Vol. 41 No. 3 March 2015

李维京,左金清,宋艳玲,等. 2015. 气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化. 气象,41(3):261-271.

气候变暖背景下我国南方旱涝灾害 时空格局变化^{*}

李维京 左金清 宋艳玲 刘景鹏 李 瑜 沈雨旸 李景鑫

国家气候中心气候研究开放实验室,北京 100081

提 要: 我国南方地区各季节降水异常主要包含三种优势模态:长江及其以南地区降水呈整体偏多或偏少的一致型,长江中下游流域与华南呈反相变化的南北反相型以及东南与西南呈反相变化的东西反相型。其中一致型是南方地区各季节降水变率的第一优势模态。总体而言,在 1961—2013 年南方地区平均降水存在明显的年代际和长期趋势变化。其中,夏季和冬季南方区域平均降水具有相似的年代际变化特征,而秋季降水的年代际演变几乎与上述两个季节的相反。不过,在近 30 年南方各季降水量发生年代际转折的时间不尽相同:春季和秋季降水分别在 21 世纪初期和 20 世纪 80 年代中后期之后进入干位相,冬季和夏季降水则分别在 80 年代中期和 90 年代初期之后进入湿位相。自 21 世纪初期以来,南方夏季和冬季降水逐渐转入中性位相。此外,南方春季和秋季降水均呈减少趋势;而夏季和冬季则相反,均呈增多趋势。对于西南地区,除了春季外,其他三个季节的降水均呈减少趋势,出现了季节连旱的特征,尤其是秋旱最为严重。不过,不管是季节降水量还是旱/涝日数,在我国南方大部分地区其线性变化趋势并不十分显著,这与南方降水年代际分量对降水变率存在较大贡献相关。分析还发现,我国南方区域洪涝受灾面积具有比较明显的年代际变化,而干旱受灾面积则没有明显的年代际变化特征,近十多年来西南地区干旱和洪涝受灾出现了交替互现的特点。

关键词:南方旱涝,时空格局,旱涝受灾面积,年代际变化,长期趋势

中图分类号: P467

文献标志码: A

doi: 10.7519/j. issn. 1000-0526. 2015. 03. 001

Changes in Spatio-Temporal Distribution of Drought/Flood Disaster in Southern China Under Global Climate Warming

LI Weijing ZUO Jinqing SONG Yanling LIU Jingpeng LI Yu SHEN Yuyang LI Jingxin Laboratory for Climate Studies, National Climate Centre, Beijing 100081

Abstract: The variability of seasonal-mean precipitation in southern China exists in three dominant modes: the first leading mode features consistent precipitation variation nearly over the whole part of southern China. The other two leading modes describe an out-of-phase relationship of precipitation anomalies between the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin and the south of the basin and between the southeast and southwest China, respectively. The regional-averaged precipitation in southern China is characterized by obviously interdecadal and long-term changes in all the four seasons, of which the precipitation in summer has similar interdecadal changes with that in winter but contrasts with that in autumn during 1961—2013. Additionally, the interdecadal temporal turning points of precipitation anomalies are different in different seasons in the recent three decades. The spring and autumn precipitation anomalies enter into dry phase after the early 2000s and the mid-late 1980s, respectively, while the winter and summer precipitation anomalies go into wet phase after the middle 1980s and early 1990s, respectively. The summer and winter

^{*} 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2013CB430203)、公益性行业(气象)科研专项(GYHY201306033)和国家自然科学基金项目(41205058)共同资助

²⁰¹⁵年2月28日收稿; 2015年3月11日收修定稿

第一作者:李维京,主要从事短期气候预测研究. Email:liwj@cma. gov. cn

precipitation anomalies gradually become neutral since the early 2000s. Furthermore, the regional-averaged precipitation in southern China shows a decreasing trend in spring and autumn, but an increasing one in summer and winter during 1961—2013. In southwest China, precipitation decreases in all the four seasons except spring, and, in particular, the decreasing trend is the most remarkable in autumn. However, the linear trends of seasonal-averaged precipitation and drought/flood days are not so significant in most parts of southern China, because the interdecadal component has a relatively important contribution to the precipitation variability in southern China during this period. Finally, the results shows that interdecadal component has great (weak) contribution to the variability of total area affected by flood (drought) disaster in southern China, and in southwest China, the variability of total area affected by flood/drought disaster is mainly dominated by the interannual changes in the recent decade.

Key words: drought/flood in southern China, spatio-temporal distribution, area affected by drought/flood disaster, interdecadal change, linear trend

引言

2015 年世界气象日的主题为"气候知识服务气候行动(Climate knowledge for climate action)"。实际上,从 2011 年以来几乎每年的世界气象日主题都包含与气候相关的内容,说明了国际社会高度关注气候问题。这是因为气候变化问题不仅影响国际社会发展战略及国家建设和经济发展策略,同时也已经深入影响到我们的日常生活,关系到国计民生和发展,在国际关系的双边与多边谈判中也是重要的议题之一。为此,首先我们需要认识在全球气候变暖背景下,全球和区域气候发生了什么变化?这种变化产生了什么重要影响?其次,我们应该如何采取有效行动面对这些影响与挑战?在采取有效措施与行动前我们应该具备哪些气候科学知识?这就是 2015 年世界气象日主题的目的。

研究表明,自1950年以来,非洲、南欧、澳大利亚东部及东亚和南亚地区均有明显变干的趋势(Dai et al,1998)。而且,全球干旱面积自20世纪70年代以来呈现明显的增加趋势,并在2000年后维持在较高水平,这一方面与自然变率有关,另一方面与人类活动的影响密不可分(Dai,2010)。其中,70年代后频率和强度明显增强的ENSO暖事件,可减少低纬度大陆的降水(Trenberth et al,1997;Dai et al,2000;Findell et al,2010)。温室气体排放等人类活动造成的全球变暖,一方面增强了地表水分蒸发,加剧了全球的干旱化(Solomon et al,2007;Dai,2010);另一方面可引起哈得来环流持续减弱并向两极扩展,从而导致副热带干旱区的向极扩展(Lu et

al,2007)。在全球干旱加剧的同时,过去几十年中全球大部分地区极端降水事件也持续增加(Easterling et al,2000; Endo et al,2005; Alexander et al,2006; Chen et al,2013; Li et al,2014)。因此,不断变化的气候可导致极端天气气候事件在频率、强度、空间范围、持续时间和发生时间上的变化,并能够导致前所未有的极端天气气候事件(IPCC,2012)。

我国是世界上气候灾害最为频繁和严重的少数 国家之一。在气候变暖的背景下,我国干旱和洪涝 灾害发生频次存在增加的趋势,其经济损失和社会 影响更为突出(《第二次气候变化国家评估报告》编 写委员会,2011)。受亚洲季风气候影响,我国各季 节的气候平均降水均呈由东南向西北方向逐渐减少 的分布特征,主要降水区都分布在淮河与秦岭以南 的南方大部地区(图1)。所以,我国的旱涝分布格 局呈现北方易遭旱灾、南方旱涝并发的特征,尤其是 自 20 世纪 80 年代以来大范围的旱涝等气候灾害频 繁发生,给国民经济和人民生命财产造成了重大损 失(Zou et al, 2005; 吴志伟等, 2006; 黄荣辉等, 2006;梁潇云等,2012;白莹莹等,2010)。我国南方 地区社会经济发展水平较高、人口密度较大,旱涝灾 害更易造成严重的经济损失。《第二次气候变化国 家评估报告》(2011)中关于气候变化区域影响的研 究表明:我国华中地区"洪涝灾害加剧";华东地区 "20世纪80年代以来,洪涝灾害日趋加重,发生频 率逐渐增加";而华南地区"珠三角城市群灾害加剧, 用水安全风险加大"等。特别是 20 世纪 90 年代长 江流域特大洪涝灾害频发,1998年夏季长江流域出 现了1954年以来全流域性的特大洪水;1999年长 江流域再度发生严重洪涝。除了洪涝灾害,长江流

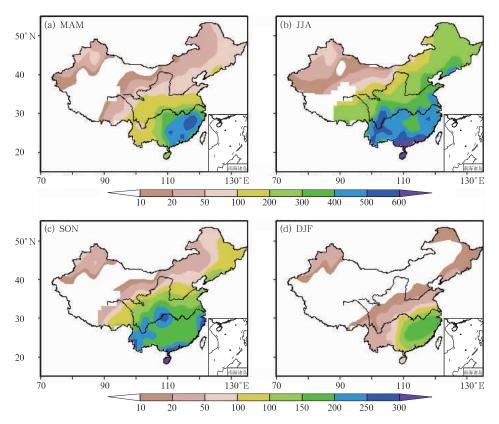


图 1 1961—2013 年我国季节降水总量的气候均值分布(单位:mm·季⁻¹) (a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

Fig. 1 Climate means of precipitation (unit: mm • season⁻¹) in China for (a) spring, (b) summer, (c) autumn and (d) winter during 1961-2013

域还受到严重干旱灾害的影响,2001年夏季长江中下游地区梅雨期较常年偏短、降雨量少,长江出现了近20年来的低水位;2011年冬、春季,长江中下游地区降水为近50年来历史同期最少,无降水日数为1961年以来历史同期最长,受干旱影响范围为近60年来同期最广。

值得注意的是,近十几年来我国西南地区干旱灾害也频繁发生,而且持续时间长,甚至出现了秋、冬、春季连旱的极端气候事件。《第二次气候变化国家评估报告》(2011)指出,对于西南地区:"气候变化引起的干旱、洪涝灾害频次增多,程度加重,山地灾害呈现出点多、面广、规模大、成灾快、暴发频率高、延续时间长等特点"。例如,2006年春末至秋初,川渝地区持续高温少雨,导致这些地区发生了新中国成立以来最严重的干旱,造成近3000万人受灾,重庆有1/3溪河断流;2009年秋季至2010年春季,西南地区出现了有气象记录以来最为严重的秋、冬、春季连旱;2009—2011年,云南、四川南部近3年降水量连续偏少。

综上所述,近十几年来我国南方地区频发的旱涝气候灾害(尤其是干旱灾害)已给当地经济发展造成严重的损失,给人民生活造成巨大的影响,因此引起了广泛的关注。那么,随着全球气候变暖,我国南方地区的旱涝灾害是否也呈显著的增多趋势?为了回答此问题,本文将对我国南方地区旱涝灾害时空格局变化进行简要分析,使人们进一步认识在全球气候变暖背景下我国南方区域气候变化的基本事实,为深入研究其形成机理和防灾减灾应对措施奠定一些基础性的气候知识。

1 数据和方法

文中所用资料主要为中国气象局国家气象信息 中心提供的 1951 年以来我国 756 站日平均降水数 据集。由于 1960 年之前气象台站缺测资料较多,本 文主要利用 1961—2013 年的降水资料进行分析。 干旱和洪涝日数的定义方法详见 Lu(2009)。同时, 还利用了 1971 年以来农业部提供的农业干旱和洪 涝灾害受灾面积数据。

本文定义春季为 3—5 月(MAM),夏季为 6—8 月(JJA),秋季为 9—11 月(SON),冬季为 12 月至次年 2 月(DJF)。采用最小二乘法计算降水的线性变化趋势,并通过 Student's *t*-test 方法对趋势值进行显著性检验。此外,利用经验正交函数分解(EOF)方法对我国南方地区(32°N以南,98°E以东)208 站的标准化降水序列进行分析,以提取其主要变化模态。

2 我国南方降水和旱涝灾害的时空变 化特征

2.1 季节降水量的年代际变化

首先,为了识别我国南方地区各季节降水量的主要变化模态,对 1961—2013 年期间南方 208 台站的季节降水量的标准化距平序列进行了 EOF 分析,并在图 2 给出了前三个 EOF 模态的空间分布。总

体而言,南方地区降水变率前三种优势模态主要为:长江以南地区降水呈整体偏多或偏少的一致型(如图 2a,2c,2d),长江中下游流域与华南呈反相变化的南北反相型(如图 2b,2e,2h,2k),以及东南与西南呈反相变化的东西反相型(如图 2g,2i,2j,2l)。其中,一致型是南方地区冬、春、秋三个季节降水变率的第一优势模态,该模态的解释方差在冬季最高(约 32%,图 2d),春季和秋季次之(约 20%~22%,图 2a,2c)。东西反相型存在于四个季节之中,且除了秋季外,该模态均表现为南方地区降水变率的第三优势模态。南方地区夏季降水变率的 EOF 第一模态为南北反相型,第二模态为一致型,其解释方差分别为 14.5%和 13.8%,依据 North 等(1982)提出的方法进行显著性检验,这两个模态是不能相互区分的。

为进一步考察我国南方地区降水随时间的演变特征,根据图 2 和已有研究(王遵娅等,2004),将南方地区划分为长江中下游流域($27^{\circ} \sim 32^{\circ}N$ 、 107.5° $\sim 122.5^{\circ}E$)、西南($22^{\circ} \sim 32^{\circ}N$ 、 $98^{\circ} \sim 107.5^{\circ}E$)和华

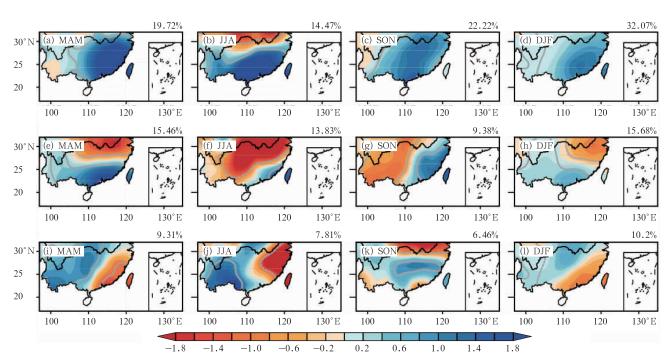


图 2 1961—2013 年我国南方地区各季节标准化降水距平的前三个 EOF 模态 (a,e,i) 春季,(b,f,j) 夏季,(c,g,k) 秋季,(d,h,l) 冬季 (从上至下分别为 EOF 第一、二和三主模态,右上角数字表示 EOF 模态的 解释方差,等值线包围的区域表示达到 0.05 显著性水平的区域)

Fig. 2 Spatial distribution of dominated EOF patterns of normalized precipitation anomalies in southern China for (a, e, i) spring, (b, f, j) summer, (c, g, k) autumn and (d, h, l) winter during 1961—2013 (The top panel is the first EOF, middle the second EOF and low the third EOF, the percentage of explained variance from the pattern is given in the top right corner, contour indicates the part that has got to the 0.05 significance level)

南(20°~27°N、107.5°~120°E)三个子区域,并计算了各子区域及南方总体的区域平均降水。图 3 分别显示了 1951—2013 年四个季节各区域平均降水的标准化距平序列。为了突出降水的年代际变率和长期变化趋势,对所有序列进行了 9 年滑动平均处理。由图可见,南方总体及各子区域的季节降水量存在着明显的年代际和长期趋势变化。

对于南方总体而言,春季降水在20世纪70年

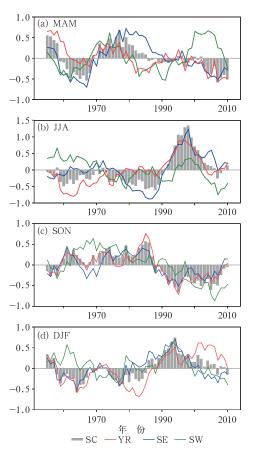


图 3 1951—2013 年我国南方总体(SC)、 长江中下游流域(YR)、华南(SE)和 西南(SW)地区 9 年滑动平均的 标准化降水距平序列

(a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

Fig. 3 Time series of normalized regional-averaged precipitation anomalies in (a) spring, (b) summer, (c) autumn and (d) winter

during 1961—2013
[Bar indicates total anomalies in southern

China (SC), and red, blue and green lines denote the anomalies over the middle and lower reaches of the Yangtze River Basin (YR), southeastern China (SE) and southwestern

China (SW), respectively]

代中期之后呈明显的减少趋势(图 3a)。从不同年 代降水距平的空间分布图(图 4)中也可以清楚地看 到,在50和70年代南方春季降水总体偏多,而在 20 世纪 60、90 年代和 21 世纪 00 年代降水明显偏 少,在80年代则呈现为江南降水偏少、华南降水偏 多的分布格局。自90年代以来南方夏季降水明显 偏多,尤其是在90年代中后期存在一个非常显著的 峰值(图 3b),导致南方地区在该时期出现了严重的 洪涝灾害(王志伟等,2005;黄荣辉等,2006)。从夏 季降水距平的空间分布图中也可以看到,在20世纪 90 年代南方降水整体显著偏多,在21 世纪00 年代 雨带主要位于华南地区,而在之前的20世纪50一 80 年代夏季南方降水整体偏少,特别是 70-80 年 代夏季南方降水显著偏少(图 4)。与夏季相反,南 方秋季降水在80年代末期之后呈年代际减少趋势 (图 3c)。从空间分布上看,在 20 世纪 90 年代到 21 世纪 00 年代南方秋季降水整体偏少,其中,在 90 年 代降水负值中心主要位于长江中下游流域和华南等 地,在00年代主要位于西南和长江流域(图4)。有 研究认为,20世纪80年代中期以来中部型El Niño 的频繁发生可能是导致南方秋季干旱加剧的主要原 因之一(Zhang et al, 2011; 2013)。在冬季,南方降 水的年代际变化与夏季较为相似,只是前者由负距 平转为正距平的时间出现在80年代末期(图3d), 略早于夏季降水的年代际转变。

由此可见,南方夏季(图 3b)和冬季(图 3d)降水 具有相似的年代际变化特征,而秋季(图 3c)降水的 年代际演变几乎与上述两个季节的相反。在最近的 30 年中,南方各季节降水量发生年代际转折的时间 不尽相同:春季和秋季降水分别在 21 世纪初期和 20 世纪 80 年代中后期之后进入干位相,冬季和夏 季降水则分别在 80 年代中期和 90 年代初期之后进 入湿位相。自 21 世纪初期以来,南方夏季和冬季降 水逐渐转入中性位相。

同时注意到,南方各季节降水量随时间的演变也存在明显的区域差异。在四个季节之中,华南区域平均降水与南方总降水的年代际变化特征均较为相似(图 3)。在冬季,南方总降水自 20 世纪 90 年代中期以来呈减少趋势,但长江中下游流域平均降水在该时期仍处于年代际偏多的状态(图 3d)。除此之外,在各季节长江中下游流域平均降水的年代际变化特征也与南方总降水基本一致。然而,西南区域平均降水具有明显不同的年代际变化和长期趋

势变化特征。其中,在春季和冬季西南区域平均降水均以年代际振荡变化为主,但两者的位相近乎相反;而在夏季和秋季,西南区域平均降水总体呈减少趋势,尤其是 20 世纪 70 年代以来西南秋季降水的减少趋势非常明显。从图 3a 可以看出,21 世纪 00

年代西南地区春季的降水增加,与南方其他区域降水呈显著反位相变化特征。从图 4 降水距平的空间分布图中还可以看到,除了春季外,在 21 世纪 00 年代西南地区其他三个季节降水均明显偏少,这与2000 年以来西南于旱灾害频发相一致。

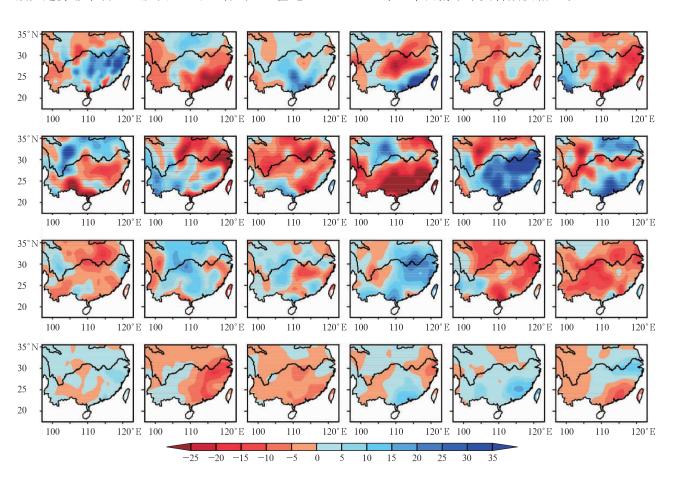


图 4 不同年代我国南方地区季节降水距平的空间分布(单位:mm·月⁻¹) (从左至右分别为:1951—1960、1961—1970、1971—1980、1981—1990、 1991—2000 和 2001—2010 年;从上至下分别为:春季、夏季、秋季和冬季)

Fig. 4 Seasonal precipitation anomalies in different decades (unit: mm • mon⁻¹)

(From left to right: 1950s, 1960s, 1970s, 1980s, 1990s, 2000s; from top to bottom: spring, summer, autumn, winter)

2.2 季节降水量和旱涝日数的线性趋势变化

我国南方季节降水量不但存在显著的年代际变化,而且具有明显的长期趋势变化。表1给出了南方不同区域季节降水量的线性变化趋势。南方总体以及长江中下游流域和华南地区具有一致的变化趋势,春季和秋季降水均呈减少趋势;而夏季和冬季则相反,均呈增多趋势。同时注意到,这些区域秋季(冬季)降水的减少(增多)趋势要大于春季(夏季)降水。不过,只有长江中下游流域夏季和冬季降水的

线性变化趋势通过了 0.05 显著性水平检验,分别为 $3.78\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 和 $5.10\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$ 。对于西南地区,除了春季降水呈较弱增多趋势外[$0.70\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$],其他季节降水均呈减少趋势,尤其是秋季降水的减少趋势[$-3.51\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$,达到了 0.01%显著性水平]最为显著,导致西南地区年降水量也呈减少趋势(李聪等,2012;孙秀博等,2012)。

从季节降水量线性变化趋势的空间分布图中也可以看到,江淮流域及其以南地区夏季和冬季的降水均呈增多趋势(图 5b,5d)。相反,在春季和秋季,

黄河中下游以南大部分地区的降水均呈减少趋势 (图 5a,5c)。除了西南地区春季降水呈增多趋势 外,该地区其他季节的降水几乎均呈减少趋势。不 过,在各季节中往往只有小区域范围内的线性变化 趋势能够通过 0.05 显著性水平检验。如在夏季和冬季,除了长江下游流域的线性变化趋势能够通过 0.05 显著性水平检验外,南方其他区域的线性变化趋势都不明显,这与表 1 的结果一致。

表 1 1961—2013 年各季节我国南方区域平均降水量 的线性变化趋势[单位:%/(10 a)⁻¹]

Table 1 Linear trend of regional-averaged precipitation in southern China during 1961—2013 [unit: $\% \cdot (10 \text{ a})^{-1}$]

	范围	春季	夏季	秋季	冬季
南方地区	$20^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}, 98^{\circ} \sim 122.5^{\circ} \text{E}$	-0.53	1.42	-2.67	3. 29
长江中下游流域	$27^{\circ} \sim 32^{\circ} N, 107.5^{\circ} \sim 122.5^{\circ} E$	-1.38	3.78*	-3.11	5.10*
华南地区	$20^{\circ} \sim 27^{\circ} \text{N}, 107.5^{\circ} \sim 120^{\circ} \text{E}$	-0.25	1.79	-1.32	2.61
西南地区	$22^{\circ} \sim 32^{\circ} \text{N}, 98^{\circ} \sim 107.5^{\circ} \text{E}$	0.70	-1.15	-3.51**	-0.83

注:*表示通过 0.05 显著性水平检验; **表示通过 0.01 显著性水平检验.

Note: *, ** indicate passing 0.05 and 0.01 significance level test, respectively.

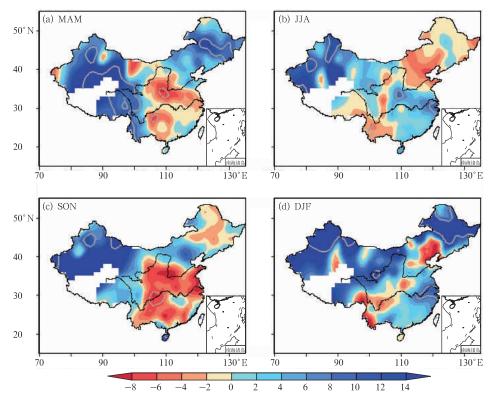


图 5 1961—2013 年我国季节降水总量的线性变化趋势[单位:% • (10 a)⁻¹] (a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

(等值线包围的区域表示达到 0.05 显著性水平的区域)

Fig. 5 Linear trend of precipitation anomalies in (a) spring, (b) summer,

(c) autumn and (d) winter during 1961-2013

[unit: % • (10 a) -1; Contour indicates the part that has got to the 0.05 significance level]

此外,本文还分析了我国南方夏季雨涝日数以及各季节干旱日数的线性变化趋势。对于南方而言,夏季雨涝日数线性变化趋势的分布型(图 6)与季节降水量线性变化趋势的分布型基本一致:长江

中下游地区、江南大部和华南东部地区雨涝日数呈增多趋势,而西南大部地区雨涝日数均呈减少趋势。 各季节干旱日数的趋势分布(图7)也与季节降水量的变化趋势相似,即夏季(图7b)和冬季(图7d)长江 中下游地区和江南北部地区干旱日数呈减少趋势,西南和华南地区干旱日数呈增加趋势;春季(图 7a)和秋季(图 7c)南方大部分地区干旱都呈增加趋势,特别是秋季干旱日数增加更为明显,说明西南地区出现夏、秋、冬季节连旱的情况有加重的趋势。从图 8可以看到,2000 年以来南方地区总的干旱日数的增多趋势更为显著。需要特别指出的是,各站点雨涝和干旱日数的线性变化趋势几乎均未能通过 0.05显著性水平检验,这说明在气候变暖背景下虽然我国南方不同地区旱涝具有不同的变化趋势,但是这种变化并不十分显著。

2.3 南方旱涝受灾面积的长期变化

前面已经简要分析了我国南方季节降水量以及 旱涝日数的基本特征及其变化趋势,下面重点分析 旱涝灾害面积的变化特点。旱涝受灾面积资料来自 农业部,其面积按行政区域进行统计,与前述降水按 照经纬度分区有所不同。这里的南方地区包括:广 东、福建、浙江、海南、广西、云南、四川、重庆、贵州、湖南、湖北、江西、安徽和江苏14个省(市、区)。长

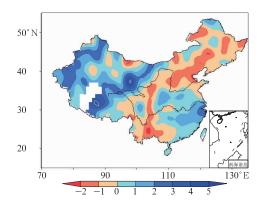


图 6 1961—2013 年我国夏季雨涝日数的线性变化趋势[单位:d•(10 a)⁻¹] (等值线包围的区域表示达到 0.05 显著性水平的区域)

Fig. 6 Linear trend of summer flood days during 1961—2013

[unit: d • (10 a)⁻¹; Contour indicates the part that has got to the 0.05 significance level]

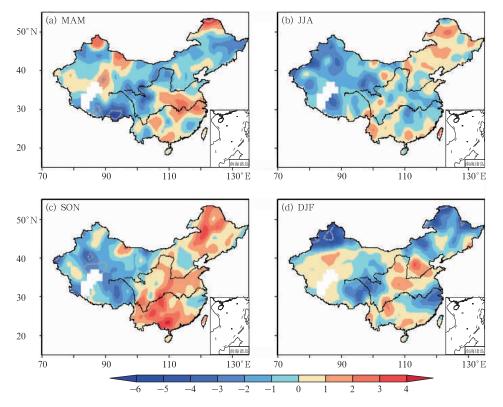


图 7 1961—2013 年我国干旱日数的线性变化趋势[单位:d•(10 a)⁻¹] (a)春季,(b)夏季,(c)秋季,(d)冬季

(等值线包围的区域表示达到 0.05 显著性水平的区域)

Fig. 7 Linear trend of drought days in (a) spring, (b) summer, (c) autumn and (d) winter during 1961—2013

[unit: d • (10 a) -1; Contour indicates the part that has got to the 0.05 significance level]

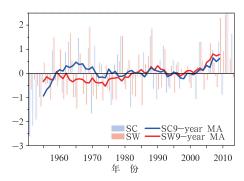


图 8 1951—2013 年我国南方总体 (SC)和西南(SW)地区年干旱 日数的标准化距平序列 (实线为9年滑动平均)

Fig. 8 Time series of normalized drought day anomaly in southern China during 1961—2013

(Solid lines indicate the 9-year running average)

江中下游流域包括:浙江、湖南、湖北、江西、安徽和 江苏6个省;华南地区包括:福建、广东、广西和海南 4个省(区);西南地区包括:云南、四川、重庆和贵州 4个省(市)。

图 9 为 1971—2013 年我国南方区域洪涝受灾面积的标准化距平时间序列逐年演变图。可以看到,南方地区总的洪涝受灾面积在20世纪90年代

中期之前(后)呈增多(减少)趋势(图 9a):1971—1988 年期间以及 2004 年以来洪涝受灾面积总体偏少(除 2010 年明显偏多外),1989—2003 年洪涝受灾面积总体偏多。长江中下游流域洪涝受灾面积的年际一年代际变化(图 9b)与南方整个区域的变化(图 9a)基本一致。对于华南地区来说(图 9c),其洪涝受灾面积的年代际变化与南方整个区域的变化也大体一致,但是前者发生年代际转折的时间分别约为 1985 和 2002 年,略早于后者。20 世纪 70—90年代中期西南地区的洪涝受灾面积总体呈增多趋势,1989—2005 年为洪涝受灾面积偏多期,不过近10 年其洪涝受灾面积的年际波动较大。总体而言,南方地区洪涝受灾面积的总体变化趋势与该地区雨季降水量的长期变化大体一致。

与洪涝受灾面积的变化不同,南方地区干旱受灾面积的年代际变化特征不明显,后者主要以年际波动为主(图 10)。南方整个区域(图 10a)、长江中下游流域(图 10b)以及华南地区(图 10c)干旱受灾面积的变化特征大体一致,特别是在 20 世纪 90 年代中期以来干旱受灾面积呈现减少的特点。对于西南地区(图 10d),干旱受灾面积的年代际和长期趋势变化不明显,但是 2000 年以来其年际变率增大,这与洪涝受灾面积的变化是一致的,说明在这一时

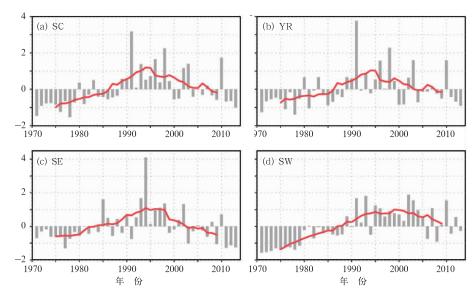


图 9 1971—2013 年我国南方区域洪涝受灾面积的标准化年际时间序列 (a)南方总体,(b)长江中下游流域,(c)华南,(d)西南 (实线表示9年滑动平均)

Fig. 9 Time series of normalized anomalies of the total area affected by flood disaster for the regions of (a) SC, (b) YR, (c) SE and (d) SW during 1971—2013

(Solid line indicates the 9-year running average)

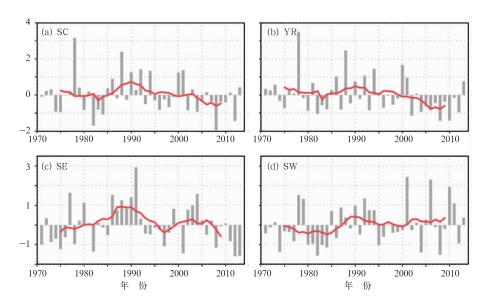


图 10 同图 9,但为干旱受灾面积

Fig. 10 Same as Fig. 9, but for the drought-hit areas

期我国西南地区旱涝灾害呈现交替出现的特点。

3 结 论

通过对季节降水量、旱涝日数和旱涝受灾面积 进行分析,本文揭示了在气候变暖背景下我国南方 区域气候发生变化的一些基本事实,主要结论如下:

- (1)南方地区季节降水变化存在三种优势模态:长江及其以南地区降水呈整体偏多或偏少的一致型,长江中下游流域与华南呈反相变化的南北反相型,以及东南与西南呈反相变化的东西反相型。其中,一致型是南方地区各季节降水变率的第一优势模态;除了秋季外,东西反相型是南方降水变率的第三优势模态。
- (2)在一年四季之中,降水年代际分量对南方降水变率均具有重要贡献。其中,南方夏季和冬季降水具有相似的年代际变化特征,而秋季降水的年代际演变几乎与上述两个季节的相反。在近30年,南方各季节降水量发生年代际转折的时间不尽相同:春季和秋季降水分别在21世纪初期和20世纪80年代中后期之后进入干位相,冬季和夏季降水则分别在80年代中期和90年代初期之后进入湿位相。自21世纪初期以来,南方夏季和冬季降水逐渐转入中性位相。
- (3) 我国南方季节降水量还具有明显的长期趋势变化。对于南方总体以及长江中下游流域和华南地区,春季和秋季降水均呈减少趋势;而夏季和冬季

则相反,均呈增多趋势。这些区域秋季(冬季)降水的减少(增多)趋势要大于春季(夏季)降水。但是,只有长江中下游流域夏季和冬季降水的线性变化趋势通过了 0.05 显著性水平检验,其他季节/区域降水的线性变化趋势均不显著。对于西南地区,除了春季外,其他季节降水均呈减少趋势,出现了季节连旱的特征,尤其是秋季降水的减少趋势最为显著。而且,21 世纪 00 年代以来西南地区夏一冬季降水变化均处于年代际偏少阶段。长期减少趋势与年代际于位相叠加,导致了近 10 年来西南干旱频发。

- (4) 我国南方夏季雨涝日数以及各季节干旱日数线性变化趋势的分布格局与季节降水量的类似。长江中下游地区、江南大部和华南东部地区雨涝日数均呈减少趋势。夏季和冬季长江中下游地区和江南北部地区干旱日数呈减少趋势,西南和华南地区干旱日数呈增加趋势;春季和秋季南方大部分地区干旱都呈增加趋势,特别是秋季干旱日数增加更为明显,说明西南地区出现夏、秋、冬季节连旱的情况有加重的趋势。不过,雨涝和干旱日数的线性变化趋势几乎均未能通过 0.05 显著性水平检验,这说明在气候变暖背景下虽然我国南方不同地区旱涝具有不同的变化趋势,但是这种变化并不是十分显著的。
- (5)总体而言,我国南方地区洪涝受灾面积具有比较明显的年代际变化,而干旱受灾面积则没有明显的年代际变化特征。1971—1988年和2004年以来为南方地区洪涝受灾面积偏少期,1989—2003

年为偏多期。南方地区总的干旱受灾面积则在 20世纪 90 年代中期以来呈弱的减少趋势。对于西南地区,70—90 年代中期其洪涝受灾面积总体呈增多趋势,1989—2005 年为洪涝受灾面积偏多期,近十多年来旱涝灾害呈交替互现的特点。

参考文献

- 白莹莹,高阳华,张焱,等. 2010. 气候变化对重庆高温和旱涝灾害的 影响. 气象,36(9):47-54.
- 《第二次气候变化国家评估报告》编写委员会. 2011. 第二次气候变化 国家评估报告. 北京: 科学出版社, 711.
- 黄荣辉,蔡榕硕,陈际龙,等. 2006. 我国旱涝气候灾害的年代际变化及其与东亚气候系统变化的关系. 大气科学,30(5);730-743.
- 李聪,肖子牛,张晓玲. 2012. 近 60 年中国不同区域降水的气候变化特征. 气象,38(4):419-424.
- 梁潇云,龚振淞,王永光. 2012. 2011 年汛期预测回顾. 气象,38(9): 1150-1154.
- 司东,柳艳菊,马丽娟,等. 2012. 2011 年初夏我国长江中下游降水的 气候特征及成因. 气象,38(5):601-607.
- 孙秀博,李清泉,魏敏. 2012. 1960—2009 年中国年降水量的年际及年代际变化特征. 气象,38(12):1464-1472.
- 王志伟,翟盘茂,唐红玉,等. 2005. 中国南方近半个世纪的雨涝变化特征. 自然灾害学报,14(3):56-60.
- 王遵娅,丁一汇,何金海,等. 2004. 近 50 年来中国气候变化特征的再分析. 气象学报,62(2);228-236.
- 吴志伟,李建平,何金海,等. 2006. 大尺度大气环流异常与长江中下游夏季长周期旱涝急转. 科学通报,51(14):1717-1724.
- Alexander L V, Zhang X, Peterson T C, et al. 2006. Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. J Geophys Res, 111,2156-2202.
- Chen Yang, Zhai Panmao. 2013. Persistent extreme precipitation events in China during 1951—2010. Clim Res, 57(2):143-155.
- Dai A. 2010. Drought under global warming: A review. WIREs Clim Change, 2:45-65.
- Dai A, Trenberth K E, Karl T R. 1998. Global variations in droughts and wet spells: 1900—1995. Geophys Res Lett, 25: 3367-3370.
- Dai A, Wigley T M L. 2000. Global patterns of ENSO induced pre-

- cipitation. Geophys Res Lett, 27:1283-1286.
- Easterling D R, Meehl G A, Parmesan C, et al. 2000. Climate extremes: Observations, modeling, and impacts. Science, 289 (5487): 2068-2074.
- Endo N, Ailikun B, Yasunari T, et al. 2005. Trends in precipitation amounts and the number of rainy days and heavy rainfall events during summer in China from 1961 to 2000. J Meteor Soc Japan, 83(4):621-631.
- Findell K L, Delworth T L. 2010. Impact of common sea surface temperature anomalies on global drought and pluvial frequency. J Clim, 23:485-503.
- IPCC. 2012. Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation. Cambridge: Cambridge University Press, 3-21.
- Li Jian, Yu Rucong, Sun Wei. 2014. Duration and seasonality of hourly extreme rainfall in the central eastern China. Acta Meteor Sinica, 27(6):799-807.
- Lu E. 2009. Determining the start, duration, and strength of flood and drought with daily precipitation: Rationale. Geophys Res Lett, 36:L12707.
- Lu J, Vecchi G A, Reichler T. 2007. Expansion of the Hadley cell under global warming. Geophys Res Lett, 34;L06805.
- North G R, Bell T, Cahalan R, et al. 1982. Sampling errors in the estimation of empirical orthogonal function. Mon Wea Rev, 110: 699-706.
- Solomon S, Qin D, Manning M, et al. 2007. IPCC climate change 2007: The physical science basis. Cambridge: Cambridge University Press, 996.
- Trenberth K E, Hoar T J. 1997. El Niño and climate change. Geophys Res Lett, 24;3057-3060.
- Zhang Wenjun, Jin F-F, Li Jianping, et al. 2011. Contrasting impacts of two-type El Niño over the western North Pacific during boreal autumn. J Meteor Soc Japan, 89;563-569.
- Zhang Wenjun, Jin F-F, Zhao J-X, et al. 2013. The possible influence of a nonconventional El Niño on the severe autumn drought of 2009 in southwest China. J Clim, 26: 8392-8405.
- Zou Xukai, Zhai Panmao, Zhang Qiang. 2005. Variations in droughts over China: 1951 — 2003. Geophys Res Lett, 32: L04707.