降水有很强的正相关，即我国西北干旱、半干旱区的感热增强，则长江流域夏季降水增加；反之，这地区春季感热

减弱，则长江流域夏季降水也随之减弱。我国西北干旱、半干旱区春季地气温差的年代际变化对于华北地区夏季降水可能会有很大影响。在 1967~1976 年期间，我国西北干旱、半干旱地区 $T_s - T_a$ 比较弱，所以，我国长江流域的降水偏少，而华北、黄河流域降水偏多；而在 1977~2000 年期间，我国西北干旱、半干旱地区 $T_s - T_a$ 增强了，所以，在 1977~2000 年期间，我国长江流域降水就偏多，而黄河流域降水就偏少。

为了说明我国西北干旱、半干旱区地气温差的年代际变化对我国华北地区夏季降水年代际变化的影响，下面，我们分析一下西北干旱、半干旱区的春季地气温差与我国夏季降水的关系。从

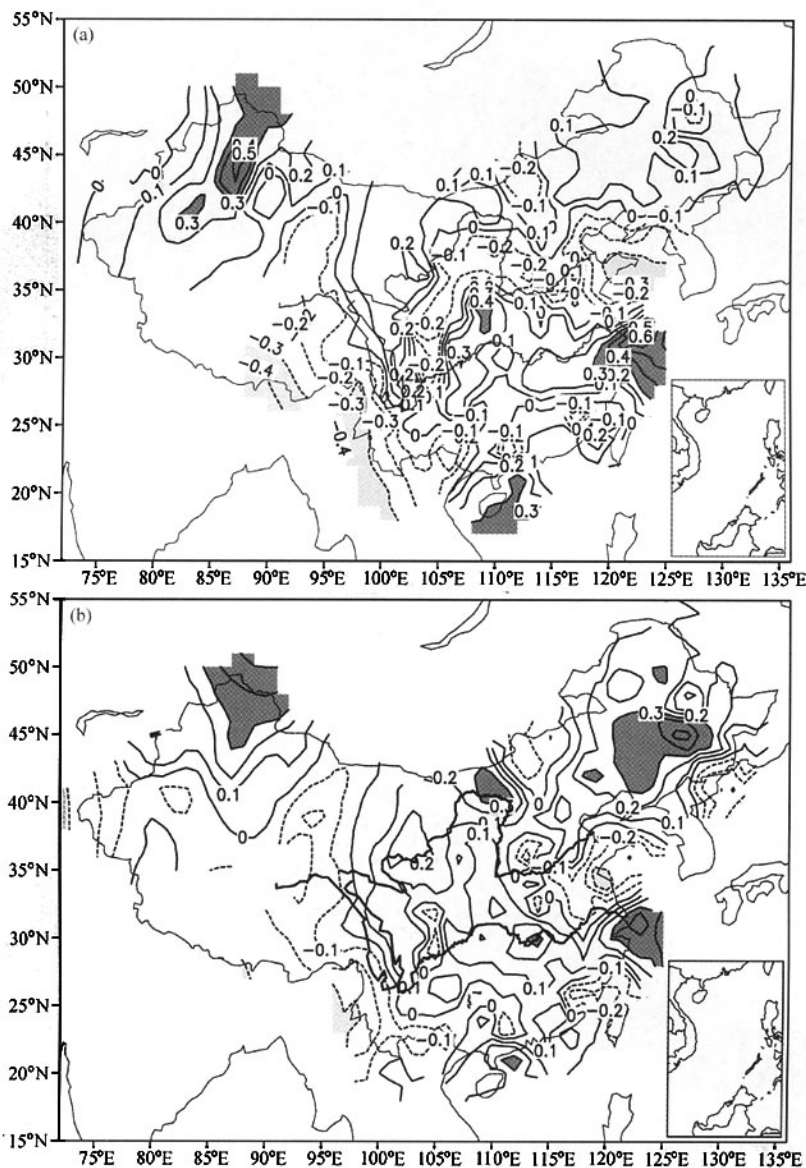


图7 新疆西部地气温差与我国夏季降水的相关系数分布。(a)春季;(b)夏季。图中实线表示正相关系数,虚线表示负相关系数,阴影部分表示相关系数的信度达到95%

Fig. 7 Distribution of the correlation coefficients between $T_s - T_a$ in spring (MAM) (a) and summer (JJA) (b) in the western part of Xinjiang Province and summer precipitation in China, in this figures, solid and dashed lines indicate positive and negative values, respectively, and the regions above the 95% significance level are shaded

前面一节,我们已经看到,我国西北干旱、半干旱区的 $T_s - T_a$ 变化最大的区域在新疆西部,因此,本研究从新疆西部取6个站(阿克苏,拜城,库车,和田,民丰和皮山),求其地气温差的平均,使之代表西北干旱区平均的地气温差,从而计算

新疆西部春季的地气温差与我国夏季降水的相关(见图7a)。从图7a可以看到一个负相关区位于西南、华北地区,正相关区位于东北、西北和长江流域,且一个大的正相关区位于长江中、下游地区,并且较大负相关区位于华北东部。这表明:

当我国西北干旱区春季的地气温差增强,则长江流域夏季降水偏多,而华北地区夏季降水偏少;反之,当我国西北干旱区春季地气温差偏弱,则长江流域夏季降水偏少,而华北地区夏季降水偏多。上述观测资料分析结果,表明了从20世纪70年代后期开始到2000年我国西北干旱区春季地气温差偏强,这个偏强使得华北地区夏季降水偏少。此外,从图7a还看到,新疆西部的春季地气温差与我国夏季降水的相关系数从南到北呈“负、正、负、正”的排列,这与我国夏季降水的年代际变化从南到北也呈现出“负、正、负、正”的排列相似。我们再来看一下西北干旱、半干旱区的夏季 T_s-T_a 与我国夏季降水的关系(见图7b),我们可以看到图7a和7b基本一致,除了东北地区在夏季具有较大的相关系数外,其他地区基本相似。所以,我们可以说,西北干旱、半干旱地区春、夏季地气温差的年代际变化与我国华北地区夏季降水的年代际变化有很好的相关性。

为什么西北干旱区春、夏季地气温差对华北地区夏季降水会产生明显的影响,这是值得进一步深入探讨的问题。布和朝鲁等^[16]的研究表明了这个地区强的感热输送严重地影响着西北干旱区的局地环流,造成了此地区对流层低层的上升运动。Ren等^[18]的研究表明,华北地区降水在20世纪70年代后期所发生的年代际气候跃变,还没有充分的理由说明这个跃变是由于北非地区非绝热加热所引起波列传播所致。本研究分析表明了在我国西北干旱、半干旱区地气温差在70年代后期发生了一个年代际的跃变,即在70年代后期迄今,这个地区春、夏季地气温差显著加强,即感热加强(假定西北地区表面风场不变)。根据Huang等^[19]的研究,在中纬度西风带,即 $u>0$,热源的加强有利于热源西边上空低压槽的加深,并有利于热源东边上空高压脊的加强发展。因此,我国西北干旱、半干旱区正的地气温差的加强有利于我国华北上空反气旋环流的加强。黄刚等^[20]的研究也表明了从70年代后期至今,华北地区上空的低压槽不断减弱,即反气旋距平环流加强,这个反气旋距平环流的加强使得从70年代后期到2000年的华北地区夏季经常出现干旱少雨。

6 结论和讨论

本研究利用我国1951~2000年夏季6~8月降水观测资料进行分析,结果表明:我国降水有明显的年代际变化;我国在1976年发生了一次明显的气候跃变,从1977年之后,长江流域夏季降水明显增多,从而时常发生洪涝,而华北地区夏季降水明显减少,产生持续性干旱,并且,我国东部夏季降水的年代际变化从南到北呈现出明显的“负、正、负、正”的类似EAP型遥相关波列的排列;此外,我国西北地区从70年代起,降水明显增多,与华北地区的降水距平有相反的关系,西北地区降水距平的振荡位相要超前于华北地区降水距平5~8年。

本文还从我国西北干旱、半干旱地区的春、夏季 T_s-T_a 变化特征来分析我国气候年代际变化的可能成因。分析结果表明:我国西北干旱、半干旱区的 T_s-T_a 存在着明显的年代际变化,即20世纪60、70年代的地气温差偏弱,低于平均值,从70年代后期以后到90年代,地气温差增大,且在1977年前后地气温差明显发生了跃变, T_s-T_a 距平值从负值跃变为正值。

对新疆西部春季地气温差与我国夏季降水的相关分析表明:正相关区分别位于西北地区、东北地区和长江流域,而负相关区分别位于华北地区东部和西南地区。这可以说明,由于从20世纪70年代后期到2000年,我国西北干旱区春季地气温差增大,即感热加强(假定当地风场不变的情况下),使得我国华北地区的夏季降水偏少,因此,我国西北干旱、半干旱区春、夏季地气温差的年代际变化可能对华北夏季降水的年代际变化有重要影响。

然而,应该指出,由于华北夏季降水的年代际变化是由多因子引起,正如黄荣辉等^[21]所指出,它是与东亚气候系统的各成员的变化及其相互作用所引起,因此,我国西北干旱、半干旱区地气温差的年代际变化可能只是华北地区夏季降水年代际变化的原因之一,本文不能一一阐述,在将来的研究中,我们将从其他的因子进一步来分析华北干旱趋势的成因。并且,西北干旱、半干旱区的感热影响华北地区的降水的物理过程还

不清楚,今后还将利用数值模式来模拟西北干旱、半干旱区感热对华北降水影响的物理过程。

参考文献

- [1] Hansen J, Lebedeff S. Global surface air temperature: Update through 1987. *Geophys. Res. Lett.*, 1998, **15**: 323~326
- [2] 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, 75~87
- [3] 王绍武, 蔡静宁, 朱锦红, 等. 中国气候变化的研究. 气候与环境研究, 2002, **7**: 137~145
Wang Shaowu, Cai Jingning, Zhu Jinhong, et al. Studies on climate change in China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7**: 137~145
- [4] 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**: 465~475
Huang Ronghui, Xu Yuhong, Zhou Liantong. The interdecadal variation of summer precipitation in China and the drought trend in North China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18**: 465~475
- [5] 周连童, 黄荣辉. 关于中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
- [6] Nitta T, Yamada S. Recent warming of the tropical sea surface temperature and its relationship to the Northern Hemisphere circulation. *J. Meteor. Soc. Japan*, 1989, **67**: 375~383
- [7] 李崇银, 朱锦红, 孙照渤. 年代际气候变化研究. 气候与环境研究, 2002, **7**: 209~219
Li Chongyin, Zhu Jinhong, Sun Zhaobo. The study interdecadal climate variation. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7**: 209~219
- [8] 杨修群, 谢倩, 郭燕娟, 等. 东亚夏季风的年代际变化及其与华北降水的联系. 见: 黄荣辉等编. 我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究项目论文集 (一), 我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究. 北京: 气象出版社, 2003. 365~375
Yang Xiuqun, Xie Qian, Guo Yanjuan, et al. Interdecadal variation of East Asian summer monsoon associated with precipitation of North China. In: *Collected Papers of the Project "Research on the Formation Mechanism and Prediction Theory of Severe Climatic Disasters in China"* (1), *Research on the Formation Mechanism of Drought and Flood Severe Climatic Disasters in China* (in Chinese), Huang Ronghui, et al., Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2003. 365~375
- [9] 王安宇, 冯瑞权, 唐天毅, 等. 20 世纪 70 年代末期夏季亚洲大气环流的突变. 见: 黄荣辉等编. 我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究项目论文集 (一), 我国旱涝重大气候灾害及其形成机理研究. 北京: 气象出版社, 2003, 401~406
Wang Anyu, Feng Ruiquan, Tang Tianyi, et al. The significant climate change of summer Asian circulation in the late of 1970s. In: *Collected Papers of the Project "Research on the Formation Mechanism and Prediction Theory of Severe Climatic Disasters in China"* (1), *Research on the Formation Mechanism of Drought and Flood Severe Climatic Disasters in China* (in Chinese), Huang Ronghui et al. Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2003. 401~406
- [10] Zhang Y, Wallace J M, Battisti D S. ENSO like interdecadal variability 1900—1993. *J. Climate*, 1997, **10**: 1004~1020
- [11] Chang C P, Zhang Y S, Li T. Interannual and interdecadal variations of the East Asian summer monsoon and tropical Pacific SSTs I, II. *J. Climate*, 2000, **13**: 4310~4340
- [12] Chao Y, Ghil M, McWilliams J C. Pacific Interdecadal variability in this century's sea surface temperatures. *Geophys. Res. Lett.*, 2000, **27**: 2261~2264
- [13] 孙淑清. 近五十年来华北地区旱涝特征与全球变化的研究及对未来趋势的探讨. 高原气象, 1999, **18**: 541~551
Sun Shuqing. A study on features of drought and flood in North China in recent 50 years and relations between them and global changes. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, **18**: 541~551
- [14] 黄荣辉, 周连童. 我国重大气候灾害特征, 形成机理和预测理论研究. 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
- [15] 布和朝鲁, 纪立人, 崔茂常. 夏季我国干旱, 半干旱区陆面过程能量平衡及其局地大气环流. 气候与环境研究, 2002, **7**: 61~73
Bueh Cholaw, Ji Liren, Cui Maochang. Energy balance of land surface process in the arid and semi-arid regions of China and its relation to the regional atmospheric circulation in summer. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2002, **7**: 61~73
- [16] 张强, 卫国安, 黄荣辉. 西北干旱区敦煌戈壁区局地陆面过程野外试验研究. 见: 吴国雄, 孙叔芬, 陈文等编. 我国重大气候灾害的形成机理和预测理论研究论文集 (三),

- 青藏高原与西北干旱区对气候灾害的影响. 北京: 气象出版社, 2003. 157~177
- Zhang Qiang, Wei Guoan, Huang Ronghui. The field experiment on local surface process of Dunhuang in arid region. In: *Collected Papers of the Project "Research on the Formation Mechanism and Prediction Theory of Severe Climatic Disasters in China" (III), Influence of Tibet and Arid Region on Climatic Disasters* (in Chinese), Wu Guoxiong, Sun Shufen, Chen Wen, et al. Eds. Beijing: China Meteorological Press, 2003. 157~177
- [17] Wei Zhigang, Fan Lijun, Huang Ronghui, et al. The correlation Analysis between the spring ($T_s - T_a$) in the arid region in northwest China and Chinese summer rainfall. In: *International Workshop on the Air-Land Interaction in Arid and Semi-Arid Areas and Its Impact on Climate (IWALI)*, Dunhuang-City, Gansu Province, China, 17--21 August, 2002, 182~185
- [18] Ren Baohua, Lu Riyu, Xiao Ziniu. A possible linkage in the interdecadal variability of Rainfall over North China and the Sahel. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2004, **21**: 699~707
- [19] Huang R H, Gambo K. The response of a model atmosphere in middle latitudes to forcing by topography and stationary heat sources. *J. Meteor. Soc. Japan*. 1981, **59**: 220~237
- [20] 黄刚, 周连童. 青藏高原西侧绕流风系的变化及其对东亚夏季风和我华北地区夏季降水的关系. *气候与环境研究*, 2004, **9**: 316~330
- Huang Gang, Zhou Liantong. The variability of the wind system circulating round the west side of the Tibetan Plateau and its relation to the East Asian summer Monsoon and summer rainfall in North China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2004, **9**: 316~330
- [21] 黄荣辉, 陈际龙, 周连童, 等. 关于中国重大气候灾害与东亚气候系统之间关系的研究. *大气科学*, 2003, **27**: 770~787
- Huang Ronghui, Chen Jilong, Zhou Liantong, et al. Studies on the relationship between the severe climatic disasters in China and East Asia climate system. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese). 2003, **27**: 770~787