

气候态调整对华北冬、夏季气候监测的影响研究*

李晓帆¹ 于长文¹ 龚志强^{2,3} 封国林² 车少静¹ 李天宇⁴

1 河北省气象与生态环境重点实验室/河北省气候中心, 石家庄, 050021

2 中国气象局国家气候中心开放实验室, 北京, 100081

3 常熟理工学院电子与信息工程学院, 苏州, 215000

4 吉林省气候中心, 长春, 130062

摘要 本研究对比分析了不同气候态下, 华北冬、夏季降水及气温的差异, 分析了气候平均值的改变对历史极端事件监测的可能影响。研究发现, 1991~2020年(简称气候II态)的冬季和夏季的平均降水量均略多于1981~2010年(简称气候I态), 但接近或略少于1961~2020年的平均降水量, 平均降水量逐年变化幅度冬季II态小于I态, 夏季反之。气候II态冬季降水空间分布不均, 夏季较I态呈“中部减少, 东西增加”的分布型。冬季和夏季极端降水阈值II态(0.86mm和22.0mm)较I态(0.83mm和21.6mm)均略有提高, 造成近60年华北大部基于II态阈值的冬、夏季极端降水日数较I态略减少。此外, 气候II态的华北冬、夏季平均气温均明显高于I态, 也高于1961~2020年平均气温。II态气温较I态基本呈全区增加特征, 但空间分布不均匀。冬季极端低温和夏季极端高温阈值II态(-9.8℃和27.9℃)较I态(-10.2℃和27.5℃)均有所有所提高, 造成华北大部分地区基于II态阈值的近60年冬季极端低温日数较I态有所增加, 夏季极端高温日数较I态存在不同程度的减少。因此, 新气候态下华北气温和降水均值, 华北大部极端降水阈值和极端气温阈值均有所提高, 造成气候监测中更容易出现气温偏低, 降水偏少, 历史极端事件监测中极端事件略减少的情况, 在未来10年的气候监测预测业务中要充分考虑新气候态可能造成的影响。

关键词 华北, 冬季, 夏季, 气候态差异

文章编号 中图分类号 P466 文献标识码 A

doi:10.3878/j.issn.1006-9895.2202.21200

Study on the Differences of Various Climatic Normals of the North China in Winter and Summer and Its Impact on Climate Monitoring

Abstract In order to explore the characteristics and differences of various climate normals in the North China and its impact on regional climate monitoring, this research compares and analyzes the differences in both precipitation and temperature of this region in winter and summer under different climate conditions, and further analyzes the impact of changes in climatic averages on historical extreme events. Results show that the average precipitation in winter and summer during 1991~2020 (climate state II) are more than that during 1981~2010 (climate state I), but not more than the 1961~2020 average

收稿日期 2021-10-30; 网络预出版日期

作者简介 李晓帆, 1992年4月, 女, 硕士, 工程师, 主要从事短期气候预测研究。E-mail: lxf_cma@163.com

通讯作者 龚志强, E-mail: gongzq@cma.gov.cn

资助项目 国家重点研发计划(2018YFA0606301), 国家自然科学基金项目(41875100, 42075057)

Funded by National Key Research and Development Program of China (Grant Nos. 2018YFA0606301), National Natural Science Foundation of China (Grant 41875100 and 42075057)

32 precipitation in winter and summer. The annual variation of state II is smaller than that of the state I in
33 the winter, and vice versa in the summer. The precipitation in the climate state II of different regions are
34 various in winter, and state II decreases in the central area and increases in the eastern and western part
35 of the North China in summer. The average winter and summer extreme precipitation thresholds in North
36 China are higher in the state II (0.86mm and 22.0mm) than in the state I (0.83mm and 21.6mm),
37 which gives rise to the number of extreme precipitation days in winter and summer in most parts of North
38 China for the past 60 years reduced corresponding to the state II than the state I. The average winter
39 and summer temperatures of state II are significantly higher than those of state I, and also higher than
40 the average winter and summer temperatures of 1961~2020. State II temperatures maintain the
41 characteristic of overall warmer than state I, but the change characteristics of different regions are
42 various. The average winter extreme low temperature and summer extreme high temperature threshold of
43 the North China in the state II (-9.8 °C and 27.9 °C) are higher than those in the state I (-10.2 °C and
44 27.5 °C) leading to the number of winter extreme low temperature days in most parts of the North China
45 corresponding to state II for the past 60 years increased compared with state I, and the summer extreme
46 high temperature days corresponding to state II reduced to varying degrees compared with state I. The
47 application of new climate normals will lead to an increase in extreme precipitation thresholds and
48 extreme temperature thresholds in most parts of North China, which will lead to more frequent low
49 temperatures, less precipitation and less extreme historical climate events in climate monitoring. Hence,
50 the possible impact of the new climate normals on climate monitoring and prediction of the next decade
51 must be fully considered.

52
53 **Key words** The North China, Winter, Summer, Climate normals differences

54

55 1 引言

56 20 世纪 60 年代以前, 气候被认为是基本稳定的, 仅存在一些围绕平均值的随机变化, 这一平
57 均值被称为“气候态”(Sabin and Shulman, 1985; Angel et al., 1993)。这种传统观念意味着记录最长
58 观测站提供了最优的气候平均值。然而, 有学者指出气候在不同的时间尺度上有所不同, 这可能导
59 致气候测量的标准差随着时间增加 (Court, 1968)。此外, 由于仪器、曝光度和观测时间的变化,
60 较长的记录更容易导致数据不均一性 (Mitchell, 1976; Karl and Riebsame, 1984; Karl, 1988)。为了尽
61 量减少这些影响, 世界气象组织 (WMO) 采用了每十年更新一次的 30 年平均值。

62 近百年来全球气候变化显著, 前人研究已指出作为气候分析中的基准气候条件, 气候态在不断

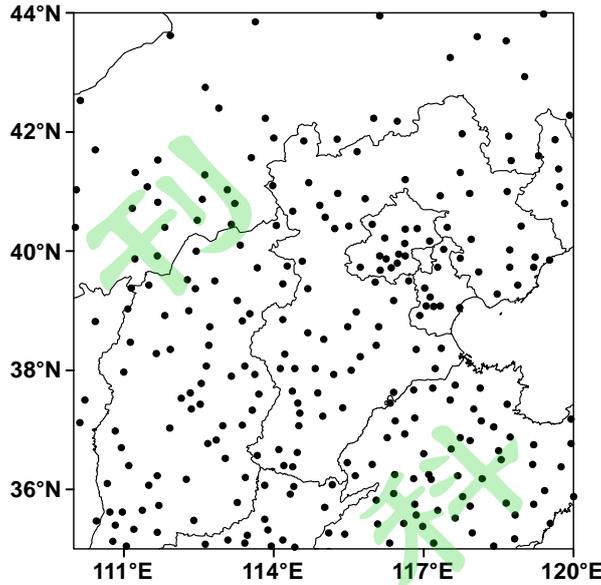
地改变, 由于气候平均值的改变致使所表征的变量距平也因此产生变化, 从而对气候业务等造成一定影响 (IPCC, 2013; 林婧婧和张强, 2015; 丁一汇和王会军, 2016; Cao et al., 2017; 姚慧茹等, 2017; 翟盘茂等, 2017; 童宣等, 2018; 宋连春等, 2019; Gu, 2019; 严中伟等, 2020)。例如在气候监测工作中, 平均气温值升高使得气温距平降低, 从而导致气温较常年偏低; 在气候预测工作中, 极端事件发生频次的降低会导致预测难度的增加; 同时也对气象服务造成较大的影响, 例如出现极端天气气候事件与否, 政府在决策时会采取完全不同的措施。因此, 有学者强调应注意不同标准气候态时段对应数值的不同 (陈世荣, 1990; 秦大河等, 2007; 赵宗慈等, 2015)。

中国气象局要求各省、自治区、直辖市气象局、国家气候中心自 2012 年 1 月 1 日起, 短期气候预测业务、气候影响评价和气候诊断业务中使用 1981~2010 年的平均值作为常年值或气候值。前人指出, 我国冬季大部分地区 1981~2010 年的平均气温一般都高于 1971~2000 年的平均气温, 北方气温升高尤为显著; 降水量增多的比例多于减少的比例 (房一禾等, 2016; 雷向杰等, 2005; 王秀文和李月安, 2003)。还有学者利用 1961~1990 年和 1971~2000 年两个时段的平均值进行对比, 发现在中国大部分地区采用新的气候平均值后, 气温距平是下降的, 特别是中国北方, 而全国降水距平存在区域不平衡特征 (王永光, 2002)。

由前述讨论可知, 以往的研究多集中于上一次气候态的改变 (1971~2000 年与 1981~2010 年)。随着全球气候变暖和城市化发展进程, 我国气候已呈现出一些变化 (Li et al., 2019; 郝立生等, 2021), 若以新一轮 (1991~2020 年) 的平均值作为气候值应用于日常气候业务中, 这种改变将会对华北地区气候监测工作造成怎样的影响? 为探索不同气候态的变化特征和差异, 了解华北气候态对气候监测工作的影响, 本文对华北地区冬季和夏季 1981~2010 年和 1991~2020 年这两个气候态的降水及气温要素变化特征进行了客观详细地分析, 有助于了解华北气候变化的规律特征, 为气候变化分析提供科学的参考依据, 从而为更准确地进行气候监测预测工作、提高科研水平打下基础。

2 数据和方法

采用中国气象局国家气象信息中心提供的全国 2400 个台站 1961~2020 年逐日降水和平均气温资料, 在考虑了资料缺失情况、所分析的年份长度和站点数量的基础上, 选取了华北地区 (35°~44°N, 110°~120°E) 265 个测站进行研究, 站点分布见图 1。



88

89 图 1 选取的华北逐日气象要素 265 个观测台站分布

90 Fig.1 Distribution of the selected 265 daily meteorological elements observation stations in the North China

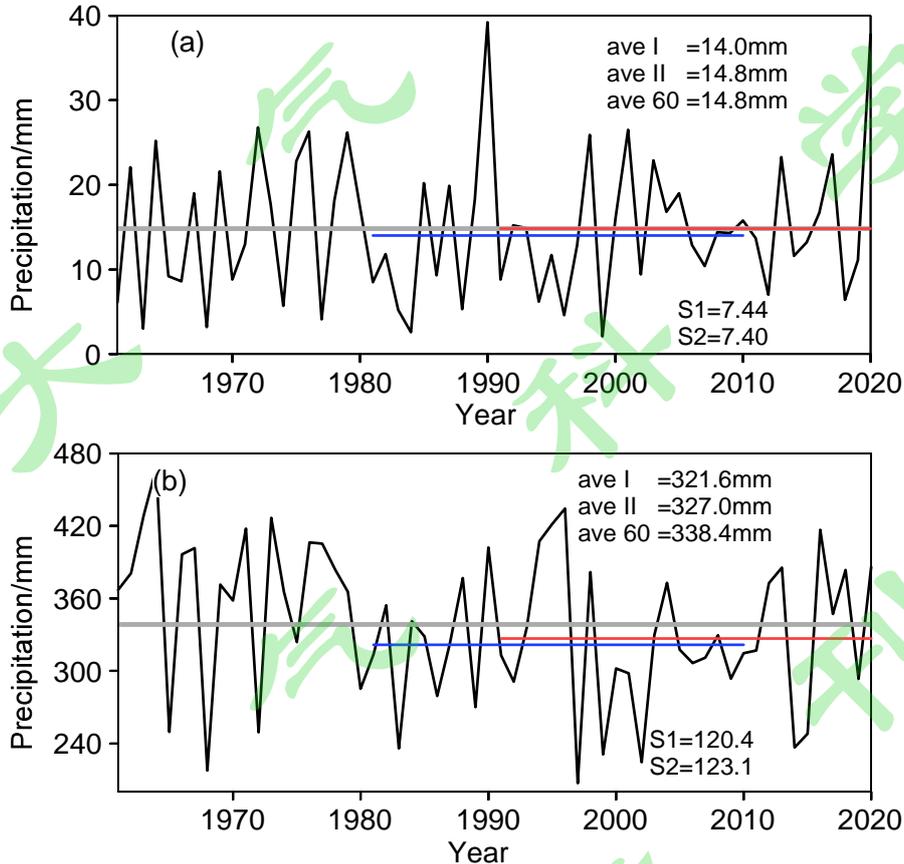
91 “基准气候态”是将某一气候相对稳定的时期作为“基准气候时期”，并以其为基点来描述不同时期
 92 的基本气候条件（丁裕国和江志红, 2009）。根据 WMO 的定义，某气象要素 30 年的平均值可作为
 93 为气候基准值。本文定义 1981~2010 年和 1991~2020 年分别为第一和第二基准气候态，并记为气候
 94 I 态和气候 II 态，并将 1961~2020 年定义为历史基准气候态，认为它具有更长的时间序列和可靠的
 95 气候信息，由此用它来对比分析气候 I 态和气候 II 态的基本特征。

96 根据前人研究及中华人民共和国气象行业标准，利用百分位阈值法定义各个站点极端降水的阈
 97 值（魏凤英, 2007; 丁裕国和江志红, 2009; 史道济, 2005; 高荣等, 2012）。具体是分别将 1981~2010
 98 年和 1991~2020 年间各站冬季日降水量按升序排列，将处于 95 百分位的降水量值分别定义为该测
 99 站 I 态和 II 态的冬季极端降水阈值，并将 1961~2020 年各测站冬季日降水量大于极端降水阈值的日
 100 数分别累加得到该站 I 态和 II 态下的冬季极端降水日数。同理利用夏季降水量得到夏季极端降水阈
 101 值，并得到各测站 I 态和 II 态下的夏季极端降水日数；类似的，本文将 1981~2010 年和 1991~2020
 102 年间各站冬季的日平均气温按升序排列，将处于 5 百分位的气温值分别定义为该测站 I 态和 II 态的
 103 冬季极端低温阈值，累加 1961~2020 年各测站冬季气温低于冬季极端低温阈值的日数，得到各测站
 104 I 态和 II 态下的冬季极端低温日数；将 1981~2010 年和 1991~2020 年间各站夏季的日平均气温按升
 105 序排列，将处于 95 百分位的气温值分别定义为该测站 I 态和 II 态的夏季极端高温阈值，累加
 106 1961~2020 年各测站夏季气温高于夏季极端高温阈值的日数，得到各测站 I 态和 II 态下的夏季极端
 107 高温日数。

108 3 降水气候态变化特征分析

109 3.1 降水量时间变化分析

110 为直观表征华北降水量的演变趋势,图 2 给出 1961~2020 年以来冬季和夏季华北平均降水量序
111 列,其中蓝色实线代表 1981~2010 年(气候 I 态)降水量平均值,红色实线代表 1991~2020 年(气
112 候 II 态)降水量平均值,灰色实线代表 1961~2020 年降水量平均值。从图 2a 中可看出, II 态的冬
113 季平均降水量(14.8mm)多于 I 态(14.0mm),与 1961~2020 年平均降水量(14.8mm)相当,但
114 II 态标准差(7.40)略小于 I 态(7.44),说明 II 态的冬季平均降水量逐年变化差异较小; II 态的夏
115 季平均降水量(327.0mm)明显多于 I 态(321.6mm),但少于 1961~2020 年平均降水量(338.4mm),
116 与冬季降水不同的是夏季降水量的标准差 II 态(123.1)大于 I 态(120.4),说明 II 态的夏季平均降
117 水量逐年变化差异较大。



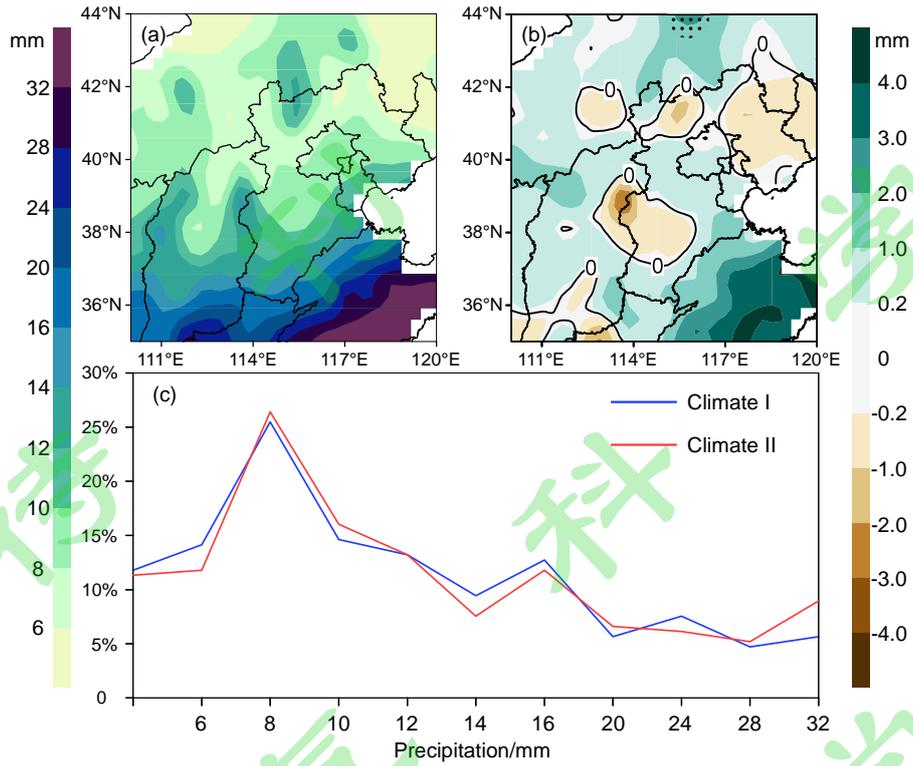
118 图 2 1961~2020 年华北 (a) 冬季和 (b) 夏季平均降水量曲线(单位: mm; 灰色实线为 1961~2020 年平均降水量,
119 蓝色实线为 1981~2010 年(气候 I 态)平均降水量,红色实线为 1991~2020 年(气候 II 态)平均降水量; ave I 为
120 1981~2010 年平均降水量, ave II 为 1991~2020 年平均降水量, ave 60 为 1961~2020 年平均降水量; S1 为 1981~2010
121 年标准差, S2 为 1991~2020 年标准差)

123 Fig. 2 The average (a) winter and (b) summer precipitation in the North China from 1961 to 2020 (unit: mm; grey lines are

124 the 1961~2020 averaged precipitation, blue lines, 1981~2010 (climate state I), red lines, 1991~2020 (climate state II);
125 ave I indicates the mean precipitation of 1981~2010, ave II, 1991~2020, ave 60, 1981~2020; S1 indicates the standard
126 deviation of 1981~2010, S2, 1991~2020)

127 3.2 降水量空间变化分析

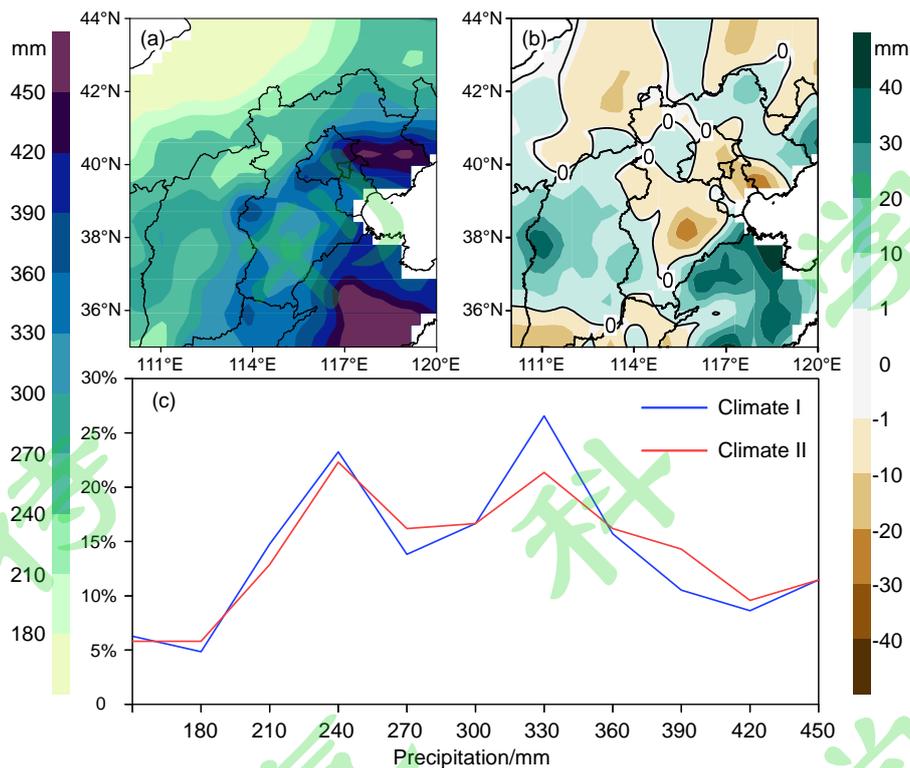
128 图 3 和图 4 为华北地区冬季和夏季降水量气候态的空间分布。就降水量的空间分布而言, 气候
129 II 态在冬季 (图 3a) 和夏季 (图 4a) 都维持由东南向西北递减的特征。虽然降水均值 II 态较 I 态
130 有所增加, 但区域不平衡特征较为显著。例如, 冬季内蒙古中部地区、山西西部地区、河北中北部
131 地区和山东大部分地区平均降水量 II 态多于 I 态, 而内蒙古中南部地区、河北东北部和中南部、山
132 西东北部和南部地区以及河南部分地区分布情况反之, 其中内蒙古中部地区差异显著, 通过了 90%
133 显著性检验 (3b); 夏季 II 态较 I 态呈“中部减少, 东西增加”的分布型 (图 4b)。此外, 给出了冬、
134 夏季降水量的概率分布曲线 (图 3c, 图 4c)。如图所示, 冬、夏季降水概率均呈偏锋分布型: 冬季
135 II 态出现降水量在 8~10mm 之间以及 28~32mm 之间的概率大于 I 态, 且降水量为 8mm 时出现概
136 率超过 25%, 达到概率峰值, 出现降水量少于 6mm 及 10~28mm 之间的概率略小于 I 态, 但其发
137 生概率均在 5%~15% 之间; 夏季降水概率分布呈双峰型, I 态和 II 态均在降水量为 330mm 时达到
138 概率峰值 (超过 25%), 在 240mm 时达到次峰值 (接近 25%), 但夏季降水量的概率峰值均为 II 态
139 小于 I 态, 降水量在 180mm 以下、270~300mm 和 360~450mm 之间的发生概率 II 态大于 I 态。由
140 此发现, 冬、夏季均为 II 态出现较大降水量的概率大于 I 态, 即华北冬、夏季降水量均为 II 态多于
141 I 态, 与图 2 的结论一致。进一步探究了降水变化程度的空间分布情况, 就冬季和夏季降水量的标
142 准差空间分布而言, I 态和 II 态在冬季和夏季都维持由东南向西北递减的特征, 即降水量大的区域
143 标准差变化也相对较大, 冬季气候 II 态和 I 态的标准差差值主要表现为河北中南部、东北部地区,
144 内蒙古中东部地区及山西南部 and 山东西部地区为负, 其他地区为正, 夏季负值区范围较冬季小且程
145 度弱 (图略)。



146

147 图3 华北冬季降水量气候态分布(单位: mm; a.1991~2020 年平均; b. 1991~2020 年与 1981~2010 年差值, 打点区
148 通过 90%显著性检验; c. 冬季降水概率分布曲线, 横坐标单位 mm)

149 Fig.3 Climatic distribution of winter precipitation in the North China (unit:mm; a. averaged in 1991~2020; b. the difference
150 between 1991~2020 and 1981~2010, dotted areas indicate the 90% significance level; c. probability distribution curve of
151 winter precipitation, abscissa unit: mm)



152

153 图4 同图3，但为夏季

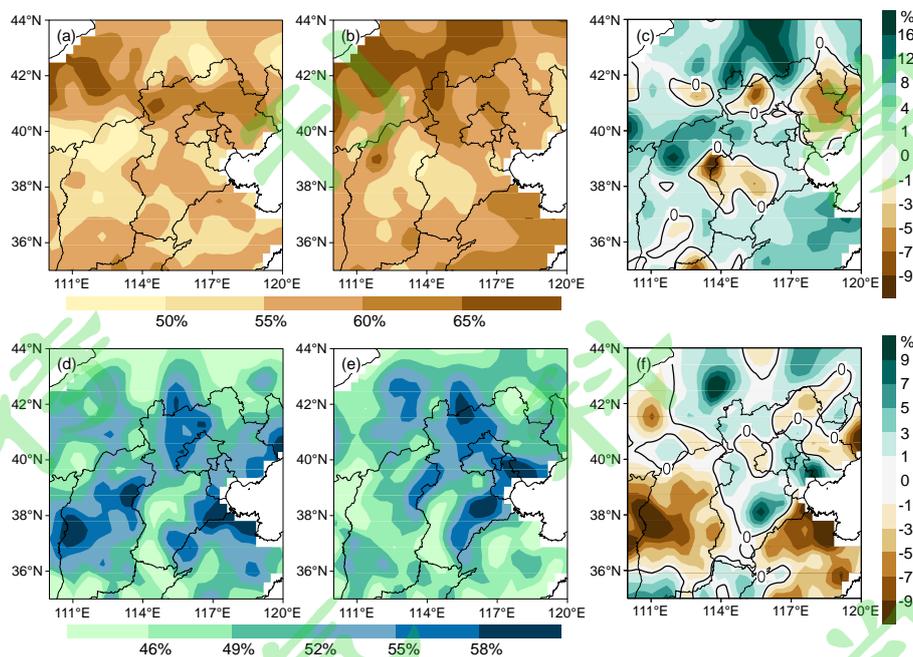
154 Fig.4 As in Fig.3, except for the distribution of summer

155

156 1961~2020 年华北冬季平均降水量相对于气候 I 态和 II 态的降水距平百分率差异最明显的地区
 157 位于内蒙古中东部和山东部分地区，均由气候 I 态下的正降水距平百分率转为气候 II 态下的负降水
 158 距平百分率（图略）。由于华北大部分地区 II 态降水为负距平，因此本文统计了近 60 年冬季各站在
 159 气候 I 态和 II 态下出现负距平的概率及其差异（图 5a,b,c）。如图所示，华北大部分地区出现负降水
 160 距平的概率 II 态较 I 态大，尤其在内蒙古中部、山西北部 and 山东大部分地区，最大差异可达 16%
 161 以上，所以这些地区在 II 态下更容易出现降水偏少的情况；河北东北部、西北部和中部地区以及山
 162 西东北部和南部地区出现负降水距平的概率 II 态较 I 态小，最大差异可达 9% 以上，因此河北东北
 163 部、西北部及中部地区以及山西东北部和南部地区在 II 态下更容易出现降水偏多的情况。

164 1961~2020 年华北夏季平均降水量相对于 I 态和 II 态的降水距平百分率在华北大部分地区基
 165 本被正距平所覆盖，变化最明显的地区位于山西西部和山东大部分地区，其降水距平百分率由正转
 166 负，而内蒙中部地区由负降水距平百分率转为正距平百分率（图略）。由于华北大部分地区降水为
 167 正距平，所以本文统计了近 60 年夏季各站在 I 态和 II 态下出现正距平的概率及其差异（图 5d,e,f）。
 168 如图所示，华北地区 II 态较 I 态出现正距平降水概率的空间分布呈“东西减少，中部增加”型。内蒙
 169 古中东部和河北中部地区出现正降水距平的概率 II 态较 I 态大，差异最大可达 9% 以上，由此可知
 170 这些地区在 II 态下更容易出现降水偏多的情况；山东和山西大部分地区出现正降水距平的概率 II 态

171 较 I 态小, 差异最大可达 9% 以上, 因此山西省在 II 态下更不易出现降水偏多的情况, 山东省在 II
 172 态下更易出现降水偏少的情况。

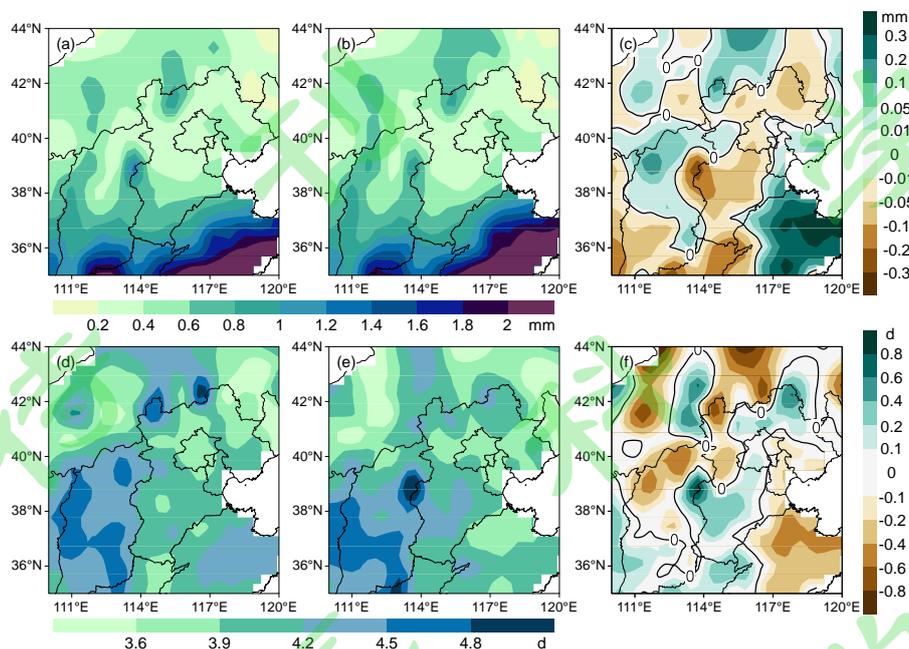


173
 174 图 5 1961~2020 年华北降水异常概率分布(单位: %; a. 1961~2020 年冬季相对于 I 态出现负降水异常的概率; b. 同
 175 a, 但为 II 态; c. b 与 a 的差值; d. 1961~2020 年夏季相对于 I 态出现正降水异常的概率; e. 同 d, 但为 II 态; f. e
 176 与 d 的差值)

177 Fig.5 The distribution of precipitation anomaly probability in the North China from 1961 to 2020(unit:%; a. probability of
 178 negative winter precipitation anomalies from 1961 to 2020 relative to state I; b. as in Fig.5a, except for relative to state
 179 II; c. difference between b and a; d. probability of positive summer precipitation anomalies from 1961 to 2020 relative to
 180 state I; e. as in Fig.5d, except for relative to state II; e. difference between e and d)

181
 182 图 6 给出华北冬季极端降水阈值气候态及 1961~2020 年平均极端降水日数分布。经计算, I 态
 183 华北平均冬季极端降水阈值为 0.83mm, II 态 (0.86mm) 较 I 态有所提高。冬季极端降水阈值空间
 184 分布 (图 6a, b) 在两个气候态下基本维持东南向西北递减的特征。冬季 II 态极端降水阈值较 I 态
 185 呈“中部降低, 四周升高”的分布型, 内蒙古中部大部分地区、山西中北部地区及山东大部分地区 II
 186 态较 I 态有所增加, 其中山东大部分地区降水增幅为 0.24mm 以上, 而河北大部分地区、山西南部
 187 和河南北部地区极端降水阈值有所降低, 降幅可达 0.18mm (图 6c)。I 态对应的近 60 年冬季极端
 188 降水日数空间分布在华北地区呈“南多北少”的分布型, 其中山西大部分地区可达 4.5d 以上, 其次为
 189 山东大部分地区, 均在 4d 以上, 而北部的内蒙古大部分地区在 4d 以下 (图 6d), II 态对应的近 60
 190 年冬季极端降水日数空间分布则表现为“西南多, 东北少”, 山西大部分仍可达 4.5d 以上, 内蒙古大
 191 部分地区在 4d 以下 (图 6e)。就差值而言, 1961~2020 年冬季华北平均极端降水日数在 II 态背景下

192 较 I 态背景呈“中部增加，四周减少”分布型，其中河北西南部及山西东北部冬季极端降水日数增幅
 193 可达 0.6d 以上，而内蒙古中北部极端降水日数最大降幅可达 0.8d 以上（图 6f）。

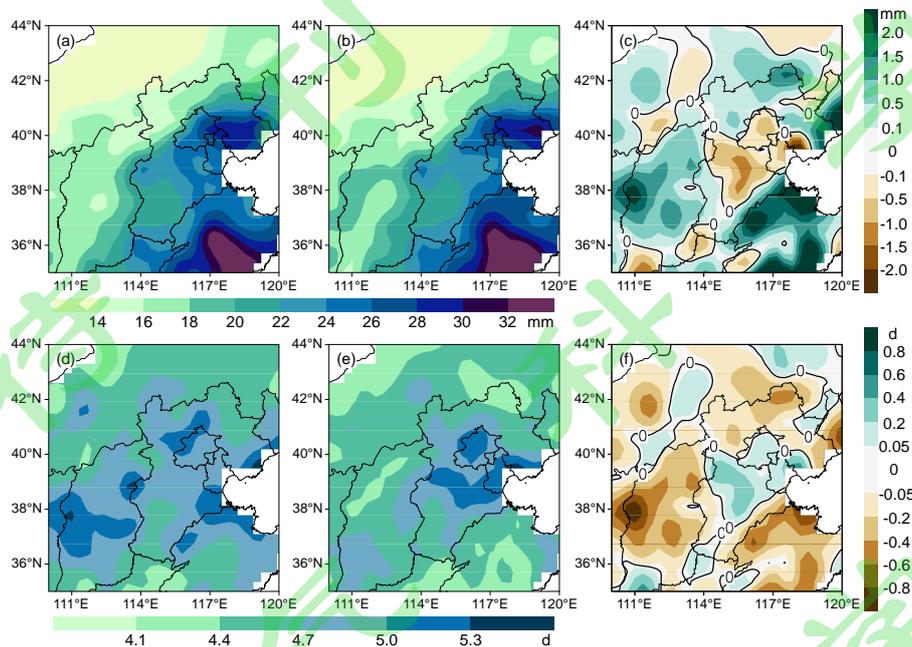


194
 195 图 6 华北冬季极端降水阈值气候态及 1961~2020 年平均极端降水日数分布(a. 气候 I 态极端降水阈值，单位：mm；
 196 b.气候 II 态极端降水阈值，单位：mm； c. II 态与 I 态极端降水阈值的差，单位：mm； d. I 态下 1961~2020 年平均
 197 极端降水日数，单位：d； e. II 态下 1961~2020 年平均极端降水日数，单位：d； f. II 态与 I 态下 1961~2020 年极端
 198 降水日数的差，单位：d)

199 Fig.6 The climatic state of winter extreme precipitation threshold in the North China and the distribution of average extreme
 200 precipitation days from 1961 to 2020 (a. extreme precipitation threshold of the climate state I , unit: mm; b. as in Fig. 6a,
 201 but of the climate state II ; c. difference of extreme precipitation threshold between state II and state I , unit: mm; d.
 202 average number of extreme precipitation days from 1961 to 2020 relative to state I , unit: d; e. as in Fig. 6d, but relative to
 203 state II ; f. difference in the number of extreme precipitation days from 1961 to 2020 between state II and state I , unit:
 204 d)

205 此外，本研究计算了 I 态华北平均夏季极端降水阈值，为 21.6mm，II 态 (22.0mm) 较 I 态有
 206 所提高。图 7 给出华北夏季极端降水阈值气候态及 1961~2020 年平均极端降水日数分布。如图所示，
 207 夏季极端降水阈值在两个气候态下也基本维持东南向西北递减的特征（图 7a,b）。II 态极端降水阈
 208 值较 I 态在华北大部分地区均有所增加，其中山西东部和山东大部分地区降水增幅最大可达 2mm
 209 以上，而内蒙古中东部、河北中部和山西南部地区极端降水阈值有所降低，降幅最大可达 1.2mm
 210 （图 7c）。I 态对应的近 60 年夏季极端降水日数空间分布在山西中西部和河北中东部地区最大（5d
 211 以上），其次为河北西北部地区（图 7d），II 态对应近 60 年的夏季极端降水日数空间分布在河北中
 212 北部地区最大（5d 以上）（图 7e）。就差值而言，1961~2020 年夏季华北大部分地区的平均极端降

213 水日数在 II 态背景下较 I 态背景有所减少,其中山西中西部地区和山东北部地区夏季极端降水日数
 214 降幅可达 0.6d 以上,而河北中部地区及内蒙古中东部地区极端降水日数有所增加,最大增幅在 0.4d
 215 以下(图 7f)。



216
 217 图 7 同图 6, 但为夏季

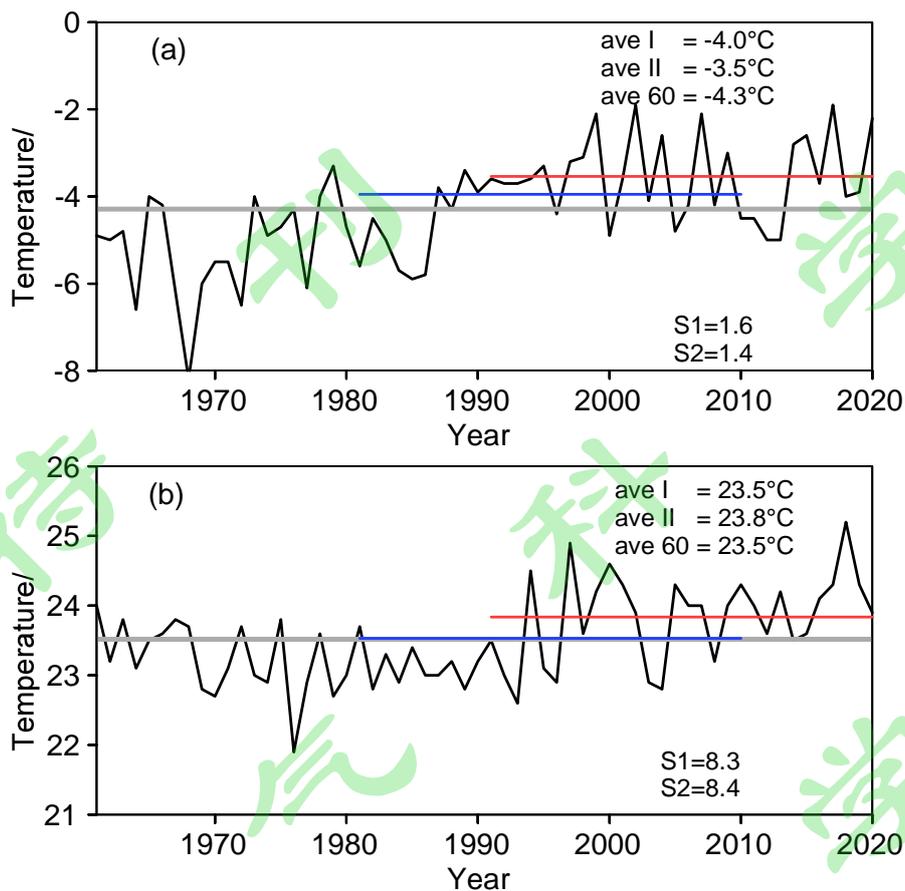
218 Fig.7 As in Fig.6, except for the distribution of summer

219 在气候监测工作中,必须考虑极端降水阈值替换后引起的极端降水事件评估上的变化,若选取
 220 新的极端降水阈值,会导致华北大部分地区极端降水事件标准更高,极端降水事件的发生频次降低;
 221 在气候预测工作中,极端降水频次的降低会导致预测难度的增加。

222 4 气温气候态变化特征分析

223 4.1 气温时间变化分析

224 为直观表征华北气温的演变趋势,图 8 给出 1961~2020 年以来冬季和夏季华北平均气温序列,
 225 其中蓝色实线代表 1981~2010 年气温平均值,红色实线代表 1991~2020 年。从图 8a 中可看出,II
 226 态的冬季平均气温(-3.5℃)明显高于 I 态(-4.0℃),也高于 1961~2020 年平均气温(-4.3℃),但
 227 II 态标准差(1.4)略小于 I 态(1.6),说明 II 态的冬季平均气温逐年变化差异较小;夏季 I 态平均
 228 气温(23.5℃)与 1961~2020 年平均气温(23.5℃)基本持平,II 态的夏季平均气温(23.8℃)明
 229 显高于 I 态,与冬季不同的是,夏季平均气温标准差 II 态(8.4)大于 I 态(8.3),说明 II 态的夏季
 230 平均气温逐年变化差异较大。



231

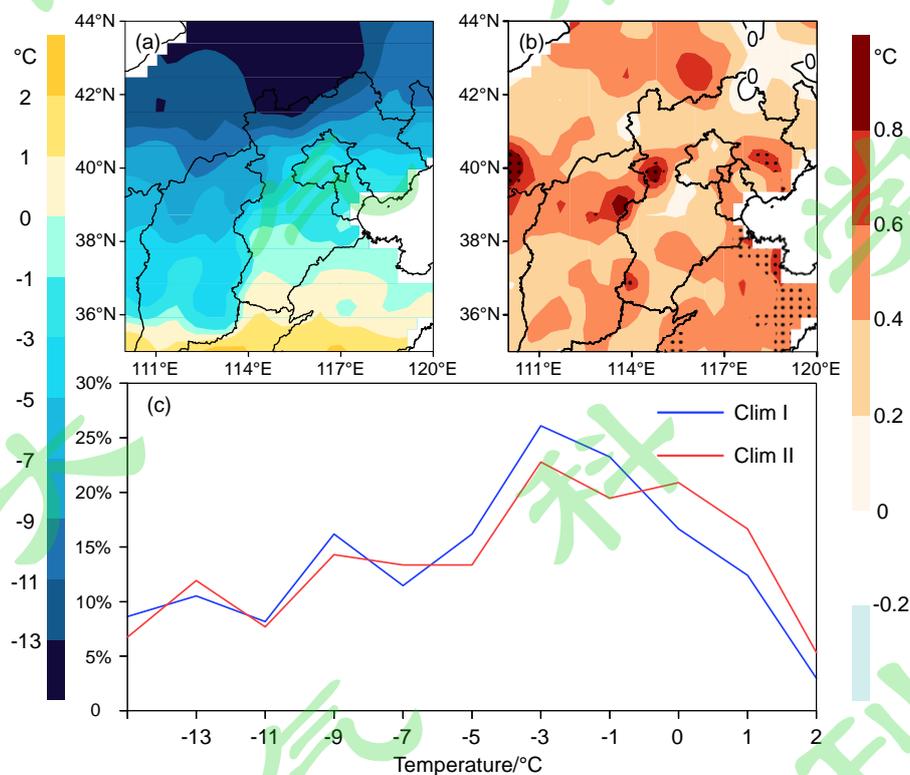
232 图 8 1961~2020 年华北 (a) 冬季和 (b) 夏季平均气温曲线(单位: °C; 灰色实线为 1961~2020 年平均气温, 蓝色实
 233 线为 1981~2010 年平均气温, 红色实线为 1991~2020 年平均气温; ave I 为 1981~2010 年平均气温, ave II 为 1991~2020
 234 年平均气温, ave 60 为 1981~2020 年平均气温; S1 为 1981~2010 年标准差, S2 为 1991~2020 年标准差)

235 Fig. 8 The average (a) winter and (b) summer temperatures in the North China from 1961 to 2020 (unit:mm; grey lines are
 236 the 1961~2020averaged temperatures, blue lines, 1981~2010, red lines,1991~2020; ave I indicates the mean temperature of
 237 1981~2010, ave II, 1991~2020, ave 60, 1981~2020; S1 indicates the standard deviation of 1981~2010, S2, 1991~2020)

238 4.2 气温空间变化分析

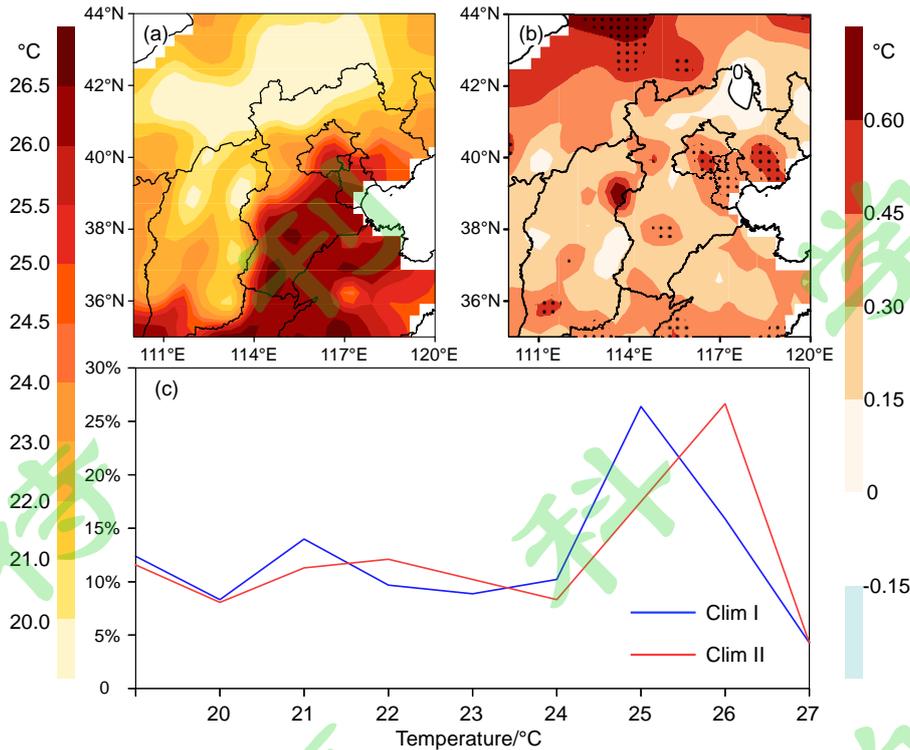
239 然后给出华北冬季和夏季平均气温气候态的空间分布(图 9 和图 10)。就气温的空间分布而言,
 240 气候 II 态在冬季(图 9a)和夏季(图 10a)都维持由东南向西北递减的特征。此外,虽然气温均值
 241 II 态较 I 态有所增加,华北地区 II 态平均气温等温线较 I 态北移,但区域不平衡特征较为显著。例
 242 如,冬季内蒙古中东部、陕西北部、山西北部及东南部、河北部分地区和山东大部分地区平均气温
 243 II 态较 I 态偏高 0.4°C 以上,其中陕西北部和山东东部地区差异显著,通过了 95% 显著性检验,而
 244 华北其他地区 II 态平均气温较 I 态偏高 0.2~0.4°C,内蒙古中东部和河北北部个别站点 II 态平均气
 245 温略低于 I 态(图 9b)。夏季华北大部分地区 II 态平均气温高于 I 态,内蒙古中北部、河北东北部、
 246 河南北部和山东南部地区差异显著,通过了 95% 显著性检验(图 10b)。此外,给出了冬、夏平均

247 气温的概率分布曲线（图 9c，图 10c）。如图所示，冬季气温概率呈偏峰分布型：冬季 II 态出现气
 248 温在-13~ -5℃之间发生的概率 II 态与 I 态大小存在波动，但均小于 20%，0~2℃之间的概率明显大
 249 于 I 态，其发生概率在 5%~20%之间，气温为-3℃时出现概率 II 态小于 I 态，为 25%左右，达到概
 250 率峰值。夏季气温概率分布型与冬季类似，也为偏峰型分布：气温在 20℃~ 24℃之间发生的概率 II
 251 态与 I 态大小存在波动，但均小于 15%，I 态于 II 态气温分别在 25℃和 26℃达到概率峰值，发生
 252 概率超过 25%。由此发现，冬、夏季均为 II 态出现较高气温的概率大于 I 态，即华北冬、夏季气温
 253 均为 II 态高于 I 态，与图 8 的结论一致。就冬季和夏季气温的标准差空间分布而言，I 态和 II 态都
 254 在冬季和夏季都维持由东南向西北递增的特征，即气温低的区域标准差变化相对较大；冬季平均气
 255 温华北大部分地区的标准差 II 态比 I 态有所减小，仅在内蒙古中东部地区、河北个别站点、山西个
 256 别站点以及山东个别站点的标准差 II 态较 I 态大，夏季平均气温标准差 II 态与 I 态的差值基本呈
 257 “东正西负”分布型（图略）。



258
 259 图 9 华北冬季平均气温气候态分布(单位: °C; a.1991~2020 年平均; b. 1991~2020 年与 1981~2010 年差值, 打点区
 260 通过 95%显著性检验; c. 冬季气温概率分布曲线, 横坐标单位 °C)

261 Fig.9 Climatic distribution of winter temperatures in the North China (unit: °C; a. averaged in 1991~2020; b. the difference
 262 between 1991~2020 and 1981~2010, dotted areas indicate the 95% significance level; c. probability distribution curve of
 263 winter temperatures, abscissa unit: °C)

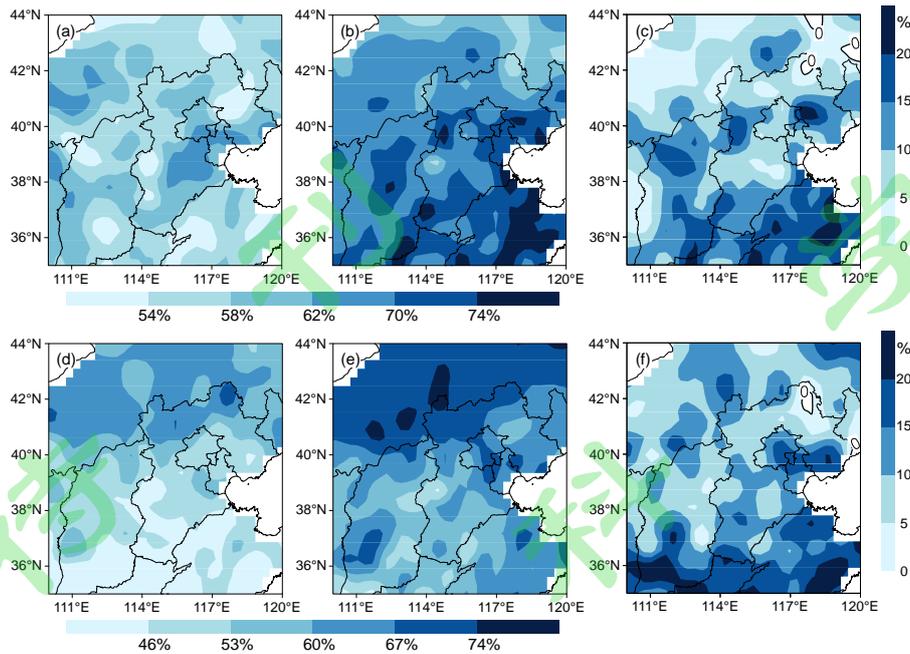


264

265 图 10 同图 9, 但为夏季

266 Fig.10 As in Fig.9, except for the distribution of summer

267 1961~2020 年华北冬季平均气温气候 I 态下基本为负距平, II 态气温负距平加强, 距平值降低
 268 0.2~1.0°C (图略)。由于华北大部分地区气温为负距平, 因此本研究统计了近 60 年冬季各站在 I 态
 269 和 II 态下出现负距平的概率及其差异 (图 11a,b,c)。如图所示, 华北全区出现负气温距平的概率 II
 270 态较 I 态大, 尤其在华北中南部, 即山西大部分地区、河北部分地区及山东大部分地区, 差异可达
 271 15% 以上, 因此这些地区在 II 态下更容易出现气温偏低的情况。夏季, 近 60 年华北中北部地区在
 272 I 态下为气温负距平区, 华北南部地区被气温正距平覆盖, II 态下华北全区夏季平均气温距平均有
 273 不同程度的降低, 其中华北南部地区气温距平由正转负 (图略)。同样统计了近 60 年夏季各站在 I
 274 态和 II 态下出现负距平的概率及其差异 (图 11d,e,f)。如图所示, 华北全区出现负气温距平的概率
 275 II 态较 I 态大, 尤其在华北南部地区, 即山西南部、河南北部及山东大部分地区, 差异可达 20%
 276 以上, 所以这些地区在 II 态下更容易出现气温偏低的情况。

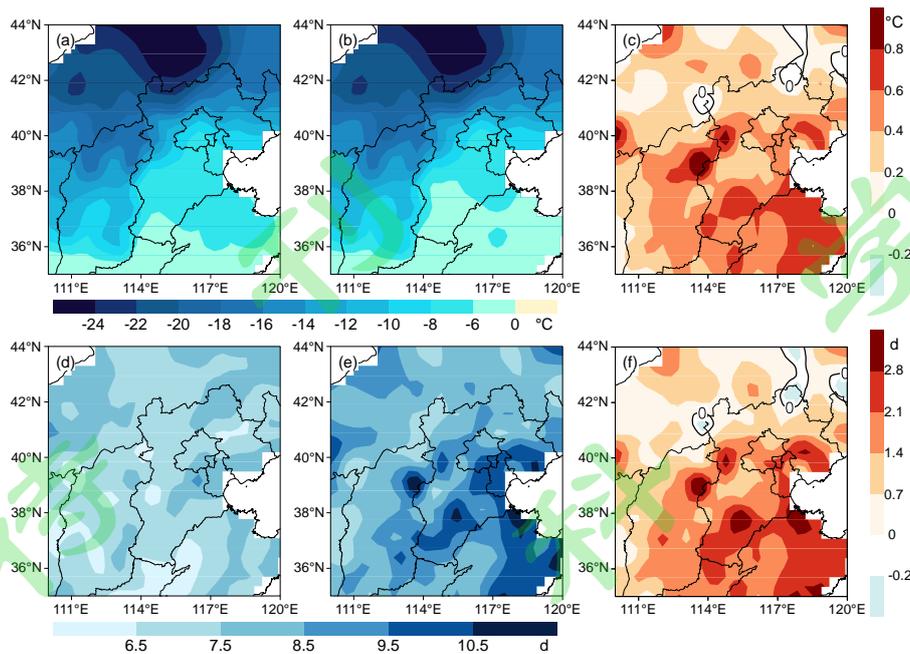


277

278 图 11 1961~2020 年华北平均气温距平负异常概率分布(单位: %; a. 1961~2020 年冬季相对于 I 态出现负气温异常的
 279 概率; b. 同 a, 但为 II 态; c. b 与 a 的差值; d. 1961~2020 年夏季相对于 I 态出现负气温异常的概率; e. 同 d, 但为
 280 II 态; f. e 与 d 的差值)

281 Fig.11 The distribution of negative temperature anomaly probability in the North China from 1961 to 2020(a. probability of
 282 negative winter temperature anomalies from 1961 to 2020 relative to state I; b. as in Fig.11a, except for relative to state
 283 II; c. difference between b and a; d. probability of negative summer temperature anomalies from 1961 to 2020 relative to
 284 state I; e. as in Fig.11d, except for relative to state II; f. difference between e and d)

285 图 12 给出华北冬季极端低温阈值气候态及 1961~2020 年平均极端低温日数分布。经计算, I
 286 态华北平均冬季极端低温阈值为 -10.2°C , II 态较 I 态有所提高, 为 -9.8°C 。冬季极端低温阈值空间
 287 分布(图 12a, b)在两个气候态下基本维持东南向西北递减的特征。冬季 II 态极端低温阈值较 I 态
 288 在华北大部分地区均有所升高, 其中山西东部、河北中南部和山东大部分地区升温幅度可达 0.4°C
 289 以上, 内蒙古和河北北部个别站点极端低温阈值有所降低, 降幅 $0\sim 0.2^{\circ}\text{C}$ 之间(图 12c)。I 态对应
 290 的近 60 年冬季极端低温日数空间分布在华北地区呈西南向东北增加的分佈型, 山西西部、河南北
 291 部和山东西部地区极端低温日数基本在 6.5d 以下, 其他地区在 $6.5\sim 8.5\text{d}$ 左右(图 12d), II 态对应
 292 的近 60 年冬季极端低温日数空间分布则表现为东南多(9.5d 以上), 西北少($7.5\sim 9.5\text{d}$)的分佈型
 293 (图 12e)。就差值而言, 1961~2020 年冬季华北大部分地区极端低温日数在 II 态下较 I 态背景均有
 294 所增加, 在山西东部、河北中南部、河南北部及山东大部分地区极端低温日数增幅为 1.4d 以上,
 295 而内蒙古东和河北北部个别站点极端低温日数有所减少(图 12f)。



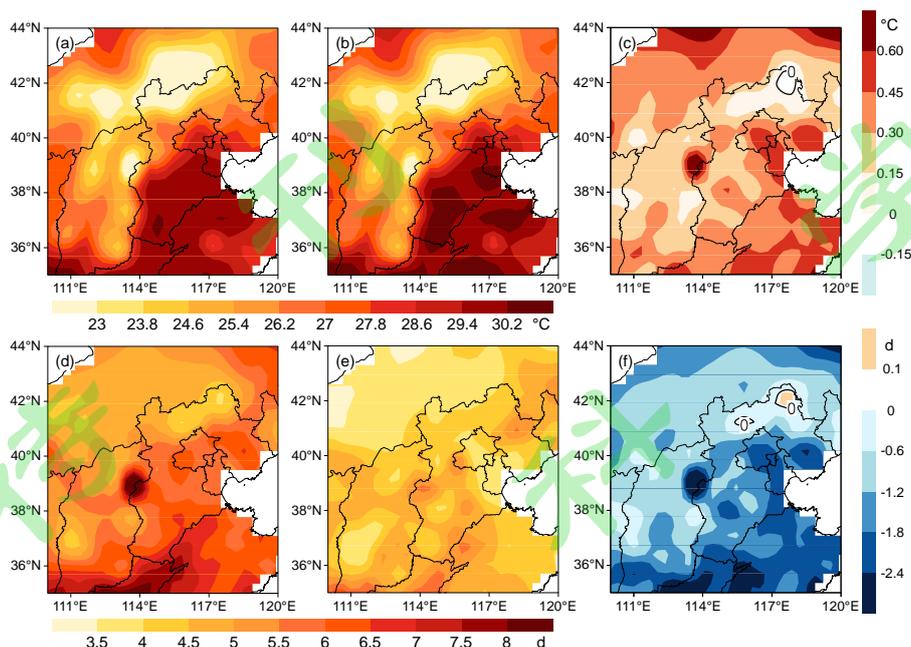
296

297 图 12 华北冬季极端低温阈值气候态及 1961~2020 年平均极端低温日数分布(a. 气候 I 态极端低温阈值, 单位: °C;
 298 b.气候 II 态极端低温阈值, 单位: °C; c. II 态与 I 态极端低温阈值的差, 单位: °C; d. I 态下近 1961~2020 年平均极
 299 端低温日数, 单位: d; e. II 态下近 1961~2020 年平均极端低温日数, 单位: d; f. II 态与 I 态下近 1961~2020 年极
 300 端低温日数的差, 单位: d)

301 Fig.12 The climatic state of winter extreme low temperature threshold in the North China and the distribution of average
 302 extreme low temperature days from 1961 to 2020 (a. extreme low temperature threshold of the climate state I , unit: °C; b.
 303 as in Fig. 12a, but of the climate state II ; c. difference of extreme low temperature threshold between state II and state
 304 I , unit: °C; d. average number of extreme low temperature days from 1961 to 2020 relative to state I , unit: d; e. as in Fig.
 305 12d, but relative to state II , unit: d; f. difference in the number of extreme low temperature days from 1961 to 2020
 306 between state II and state I , unit: d)

307 此外, 本文计算了 I 态华北平均夏季极端高温阈值 (27.5°C), II 态较 I 态有所提高, 为 27.9°C。
 308 图 13 给出华北夏季极端高温阈值气候态及 1961~2020 年平均极端高温日数分布。如图所示, 夏季
 309 极端高温阈值在两个气候态下也基本维持东南向西北递减的特征 (图 13a,b)。II 态极端高温阈值较
 310 I 态在全国大部分地区均有所升高, 其中内蒙古中部、山西东北部及南部地区、河北东部、河南北
 311 部和山东大部分地区阈值增幅可达 0.3°C 以上, 河北北部个别站点极端高温阈值有所降低, 降温幅
 312 度基本在 0~0.15°C (图 13 c)。I 态对应的近 60 年夏季极端高温日数呈南多 (6d 以上) 北少 (4~6d)
 313 的空间分布型 (图 13d), II 态对应的近 60 年夏季极端高温日数空间分布与 I 态有类似的分布型,
 314 最大值出现在山西南部 and 河南北部地区, 约 5~6d (图 13e)。就差值而言, 1961~2020 年夏季全国
 315 大部分地区的平均极端高温日数在 II 态背景下较 I 态背景存在不同程度的减少, 其中山西东北部及
 316 南部地区、河北中南部、河南北部和山东大部分区域极端高温日数减少 1.2d 以上, 河北北部个别

317 站点极端高温日数有所增加（图 13f）。



318
319 图 13 华北夏季极端高温阈值气候态及 1961~2020 年平均极端高温日数分布(a. 气候 I 态极端高温阈值, 单位: °C;
320 b.气候 II 态极端高温阈值, 单位: °C; c.II 态与 I 态极端高温阈值的差, 单位: °C; d.气候 I 态下 1961~2020 年平
321 均极端高温日数, 单位: d; e.气候 II 态下 1961~2020 年平均极端高温日数, 单位: d; f.II 态与 I 态下 1961~2020
322 年极端高温日数的差, 单位: d)

323 Fig. 13 The climatic state of summer extreme high temperature threshold in the North China and the distribution of average
324 extreme high temperature days from 1961 to 2020 (a. extreme high temperature threshold of the climate state I, unit: °C;
325 b. as in Fig. 13a, but of the climate state II; c. difference of extreme low temperature threshold between state II and state
326 I, unit: °C; d. average number of extreme high temperature days from 1961 to 2020 relative to state I, unit: d; e. as in
327 Fig. 13d, but relative to state II, unit: d; f. difference in the number of extreme high temperature days from 1961 to 2020
328 between state II and state I, unit: d)

329 与极端降水类似, 在气候监测工作中, 必须考虑极端气温阈值替换后引起的极端气温事件评估
330 上的变化, 若夏季选取新的极端高温阈值, 会导致华北大部分地区极端高温标准更高, 极端高温事
331 件的发生频次降低; 在气候预测工作中, 极端高温事件频次的降低会导致预测难度的增加。

332 5 结论和讨论

333 采用中国气象局国家气象信息中心提供的全国 2400 个台站 1961~2020 年逐日降水和平均气温
334 资料, 本文对华北冬季和夏季不同气候态的降水及气温要素变化特征进行了客观详细地分析, 以期
335 加深对华北地区气候变化规律与特征的认识, 为华北气候业务提供相关的技术支持。主要结论如下:

336 通过对比分析发现，气候 II 态的冬季和夏季的平均降水量（14.8mm 和 327.0mm）均多于气候
337 I 态（14.0mm 和 321.6mm），但不多于 1961~2020 年冬夏季平均降水量（14.8mm 和 338.4）。冬季
338 标准差 II 态（7.40）小于 I 态（7.44），即冬季平均降水量 II 态的逐年变化小于 I 态，夏季反之，II
339 态（123.1）大于 I 态（120.3）。就降水的空间分布而言，I 态和 II 态在冬季和夏季都维持由东南向
340 西北递减的特征。虽然降水均值 II 态较 I 态有所增加，但区域不平衡特征较为显著。此外研究发现
341 冬夏季均为 II 态出现较大降水量的概率大于 I 态，与华北冬夏季降水量均为 II 态多于 I 态的结论一
342 致。1961~2020 年冬季平均降水量在 II 态下的降水负异常概率在华北大部分地区均较 I 态偏高，在
343 河北东北部、西北部和中部地区以及山西东北部和南部地区情况反之。夏季，华北大部分地区近
344 60 年降水距平百分率基本被正距平所覆盖，II 态较 I 态出现正距平降水概率的空间分布呈“东西减
345 少，中部增加”型。

346 华北平均冬季和夏季极端降水阈值 II 态（0.86mm 和 22.0mm）较 I 态（0.83mm 和 21.6mm）
347 有所提高。空间上两个气候态在冬、夏季均基本维持东南向西北递减的特征。就 II 态和 I 态的极端
348 降水阈值的差异而言，冬、夏季基本都呈“中部降低，四周升高”的分布型。近 60 年河北大部分地
349 区冬、夏季极端降水日数为 II 态较 I 态减少，在内蒙古、河北和山西部分地区 II 态较 I 态有所增加。

350 气候 II 态的冬和夏季平均气温（-3.5℃和 23.8℃）均明显高于气候 I 态（-4.0℃和 23.5℃），也
351 高于 1961~2020 年冬夏季平均气温（-4.3℃和 23.5℃）。冬季标准差 II 态（1.4）小于 I 态（1.6），即
352 冬季平均气温 II 态的逐年变化小于 I 态，夏季反之，II 态（8.4）大于 I 态（8.3）。就气温的空间分
353 布而言，I 态和 II 态在冬季和夏季都维持由东南向西北递减的特征，华北大部分地区 II 态平均气温
354 等温线较 I 态北移，虽然气温均值 II 态较 I 态有所增加，但区域不平衡特征较为显著，例如冬季陕
355 西北部和山东东部地区平均气温 II 态较 I 态偏高 0.4℃以上，差异显著，通过了 95% 显著性检验，
356 夏季内蒙古中北部、河北东北部、河南北部和山东南部地区 II 态较 I 态气温显著偏高，通过了 95%
357 显著性检验。此外研究发现冬夏季均为 II 态出现较高气温的概率大于 I 态，与华北冬夏季气温均为
358 II 态高于 I 态的结论一致。1961~2020 年冬季和夏季平均气温在 II 态下的负异常概率在华北全区均
359 较 I 态偏高。

360 华北冬季极端低温和夏季极端高温阈值 II 态（-9.8℃和 27.9℃）较 I 态（-10.2℃和 27.5℃）有
361 所提高。空间上两个气候态在冬、夏季均基本维持东南向西北递减的特征。不论冬夏，华北大部分
362 地区 II 态极端气温阈值较 I 态均有所提高，仅在内蒙古及河北北部个别站点有所降低。I 态和 II 态
363 对应的近 60 年极端气温日数在冬季和夏季有不同的分布型。冬季 I 态对应的近 60 年极端低温日数
364 空间分布为西南向东北增加的分布型，II 态对应的近 60 年冬季极端低温日数空间分布则表现为东
365 南多（9.5d 以上），西北少（7.5~9.5d）的分布型。就差值而言，近 60 年华北大部分地区冬季极端
366 低温日数 II 态较 I 态均有所增加，夏季极端高温日数为 II 态较 I 态存在不同程度的减少。

367 在气候监测业务工作中，必须考虑极端天气气候事件阈值替换后引起的极端事件监测上的变
368 化，新气候态的应用将导致华北大部分地区极端降水阈值和极端气温阈值均有所提高，造成近 60
369 年极端低温被监测到的概率增加，而极端高温和极端降水被监测到的概率降低，导致监测难度增加。

370 华北大部分地区极端降水和高温事件发生频次的降低将导致预测难度的增加,同时气温趋势的预测
371 也将对预报员产生新的挑战。此外气候态的改变也对气象服务造成较大的影响,出现极端天气气候
372 事件与否,政府在决策时会采取完全不同的措施。因此,在未来 10 年的气候监测预测业务中要充
373 分考虑新气候态可能造成的影响。

374 需要指出的是,本研究重点考虑了冬季和夏季气候平均值的变化特征,而各种气候因子的具体
375 变化也是值得研究的内容,例如 500hPa 位势高度场及海温场的变化情况。另外,平均值的改变对
376 气候变化的影响方面,对高温热浪等事件的影响也是十分重要的。关于其他气候因子的具体变化特
377 征,在未来的工作中会进一步研究。

378 参考文献(References)

- 379 Angel J R, Easterling W R, Kirtsch S W. 1993. Towards defining appropriate averaging periods for
380 climate normal [J]. *Clim. Bulletin.*, 27: 29-44.
- 381 Cao L J, Yan Z W, Zhao P, et al. 2017. Climatic warming in China during 1901-2015 based on an
382 extended dataset of instrumental temperature records [J]. *Environ. Res. Lett.*, 12(6):064005.
- 383 陈世荣. 1990. 气候平均值的计算及意义 [J]. *海洋预报*, 7(4):49-54. Chen S R. 1990. The computation
384 of climatological normal and its significance [J]. *Marine forecast (in Chinese)*, 7(4):49-54.
- 385 Court A. 1968. Climatic normal as predictors: Parts I-V[M]. *Bedford: Air Force Cambridge Research Lab.*
- 386 丁一汇, 王会军. 2016. 近百年中国气候变化科学问题的新认识[J]. *科学通报*, 61(10): 1027-1041.
- 387 Ding Y H, Wang H J. 2016. Newly acquired knowledge on the scientific issues related to climate
388 change over the recent 100 years in China [J]. *Chinese. Sci. Bull.(in Chinese)*, 61(10): 1027-1041.
- 389 丁裕国, 江志红. 2009. 极端气候研究方法导论 [M]. 北京: 气象出版社. Ding Y G, Jiang Z H. 2009.
390 Introduction to extreme climate research methods [M]. *Beijing: Meteorological Press(in Chinese)*.
- 391 房一禾, 赵春雨, 王颖, 等. 2016. 新、旧气候态的差异及对东北地区气候业务的影响 [J]. *气候变化*
392 *研究进展*, 12(3):193-201. Fang Y H, Zhao C Y, Wang Y, et al. 2016. The difference between new
393 and old climatic stage and its influence on climatic operation in the Northeast China [J]. *Climate*
394 *Change Research (in Chinese)*, 12(3): 193-201.
- 395 高荣, 邹旭凯, 王遵娅, 等. 2012. 中国极端天气气候事件图集 [M]. 北京: 气象出版社. Gao R, Zou X K,
396 Wang Z Y, et al. 2012. Atlas of extreme weather and climate events in China [M]. *Beijing:*
397 *Meteorological Press(in Chinese)*.
- 398 Gu X, Zhang Q, Singh V P, et al. 2019. Potential contributions of climate change and urbanization to
399 precipitation trends across China at national, regional and local scales [J]. *International Journal of*
400 *Climatology*, 39(6): 2998-3012.
- 401 郝立生, 马宁, 何丽焯, 等. 2021. 北半球夏季大气低频振荡演变特征及其与华北夏季降水的关系[J].
402 *大气科学*, 45(6): 1259-1272. Hao L S, Ma N, He L Y, et al. 2021. Evolution Characteristics of
403 BSISO and Its Relationship with Summer Precipitation in North China [J]. *Chinese Journal of*

404 [Atmospheric Sciences \(in Chinese\)](#), 45(6): 1259–1272.

405 IPCC. 2013. Summary for policymakers//Climate Change2013: the physical science basis. Contribution
 406 of Working Group I to the fifth assessment report of the Intergovernmental Panel on Climate
 407 Change[M]. [Cambridge & New York: Cambridge University Press](#).

408 Karl T R, Riebsame W E. 1984. The identification of 10- to 20-year temperature and precipitation
 409 fluctuations in the contiguous united states [J]. [Journal of Applied Meteorology](#), 23:6(6), 950-966.

410 Karl T R. 1988. Multi-year fluctuations of temperature and precipitation: the gray area of climate change
 411 [J]. [Climatic Change](#), 12(2), 179-197.

412 雷向杰, 黄祖英, 田武文, 等. 2005. 两个 30 年气候平均值的差异极其对气候业务的影响 [J]. [气象科
 413 技](#), 33(2): 124-127. Lei X J, Huang Z Y, Tian W W, et al. 2005. Difference of two 30-year averages
 414 and its influence on operational climatic analysis [J]. [Meteorological science and technology \(in
 415 Chinese\)](#), 33(2): 124-127.

416 Li Y Z, Wang L, Zhou H X, et al. 2019. Urbanization effects on changes in the observed air temperatures
 417 during 1977-2014 in China [J]. [Int. J. Climatol.](#), 39(1):251-265.

418 林婧婧, 张强. 2015. 我国北方气温和降水气候态变化特征及其对气候检测结果的影响 [J]. [气候变
 419 化研究进展](#), 11(4): 281-287. Lin J J, Zhang Q. 2015. Characteristics of temperature and
 420 precipitation climate stage change in the South and North of China and its influence of climate
 421 monitoring [J]. [Advances in climate change research \(in Chinese\)](#), 11(4): 281-287.

422 Mitchell J M. 1976. An overview of climatic variability and its causal mechanisms [J]. [Quaternary
 423 Research](#), 6(4), 481-493.

424 秦大河, 陈振林, 罗勇, 等. 2007. 气候变化科学的最新认知 [J]. [气候变化研究进展](#), 3(2): 63-73. Qin
 425 D H, Chen Z L, Luo Y, et al. 2007. Updated Understanding of Climate Change Sciences [J].
 426 [Advances in climate change research \(in Chinese\)](#), 3(2): 63-73.

427 Sabin T E, Shulman M D. 1985. A statistical evaluation of the efficiency of the climatic normal as a
 428 predictor [J]. [Journal of Climatology](#), 5:63-77.

429 史道济. 2005. 实用极值统计方法 [M]. [天津:天津科学技术出版社](#). Shi D J. 2005. Practical extreme
 430 value statistical method [M]. [Tianjin:Tianjin Science and Technology Press\(in Chinese\)](#).

431 宋连春, 巢清尘, 朱晓金, 等. 2019. 2019 年中国气候变化蓝皮书 [M]. [北京: 中国气象局气候变化
 432 中心](#). Song L C, Chao Q C, Zhu X J, et al. 2019. Blue paper on climate change in China in 2019 [M].
 433 [Beijing: Climate Change Center of China Meteorological Administration \(in Chinese\)](#).

434 童宣, 严中伟, 李珍, 等. 2018. 近百年中国两次年代际气候变暖中的冷、暖平流背景 [J]. [气象学报](#),
 435 76 (4): 554-565. Tong X, Yan Z W, Li Z, et al.2018. The background of cold/warm advection for
 436 two interdecadal warming processes during the last century in China [J]. [Acta. Meteor. Sinica. \(in
 437 Chinese\)](#), 776 (4): 554-565.

438 王秀文, 李月安. 2003. 新气候平均值在中期预报业务中的应用 [J]. [气象](#), 29(1): 43-45. Wang X W,
 439 Li Y A. 2003. Application of new normal to med-range forecast operation [J]. [Meteorological
 440 monthly \(in Chinese\)](#), 29(1): 43-45.

441 王永光. 2002. 多年平均值的改变对中国气候业务的影响 [J]. [气象](#), 28(8): 41-43. Wang Y G. 2002.

442 The influence of normals change upon climate operation of China [J]. *Meteorological monthly (in*
443 *Chinese)*, 28(8): 41-43.

444 魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 北京:气象出版社. Wei F Y. 2007. Modern
445 Statistical Diagnosis and Prediction Technology on Climate [M]. *Second Edition, China*
446 *Meteorological Press, Beijing, 296 pp. (in Chinese)*

447 严中伟, 丁一汇, 翟盘茂, 等. 2020. 近百年中国气候变暖趋势之再评估 [J]. *气象学报*, 78(3):
448 370-378. Yan Z W, Ding Y H, Zhai P M, et al. 2020. Re-assessing climatic warming in China since
449 the last century [J]. *Acta Meteorologica Sinica (in Chinese)*, 78(3): 370-378.

450 姚慧茹, 李栋梁, 王慧. 2017. 1981-2012 年西北东部夏季降水不同强度雨日变化及其环流特征的对
451 比分析 [J]. *气象学报*, 75(3) : 384-399. Yao H R, Li D L, Wang H. 2017. A comparative analysis of
452 the atmospheric circulation in summertime rainy days with different precipitation intensity in eastern
453 Northwest China during 1981—2012. *Acta. Meteorologica. Sinica. (in Chinese)*, 75(3) : 384-399.

454 翟盘茂, 廖圳, 陈阳, 等. 2017. 气候变暖背景下降水持续性与相态变化的研究综述 [J]. *气象学报*,
455 75 (4) : 527-538. Zhai P M, Liao Z, Chen Y, et al. 2017. A review on changes in precipitation
456 persistence and phase under the background of global warming. *Acta. Meteorologica. Sinica. (in*
457 *Chinese)*, 75 (4) : 527-538.

458 赵宗慈, 罗勇, 王绍武, 等. 2015. 全球变暖中的科学问题 [J]. *气象与环境学报*, 31(1): 1-5. Zhao Z
459 C, Luo Y, Wang S W, et al. 2015. Science issues on global warming [J]. *Journal of Meteorology and*
460 *Environment (in Chinese)*, 31(1): 1-5.

461

气
科
风
刊
气
信