

近 48 年中国的季节变化与极端温度事件的联系*

赵俊虎¹⁾²⁾ 封国林^{2)†} 张世轩¹⁾ 孙树鹏¹⁾

1) (兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

2) (国家气候中心气候研究开放实验室, 北京 100081)

(2010 年 10 月 9 日收到; 2010 年 12 月 16 日收到修改稿)

利用中国 1961—2008 年 752 个站点逐日温度、气压、相对湿度和降水量资料, 采用非线性相似度量方法对中国四季进行了划分, 对比分析了中国的 8 个区域与全国整体的季节变化. 此外, 研究了中国极端温度频次的年际变化, 并通过相关分析和敏感性试验探讨了中国近 48 年四季变化与极端温度事件的联系. 结果表明: 1) 随着全球变暖中国大部分地区春、夏季起始时间提前, 持续时间延长; 秋季起始时间变化不大, 但持续时间延长; 冬季起始时间推后, 持续时间显著缩短. 2) 随着夏季延长, 除华东以外中国大部分地区极端高温频次增加; 随着冬季缩短, 中国大部分地区极端低温频次下降, 且下降趋势显著. 3) 极端高温和低温的存在及其年际变化是导致夏季、冬季持续日数变化的原因之一, 也是导致夏季、冬季持续日数出现大幅波动的主要原因.

关键词: 非线性相似度量方法, 季节变化, 极端温度

PACS: 92. 70. Kb, 92. 60. Ry

1. 引言

由于寒暑枯泽这种大自然的韵律和一切生物的生息发展有极其密切的关系, 所以制定季节, 无论对游牧民族或农业民族都是非常重要的事情. 中国在划分四季方面开始得很早. 古代如《尧典》中有“日中星鸟, 以殷仲春”, “日永星火, 以正仲夏”, “宵中星虚, 以殷仲秋”, “日短星昴, 以正仲冬”四句话, 说的是根据黄昏时南方天空所看到的不同恒星, 来划分季节. 季节的划分, 有以天文因子为主的, 有结合气候和农业生产把一年分为 24 节气, 也有气象要素或者大气环流为主的^[1-6], 不同的方法所划分的季节时段也不尽相同.

季节的变迁与农作物的类型、产量以及农林分布等紧密相关, 因此研究季节起始时间以及持续长度变化具有十分重要的意义. 而季节变迁除了受太阳直射角变化影响外, 还受大气环流和天气系统变化的影响. 所以季节变化应该体现在天气气候系统的各个方面, 包括温度、气压、相对湿度、风和降水量等各气象要素. 因而仅用一个气象要素 (如常规

的张氏方法^[1]) 进行季节划分便具有一定的局限性, 对有些地区也并不适用, 如汤懋苍等研究指出, 高原地区的四季划分应该比张氏标准低 5℃^[7]. 为此, 孙树鹏等^[8]通过选取候平均气温、气压、相对湿度和降水量等四个要素, 然后以其经验正交函数 (EOF) 分解第一特征向量所占总体解释方差的比例为权重系数, 构造一高维矢量作为描述气候状态变化的变量, 并结合气候状态在不同季节间的转折变化, 提出一种基于非线性相似度量季节划分方法, 它比单一要素更能准确地反映气候状态的季节变化特征, 在四季划分上比以往方法更具优势. 本文即采用基于非线性相似度量方法对中国四季进行了划分, 据此研究了近 48 年中国四季起始时间以及持续天数的变化规律.

近年来大量研究表明, 在全球变暖的背景下, 大部分陆地地区极端冷事件发生频率逐渐减少, 而极端暖事件发生频率明显增加, 其中极端冷事件频率的减少比极端暖事件的增加更为明显^[9-13]. 极端温度表征了到达地面的太阳辐射的异常情况, 如极端高温代表到达地面的太阳辐射的正异常. 季节变化可以看作是当地的天气气候系统在太阳辐射和下垫面性质等外在强迫影响下, 受大尺度甚至全球

* 国家自然科学基金 (批准号: 40875040, 40930952) 和科技支撑项目 (批准号: 2007BAC29B01, 2009BAC51B04) 资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: fenggl@cma.gov.cn

天气气候状态影响而发生的自身性质的演变,因此地面太阳辐射异常形成的极端温度可能与季节持续时间或来临时间的变化有着内在或外在的联系.另外,近 50 年来随着全球变暖和城市化的发展,大部分区域的地面太阳辐射都经历了一个从减少到增加的过程,也就是所谓的地球“变暗”到“变亮”,地面太阳辐射的这种变化将产生重要的气候效应^[14],也会对极端温度、降水等极端天气气候事件的发生产生影响,这对四季的变迁以及季节的年际变化也可能有重要的作用.

据此本文通过一个新的季节概念框架研究了中国季节的变化,采用百分位阈值法定义极端温度事件,对中国近 48 年的极端温度频次进行分析,并探讨了季节变化趋势和极端温度事件变化趋势之间的关联性,最后通过敏感性实验分析了极端温度事件频次对季节变化的可能影响,以发掘气候的季节变化和极端温度事件之间的可能联系.

2. 资料和方法

2.1. 资料和方法

文中所用资料来源于中国气象局国家气象信息中心提供的中国 752 个测站 1961—2008 年的逐日日平均温度、气压、相对湿度和降水量资料.本文与文献[8]属同一研究系列,故资料预处理和季节划分采用的非线性相似度量方法不再冗述,详见文献[8],经过预处理后满足条件的 388 个站点分布如图 1.

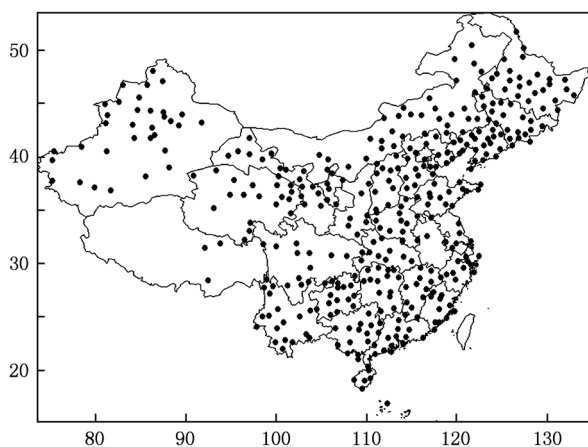


图 1 中国 388 个站点分布图

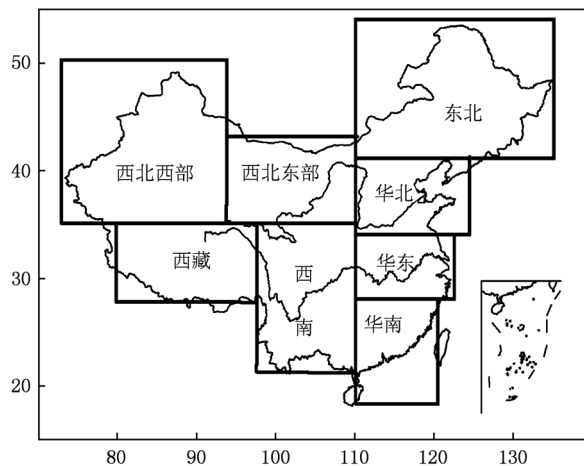


图 2 中国的 8 个分区

2.2. 分区

根据研究需要,参照《中国自然地理》把中国划分为八个区,如图 2. 八个区分别为:(A) 华南地区,包括广东、广西东部、福建、江西南部、湖南南部,覆盖 15 个格点;(B) 华东地区,包括江苏、浙江、安徽、河南、湖北等地,覆盖 18 个格点;(C) 华北地区,包括河北、山东、山西东部、北京和天津,覆盖 12 个格点;(D) 东北地区,包括黑龙江、吉林、辽宁、内蒙古东北大部,覆盖 55 个格点;(E) 西北西部,为新疆地区,覆盖 28 个格点;(F) 西北东部,包括内蒙古中段及西部、陕西北部、宁夏、甘肃北部,覆盖 42 个格点;(G) 西藏地区,包括西藏、青海西南部,覆盖 24 个格点;(H) 西南地区,包括云南、贵州、广西西部、四川、重庆、湖南西部、陕西南部,覆盖 20 个格点.

3. 季节变化

3.1. 不同区域季节变化的趋势

由于我国地域辽阔,地形复杂,地势西高东低呈三级阶梯状分布,从南到北跨热带、亚热带、温带、寒温带、寒带 5 个温度带,气候类型多样且变化剧烈,因此不同的地区所受的主要天气系统各不相同^[15-17],导致各地区四季的起始时间和持续日数以及季节变化对全球变暖的响应均存在着一定的差异.因此,根据 2.2 节的分区,分别对全国 8 个区域进行季节划分,得出各个区域近 48 年四季平均起始时间和持续时间演变序列(各区四季起始时间持续

时间图略,表1给出了各自的年际变化线性趋势拟合斜率),并简要分析其变化原因.

表1 四季起始时间和持续日数线性趋势拟合斜率(单位:天/年)

	全国	华南	华东	华北	东北	西北东	西北西	西藏	西南
春季起始时间	-0.024	-0.031	-0.008	-0.005	-0.021	-0.008	-0.03	-0.034	-0.009
夏季起始时间	-0.013	-0.029	-0.014	-0.009	0.001	-0.006	-0.032	-0.031	-0.013
秋季起始时间	-0.002	-0.001	-0.008	-0.006	0.002	0.003	0.005	-0.025	-0.015
冬季起始时间	0.019	0.019	0.009	0.001	0.014	0.009	0.022	0.026	0.007
春季持续日数	0.056	0.015	-0.025	-0.023	0.113	0.007	-0.013	0.01	-0.021
夏季持续日数	0.06	0.145	0.031	0.019	0.007	0.049	0.195	0.039	-0.01
秋季持续日数	0.102	0.098	0.085	0.028	0.058	0.031	0.081	0.25	0.11
冬季持续日数	-0.216	-0.256	-0.089	-0.022	-0.177	-0.084	-0.262	-0.297	-0.077

从表1中8个区域四季起始时间的线性趋势拟合斜率可以看出,8个区域春季均表现为提前趋势,其中华南和西北西部以及西藏地区提前趋势最为显著;除东北地区之外其余7个区域夏季起始时间呈提前趋势,其中华南、西北西部、西藏地区较全国提前趋势更为明显;8个区域秋季起始时间表现不一致,且其线性趋势拟合斜率较小,即秋季起始时间变化不大;与春季相反,全国8个区域冬季起始时间均推后,其中西北西部地区 and 西藏地区推迟趋势较明显.从四季持续日数的线性趋势拟合斜率可以看出,全国春季持续日数总体延长,其中东北地区延长趋势最大,而华东、华北、西北西部、西南四个地区持续日数缩短;与全国平均趋势相比,华南和西北西部地区夏季持续日数线性趋势拟合斜率高于全国平均,增长趋势最明显;西北东部次之,华东、华北、东北、西藏地区线性趋势拟合斜率低于全国平均,也有一定的增长,而西南地区夏季持续日数出现微弱的下降趋势;秋季持续日数均呈线性增长;8个区域冬季持续日数均缩短,其中西藏、西北西部、华南三个地区线性趋势拟合斜率小于全国平均,缩短最为明显;华东、西北东部和西南地区次之,华北地区缩短程度最弱.

20世纪80年代以来,我国气候学家对近百年尤其是近50a来中国气候变化作了不少研究,发现近40—50a中国温度的变化趋势和全球变暖并不完全同步,变化的特点是20世纪70年代后气温变暖主要发生在35°N以北地区,变暖最大在西北和东北北部,在35°N以南直到23°N以及100°E以东地区存在一个变冷区(即西南地区),变冷中心位于四川,这一特征主要反映冬季平均温度的变化特点^[18—20].夏季华南、华北地区20世纪80年代起有

变暖趋势,长江中下游两侧地区则有明显的降温^[21,22].对于各季的变化,变化振幅最大的是冬季,其次是秋季和夏季,春季变化最小,对于20世纪80年代中期以后的增暖,贡献最大的是冬季和秋季^[23].这种温度变化趋势与我们研究发现的华南、西北夏季持续时间增长而西南夏季缩短以及全国各区冬季缩短的趋势相对应.

综上所述,在全球变暖的背景下,近半世纪以来我国各个地区四季起始时间和持续时间的变化趋势表现出了不同的地域特征.

3.2. 中国四季平均起始时间逐年变化

对1961—2008年各年的四季起始时间序列进行全国平均,得到48年中国四季平均起始时间序列,其距平逐年变化如图3所示.

从图3四季起始时间距平逐年变化的线性趋势可以看出:中国春季平均起始时间呈线性下降的趋势,即春季起始时间提前,其中从20世纪90年代后期至2008年显著提前;夏季平均起始时间的变化类似春季,即夏季起始时间也呈提前的变化趋势,且这种趋势从20世纪80年代中期开始;近48年秋季平均起始时间变化幅度相对平稳;冬季起始时间的变化分为两个阶段,20世纪60年代至80年代中期冬季开始较早,80年代中期开始转变为明显的推迟趋势,冬季起始时间最早和最晚年份之间相差可达15天以上.

3.3. 中国四季平均持续日数逐年变化

对1961—2008年各年的四季持续日数序列进行全国平均,得到近48年中国四季平均持续日数序列,其距平逐年变化如图4所示.

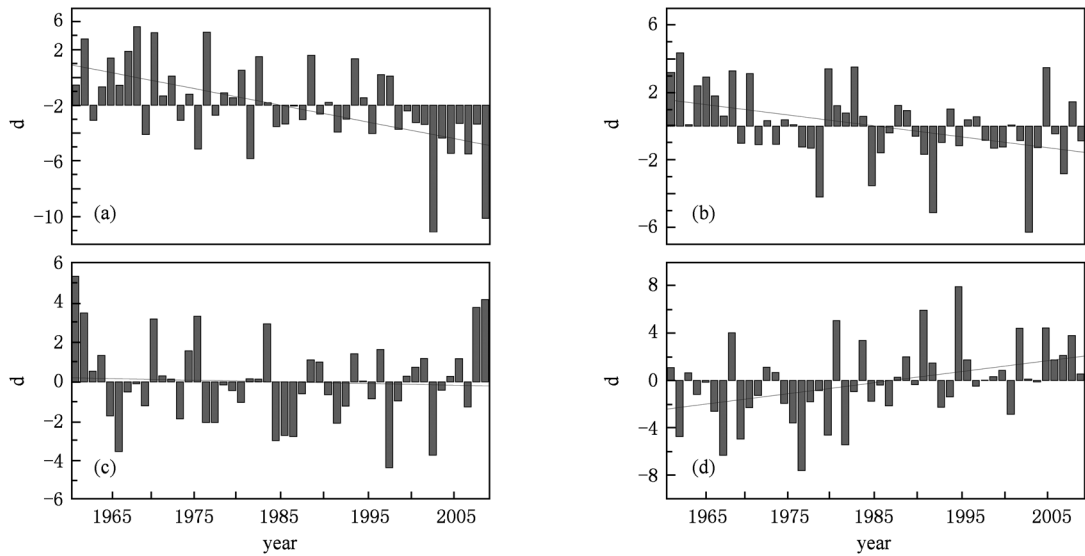


图3 1961—2008 年中国四季平均起始时间距平逐年变化(直方图)和线性趋势(实线) (a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季

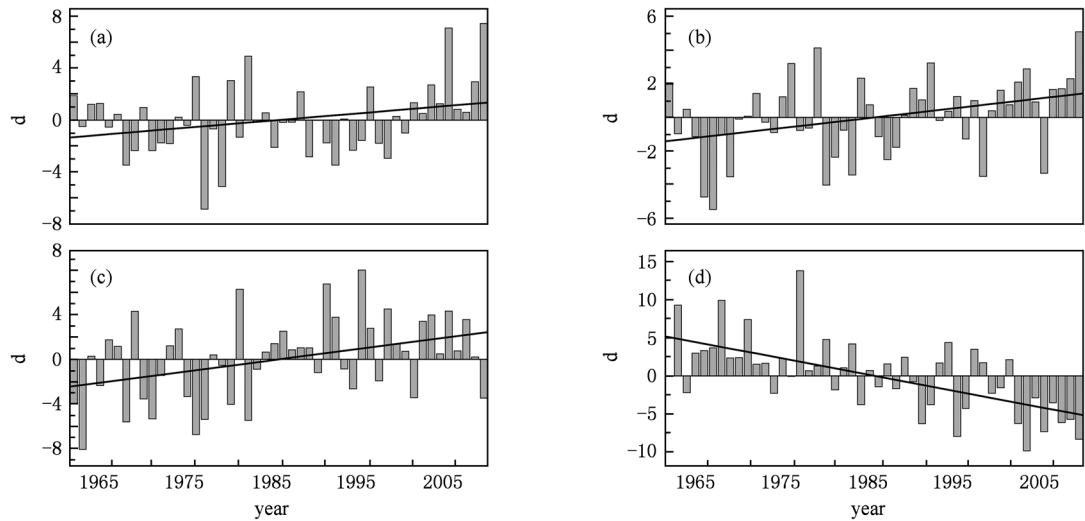


图4 1961—2008 年中国四季平均持续日数距平逐年变化(直方图)和线性趋势(实线) (a)春季;(b)夏季;(c)秋季;(d)冬季

从图4 中国四季持续日数距平逐年变化的线性趋势可以看出:1961—2008 年中国春季平均持续天数呈波动变化的状态,总体表现为弱的增加趋势,但幅度较小,20 世纪90 年代中期以后其增长趋势明显;夏季平均持续天数总体上呈波动上升的趋势,上升分两个时段,一是20 世纪70 初期至70 年代中后期,另一个时段是20 世纪80 年代中后期至21 世纪初;秋季平均持续天数变化幅度相对较大,20 世纪80 年代之前秋季较短,80 年代之后秋季延

长;近48 年来,中国冬季平均持续日数和秋季相反,呈先长后短的状态,冬季持续日数最长和最短相差可达20 天以上。

4. 极端温度频次分析

从统计学的角度看,极端气候事件是一种小概率事件.为了克服传统定义中绝对阈值法所得到的极端事件无法顾及不同区域的气候和地理差异的

缺陷,本文采用百分位法^[24-26]定义极端温度事件,从而兼顾到区域气候的差异.

首先,利用百分位阈值法,检测出 1961—2008 年 388 逐个站点 90 百分位下的极端高温事件和 10 百分位下极端低温事件的频次,计算全国每年平均频次,然后求其距平,得到全国极端高温与极端低

温事件频次距平图(图 5). 从二者的线性拟合趋势可以看出极端高温频次上升,且 20 世纪 90 年代中后期上升趋势明显强于 48 年的整体趋势,而极端低温频次下降,且其下降趋势较极端高温频次上升趋势明显.

其次,分别统计 8 个区域内的所有站点的极端

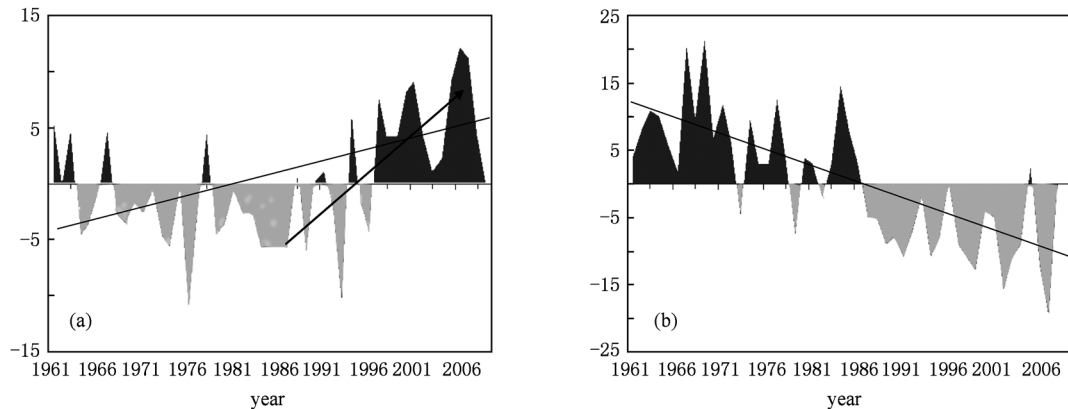


图 5 中国极端温度频次年际变化距平图(单位:天) (a) 极端高温;(b) 极端低温

温度逐年频次,然后做区域平均,得到各个区域极端温度频次的年际变化图(图略). 表 2 给出了极端高、低温频次年际变化线性趋势斜率,可以看出,有 7 个区域极端高温频次呈现上升趋势,其中华南、西北东部、西藏、东北地区上升趋势显著,华东地区与其余 7 个地区相反,极端高温频次呈微弱的下降趋势;而 8 个区域极端低温频次均呈下降趋势,下降幅

度较大. 已有研究指出^[27-29],最高和最低气温的变化在各个区域内部存在差异. 高温在夏季,华北、黄淮流域和四川盆地为降温区,而增温主要发生在川藏交界. 冬季时,西北、华北、内蒙、东北等纬度较高的地区最低温度趋势明显增暖;在黄河以南最低温度增暖趋势随纬度降低有所减缓. 本文所得结论与上述研究结果较为一致.

表 2 极端高、低温频次年际变化线性趋势拟合斜率

	全国	华南	华东	华北	东北	西北东	西北西	西藏	西南
极端高温	0.169	0.338	-0.003	0.099	0.194	0.281	0.167	0.391	0.199
极端低温	-0.503	-0.443	-0.407	-0.547	-0.583	-0.568	-0.481	-0.498	-0.494

5. 季节变化与极端温度的联系

5.1. 季节与极端温度的相关性

图 6 给出了中国夏季平均持续日数与夏季平均极端高温频次(a)、冬季平均持续日数与冬季平均极端低温频次(b)标准化的时间序列. 从图中可以看出夏季持续日数和极端高温频次、冬季持续日数和极端低温频次均有很好的对应关系,二者的相关

系数分别为 0.355, 0.543, 均通过了 95% 的信度检验. 说明夏季持续日数长的年份极端高温频次多,相反夏季持续日数短的年份极端高温频次相对较少,且近 48 年随着夏季持续日数的增长极端高温频次是增加的;冬季持续日数长的年份极端低温频次多,相反冬季持续日数短的年份极端低温频次相对较少,且近 48 年随着冬季持续日数的明显缩短极端低温频次也显著下降. 由此可见,在季节长短改变的背景下,极端温度事件频次也有相应的变化.

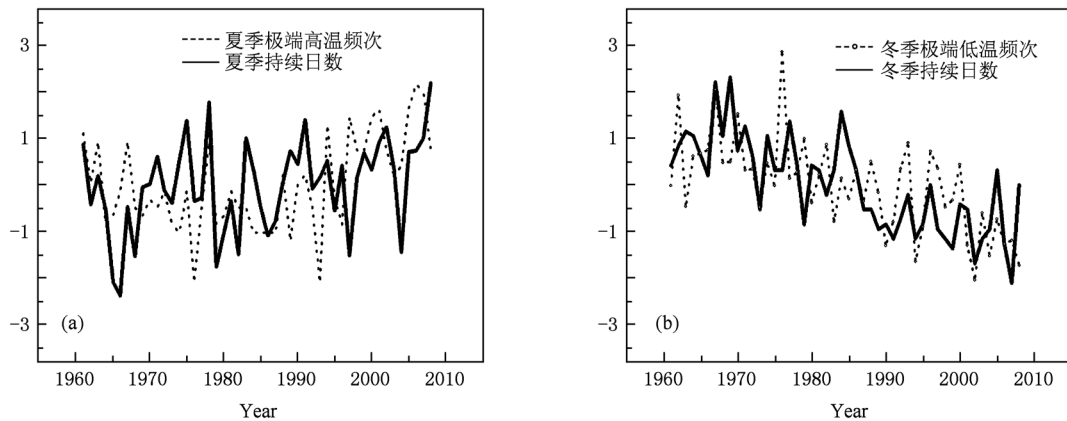


图6 中国1961—2008年夏季(冬季)持续日数与极端高温(低温)频次标准化时间序列 (a)夏季;(b)冬季

5.2. 极端温度对季节变化的影响

为了考察极端温度事件对季节变化的影响,我们做了如下敏感性试验:将原始温度资料中90百分位以上的极端高温用1961—2008年48年夏季(6,7,8月)平均温度值替换,将10百分位以下的极端低温用48年冬季(12,1,2月)平均温度值替换,即滤去了极端温度,然后采用相似性度量检测方法进行季节划分,把划分出的四季起始时间和持续日数与原季节划分出的结果进行对比分析.从图7可以看出,滤除极端温度后四季总体的起始时间都提前,其中春季大部分年份起始时间提前,个别年份推迟,波动幅度不大;夏季、秋季起始时间的提前幅度较春季大,春夏秋三季年际变化趋势相似;而冬季明显提前,提前幅度最大,最多提前3候左右,且20世纪80年代以后,冬季起始时间变化曲线与春夏秋三季起始时间变化曲线之间距离变大,即冬季起始时间显著提前.

结合图8替换极端温度后季节划分下夏、冬季持续时间的变化,可以看出替换掉极端温度以后夏季持续日数比原季节划分下夏季持续日数短(说明极端高温的增加是导致夏季持续日数延长的原因之一),但年际变化趋势和原季节划分下基本一致,线性趋势较以前有所减小,即夏季持续日数还是呈现增加趋势,这可能是夏季平均温度上升造成的;而冬季持续日数较原季节划分下冬季持续日数长,且20世纪80年代以后,替换极端温度后的冬季持续日数与未替换之前冬季持续日数之间距离逐渐变大,结合图5(b)中显示20世纪80年代开始中国极端低温频次明显减少,可以说明极端低温频次的

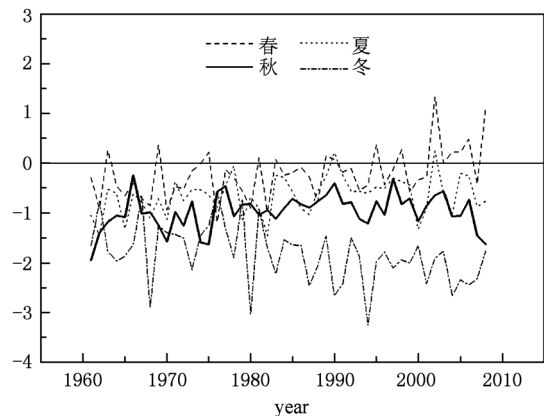


图7 替换极端温度后季节划分下四季起始时间变化(纵坐标为替换极端温度后季节划分下四季起始时间与原季节划分下四季起始时间的差值,单位:候)

减少是导致冬季持续日数缩短的原因之一,但冬季持续日数的年际变化趋势和原季节划分下基本一致,线性下降趋势较以前有所减小,即冬季持续日数还是呈现缩短趋势,这可能是冬季平均温度上升的原因.此外,不论是夏季还是冬季,替换极端温度以后两季持续日数较原季节划分下波动幅度明显减小,说明极端温度的存在及其年际变化是导致夏、冬两季持续日数大幅波动的主要原因.

6. 结 论

本文利用非线性相似度量方法对中国四季进行了划分,对比分析了中国的8个区域与全国整体的季节变化.此外,研究了中国极端温度频次的年际变化,并通过相关分析和敏感性试验探讨了中国近48年四季变化与极端温度事件的联系.结果表

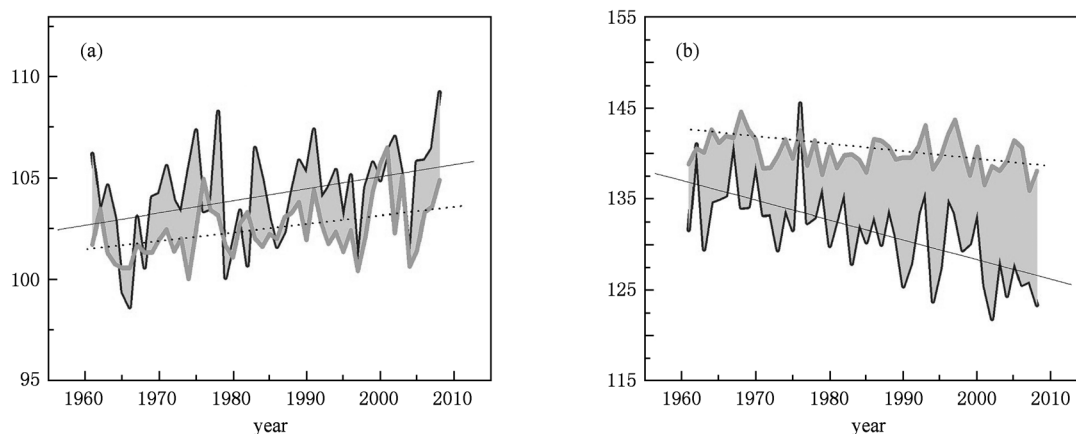


图8 替换极端温度后季节划分下季节持续时间变化(黑色曲线为原季节划分下季节的持续日数,直线是其线形拟合趋势线;灰色曲线为替换掉极端温度后季节划分下季节的持续日数,点线是其线形拟合趋势线;单位:天) (a)夏季;(b)冬季

明:1)中国大部分地区春、夏两季起始时间提前,持续时间延长;秋季起始时间变化不大,持续时间延长;冬季起始时间推后,持续时间缩短.2)中国极端高温频次上升,而极端低温频次下降;除华东地区外中国其他7个区域极端高温频次呈上升趋势,而8个区域极端低温频次均呈下降趋势,且下降幅度较大.3)随着夏季变长,极端高温频次增加,而随着冬季缩短极端低温频次也减少;滤除极端温度以后,夏季持续日数缩短,冬季持续日数延长,且冬夏两季持续日数波动幅度明显减小,说明极端高温和低温的存在及其年际变化是导致夏季、冬季持续日

数变化的原因之一,也是导致夏季、冬季持续日数出现大幅波动的主要原因.

综上所述,全球变暖的背景下,中国四季的起始时间和持续日数已经发生了改变,这将对人类的生存环境产生影响,如夏季持续时间的增加可能会使高温热浪天气增多,而极端低温频次下降也可能使冬季缩短.本文仅中国四季变化和极端温度事件以及二者关系做了相关研究,而对其他极端天气气候事件对季节的影响以及季节变化对农业和经济影响的评估还有待进一步探讨.

- [1] Zhang B K 1934 *Acta. Geog. Sin.* **1** 1 (in Chinese) [张宝堃 1934 地理学报 **1** 1]
- [2] Liu K N, Wu H X 1956 *Acta. Meteo. Sin.* **27** 219 (in Chinese) [刘匡南、邬鸿勋 1956 气象学报 **27** 219]
- [3] Zeng Q C, Zhang B L 1992 *Chinese J. Atmos. Sci.* **16** 641 (in Chinese) [曾庆存、张邦林 1992 大气科学 **16** 641]
- [4] Zhang B L, Zeng Q C 1998 *Chinese J. Atmos. Sci.* **22** 129 (in Chinese) [张邦林、曾庆存 1998 大气科学 **22** 129]
- [5] Dong W J, Jiang Y D, Yang S 2010 *Climatic Change* **99** 81
- [6] Miu Q L, Wang Y 2007 *Annual Conference of China Meteorological Society Guangzhou*, November 23-25, 2007 p693 (in Chinese) [缪启龙、王 勇 2007 中国气象学会 2007 年年会 第693页]
- [7] Tang M C, Zhong H L, Li D L 2003 *Plateau. Meteo.* **22** 440 [汤懋苍、钟海玲、李栋梁 2003 高原气象 **22** 440]
- [8] Sun S P, Zhang L, Hou W, Feng G L 2011 *Acta. Phys. Sin.* **60** 029201 (in Chinese) [孙树鹏、张 璐、侯 威、封国林 2011 物理学报 **60** 029201]

- [9] Solomon S, Qin D H, Manning M, Alley R B, Bernsten T 2007 *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Working Group I Contribution to the IPCC Fourth Assessment Report* (Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA: Cambridge University Press) p316
- [10] Dai X S 2008 *Meteorology Soft Sciences* **1** 151 [戴晓苏 2008 气象软科学 **1** 151]
- [11] Ren G Y, Feng G L, Yan Z W 2010 *Advances in Climate Change Research* **15** 4 (in Chinese) [任国玉、封国林、严中伟 2010 气候与环境研究 **15** 4]
- [12] Jang Z H, Li J P, Tu Q P, Zhang Q 2004 *Chinese J. Atmos. Sci.* **28** 545 (in Chinese) [江志红、李建平、屠其璞、张 强 2004 大气科学 **28** 545]
- [13] Feng G L, Yang J, Wan S Q, Hou W, Zhi R 2009 *Acta. Meteo. Sin.* **67** 61 (in Chinese) [封国林、杨 杰、万仕全、侯 威、支蓉 2009 气象学报 **67** 61]
- [14] Shen Y B, Zhao Z C, Shi G Y 2008 *Advances in Earth Science* **23** 1001 (in Chinese) [申彦波、赵宗慈、石广玉 2008 地球科学进展 **23** 1001]

- [15] Zhang J C, Lin Z G 1985 *Climate of China* (Shanghai: Shanghai Scientific and Technical Publishers) p55 (in Chinese) [张家诚、林之光 1985 中国气候(上海:上海科学技术出版社)第55页]
- [16] Feng G L, Dong W J, Gong Z Q, Hou W, Wan S Q, Zhi R 2006 *Nonlinear theories and methods on spatial-temporal distribution of the observational data* (Beijing: Metrological Press) p227 (in Chinese)[封国林、董文杰、龚志强、侯威、万仕全、支蓉 2006(观测数据非线性时空分布理论和方法气象出版社)第227页]
- [17] Feng G L, Dai X G, Wang A H, Chou J F 2001 *Acta. Phys. Sin.* **50** 4 606 (in Chinese)[封国林、戴新刚、王爱慧、丑纪范 2001 物理学报 **50** 606]
- [18] Tu Q P 2000 *Acta. Meteo. Sin.* **58** 288 (in Chinese) [屠其璞 2000 气象学报 **58** 288]
- [19] Ren G Y, Chu Z Y, Zhou Y Q 2005 *Climatic and Environmental Research* **10** 701 (in Chinese)[任国玉、初子莹、周雅清 2005 气候与环境研究 **10** 701]
- [20] Qian W H, Chen D L, Lin X 2004 *Climate Change News-letter* **3** 8 (in Chinese) [钱维宏、陈德亮、林祥 2004 气候变化通讯 **3** 8]
- [21] Wang Z Y, Ding Y H, He Jinhai, Yu J 2004 *Acta. Meteo. Sin.* **62** 228 (in Chinese) [王遵娅、丁一汇、何金海、虞俊 2004 气象学报 **62** 228]
- [22] Ren G Y, Guo J, Xu M Z, Chu Z Y 2005 *Acta. Meteo. Sin.* **63** 942 (in Chinese) [任国玉、郭军、徐铭志、初子莹 2005 气象学报 **63** 942]
- [23] Yan Z, Xia J, Qian C, Zhou W 2010 *Adv. Atmos. Sci.* doi: 10.1007/s00376-010-0006-3
- [24] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A 2001 *J. Climate* **5** 1959
- [25] Folland C K, Miller C, Bader D 1999 *Climate Change* **42** 31
- [26] Zhang D Q, Feng G L, Hu J G 2008 *Chin. Phys. B* **17** 736
- [27] Gong Z Q, Wang X J, Zhi R, Feng G L 2009 *Acta. Phys. Sin.* **58** 4342 (in Chinese) [龚志强、王晓娟、支蓉、封国林 2009 物理学报 **58** 4342]
- [28] Zhai P M, Ren F M 1997 *Acta. Meteo. Sin.* **55** 418 (in Chinese)[翟盘茂、任福民 1997 气象学报 **55** 418]
- [29] Wang C H, Li X, Miao Q L 2003 *Scientia Geographica Sinica* **23** 441 (in Chinese) [王翠花、李雄、缪启龙 2003 地理科学 **23** 441]

Seasonal changes in China during recent 48 years and their relationship with temperature extremes^{*}

Zhao Jun-Hu¹⁾²⁾ Feng Guo-Lin^{2)†} Zhang Shi-Xuan¹⁾ Sun Shu-Peng¹⁾

1) (College of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

2) (Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, China Meteorological Administration, Beijing 100081, China)

(Received 9 October 2010; revised manuscript received 16 December 2010)

Abstract

With nonlinear similarity method, we divided the seasons for whole China on the basis of daily mean temperature, pressure, relative humidity and precipitation at 752 stations for the period 1961—2008, and analyze the seasonal division for eight regions of China and seasonal times. In addition, the relevant statistic data are established which contain the annual variation in frequency of extreme temperature in China. By combining these two research findings, their relationship over the past 48 years is found through correlation analysis and sensitivity test. The results show that: (1) in most areas of China, the spring and summer starting time move up, their durations are extended, autumn starting time changes a litter, and its duration is extended, while winter is pushed back the starting time, and its duration is shortened. (2) With the summer extending, the frequency of extreme high temperature is increased in most areas of China except East China, while the shortening of winter results in the frequency of extreme low temperature declining markedly. (3) The existence and the annual change of extreme high and low temperature are the reason why the lengths of summer and winter change, and they are also the main reason why the substantial fluctuations of the lengths of summer and winter take place.

Keywords: non-linear similarity method, seasonal changes, temperature extremes

PACS: 92. 70. Kb, 92. 60. Ry

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundations of China (Grant Nos. 40875040, 40930592), and the State Key Program of Science Technology of China (Grant Nos. 2007BAC29B01, 2009BAC51B04).

[†] Corresponding author. E-mail: fenggl@cma.gov.cn