

中国大陆冬夏季气候型年代际转折的区域结构特征

施晓晖^{①②} 徐祥德^①

(^① 中国气象科学研究院灾害天气国家重点实验室, 北京 100081; ^② 南京信息工程大学, 南京 210044. E-mail: sxh@cma.gov.cn)

摘要 采用 Tomé 和 Miranda 2004 年提出的气候变化趋势转折判别模型, 对 1961~2000 年中国 160 个气象站及各个分区的冬、夏季年代际气候型转折时空特征进行了综合分析. 研究发现冬、夏季气温和降水年代际趋势转折发生年份相近, 且转折后趋势一致的站点呈带状分布, 具有明显的区域性特征, 据此提出中国大陆气候型年代际转折存在显著区域性结构特征的观点. 研究结果表明, 20 世纪 80 年代初期以后, 中国区域冬季气候总体趋于“暖湿”, 80 年代末期为夏季气候向“暖湿”转型的突变时期, 即中国气候出现“暖湿”型转折的年份冬季比夏季更早. 通过冬、夏季气温、降水的年代际趋势转折区域性特征分析及分区检验结果, 可发现华北地区冬季气候显著“暖干”型趋势在 20 世纪 70 年代末期出现, 东北、华南、西南地区的冬季气候在 20 世纪 80 年代末期亦转为“暖干”型, 80 年代初期为其余 4 个分区(江淮、高原东部、西北地区东、西部)冬季气候转变为“暖湿”型趋势的转折时期. 东北、华北地区以及西北地区东部在 20 世纪 80 年代末期以后夏季气候均趋于“暖干”型, 西南和高原东部地区在 70 年代中期以后出现“暖湿”型趋势, 江淮地区和西北地区西部“暖湿”型趋势开始的时间则在 80 年代初期, 华南地区较为特殊, 其夏季气候在 1984 年以后出现了“冷湿”型趋势.

关键词 气候型 年代际趋势转折 区域结构特征

在全球变暖的背景下, 气候变化对环境、水资源、工农业生产和人民生活的影响日益显著, 因此越来越受到人们的关注. 广大气象工作者针对中国现代气候变化规律问题进行了大量的研究工作, 研究发现, 1951~1995 年间, 中国年平均气温呈上升趋势, 但也存在变冷区; 降水略有减少, 主要减少的地区在华北和江南地区, 江淮流域的降水则是增加的^[1]. 王遵娅等^[2]的研究结果表明, 中国年平均气温在 20 世纪 80 年代以后上升明显, 西南低温区在 90 年代以后温度也处于上升状态. 最近, 陈隆勋等^[3]分析了 20 世纪 20 年代以来中国气候变化的特征, 发现中国大陆年平均气温的变化为 35°N 以北地区 80 年代早期开始变暖, 35°N 以南地区则在 80 年代末期才开始变暖; 年降水量的变化则为 60~70 年代降水偏少, 西北、东北以及长江中下游地区降水从 80 年代开始增加. 王绍武等^[4]的研究则发现, 中国东部降水的变化周期主要是 3.3 和 26.7 a, 并认为前者可能与 ENSO 的影响有关, 后者则表明中国降水有显著的年代际变化. Lu 等^[5]研究发现, 20 世纪 70 年代以来, 中国 35°N 以北地区的气温升高, 且纬度越高, 增暖发生的时间越早. 他们还发现中国东部的气温变化几乎是同时发生的, 西部地区则由于青藏高原的强烈影响, 气温变化的

发生时间存在较大差异. Liu 等^[6]则指出中国区域地面气温的升高在 1990 年以后出现了加速的趋势. Qian 等^[7]利用中国区域 498 个站的逐日地面气温资料分析了 1961~2000 年的变化情况, 发现黄河中上游以及中国南部沿海地区的“暖日”数增加, 而中国中东部地区则散布着一些“暖日”数呈减少趋势的站点.

由于夏季旱、涝灾害以及高温天气等与社会经济、人民生活密切相关, 历来受到气象学家的重视. 黄荣辉等^[8]指出中国夏季降水有明显的年代际变化, 并引起严重的气候灾害, 特别是华北地区发生了持续性干旱, 导致该地区水资源缺乏; 而长江流域经常发生洪涝, 造成了严重的经济损失. 最近的研究发现, 长江以南地区的夏季降水在 20 世纪 90 年代以后增加明显, 而华北、东北地区夏季降水显著减少^[2]. Hu 等^[9]利用观测资料和 CMIP2 模式结果, 分析了中国东部地区夏季的长期气候变化趋势, 发现中国东部地区夏季降水的变化主要表现为北部变干、中部尤其是长江中下游地区变湿的趋势. 气温除了中部出现降温的趋势外, 其余地区为增温趋势, 而且冷(暖)趋势一般与湿(干)趋势并存. 陆日宇^[10]对华北汛期(7~8 月)降水的年代际变化进行研究, 发现华北汛期降水在 70 年代末期有一次突然减少. Gong 等^[11]研究发现,

长江中下游地区夏季降水在 1979 年前后发生了显著的气候跃变,同时认为这一变化与西太平洋副高的增强有关。施雅风等^[12]发现了西北地区(主要是新疆)气候在 1987 年由“暖干”向“暖湿”转型的气候变化趋势。相关研究结果亦表明,西北地区在 1986 年附近发生了一次明显的气候跃变,跃变后气温和降水量均上升^[13]。总体而言,近 50 年来,夏季降水量在中国东北南部、华北以及四川盆地呈减少趋势,在中国西部、长江流域以及东南沿海地区则呈增加趋势^[14]。

对冬季而言,气温的增加趋势无论在西部还是东部都是四季中最大的,陈隆勋等^[15]指出,从 20 世纪 50 年代到 80 年代,东北、西北东部、柴达木盆地、长江中上游,黄河上游和华南等地区冬季都是变暖的,而四川、汉中盆地、湖南和江苏北部变冷。姚辉^[16]的研究也发现西北大部地区和青藏高原冬季的气温普遍升高。就降水而言,中国冬季降水的普遍趋势是增多的,只有内蒙古、东北和华北北部等地略有减少,西北大部地区、青藏高原和西南地区的冬季降水量增多较为明显^[17]。Zhai 等^[14]利用中国 740 个站的逐日降水资料得到的最新研究结果表明,中国西部地区近 50 年来的冬季降水量均为增加趋势,中国东部则表现出北方地区减少,南方地区增加的趋势。

目前在中国气候的年代际变化趋势及其成因方面尚有很多问题有待深入研究,如中国大陆气候型年代际的转折究竟是具有明显的区域性特征,还是仅仅表现出孤立、离散的无序规律?另外,冬、夏季气候型年代际转折之间的差异如何?上述问题认识的深化将有助于了解全球变化背景下中国区域气候型演变规律及其突变特征。本文将利用 Tomé 等^[18]在 2004 年提出的气候变化趋势转折判别模型分析 1961~2000 年中国区域 160 个地面气象站以及各个分区的冬、夏季气温、降水的年代际变化趋势转折点,探讨中国冬、夏季气候型年代际转折的区域性结构、各分区气候年代际变化规律及其转折特征,以期对近 40 年来中国区域气候的年代际变化特征有更为客观和科学的认识。

1 资料和方法

1.1 资料说明

本文使用的资料包括:(i)中国气象局国家气象信息中心提供的中国区域 600 个地面气象站的月平均气温、降水资料,资料时间为 1960 年 1 月~2000

年 12 月,用于计算全国及分区的区域平均值并进行趋势转折检验。资料处理方法为:首先计算各站 1961~2000 年的逐年冬、夏季平均气温和总降水量,其中冬季为前一年 12 月~当年 2 月(DJF),夏季为当年 6~8 月(JJA),然后将全国及分区范围内所有站点的冬、夏季平均气温和总降水量进行空间平均,得到全国及分区的 1961~2000 年逐年冬、夏季平均气温和总降水量时间序列。具体分区范围如图 4 所示。(ii)中国气象局国家气候中心提供的中国区域 160 个地面气象站的月平均气温、降水资料,同样选取 1960 年 1 月~2000 年 12 月这段时间的资料,得到了各站 1961~2000 年逐年冬、夏季平均气温和总降水量时间序列,用来逐站分析气候型年代际转折特征。

1.2 时间序列变化趋势转折判别模型简介

分析时间序列的线性趋势是气候变化研究中经常使用的方法,它可以使人们了解某一段时间内气候的总体变化趋势,但对于一个时间尺度较长的气候序列,整个时间段上的线性趋势往往并不能描述出气候变化的波动特征,因此 Tomé 和 Miranda^[18]在 2004 年提出了一种新的气候变化趋势转折判别模型(Piecewise Linear Fitting Model,简称 PLFIM)。其基本思路为:首先根据所研究的气候变化问题时间尺度,给定趋势转折点的最小间隔,然后确定趋势转折的判别条件(根据研究目的不同,可以是要求两个连续分段的线性变化趋势符号相反或变化程度达到一定的百分比)。在两个相邻趋势转折点的时间间隔必须大于或等于给定最小间隔的前提条件下(即滤掉了变化周期小于这一最小间隔的气候波动),可以得到很多种分段组合情况,分别计算每种组合内各时间段的线性变化趋势,并根据趋势转折判别条件判断其间是否发生了趋势转折,最后利用统计分析原则确定满足趋势转折判别条件的最佳分段组合,即可得到所需时间尺度上的趋势转折点检验结果以及各时间段的线性变化趋势。

气候突变可归为均值突变、变率突变和趋势突变 3 类:从一个气候基本状态(以平均值表示)向另一个气候基本状态的急剧变化为均值突变;两个气候状态的平均值并无明显差异,但其变率有极明显的不同称为变率突变;两个气候阶段有完全相反变化趋势的急剧变化称为趋势突变^[19]。目前气候突变研究中常用的方法有低通滤波、滑动*t*检验、Cramer 法以及 M-K 法等^[20],但这些方法主要用于检验均值突变。

用于检验趋势突变或变率突变的方法较少, 其中两段线性回归^[21]和在其基础上发展起来的两段二次曲线拟合方法^[22]是效果较好的两种方法, 但都存在必须人为给定转折点个数的缺点. PLFIM 与以往的方法^[21,22]相比, 改变了人为给定转折点个数的做法, 只需满足下列两个前提条件: (i) 趋势转折点之间的间隔必须等于或者超过某一给定的值; (ii) 两个连续分段的线性趋势变化必须遵从趋势符号相反(趋势突变) 或趋势变化达到某种程度(变率突变), 就可得到最佳的分段组合. 这样计算出的趋势转折点个数和位置都将更为合理. PLFIM 的数学原理参见文献^[18].

2 中国冬、夏季气候型年代际转折区域性结构特征

为了解近 40 年来中国冬、夏季气温和降水的年代际变化趋势转折特征, 给定连续两个时间分段的线性趋势符号相反的趋势转折判别条件以及趋势转折点间隔不小于 11 年的年代际时间尺度条件, 对 1961~2000 年全国平均的冬、夏季气温和降水的年代际变化趋势转折分别进行了检验(图 1 中粗直线). 为了验证 PLFIM 检验结果是否的确能够反映各要素年代际变化特征, 本文还计算了 1961~2000 年中国区域冬、夏季气温和降水的 11 年滑动平均值, 作为其年代际分量, 将其变化趋势与 PLFIM 的检验结果进行了对比(图 1 中粗曲线).

从图 1(a)可以发现, 年代际时间尺度条件下, 全国平均冬季气温在 1971 年就发生了由降温趋势转为增温趋势的转折, 且 1971 年以后的升温趋势较之前的降温趋势更为显著, 冬季气温的年代际分量则呈显著上升趋势. 根据检验结果, 全国平均冬季降水在近 40 年中发生了两次年代际变化趋势转折, 发生时间分别为 1971 和 1982 年, 即冬季降水在 20 世纪 60 年代增加, 70 年代减少, 80 年代初期以后又开始增加; 其年代际分量的变化与趋势转折检验结果十分一致, 在 20 世纪 60 年代呈增加趋势, 70 年代初到 80 年代初为减少趋势, 80 年代初以后又为增加趋势(图 1(b)). 综合上述结果, 可以发现 20 世纪 80 年代初期以后, 中国冬季气候趋于“暖湿”. 夏季气温和降水的年代际变化趋势转折特征相似, 均在 20 世纪 80 年代末期发生了由弱的减少趋势转变为显著增加趋势的年代际转折, 夏季气温、降水年代际分量亦均在 20 世纪 80 年代末期以后出现显著上升趋势(图 1(c), (d)), 即

80 年代末期以前, 中国区域夏季气温降低, 降水减少, 80 年代末期以后, 气温升高、降水增加, 中国区域夏季气候亦趋于“暖湿”. 同时从图 1 中还可以发现, 年代际分量的变化趋势与 PLFIM 检验结果均较为相似, 表明利用 PLFIM 来分析气候变化趋势特征是可行的, 而且通过数学计算得出气候变化趋势转折点, 得到的分析结果更为客观.

进一步对中国区域 160 个站 1961~2000 年冬季气温、降水的年代际变化趋势转折点进行逐个站点的检验, 并选取 1961~2000 年期间最后一次年代际趋势转折的发生时间及转折后的线性变化趋势进行分析. 图 2(a)给出了 160 个站点冬季气温的检验结果, 可以看出, 北方地区(大致为 30°N 以北)少数站点没有发生年代际趋势转折, 近 40 年来为线性增温趋势; 大多数站点则表现出在 70 年代初发生由降温趋势转变为增温趋势的年代际转折区域性特征, 并主要集中在中、东部地区(浅灰色阴影区), 还有较少站点在 20 世纪 80 年代末期以后转变为降温趋势, 主要分布在西北地区(黑色阴影区). 南方地区(大致为 30°N 以南)具有大部分站点在 20 世纪 80 年代中期转变为增温趋势的区域性特征(深灰色阴影区), 即北方站点增温趋势转折的出现时间总体上比南方站点早一个年代. 降水的变化相对复杂一些, 其中年代际趋势转折以后为增加趋势的站点集中在西北地区西部、长江下游、华南地区东部以及西南、华北、东北的部分地区(深灰色阴影区), 且大多数站点趋势转折的发生时间为 20 世纪 80 年代初期; 转折以后为减少趋势的站点则集中在东北南部、长江中上游、华南地区西部、西北地区东部以及高原东部地区, 且呈西南-东北向带状分布(黑色阴影区), 其中大多数站点的趋势转折发生时间均为 20 世纪 80 年代末期(图 2(b)).

同样对中国区域 160 个站点的夏季平均气温和总降水量近 40 年的年代际变化趋势转折进行了检验(图 3). 从图 3(a)可以发现北方地区的站点表现出夏季气温最近一次年代际趋势转折大多发生在 20 世纪 80 年代中后期, 且转折后为增温趋势的区域性特征(图 3(a)中深灰色阴影区), 但华北地区大部分站点夏季气温的区域性转折特征则描述出其年代际趋势转折发生时期为 20 世纪 70 年代初期, 要早于北方其他地区, 转折后同样为增温趋势(图 3(a)中浅灰色阴影区); 南方地区站点的区域性特征为年代际趋势转折

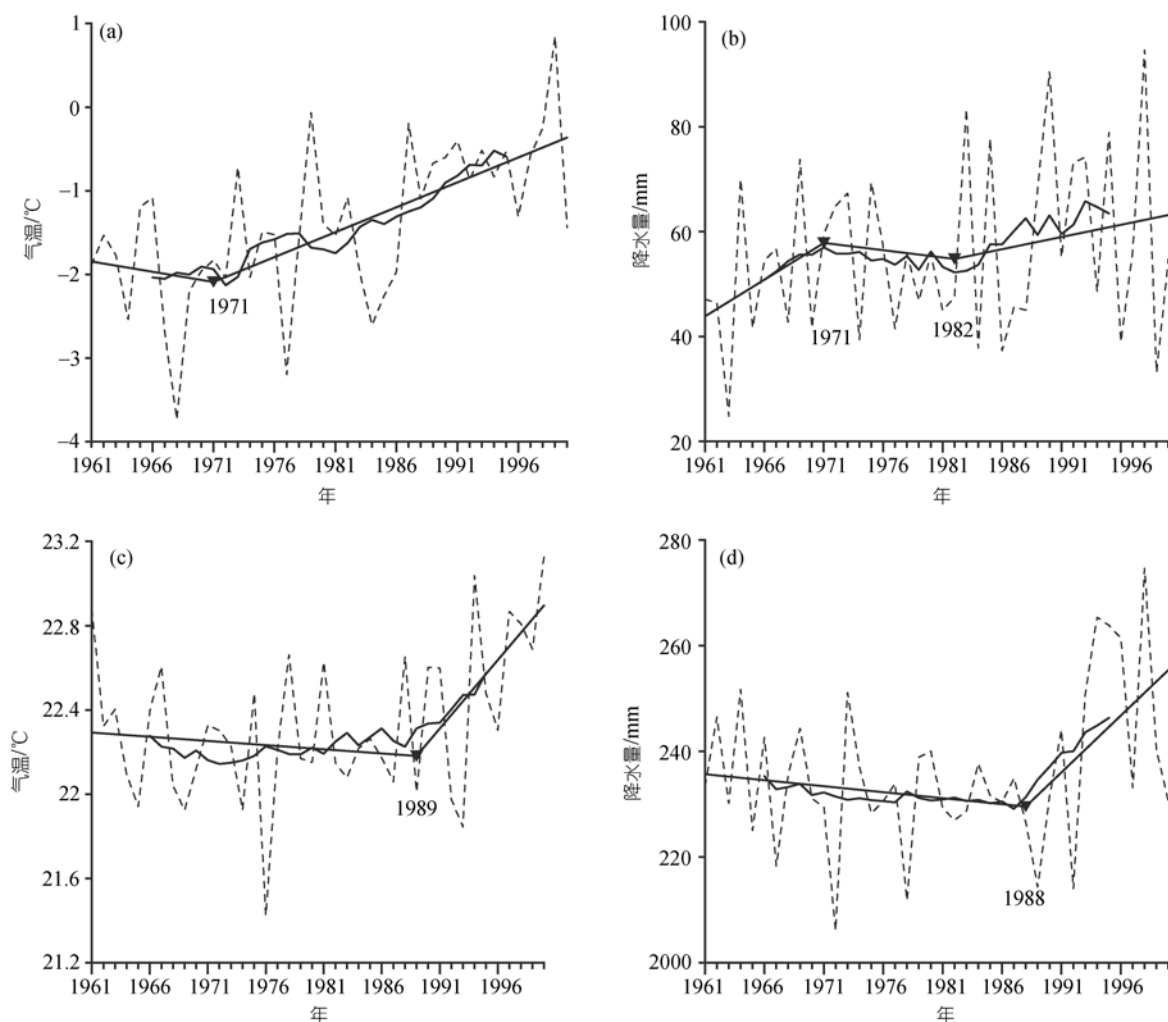


图1 1961~2000年全国冬、夏季平均气温、降水的逐年变化(虚线)、11年滑动平均值(粗曲线)及其年代际趋势转折检验结果(粗直线,倒三角符号及所标数字为转折点年份)

(a) 冬季气温; (b) 冬季降水; (c) 夏季气温; (d) 夏季降水

大多发生在20世纪80年代,且转折后为降温趋势(图3(a)中黑色阴影区)。图3(b)则揭示了全国160个站点近40年来夏季总降水量的趋势转折区域性特征,其表现为全国大多数站点在最近一次的年代际趋势转折发生以后为增加趋势,这些站点主要分布在华南、长江下游地区、西南地区南部以及西北地区西部(图3(b)中深灰色阴影区),转折后为减少趋势的站点则集中在东北、中国中部以及西北和华北的部分地区(图3(b)中黑色阴影区)。不论转折后为增加或减少趋势,全国大多数站点夏季降水最近一次年代际趋势转折发生的时间均以20世纪80年代为主。

仔细比较图3(a), (b)还可发现,东北地区 and 长江以南地区大部分站点的夏季气温、降水在最后一次年

代际趋势转折发生以后具有较为明显的“反向”变化趋势,即东北地区夏季气温升高、降水减少,出现“暖干”气候变化趋势;长江以南地区则夏季气温降低、降水增加,夏季气候趋于“冷湿”,且各站点趋势转折发生的时间亦大致相近。

3 各分区冬、夏季气候型年代际转折特征

从上述全国160个站冬、夏季气温、降水年代际趋势转折特征可以发现,中国各区域的气候变化并不一致,具有明显的区域性特征。为此本文主要根据行政区划,并兼顾中国季风气候的特征,首先利用35°N纬度将中国分为南、北两部分,然后南、北两部分再分别划分为4个区,全国共划分为8个区,分

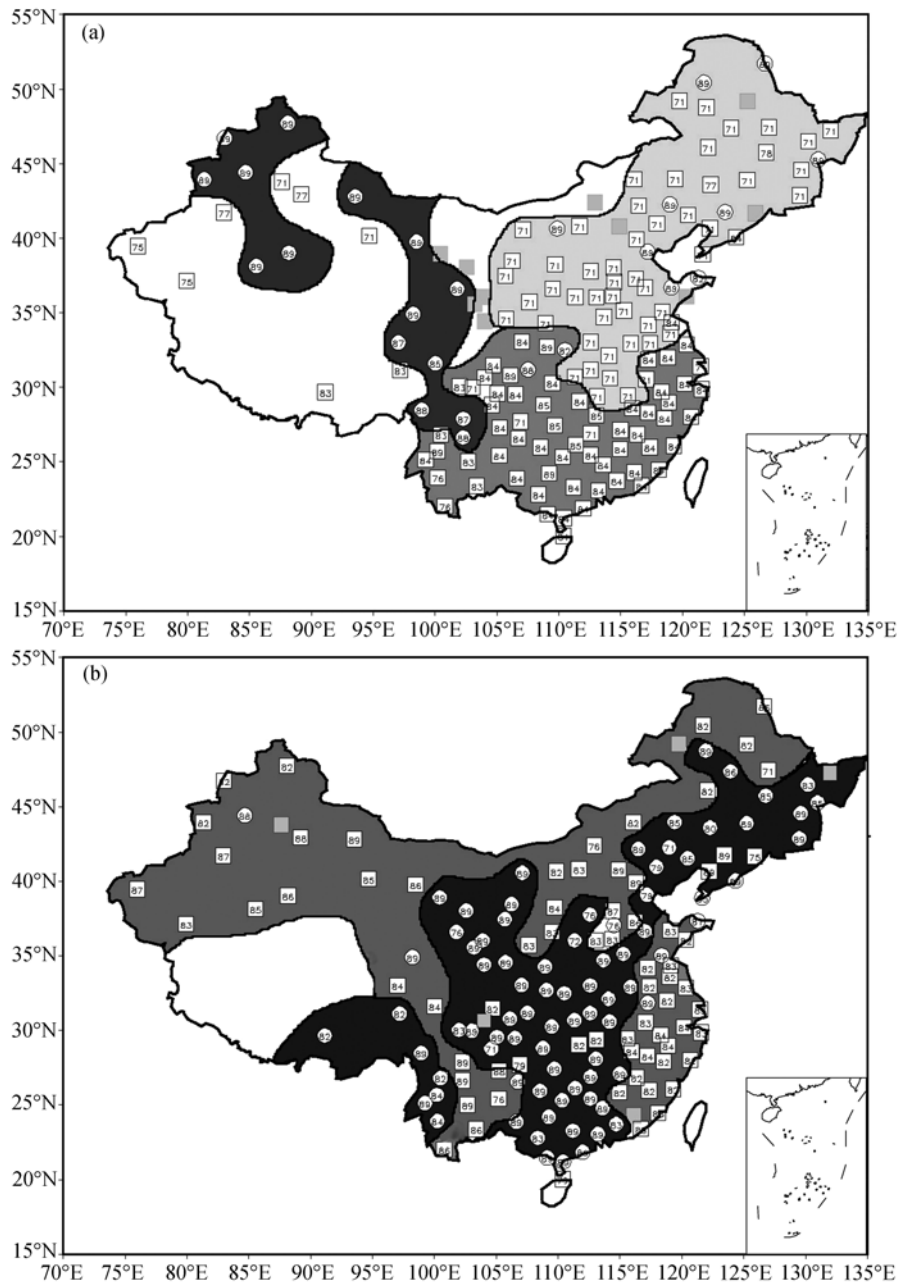


图 2 1961~2000 年中国 160 个地面气象站冬季气温(a)、降水量(b)年代际变化趋势转折检验结果
 空心圆和空心方块表示趋势转折后分别为减小、增大趋势, 里面的数字为最后一次年代际趋势转折发生的年份;
 实心方块表示未发生年代际趋势转折, 为线性增大趋势

别为: (i) 东北地区(110°E 以东, 42.5°N 以北); (ii) 华北地区(110°E 以东, 35°~42.5°N 之间); (iii) 长江中下游及淮河流域(107.5°E 以东, 27.5°~35°N), 以下简称江淮地区; (iv) 华南地区(107.5°E 以东, 27.5°N 以南); (v) 西南地区(97.5°~107.5°E 之间, 35°N 以南); (vi) 高原东部地区(97.5°E 以西, 35°N 以南), 从图 4

中可以看到西藏西部没有站点, 因此这一区域的分析结果只能代表高原东部的情况; (vii) 西北地区西部(97.5°E 以西, 35°N 以北); (viii) 西北地区东部(97.5°~110°E 之间, 35°N 以北), 分区范围如图 4 所示。这样东部 4 个区除了考虑到行政区划外, 还大致是按东亚夏季风的向北推进过程进行划分的; 西部南方

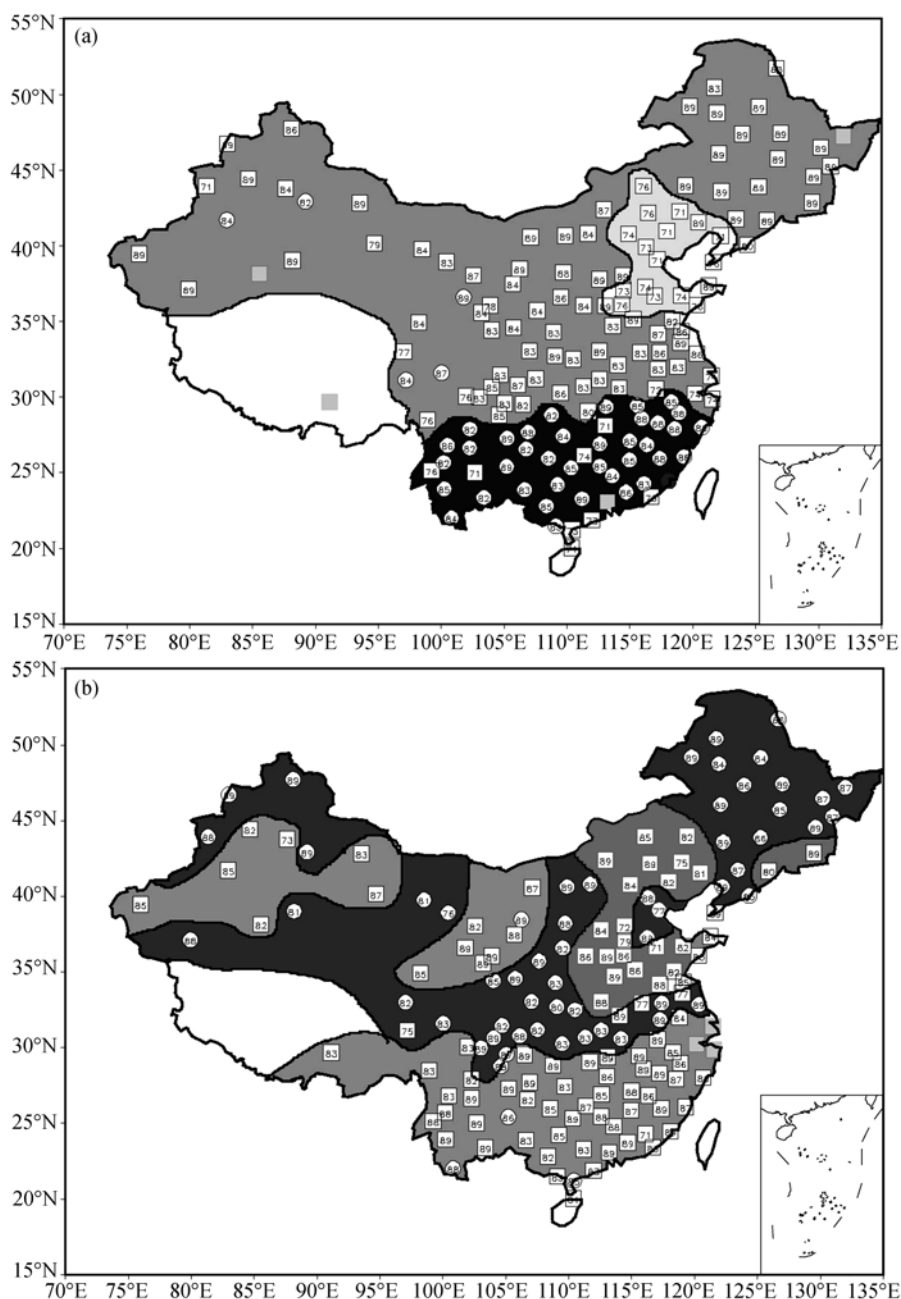


图3 1961~2000年中国160个地面气象站夏季气温(a)、降水量(b)年代际变化趋势转折检验结果
空心圆和空心方块里面的数字为最后一次年代际趋势转折发生的年份,并表示趋势转折后分别为减小、增大趋势;
实心圆和实心方块表示未发生趋势转折,分别为线性减小、增大趋势

地区则主要考虑了行政区划,使西南地区尽量包含云南、贵州、四川及重庆的大部分范围;西北地区再划分为东部和西部则主要是考虑到西北地区存在降水增加和降水减少的两个区域^[13]。利用全国600个地面气象站资料计算得到各分区1961~2000年逐年

冬、夏季平均气温和总降水量时间序列,然后对其年代际趋势转折特征进行了检验。

分析中国北方东北、华北以及西北地区东、西部4个分区1961~2000年冬季气温、降水年代际趋势转折的检验结果可以发现,年代际时间尺度条件下,华

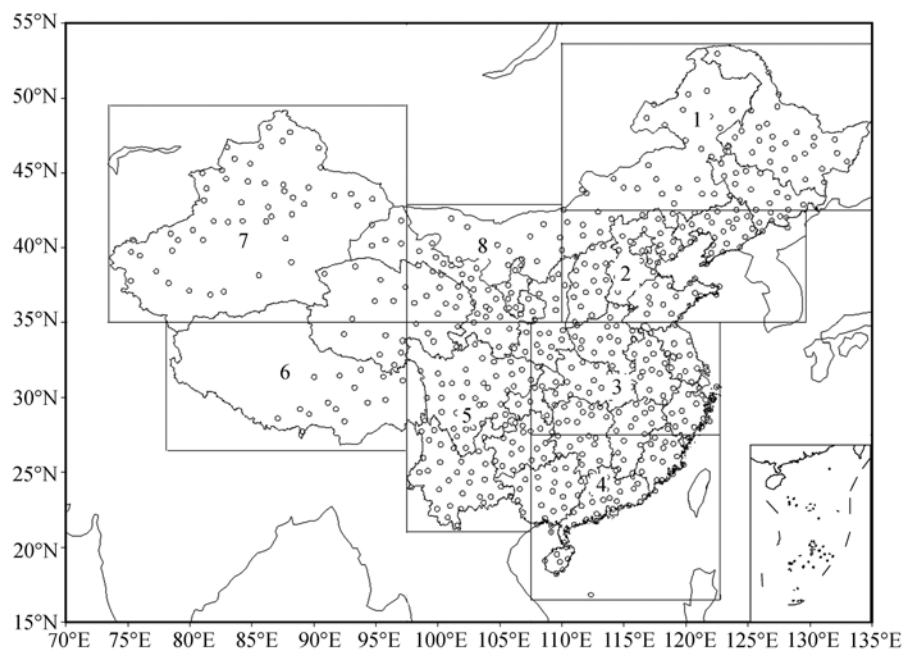


图 4 中国 600 个地面气象站的分布及其分区

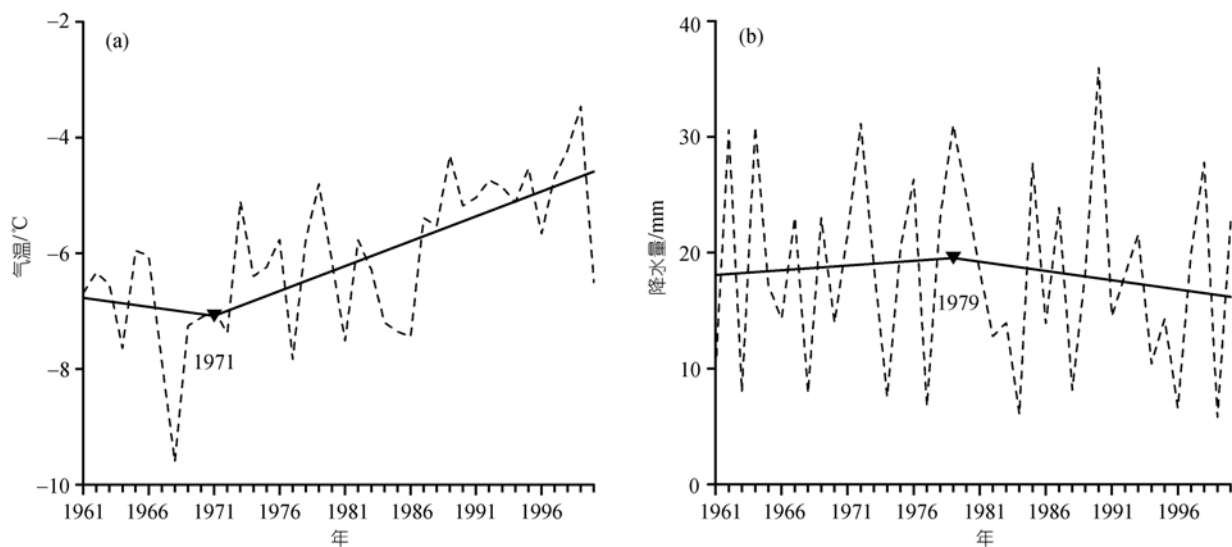


图 5 1961~2000 年华北地区冬季气温(a)、降水量(b)的年代际趋势转折检验结果

北地区冬季气温的变化趋势与全国平均状况一致, 1971 年为降温趋势转变为增温趋势的转折点(图 5(a)), 冬季降水量在 1979 年前、后两段时间内, 分别为增加趋势和减少趋势(图 5(b)); 东北和西北地区西部冬季气温亦在 20 世纪 70 年代初期发生了降温到增温的趋势转折, 西北地区东部冬季气温在 1961~2000 年期间没有发生年代际变化趋势转折, 呈线性增温趋势; 近 40 年来, 东北地区冬季降水量发生了两次年代际

趋势转折, 1975 年为减少趋势转变为增加趋势的转折点, 1989 年则为增加趋势转变为减少趋势的转折点, 西北地区东、西部冬季降水量的年代际趋势转折特征十分一致, 1972 年以前为增加趋势, 1972~1983 年期间减少, 1983 年以后又转变为增加趋势(图略)。

南方 4 个分区中, 江淮地区冬季气温的变化与东北、华北地区及全国平均状况一致, 1971 年为其由降温趋势转变为增温趋势的年代际趋势转折点, 西南

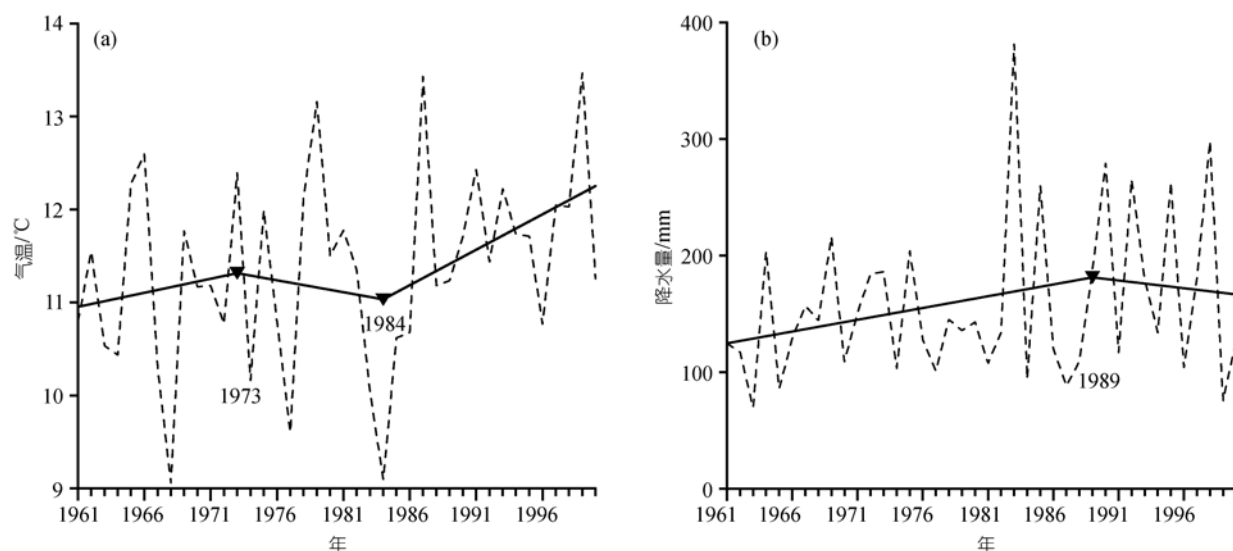


图6 1961~2000年华南地区冬季气温(a)、降水量(b)的年代际趋势转折检验结果

和高原东部的冬季气温变化十分一致, 1972 年为增温趋势到降温趋势的趋势转折点, 1984 年则发生了降温趋势转为增温趋势的年代际转折(图略); 华南地区冬季气温的变化与西南和高原东部较为相似, 1973 和 1984 年分别为其由增温趋势转为降温趋势, 再从降温趋势转为增温趋势的年代际趋势转折点(图 6(a)). 与上述北方 4 个分区冬季气温的检验结果对比可发现, 中国北方冬季气温由降温趋势转为增温趋势的年代际转折发生时间总体上要早于南方, 与 160 个站的检验结果基本吻合, 且转折以后的增温趋势亦比南方更为显著.

1971 年为江淮地区冬季降水量由增多趋势转变为减少趋势的转折点, 1982 年则为减少趋势转变为增多趋势的转折点(图略); 华南地区在 1989 年发生了由增加趋势转为减少趋势的年代际趋势转折(图 6(b)); 西南地区冬季降水量的年代际趋势转折特征与东北地区的变化特征一致, 20 世纪 60~70 年代初为减少趋势, 70 年代初~80 年代末为增加趋势, 80 年代末期以后又转变为减少趋势, 高原东部在近 40 年内没有发生年代际变化趋势转折, 呈线性增加趋势(图略).

综合以上 8 个分区冬季气温、降水量年代际趋势转折的检验结果可以看到, 华北地区冬季气候的“暖干”趋势从 20 世纪 70 年代末期开始出现, 东北、华南、西南地区的冬季气候开始趋于“暖干”的时间均在 20 世纪 80 年代末期, 80 年代初期以后, 西北地区、

江淮、高原东部地区的冬季气候均出现了“暖湿”趋势.

同样对 8 个分区 1961~2000 年的夏季气温、降水时间序列进行年代际尺度趋势转折检验, 发现东北地区 and 西北地区西部的变化趋势一致, 1978 年为弱增温趋势转为弱降温趋势的转折点, 1989 年以后则为显著增温趋势; 华北地区在 1989 年以前为弱降温趋势, 1989 年以后亦显著增温, 西北地区东部则在 1984 年发生了由降温趋势转变为显著增温趋势的年代际转折. 江淮地区夏季气温由降温趋势转变为增温趋势的年代际转折发生在 1982 年; 西南和高原东部地区的夏季气温年代际变化趋势较为一致, 均在 20 世纪 70 年代中期发生了由降温趋势转为增温趋势的年代际转折, 转折点分别为 1974 和 1976 年(图略). 从时间上看, 这 3 个分区夏季气温由降温趋势转变为增温趋势的年代际转折出现时间要早于北方, 这与冬季的情况相反; 从气温变化的幅度上看, 发生趋势转折后的增温幅度仍是北方比南方更大. 比较特殊的是华南地区, 其夏季气温在 1961~1973 年之间为降温趋势, 1973~1984 年为增温趋势, 1984 年以后又转变为降温趋势(图 7(a)), 与王遵娅等^[2]得到的研究结果基本吻合, 这一降温趋势的出现很可能与人类活动产生的气溶胶辐射强迫作用存在一定的联系^[3].

华北地区夏季降水减少趋势最为显著, 虽然其在 1972~1989 年期间为增加趋势, 但增加趋势很弱, 总体上呈减少趋势; 东北地区夏季降水在近 40 年中

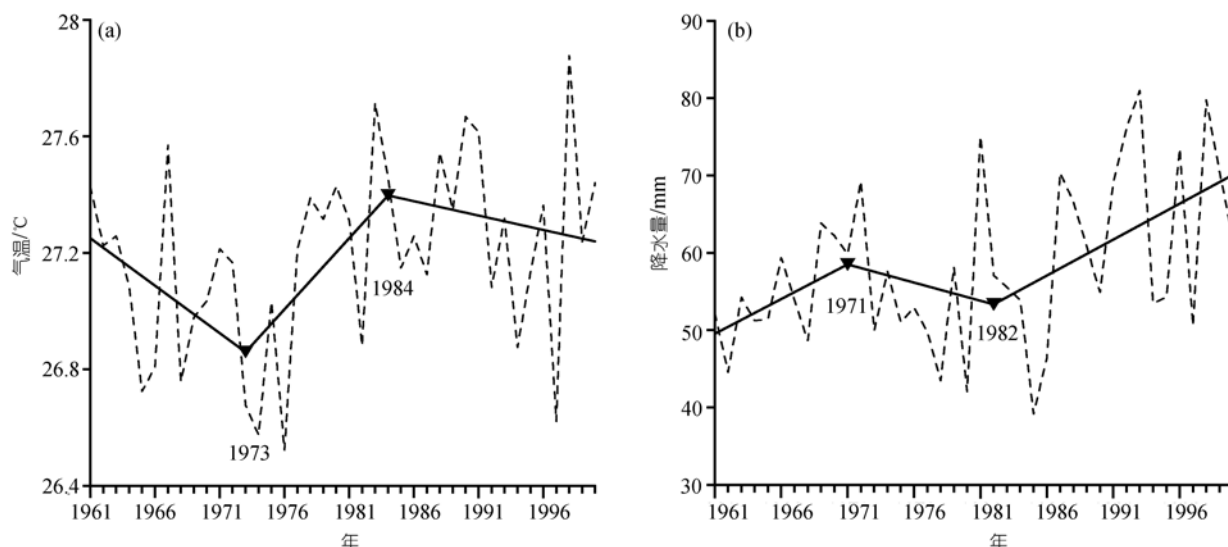


图 7 1961~2000 年华南地区夏季气温(a)和西北地区西部夏季降水量(b)的年代际趋势转折检验结果

发生了两次年代际变化趋势转折, 1976 和 1987 年分别为减少趋势到增加趋势、又从增加趋势转为减少趋势的转折点, 具有较明显的“波动”特征; 西北地区东部夏季降水在 1978 年以前为增加趋势, 1978 年以后为减少趋势(图略); 西北地区西部则较为特殊, 其夏季降水在 70 年代初期以前为增加趋势, 1971~1982 年期间为减少趋势, 80 年代初期以后又开始增加(图 7(b)), 与北方其他 3 个分区的变化存在一定的“反向”变化特征. 结合气温年代际变化趋势转折的分析结果, 东北、华北和西北地区东部 80 年代以后均出现了“暖干化”趋势, 华北地区尤为显著, 而西北地区西部则在 80 年代末期开始趋于“暖湿”, 这与相关研究 [13,23] 得到的结论基本吻合. 南方 4 个分区中, 江淮流域的夏季降水量在近 40 年中没有发生年代际变化趋势转折, 为线性增加趋势, 即江淮地区的夏季气候经历了“暖干”-“冷湿”-“暖湿”的年代际变化过程; 华南地区夏季降水量的年代际变化则与气温相反, 1973 年为夏季降水由增加趋势转为减少趋势的转折点, 1984 年则为夏季降水由减少趋势转为增加趋势的转折点, 其夏季气候在近 40 年中则经历了一个“暖干”-“冷湿”-“暖干”-“冷湿”的年代际变化过程. 西南和高原东部地区的夏季降水量年代际变化趋势一致, 1972 年以前降水量减少, 1972 年以后降水量增加(图略).

上述各分区夏季平均气温、降水年代际变化趋势转折的检验结果表明, 东北、华北地区以及西北地区东部在 20 世纪 80 年代末期以后夏季气候均趋于“暖

干”. 西南和高原东部地区则在 20 世纪 70 年代中期以后出现“暖湿”趋势, 江淮地区和西北地区西部“暖湿”趋势开始的时间则在 20 世纪 80 年代初期. 华南地区较为特殊, 其夏季气候在 1984 年以后出现了“冷湿”趋势.

4 结论

采用 Tomé 等 2004 年提出的气候变化趋势转折判别模型(PLFIM), 对 1961~2000 年中国 160 个气象站的冬、夏季气温、降水年代际变化趋势转折区域性结构及分区气候型转折特征进行了综合分析, 得到以下主要研究结论:

(i) 全国平均冬季气温在 1971 年发生了由降温趋势转为增温趋势的年代际趋势转折, 降水则发生了两次年代际趋势转折, 1982 年以后为增多趋势, 即 20 世纪 80 年代初期以后, 中国冬季气候趋于“暖湿”; 全国夏季气温和降水的年代际变化趋势转折特征相似, 均在 20 世纪 80 年代末期发生了由弱减少趋势转变为显著增加趋势的年代际趋势转折, 即 80 年代末期以后, 中国区域夏季气候亦趋于“暖湿”.

(ii) 中国 160 个地面气象站冬、夏季气温、降水分别进行的年代际趋势转折检验结果显示, 北方地区大多数站点的冬季气温在 20 世纪 70 年代初由降温趋势转变为增温趋势, 而南方大部分站点则在 20 世纪 80 年代中期才转变为增温趋势; 西北地区西部、长江下游、华南地区东部以及西南、华北、东北的部分地区大多数站点的冬季降水在 20 世纪 80 年代初期

转为增加趋势, 东北南部、长江中上游、华南地区西部、西北地区东部以及高原东部地区的多数站点则在 20 世纪 80 年代末期转为减少趋势。北方地区站点夏季气温最近一次年代际趋势转折大多发生在 20 世纪 80 年代中后期, 且转折后为增温趋势, 而南方站点大多在 20 世纪 80 年代转变为降温趋势; 华南、长江下游地区、西南地区南部以及西北地区西部大多数站点的夏季降水在最近一次的年代际趋势转折发生后为增加趋势, 转折后为减少趋势的站点则集中在东北、中国中部以及西北和华北的部分地区, 且转折发生的时间均以 20 世纪 80 年代为主。气候型年代际转折发生年份相近, 且转折后变化趋势一致的站点呈带状分布, 具有显著的区域性时空结构特征。

(iii) 各个分区冬季气温、降水量的年代际趋势转折检验结果表明, 华北地区冬季气候从 20 世纪 70 年代末期开始出现“暖干”趋势, 东北、华南、西南地区则在 20 世纪 80 年代末期开始趋于“暖干”, 其余 4 个分区则从 20 世纪 80 年代初期开始出现“暖湿”趋势。分析各分区夏季气温、降水量的年代际趋势转折则可发现, 东北、华北地区以及西北地区东部在 20 世纪 80 年代末期以后夏季气候均趋于“暖干”, 西南和高原东部地区在 20 世纪 70 年代中期以后出现“暖湿”趋势, 江淮地区和西北地区西部“暖湿”趋势开始的时间则在 20 世纪 80 年代初期, 较为特殊的是华南地区, 其夏季气候在 1984 年以后出现了“冷湿”趋势。

(iv) 站点趋势转折区域性结构特征及分区检验分析结果表明, 冬季气温由降温趋势转为增温趋势的年代际转折发生的时间是北方早于南方, 夏季则是北方晚于南方; 但转折以后北方地区冬、夏季的增温趋势均比南方地区更为显著。在最近一次年代际趋势转折发生以后, 南方大部分地区的夏季降水为增加趋势, 北方除了西北地区西部以外均以减少趋势为主, 呈显著的“南涝北旱”变化趋势。

致谢 里斯本大学的 A. R. Tomé 提供了本文研究使用的趋势转折判别模型 Fortran 源程序, 特此表示感谢。本工作受国家自然科学基金(批准号: 90502003)和国家重点基础研究发展计划(批准号: 2003CB716806)项目资助。

参 考 文 献

- 1 陈隆勋, 朱文琴, 王文, 等. 中国近 45 年来气候变化的研究. 气象学报, 1998, 56(3): 257—271

- 2 王遵娅, 丁一汇, 何金海, 等. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. 气象学报, 2004, 62(2): 228—236
- 3 陈隆勋, 周秀骥, 李维亮, 等. 中国近 80 年来气候变化特征及其形成机制. 气象学报, 2004, 62(5): 634—645
- 4 王绍武, 龚道溢, 叶瑾琳, 等. 1880 年以来中国东部四季降水量序列及其变率. 地理学报, 2000, 55(3): 281—293
- 5 Lu A G, He Y Q, Zhang Z L, et al. Regional structure of global warming across China during the twentieth century. *Climate Res*, 2004, 27(3): 189—195
- 6 Liu B, Xu M, Henderson M, et al. Taking China's temperature: daily range, warming trends, and regional variations, 1955—2000. *J Climate*, 2004, 17(22): 4453—4462[DOI]
- 7 Qian W H, Lin X. Regional trends in recent temperature indices in China. *Climate Res*, 2004, 27(2): 119—134
- 8 黄荣辉, 徐予红, 周连童. 中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(4): 465—476
- 9 Hu Z Z, Yang S, Wu R G. Long-term climate variations in China and global warming signals. *J Geophys Res*, 2003, 108(D19), doi: 10.1029/2003JD003651
- 10 陆日宇. 华北汛期降水量年代际和年际变化之间的线性关系. 科学通报. 2003, 48(7): 718—722
- 11 Gong D Y, Ho C H. Shift in the summer rainfall over the Yangtze River valley in the late 1970s. *Geophys Res Lett*, 2002, 29(10), doi: 10.1029/2001GL014523
- 12 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号\影响和前景初步探讨. 冰川冻土, 2002, 24(3): 219—226
- 13 于淑秋, 林学椿, 徐祥德. 中国西北地区近 50 年降水和温度的变化. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 9—18
- 14 Zhai P M, Zhang X, Wan H, et al. Trends in total precipitation and frequency of daily precipitation extremes over China. *J Climate*, 2005, 18(7): 1096—1108[DOI]
- 15 陈隆勋, 劲永宁, 张清芬, 等. 近 40 年来中国气候变化的初步分析. 应用气象学报, 1991, 2(2): 164—173
- 16 姚辉. 中国西北地区气温分区及其变化的初步研究. 应用气象学报, 1994, 5(2): 238—240
- 17 王宝灵. 中国西北地区 6 月降水量最近 30 年明显递增. 气象, 1997, 23(6): 39—45
- 18 Tomé A R, Miranda P M A. Piecewise linear fitting and trend changing points of climate parameters. *Geophys Res Lett*, 2004, 31(2), doi: 10.1029/2003GL019100
- 19 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(2): 209—219
- 20 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法. 大气科学, 1992, 16(4): 482—493
- 21 Solow A R. Testing for climatic change: An application of the two-phase regression model. *J Climate Appl Meteor*, 1987, 26: 1401—1405[DOI]
- 22 Ding Y G, Tu Q P, Wen M. A statistical model for investigating climatic trend turning points. *Adv Atmos Sci*, 1995, 12(1): 47—56
- 23 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(3): 274—290

(2006-03-15 收稿, 2006-04-29 接受)