

基于气候变化综合指数的中国近 50 年来 气候变化敏感性研究*

吴浩¹⁾²⁾ 侯威^{2)†} 钱忠华¹⁾³⁾ 胡经国¹⁾

1) (扬州大学物理科学与技术学院, 扬州 22500)

2) (国家气候中心, 北京 100081)

3) (兰州大学大气科学学院, 兰州 730000)

(2011 年 10 月 27 日收到; 2011 年 12 月 14 日收到修改稿)

气候变化指数是目前有关气候变化研究领域的前沿课题, 国内外在气候变化研究领域存在着许多具体指数, 但关于综合指数的研究却非常少见. 本文将基于温度和降水的单一要素指数的气候变化信息进行综合, 得到一个综合气候变化指数 CCI (climate change index) 以评估中国近 50 年来的气候变化及其区域敏感性. 指数大小表征气候突变前后极端气候事件的频数之差, 反映该地区应对气候变化的能力, 反映该地区对气候变化的敏感性. 通过该指数可以获得多种气候变化的相关信息, 从而为更好地应对极端气候事件提供判断依据. 研究结果显示, 内蒙古大部、东北中部、云南以及西北中部等地 CCI 指数较大, 说明这些地区相对于气候突变之前极端气候事件频发. 中国各个省份中的所有站点的 CCI 指数平均值表明, 中国江南和西南东部对气候变化不敏感; 华北和东北地区极端气候事件频发. 气候变化在高纬度地区和热带、亚热带地区表现明显, 北方和西南比较敏感, 而黄河以南敏感性较弱, 沿海地区由于受季风及台风带来的强降水的影响, CCI 指数相对偏大, 敏感性较强.

关键词: 气候变化指数, 温度, 降水, 敏感性

PACS: 92.70.Aa

1 引言

科学研究证实, 人类活动导致了近 50 年来的全球普遍增温, 预计随着大气中二氧化碳等温室气体浓度的进一步增加, 到 2100 年全球平均气温将升高 1.4 °C—5.8 °C. 全球增暖还将导致地球气候系统发生深刻变化, 在全球气候变化的背景下, 极端天气气候事件的发生频率和强度明显增强^[1,2]. 由于气候变化与人类活动和生产密切相关, 因此对其变化及可预报性的研究是全球关注的热点, 近百年来, 气候变化更是人们关注的焦点. 面对气候变化对人类社会带来的显著影响, 国际社会需要可靠和良好的气候变化综合信息, 来评估并积极应

对气候变化^[3]. 气候变化指数是目前有关气候变化研究领域的前沿课题, 各国政府和研究人员可以通过气候变化指数来获得有关全球及区域气候变化科学事实的简要概述. 目前, 国内外在气候变化研究领域存在着许多具体指数^[4-7], 但关于综合指数的研究却非常少见^[8,9]. 2009 年联合国气候变化会议认为综合指数为研究全球及区域气候变化提供了一条新的、可行的思路.

气候突变是普遍存在于气候系统中的一种重要现象, 是指气候从一种稳定态 (或稳定持续的变化趋势) 跳跃式地转变到另一种稳定态 (或稳定持续的变化趋势) 的过程, 它表现为气候在时空上从一个统计特征到另一种统计特征的急剧变化^[10]. 本文将基于温度和降水的单一要素指数的气候变

* 全球变化研究国家重大科学研究计划 (批准号: 2012CB955902) 和国家自然科学基金 (批准号: 41175067, 41105033) 资助的课题.

† E-mail: hou_w@sohu.com

化信息进行综合,得到一个综合指数以评估不同地区对气候变化敏感性.这一综合指数可以在全球或各国的层面进行计算,并可以和全球或各国的社会、经济指数做比较,具有较好的适用性.由于气候变化指数对于各种参数的假设依赖大大减少,本文进一步根据现有的科学成果^[10-12]对气候变化综合指数的有效性进行了对比分析.

2 资料与方法

本文研究目的是用一个综合指数来讨论中国近 50 年来的气候变化及其区域敏感性,所以首先需要找到能代表气候变化的综合指数.一般而言,平均气温是代表气候变化的基本指数^[13],但近年来各国研究者也普遍认为改变降水和极端气候事件的时空分布模态可能对环境和社会系统有更强的影响^[13-15],而且国内外学者也普遍认为在长时间内气候变化与气候影响都具有这样的趋势,也就是极端气候事件的发生是增多的^[16-19].因此,本文选择四个单一指数,即年均气温的变化,年降水量的变化,极端气温的变化,极端降水的变化.将这四个单一指数进行综合以得到一个气候变化综合指数,更好地提取气候变化的重要信息.

通过气候变化指数可以研究气候突变前后的气候变化.单一指数计算是基于中国 614 个基准站的逐日地表气温和降水数据(资料来源于中国气象局国家气象信息中心).由于在 20 世纪 70 年代末、80 年代初全球气候系统发生了一次突变(下文提到的突变均指这次),将温度和降水数据分成两个各 15 年的突变前(1961—1975 年)和突变后时段(1986—2000 年),选择这样的时段略去了不稳定的突变期.在实际计算中以 1971—2000 年作为参考气候态,突变前和突变后与参考气候态的距平分别作为计算序列,即

$$jm_i = m_i - \bar{m}, i = 1, \dots, 15, \quad (1)$$

其中, jm_i 代表距平值, m_i 为突变后或突变前各年的观测数据, \bar{m} 为 1971—2000 年 30 年的气候平均值.由 (1) 式将求得突变后与突变前的温度和降水的年距平序列.

2.1 单个指数的计算

极端天气气候事件(下文简称极端事件)是小概率事件,目前对于极端事件阈值的非参数确定方

法中,应用较多的是 Bonsal 提出的一种百分位阈值方法^[20-22].对于突变后和突变前的温度和降水的年距平序列,极端事件的阈值使用百分位方法来确定,使用各要素累积密度函数的第 95%和 5%百分位所对应的要素值作为温度、降水极端偏高(偏低)的阈值.按照图 1 对突变后或突变前的温度、降水的年距平序列进行升序排列后,参照 (2) 式求得极端事件的阈值,

$$p = (s - 0.31)/(n + 0.38), \quad (2)$$

其中 n 为 15, p 取 95%或 5%.代入 (2) 式可以求得 s , s 位对应的便是阈值.由于求得的 s 不一定是整数,所以 s 对应的值要在 $[s]$ 位和 $[s] + 1$ 位之间线性插值.

四个指数组的描述见表 1.各项指数的计算遵从同样的原则^[8],计算流程如图 1 所示,即确定在突变后和突变前时段内所发生的极端温度和降水事件的次数之差.首先对原始资料进行距平处理,然后对处理过的各要素资料按照前文提到的进行突变前、突变后分类.分别对各要素的突变后和突变前的数据升序排列,以不同的百分位求出突变前序列温度、降水极端偏高(偏低)的阈值 a ,由阈值求出突变前时段温度、降水极端偏高(偏低)事件发生的次数 T_1 ,然后将阈值 a 带入突变后序列中,找出阈值 a 在突变后序列中对应的发生概率 p ,利用公式 (2) 求出概率 p 在突变后序列中所对应的值 b ,以 b 为阈值再次带入突变前序列中,求出突变前序列的温度、降水极端偏高(偏低)事件发生的次数 T_2 , $T_2 - T_1$ 即为所求指数.

由 (2) 式可知,当 n 为 15, p 取 95%或 5%时, T_1 等于 1, T_2 的值介于 1 到 15 之间,所求指数 $T_2 - T_1$ 的值一定是介于 0 到 14 之间的.在第一组指数“年际温度的变化”中有两项指数需要计算,也就是突变前与突变后时段的最热年之差 $I_{HOTyear}$ 和最冷年之差 $I_{COLDyear}$,且在温度累计概率的计算中假定温度数据服从正态分布;在第二个组指数“年际降水的变化”中类似地也有两项指数需要计算,即突变前与突变后时段的洪涝年数之差 $I_{WETyear}$ 和干旱年数之差 $I_{DRYyear}$,在降水累计概率的计算中假定降水资料服从伽玛分布,并使用最大似然估计 (MLE) 方法来得到伽玛累积密度函数.

由于气候的季节变化会对一些至关重要的行业,例如农业、水资源、能源和人类健康都有很大的影响,所以第三和第四组指数选择的是描述

季节变化的极端气候事件, 如干旱、洪涝、热浪和低温冷害等, 研究选取的季节为夏季 (JJA) 和冬季 (DJF). 在“极端温度变化事件”中, 突变前与突变后时段的夏季和冬季的最热、最冷年之差被称作 $I_{HOT-JJA}$, $I_{COLD-JJA}$ 和 $I_{HOT-DJF}$, $I_{COLD-DJF}$. 类似地, 在“极端降水事件中”定义了四个指数: 突变前与突变后时段的夏季的最干旱和最潮湿年数之差, 分别记为 $I_{DRY-JJA}$ 和 $I_{WET-JJA}$; 突变前与突变后时段的冬季的最干旱和最潮湿的年数之差, 分别记为 $I_{DRY-DJF}$ 和 $I_{WET-DJF}$.

2.2 指数的综合

由于所有指数均代表在突变后时段中多发生的温度、降水极端偏高 (偏低) 事件的次数, 并且其值是介于 0 到 14 之间, 所以不需要进一步对单一要素指数进行归一化. 为了对这些单一要素指数进行综合, 对每个指数都分配一个权重因子, 本文将权重平均分配到每一个指数. 综合气候变化指数使用 (3) 式来进行计算^[8], 由于综合气候变化指数 CCI (climate change index) 是由单一要素指数加权平均所求得的, 所以其值仍然介于 0 到 14 之间.

$$CCI = ([I_{HOT} + I_{COLD}]_{year} + [I_{DRY} + I_{WET}]_{year} + [0.5(I_{HOT} + I_{COLD})_{JJA} + 0.5(I_{HOT} + I_{COLD})_{DJF}]) / 4.$$

$$+ [0.5(I_{DRY} + I_{WET})_{JJA} + 0.5(I_{DRY} + I_{WET})_{DJF}] / 4. \quad (3)$$

由 (3) 式可以看出, CCI 综合了年平均温度的变化、年平均降水的变化、年极端温度的变化、年极端降水的变化四种信息. 因此由 (3) 式计算得到的 CCI 能够反映温度、降水、极端温度、极端降水等各项信息, 原来错综复杂的气候信息现在用一个综合指数便可以讨论中国近 50 年来的气候变化及其区域敏感性, 综合的 CCI 具有其优越性.

3 结果与讨论

3.1 单个的气候指数

图 2 和图 3 给出了相对于突变前 (1961—1975 年) 而言, 在突变后时段中 (1986—2000 年) 温度和降水总体变化的 12 个指数的空间分布. 从极端低温指数 I_{COLD} (图 2(a)) 可以看出, 中国大部地区在突变后时段内极端低温指数都较小, 极端低温事件无明显变化; 而在河南西部、陕西南部、湖北西部极端低温指数较大, 极端低温事件明显增多; 此外, 青海东南部、四川南部和云南北部的局部地区的极端低温指数也较大. 就冬季极端低温事件 (图 2(b)) 而言, 青海东部的冬季极端低温指数偏大, 说明这个地区冬季的极端低温事件明显增

表 1 四个单一指数及其说明

指数	说明
年平均气温的变化	
1) 极端高温事件 I_{HOT}	突变前与突变后时段的极端温度事件之差
2) 极端低温事件 I_{COLD}	
年降水量的变化	
3) 降水极端偏少事件 I_{DRY}	突变前与突变后时段的极端降水 (干旱) 事件之差
4) 降水极端偏多事件 I_{WET}	
极端温度的变化	
5) 冬季极端高温事件 $I_{HOT-DJF}$	
6) 夏季极端高温事件 $I_{HOT-JJA}$	突变前与突变后时段的季节极端温度事件 (冬季 DJF, 夏季 JJA) 之差
7) 冬季极端低温事件 $I_{COLD-DJF}$	
8) 夏季极端低温事件 $I_{COLD-JJA}$	
极端降水的变化	
9) 冬季降水极端偏少事件 $I_{DRY-DJF}$	
10) 夏季降水极端偏少事件 $I_{DRY-JJA}$	突变前与突变后时段的季节极端降水事件 (冬季 DJF, 夏季 JJA) 之差
11) 冬季降水极端偏多事件 $I_{WET-DJF}$	
12) 夏季降水极端偏多事件 $I_{WET-JJA}$	

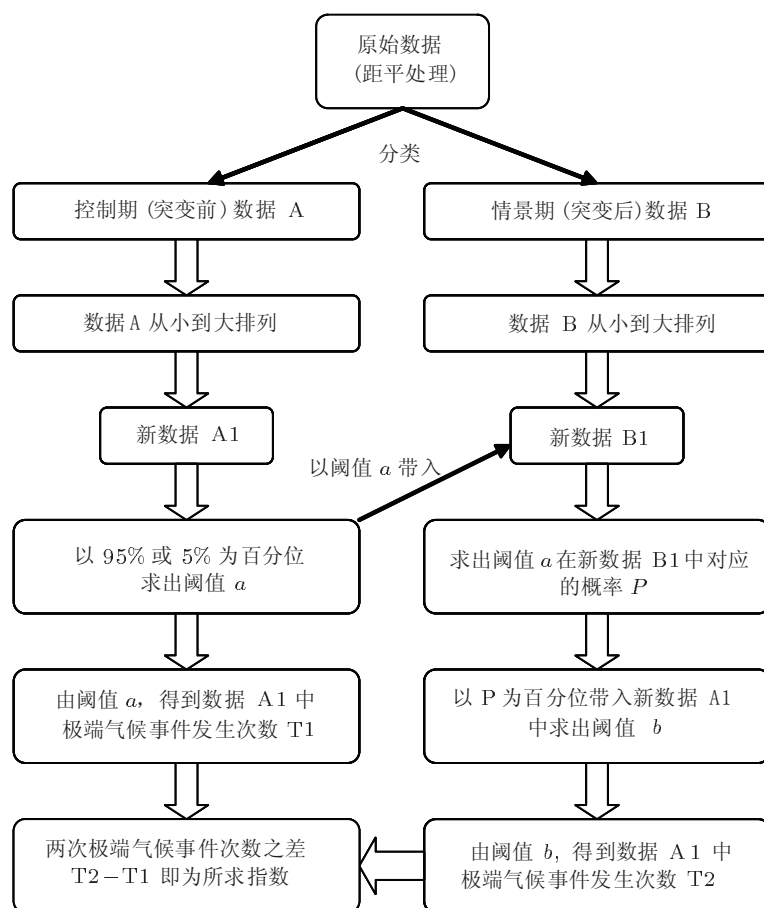


图 1 各项指数计算流程

多, 对气候变化反应敏感; 而中国其余地区的冬季极端低温指数无明显变化, 对气候变化反应不敏感. 对于夏季极端低温事件 (图 2(c)), 夏季极端低温指数明显偏大的地区集中在华北西南部、西北地区东南部、黄淮西部、江淮西部、江汉和江南北部, 在辽宁南部、甘肃东南部、青海东部和新疆西部局部地区的夏季极端低温指数也明显偏大, 说明这些地区夏季极端低温对气候变化敏感, 夏季极端低温事件增加; 尤以指数最大值出现的地区, 包括河南、陕西南部、湖北西部和湖南西北部, 其对气候变化最为敏感, 夏季极端低温事件显著增加. 从图 2(a)—(c) 还可以看出, 夏季极端低温指数的变化大于冬季极端低温指数, 说明夏季极端低温对气候变化的反应强于冬季极端低温, 夏季极端低温事件增加更加显著; 中国西北和西南地区年极端低温指数的变化受冬季极端低温指数影响较大, 即气候变化对西北和

西南地区冬季极端低温的影响更大; 而其余地区年极端低温指数的变化则受夏季极端低温指数影响较大, 气候变化对这些地区夏季极端低温的影响更大.

图 2(d)—(f) 反映了极端高温指数的变化. 从图 2(d) 中可以看出, 年极端高温指数 I_{HOT} 较小的地区主要集中于黄淮西部、江淮西部、江汉、江南及四川、云南北部和东部、贵州等地, 黑龙江西部、新疆北部、青海南部的年极端高温指数也较小, 这些地区在突变后时段内年极端高温事件变化不大; 而广大的中国北方及华南、江南东部、云南中部和南部、西藏等地的年极端高温指数较大, 在突变后时段内年极端高温事件明显增加. 中国北方和江南东部、江汉、云南北部的冬季极端高温指数较大. 就冬季极端高温事件 (图 2(e)) 而言, 冬季极端高温指数 $I_{HOT-DJF}$ 较小的地区主要集中于中国江南、青海南部、辽宁南部、新疆西北部及云

南东北部等地. 这些地区在突变后时段内冬季极端高温事件变化不大; 而广大的中国北方及华东、江南东部、云南中部和南部、西藏等地的冬季极端高温指数较大, 在突变后时段内冬季极端高温事件明显增加. 由图 2(e), 可以预计冬季极端高温(暖冬)

将成为在大多数地区的标准. 图 2(f) 反映的是中国的夏季极端高温事件, 它最常见于热带, 亚热带地区和高纬度地区. 可以看出广东、广西、海南、云南、内蒙古、新疆等地夏季极端高温事件频发, 反应特别敏感.

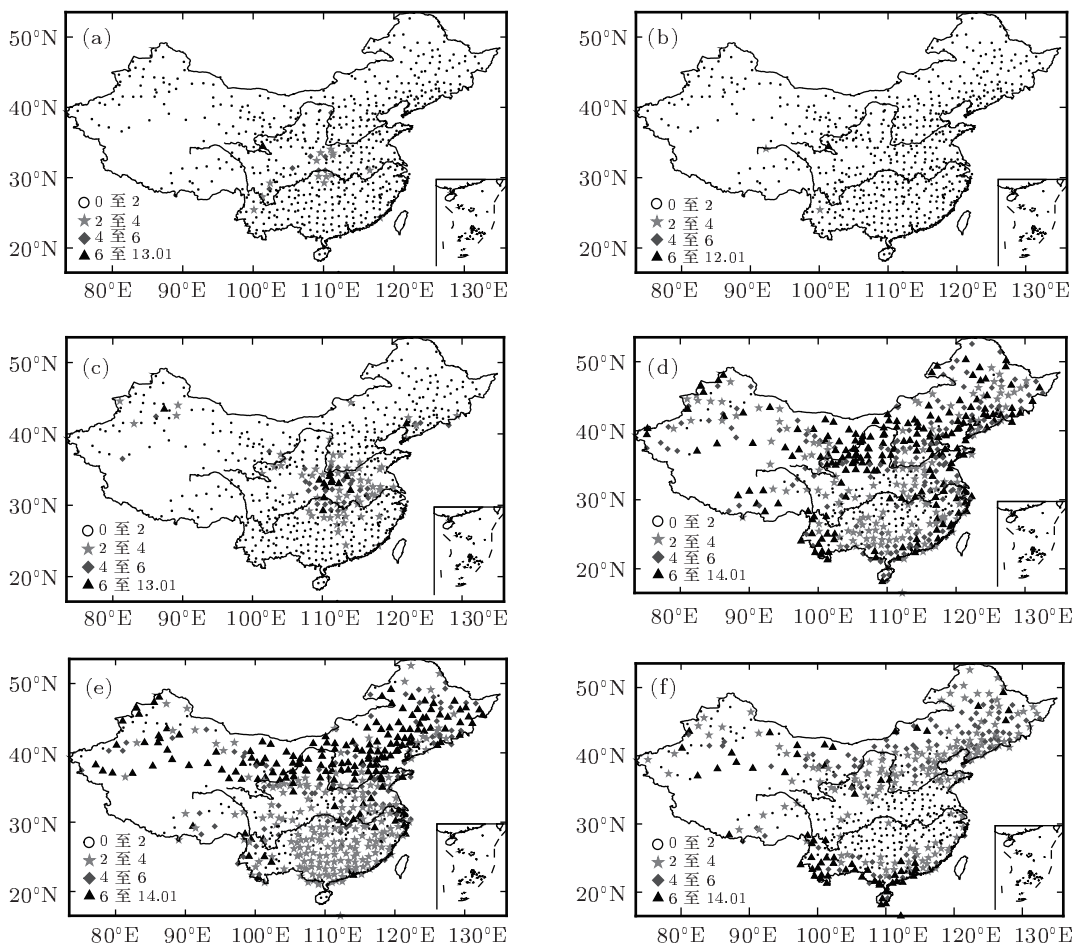


图 2 中国各地温度变化指数 (a) 年极端低温指数 I_{COLD} ; (b) 冬季极端低温指数 $I_{COLD-DJF}$; (c) 夏季极端低温指数 $I_{COLD-JJA}$; (d) 年极端高温指数 I_{HOT} ; (e) 冬季极端高温指数 $I_{HOT-DJF}$; (f) 夏季极端高温指数 $I_{HOT-JJA}$

从图 2 还可以看出, 突变后时段内的全国各地极端高温事件变化较大, 而极端低温事件变化较小. 中国北方年极端高温指数要大于南方, 尤其以华北和东北最明显, 这两个地区应对高温事件和冬季极端高温事件的能力差, 反应敏感. 相对于全年的极端温度事件, 季节极端温度事件显示出强劲增长: 在 15 年的突变后时段内, 极端高温季节, 在北方夏季发生了 6—14 次, 在北方冬季也发生了 6—14 次. 总体来讲还是呈现南小北大的趋势. 就全国而言, 极端高温事件相对于极端低温事件更加频繁. 中国气候基本呈现升温趋势, 这与全球变暖的大背景是相符合的, 有必要加强对这些地区的极端高温事件

的关注.

翟盘茂和任福民^[23]指出, 中国境内最高温度在 95°E 以西及黄河以北地区普遍呈增温趋势, 而在东部黄河以南却呈降温趋势; 最低温度在全国普遍呈增温趋势, 在高纬度地区增暖最明显. 丁一汇和戴晓苏^[24]指出, 中国近百年来在东北、华北和西北西部等地区极端高温事件频发. 赵俊虎等^[25]指出随着夏季延长, 除华东以外中国大部分地区极端高温频次增加. 定性比较, 可以发现无论是增温趋势, 还是极端温度事件频发的区域都与本文的观点基本符合.

由图 3 可知, 与温度变化趋势相反, 降水的变

化趋势不明显. 图 3(a)—(c) 反映了降水极端偏多指数的变化, 分别总结了 15 年内突变前与突变后时段的年和季节降水极端偏多事件之差. 从图 3(a) 可以看出, 中国绝大部分地区年降水极端偏多指数较小, 年降水极端偏多指数 I_{WET} 仅在西北地区西部、内蒙古东部以及江淮东部较大, 说明这些地区年降水极端偏多事件明显偏多. 就冬季降水极端偏多事件 (图 3(b)) 而言, 冬季降水极端偏多指数 $I_{WET-DJF}$ 在中国范围内变化较大. 其中以西北西部、青海东部、西藏及黑龙江东北部较大, 这些地区对冬季降水极端偏多事件反应敏感. 相对于年极端降水事件而言, 冬季极端降水事件在江

南西部、江汉地区以及西南地区东北部指数较大, 说明这些地区冬季降水极端偏多事件频发. 图 3(c) 反映的是中国夏季降水极端偏多事件. 夏季降水极端偏多指数 $I_{WET-JJA}$ 在江淮东部及江南东部较大, 这些地区对气候变化最为敏感, 夏季降水极端偏多事件显著增加. 由图 3(a)—(c) 可以看出, 降水的极端气候事件对干旱, 半干旱区和高纬度地区影响较大. 降水极端偏多指数基本上按照纬向型分布, 呈现南小北大的趋势. 在高纬度地区, 降雨量明显增加, 降水极端偏多事件频发, 这些地区应对降水极端偏多事件能力差, 对其比较敏感.

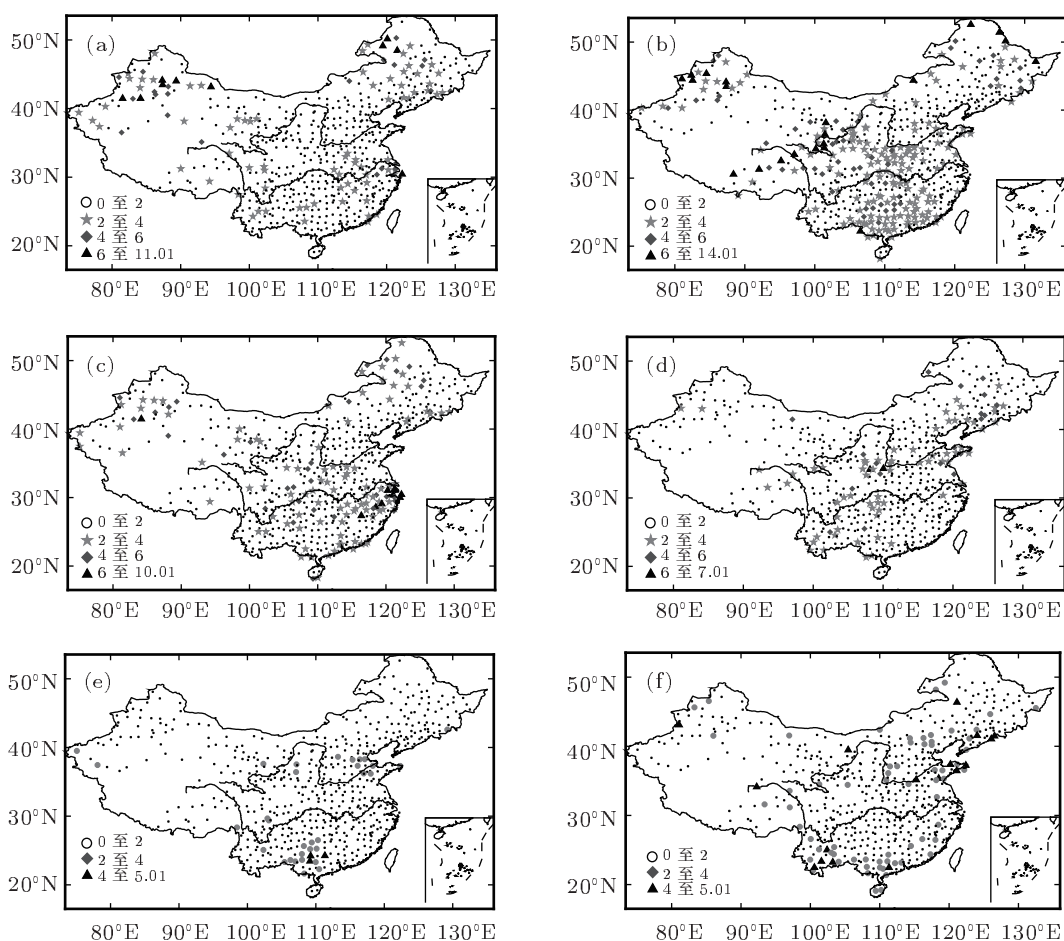


图 3 中国各地降水变化指数 (a) 年降水极端偏多指数 I_{WET} ; (b) 冬季降水极端偏多指数 $I_{WET-DJF}$; (c) 夏季降水极端偏多指数 $I_{WET-JJA}$; (d) 年降水极端偏少指数 I_{DRY} ; (e) 冬季降水极端偏少指数 $I_{DRY-DJF}$; (f) 夏季降水极端偏少指数 $I_{DRY-JJA}$

图 3(d)—(f) 反映的是极端早年和极端旱季. 这几个指数普遍偏小, 说明其影响不大, 中国各个地区发生降水极端偏少事件不多, 对降水极端偏少这种气候变化不敏感. 从指数中可以看出, 华北地区、西南地区相对于其他地区降水极端偏少事件

偏多. 中国北方的夏天比北方的冬天变化要稍微强烈些. 翟盘茂等 [26] 指出, 中国西北西部、长江及长江以南地区极端强降水事件频繁, 华北地区极端降水量占总降水量的比例有所增加. 另外, 在气候变暖背景下, 水循环加剧. 研究表明, 不少区域, 特别

在变暖明显的高纬度地区降水量增加;区域性大雨增加和大气湿度增加,而大气中水分含量增加还会引起积雨云出现的频率增加,从而导致雷暴活动加强,这可以解释热带外地区(例如高纬度地区)暴雨普遍增多的原因。

在全国平均水平看来,中国呈现多雨.气候突变之后中国的降水极端偏多事件比降水极端偏少事件更加频繁,中国各地对降水极端偏多事件更加敏感,有必要加强对降水极端偏多事件,例如洪涝、泥石流事件的关注。

3.2 综合的气候变化指数

图 4 给出了综合气候变化指数.图 4(a) 是中国 614 个站点的气候变化综合指数 CCI 的展示.指数值在 4 到 7 之间的被认为是极端气候事件,多数数值处在 2 到 4 之间.在内蒙古大部、东北中部、华北中部、云南以及西北中部等地 CCI 指数较大,说明这些地区相对于气候突变之前极端气候事件频发,应对气候变化能力小,对气候变化有很强的

敏感性.从图中可以得知,广大的长江流域 CCI 指数偏小.这些地区应对气候变化能力相比于其他地区要高.从综合的 CCI 指数可以知道,气候变化在高纬度地区和热带、亚热带地区表现明显^[13].图 4(b) 是将中国各个省份中的所有站点的 CCI 指数求和并求平均得到的各个省份的 CCI 指数.从图中可以看出,中国江南和西南东部指数最小,说明这些地方对气候变化不敏感;次小在江淮和黄淮,中等在华南;华北和东北最大,此处极端气候事件频发;云南、上海是一个例外,说明区域气候特征很显著.图 4(c) 是中国 614 个站点的 CCI 指数的插值图.对于气候变化,北方和西南比较敏感;而黄河以南、长江流域并不敏感;沿海地区由于受季风,及台风带来的强降水的影响,指数相对偏大.从图中可以获知,指数基本呈现南小北大的纬向型分布.根据 CCI 指数的区域特征,有助于更好地应对极端气候事件.同样还是热带、亚热带及高纬度地区比较敏感,极端气候事件频发。

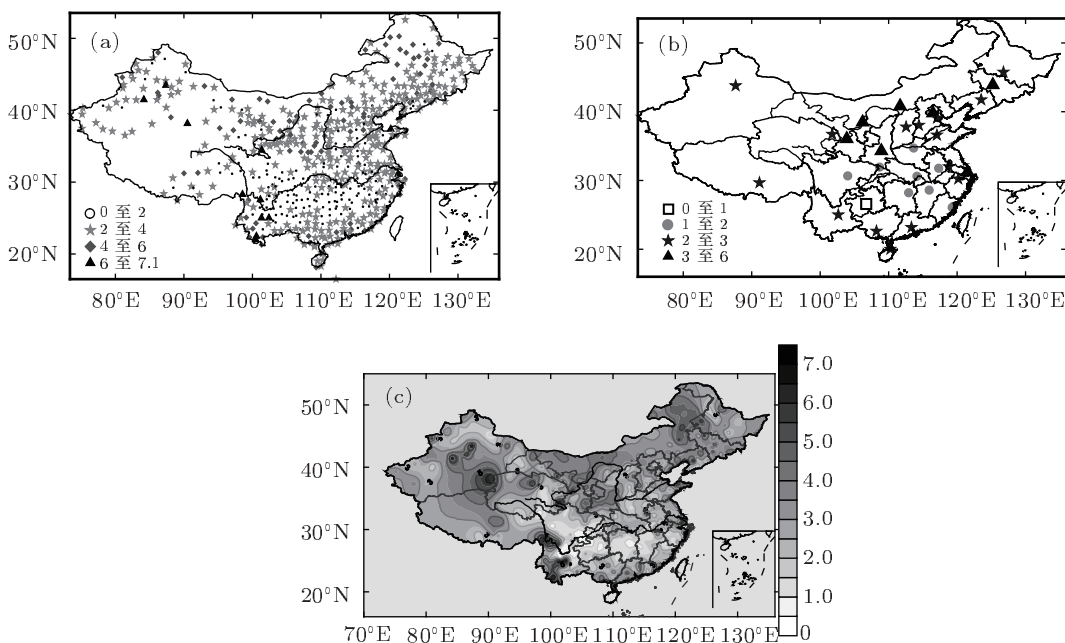


图 4 综合 CCI 指数 (a) 各站点的 CCI 指数; (b) 各个省的 CCI 指数; (c) CCI 指数的插值图

任国玉等^[9]指出,全国近 50 年来平均年高温日数、强降水日数和干旱面积百分率呈上升趋势.这与文中前文极端气候事件增多的假定是相符合的,降水极端偏多的年份、降水极端偏多的季节增

多及年平均气温升高导致了 CCI 指数呈现这样的分布.杨杰等^[7]指出,中国各地区极端干旱事件变化幅度差异明显,具有明显的区域特征,北方的干旱化趋势仍将继续,区域的干旱程度还有继续扩大

的趋势,近 20 年内发生极端干旱事件可能性较大,南方大部分地区在其区域气候条件下极端干旱事件强度已经达到较为饱和的状态,近几十年内很难再发生更为严重的极端干旱事件.从本文也可以获知,中国北方、高纬度地区极端气候事件频发,具有较大的 CCI 指数.然而不同的是本文中极端降水偏少指数相对于其他影响因素值较小.邹旭恺等^[5]指出,北方江河流域干旱面积一般表现出增加趋势,其中松花江流域、辽河流域、海河流域干旱面积出现显著的增加趋势,辽河流域、海河流域、黄河流域在 20 世纪 90 年代中后期至 21 世纪前期连续数年出现大范围干旱,南方大多数江河流域干旱面积的变化趋势不明显,只有西南诸河流域有显著的减少趋势.相比而言,气候变化指数同样反映出中国极端高温事件频发,降水极端偏多事件相对于降水极端偏少事件偏多,中国北方降水极端偏少事件频发.陈文海等^[27]指出,中国气温和降水变化趋势的季节差异显著,中国北方地区增温显著,以高纬度地区为最.这与本文观点完全一致,中国北方地区、高纬度地区极端高温事件频发,极端降水偏多事件增多,相比而言夏季变化趋势较冬季要大.符淙斌和马柱国^[28]指出,近年来中国北方干旱化不断加剧,极端降水、极端温度事件频发直接导致干旱化.定性比较,综合的气候变化指数相对于单要素指数具有其优越性,通过这个指数可以获得温度、降水、极端温度、极端降水等多种气候变化的相关信息,从而为更好地应对极端气候事件提供判断依据.

从 CCI 指数看出,由于降水极端偏多的年份,降水极端偏多的季节增多及年平均气温升高导致了 CCI 指数呈现南小北大的纬向型分布.热带、亚热带以及高纬度地区高的 CCI 指数是由降水的变化和季节性的温度事件^[13,15]引起的.由于热带、

亚热带地区其高温指数相对于其他任何地区的平均相对变化反应更加强烈,从而导致了这一温度的剧烈变化,因为热带地区的温度自然变化比高纬度地区要小得多.

4 结论

本文基于气候变化综合指数 CCI 来讨论中国近 50 年来的气候变化及其区域敏感性,CCI 指数的优点在于能够衡量未来气候变化相对于今天的自然变率有多大的影响.CCI 指数的大小反映的是气候突变前后极端气候事件的变化,能够反映气候突变对气候变化的影响.从 CCI 指数可以看出,指数基本呈现南小北大的纬向型分布.内蒙古大部、东北中部、云南以及西北中部等地 CCI 指数较大,说明这些地区相对于气候突变之前极端气候事件频发.气候变化在高纬度地区和热带、亚热带地区表现明显^[13],因为无论是从单要素的 CCI 指数还是综合的 CCI 指数都反映了在这些地区极端气候事件频发.将中国各个省份中的所有站点的 CCI 指数求和并求平均得到的各个省份的 CCI 指数,中国江南和西南东部指数最小,说明这些地方对气候变化不敏感;华北和东北最大,此处极端气候事件频发.对于气候变化,北方和西南比较敏感,而黄河以南敏感性较弱,沿海地区由于受季风及台风带来的强降水的影响,CCI 指数相对偏大,敏感性较强.

气候变化综合指数 CCI 具有很大的应用潜力,越来越得到各国研究者的认同.为了进一步发展、完善 CCI 指数,可以在其计算过程中考虑更多的因素,如台风、海平面上升等因子,通过研究各个季节并采用更多因子的集成来提高 CCI 指数的代表性和适应性.

-
- [1] 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: Cambridge University Press) p299
- [2] Ding Y H, Ren G Y 2007 *National Assessment Report of Climate Change* (Beijing: Science Press) p33 (in Chinese) [丁一汇, 任国玉 2007 气候变化国家评估报告 (北京: 科学出版社) 第 33 页]
- [3] Organisation for Economic Cooperation and Development (OECD) 2002 *Aggregated Environmental Indices—Review of Aggregation Methodologies in Use Rep.* ENV/EPOC/SE
- [4] Yang P, Liu W D, Wang Q G, Xiong K G, Hou W 2010 *J. Appl. Meteor. Sci.* **21** 29 (in Chinese) [杨萍, 刘伟东, 王启光, 熊开国, 侯威 2010 应用气象学报 **21** 29]
- [5] Zou X K, Ren G Y, Zhang Q 2010 *Clim. Environ. Res.* **15** 371 (in Chinese) [邹旭恺, 任国玉, 张强 2010 气候与环境研究 **15** 371]
- [6] Wang J, Jiang Z H, Yan M L, Zhang J L 2008 *Sci. Meteor. Sin.* **28** 1084 (in Chinese) [王冀, 江志红, 严明良, 张金玲 2008 气象科学 **28** 1084]
- [7] Yang J, Hou W, Feng G L 2010 *Acta Phys. Sin.* **59** 664 (in Chinese) [杨杰, 侯威, 封国林 2010 物理学报 **59** 664]

- [8] Baettig M B, Wild M, Imboden D M 2007 *Geophys. Res. Lett.* **34** L01705
- [9] Ren G Y, Chen Y, Zou X K, Zhou Y Q, Wang X L, Jiang Y, Ren F M, Zhang Q 2010 *Clim. Environ. Res.* **15** 354 (in Chinese) [任国玉, 陈峪, 邹旭恺, 周雅清, 王小玲, 江滢, 任福民, 张强 2010 气候与环境研究 **15** 354]
- [10] Fu C B 1994 *Chinese J. Atmos. Sci.* **18** 373 (in Chinese) [符淙斌 1994 大气科学 **18** 373]
- [11] Wang Q G, Zhang Z P 2008 *Acta Phys. Sin.* **57** 1976 (in Chinese) [王启光, 张增平 2008 物理学报 **57** 1976]
- [12] Yin Y H, Wu S H, Chen G 2009 *J. Natural Resources* **24** 2147 (in Chinese) [尹云鹤, 吴绍洪, 陈刚 2009 自然资源学报 **24** 2147]
- [13] IPCC 2001 *Climate Change 2001: The Scientific Basis: Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (New York: Cambridge Univ. Press) p881
- [14] Allen M R, Ingram W J 2002 *Nature* **419** 224
- [15] Hegerl G C, Zwiers F W, Stott P A, Kharin V V 2004 *J. Clim.* **17** 3683
- [16] Zhang D Q, Yang J, Wang Q G, Feng G L 2009 *Acta Phys. Sin.* **58** 4354 (in Chinese) [章大全, 杨杰, 王启光, 封国林 2009 物理学报 **58** 4354]
- [17] 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]
- [18] Huang D Q, Qian Y F 2008 *Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sunyatseni* **47** 112 (in Chinese) [黄丹青, 钱永甫 2008 中山大学学报 **47** 112]
- [19] Barnett T, Zwiers D F 2005 *J. Clim.* **18** 1291
- [20] Bonsal B R, Zhang X B, Vincent L A 2001 *J. Clim.* **5** 1959
- [21] Zhang D Q, Feng G L, Hu J G 2008 *Chin. Phys. B* **17** 736
- [22] Folland C K, Miller C, Bader D 1999 *Clim. Change* **42** 31
- [23] 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]
- [24] Ding Y H, Dai X S 1994 *Meteorological Monthly* **20** 19 (in Chinese) [丁一汇, 戴晓苏 1994 气象 **20** 19]
- [25] Zhao J H, Feng G L, Zhang S X, Sun S P 2011 *Acta Phys. Sin.* **60** 099205 (in Chinese) [赵俊虎, 封国林, 张世轩, 孙树鹏 2011 物理学报 **60** 099205]
- [26] Zhai P M, Wang C C, Li W 2007 *Adv. Clim. Change Res.* **3** 144 (in Chinese) [翟盘茂, 王萃萃, 李威 2007 气候变化研究进展 **3** 144]
- [27] Chen W H, Liu Y X, Ma Z G 2002 *Plateau Meteor.* **21** 251 (in Chinese) [陈文海, 柳艳香, 马柱国 2002 高原气象 **21** 251]
- [28] Fu C B, Ma Z G 2008 *Chinese J. Atmos. Sci.* **32** 752 (in Chinese) [符淙斌, 马柱国 2008 大气科学 **32** 752]

The research on the sensitivity of climate change in China in recent 50 years based on composite index*

Wu Hao¹⁾²⁾ Hou Wei^{2)†} Qian Zhong-Hua¹⁾³⁾ Hu Jing-Guo¹⁾

1) (College of Physical Science and Technology, Yangzhou University, Yangzhou 225002, China)

2) (National Climate Center, Beijing 100081, China)

3) (Department of Atmospheric Sciences, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

(Received 27 October 2011; revised manuscript received 14 December 2011)

Abstract

Climate change index is one of advanced issues in climate change research. There exist many specific indices in climate change research in China and other countries, but comprehensive indexes are very rare. So in this paper, a comprehensive climate change index (CCI) is defined based on single factor of temperature and precipitation index to assess the sensitivity of climate change, and the comprehensive information about climate change is obtained. Because the index size represents the difference in frequency between before and after extreme climate events around abrupt climate change, reflecting the ability for one region to respond to climate change and the sensitivity to the climate change, the index indicates a variety of information about climate change and can provide a certain judgment basis to better deal with extreme climate events. According to the CCI, the climate change and its regional sensitivity in China in recent 50 years are discussed. The results show that Inner Mongolia, northeast central, northwest and central Yunnan have higher CCI indexes, which indicates that the extreme climate events in these regions happen more frequently after the abrupt climate change. The mean CCI is computed of all stations in each province in China, showing that South China and east part of Southwest China each have a minimal index, indicating that these areas are not sensitive to climate change; in the North and Northeast China extreme events happen frequently. Climate change is obvious in high latitude and tropical and subtropical regions, the North and Southwest China are more sensitive, while the South of the Yellow River is less sensitive. The coastal areas with relatively high CCI have strong sensitivities due to the heavy rainfall influence from monsoon and typhoon.

Keywords: climate change index, temperature, precipitation, sensitivity

PACS: 92.70.Aa

* Project supported by the National Basic Research Program of China (Grant No. 2012CB955902) and the National Natural Science Foundation of China (Grant Nos. 41175067, 41105033).

† E-mail: hou_w@sohu.com