

李聪,肖子牛,张晓玲. 近60年中国不同区域降水的气候变化特征[J]. 气象, 2012, 38(4): 419-424.

近60年中国不同区域降水的气候变化特征^{*}

李 聪^{1,2} 肖子牛^{3,4} 张晓玲⁵

1 南京信息工程大学大气科学学院, 南京 210044

2 南京市气象局, 南京 210009

3 中国气象局干部培训学院, 北京 100081

4 中国科学院大气物理研究所, 北京 100029

5 北京市气象信息中心, 北京 100089

提 要: 利用1951—2009年中国503站日降水量资料, 研究了我国各季各地区降水年代际变化的特征, 并分析了其对我国干旱演变的影响。结果表明: 近60年来我国各区域年平均降水量大多为减少趋势, 其中华北、西南地区减少明显; 各地区秋季降水偏少的趋势最为显著, 可能是导致秋季干旱增多以及秋冬连季干旱频繁的主要原因。2000年以后北方夏季降水呈减少趋势, 其中华北夏季降水明显减少, 而冬季降水趋于增加, 南方秋季降水减少明显, 而春季降水增多。云南等西南地区秋冬春连旱偏多的原因之一可能与孟加拉湾季风结束偏早有关。

关键词: 降水量距平百分率, 干旱, 年代际变化, 孟加拉湾季风结束

Climatic Characteristics of Precipitation in Various Regions of China for the Past 60 Years

LI Cong^{1,2} XIAO Ziniu^{3,4} ZHANG Xiaoling⁵

1 Department of Atmospheric Science, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044

2 Nanjing Meteorological Service, Nanjing 210009

3 CMA Training Centre, Beijing 100081

4 Institute of Atmospheric Physics, CAS, Beijing 100029

5 Beijing Meteorological Information Center, Beijing 100089

Abstract: By using the precipitation data at 503 stations across China during 1951—2009, the evolution characteristics of drought in China are analyzed on the basis of spatial and temporal precipitation distributions at each season and area. The results indicate that the precipitation in China during each season showed not only a stable interannual change but also an interdecadal variability. The precipitation in autumn has a unified decreasing trend since the 1950s, suggesting that droughts become much frequent in this season. The North China easily has droughts in summer, while autumn droughts prefer the South China since the year 2000. The extremely severe drought in the Southwest China after the year 2000 might have a close relationship with the earlier withdraw date of the Bay of Bengal (BOB) monsoon.

Key words: percentage of precipitation anomalies, drought, interdecadal variability, monsoon drawback of BOB

* 国家自然科学基金重点项目(U0833602)资助

2011年3月21日收稿; 2011年9月7日收修定稿

第一作者: 李聪, 主要从事海气相互作用研究. Email: lincui@163.com

通信作者: 肖子牛, 主要从事气候动力学研究. Email: xiaozn@ema.gov.cn

引言

近几十年来大范围的异常气候事件在世界各地频繁发生,气象灾害中 70% 以上是干旱,干旱有出现频率高、持续时间长、灾情严重等主要特征,一直被人们所关注。降水量是影响气候干湿变化最主要的因素,其与气温在干旱变化中起着重要作用^[1]。全球变暖已经改变了全球环境干湿变化的分布格局,变暖的持续可能会导致干旱区干旱化加剧,温度升高是造成干旱化特征的不可忽视原因^[2]。

我国是世界上主要干旱国家之一,干旱灾害频繁发生。气象工作者已对西北地区干旱化的气候学特征、干旱检测、气温演变规律等方面做了大量的研究^[3-6],也有很多研究针对华北、东北等北方地区干旱的年代际特征、发生原因等方面作了讨论^[7-9],均指出降水减少、温度升高是造成当前中国北方大部分地区显著干旱化的原因。以上学者对我国干旱变化特征在不同程度上做了仔细的研究,但是研究大多关注我国局部地区。除此之外,Qian 等^[10-11]分析了全国范围 2000 年以前的 40 年时间尺度降水指数区域变化趋势和降水气候突变等特征,研究中对最近 10 年我国的降水演变情况涉及尚缺。21 世纪以来,我国几乎年年发生干旱,西南地区极端天气气候事件发生更为频繁^[12-14]。2003 年西南部分地区发生严重伏秋连旱,2005 年云南发生近 50 年来少见的严重初春旱,2008 年云南发生连续近 3 个月的干旱且 2009 年秋季到 2010 年春季西南多省秋、冬、春连旱严重,灾害面积广、分布不均匀,干旱化程度加剧,因此有必要对我国 2000 年以后的降水变化特征做更为全面的了解。

1 资料和方法

降水量距平百分率能作为表征某时段降水量较常年值偏多(偏少)的指标,研究降水量的变化能揭示区域干旱的诸多事实。本文通过分析降水量距平百分率的变化揭示近半个世纪以来我国各地区各季节干湿变化趋势、年代际特征及其差异,对最近 10 年来新的变化特征也进行论述,尝试揭示可能造成这些问题的原因。

为了研究我国各个地区各季降水异常的年代际分布和详细说明我国各区域各季降水的变化,本文采用国家气候中心提供的中国 503 个地面测站日降水资料,按照地理环境和气候特征差异将我国分为

以下 7 个区域(其中各个区域名称后括弧中的数字代表该区域包含的测站个数),依次为:华东(56 个)、华南(50 个)、华中(67 个)、华北(70 个)、西北(106 个)、西南(87 个)、东北(67 个)。对各个区域平均的降水做距平,气候平均尺度取 1971—2000 年,分别计算其在四季的降水距平百分率(1951—2009 年)。

2 我国各区域各季节降水异常的年代际变化特征

我国地处东亚季风区,降水的气候变化在各时间尺度不仅有明显的年际变化,而且年代际变化也非常突出。我们对上述 7 个区域分别计算四季、年平均的降水距平百分率时间序列,分析研究各个地区、各个季节年代际尺度降水量多寡的差异。分析结果表明,我国年平均降水量总体趋势为减少,但各地区、各季节时段降水的趋势不尽相同。我国北方尤其是华北地区的降水量明显减少^[15],干旱面积有扩大趋势。除此之外,我国西南地区过去发生的干旱次数、频次仅次于华北。

图 1 是我国华北地区各季降水量距平百分率时间序列。由年平均的降水变化(图略)来看,20 世纪 70 年代中期以前华北地区降水比较充沛,之后处于相对偏少阶段,90 年代比 80 年代略有增加,2000 年以后降水减少到最低;1951—2009 年,年平均降水距平百分率减少了 17%。华北地区春(图 1a)、冬季(图 1d)降水的近 60 年变化趋势不显著,降水的年代际振荡为 10~20 年左右,两者变化较为一致,冬季降水的振幅比其他各季要强。夏季(图 1b)华北地区降水在年代际尺度有明显的减小趋势,降水量距平百分率从 1951 年至今减少了 21%。60 年代初期后华北夏季降水有一次明显减少,出现了干旱化趋势;在 90 年代末期华北夏季降水又有一次更为明显的减少,至今一直维持在降水明显负距平的时期,干旱现象更为显著;张庆云等^[16]的研究指出 20 世纪 80 年代以来,华北地区干旱强度的增强,是华北地区年代际干旱环流型与年际干旱环流型叠加造成。秋季(图 1c)该地区的降水也有逐年减小的特征,降水量距平百分率 60 年来减少了 14%,80 年代以前为明显的正距平时期,80 年代末期以后正负距平振幅较小,维持在常年均值的水平。

西南地区各季降水量距平百分率变化情况如图 2 所示,春季(图 2a)降水有明显的 20 年周期振荡,在 20 世纪 50 年代中期到 60 年代末期降水偏少,70 年代降水偏多,但从 80 年代初期到 90 年代中期降

水偏少,90 年代末开始降水处于正距平时期,近 60

年来该地区春季降水总的趋势是增加的,季节降水

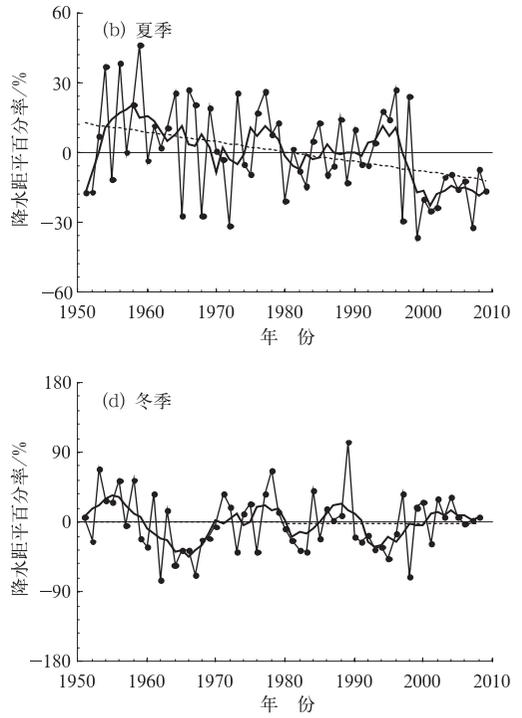
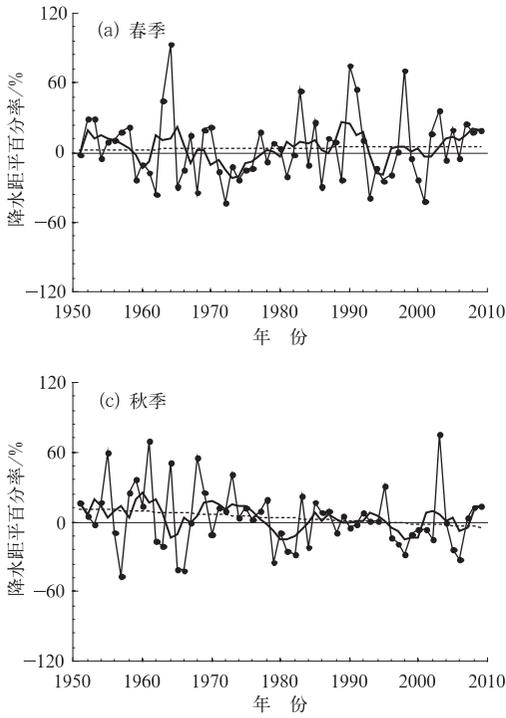


图 1 华北地区各季逐年降水量距平百分率时间序列 (单位: %)
(细线为降水距平百分率,粗线为 5 年滑动平均值,虚线为线性趋势)

Fig. 1 Time series of interannual variation of the seasonal precipitation anomaly percentages in North China (unit: %)

(The thin solid lines for percentage of precipitation anomalies, thick lines for five-year running averages, and dotted lines for the linear trend)

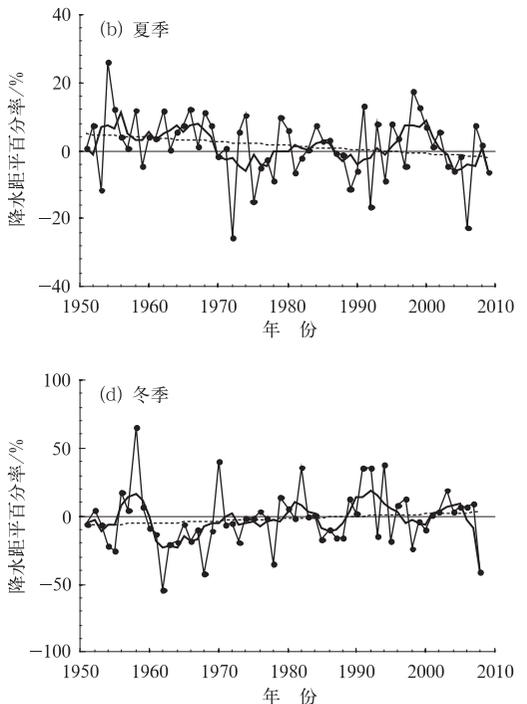
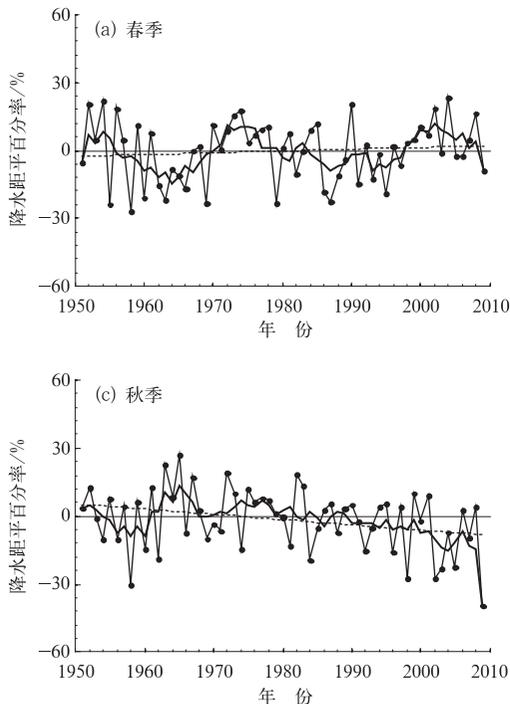


图 2 同图 1,为西南地区的情况

Fig. 2 Same as Fig. 1, but for Southwest China

量增加了 5%。西南地区夏季(图 2b)为减少趋势,其中在 20 世纪 70 年代以前降水偏多,从 70 年代初期到 80 年代中期降水明显减少,在 80 年代中期虽有增加,但降水总体还是趋于减少,21 世纪后减少趋势较明显。秋季(图 2c)降水从 70 年代末期以来一直维持明显的减小趋势,从 1951 年以来该地区秋季降水量距平线性减少 12%,21 世纪后减少趋势尤为显著。冬季(图 2d)降水气候振荡比其他季节明显,年代际降水量变化偏多、偏少情况交替出现,趋势不明显,其中 70 年代处在明显的降水量负距平时期。值得注意的是,西南地区夏、秋季降水一直维持减少趋势,而冬、春季降水也开始进入一个减少的年代际时期,因此近年来西南地区干旱灾害多发频发,从 2009 年秋季到 2010 年春季的严重干旱,正是处在这样一个气候背景下。

对于我国其他几个区域的降水变化特征进行分析(图略),有以下结论:

(1) 华东地区春、秋季降水量变化趋势相近,近 60 年来分别减少 13% 和 15%,减少趋势主要发生在 1990 年以后至今;而夏、冬季降水近 60 年来分别增加 7% 和 10%,20 世纪 90 年代初期以后降水量正距平较多。华中等长江流域地区降水变化趋势与华东地区相似,也呈春、秋季降水减少,而夏、冬季降水增多的趋势。

(2) 华南地区春、秋季降水量从 20 世纪 80 年代中期至今为明显的减小趋势,夏季降水从 90 年代初期至今比正常偏多,冬季降水趋势变化不明显。

(3) 西北地区春、夏、秋季降水变化趋势不明显,只有冬季近 60 年降水明显增加 17%,并且在 20 世纪 80 年代中期以后降水明显偏多。

(4) 东北地区春、夏、秋三季降水量变化均非常显著,依次为 17%、-13% 和 -36%,冬季变化不大,同时在 2000 年以后,各季偏离平均状态较多。

对我国各地区在各个季节以及年平均的降水量线性变化趋势(1951—2009 年)进行了统计,并对降水量年代际变化的线性倾向结果均做了显著性检验(表 1)。如表 1 所示,近 60 年来,我国各个区域秋季的降水都呈减少趋势。华东、华中地区降水趋势变化一致,年平均、春、秋季都减少(华东春季降水量年代际变化通过 $\alpha=0.05$ 显著性水平检验,减小趋势显著),而夏、冬两季增多。华南地区除夏季降水明显增加外,其他各季降水减少。华北、西南、东北地区都是在夏、秋季降水偏少,春季降水增加,年平均降水量的年代际变化都为明显的减小趋势。西北地区降水量秋季偏少、冬季偏多,其余各季变化均不大。

总之从降水量变化来看,近 60 年来我国各季降水量不仅表现出明显的变化趋势,区域差异特征也非常显著,时间和空间分布不均。我国各地区秋季降水近 60 年来为一致的偏少趋势,除华南外,其他地区年平均的降水量也减少,其中北方和西南地区变化显著。

研究指出,我国西北东部、华北、东北及西南地区当前正处于一个干旱化过程,干旱面积扩大,这些地区干旱化趋势的产生与降水的持续减少密切相关,这和我们通过降水量距平百分率计算得到的该地区降水变化趋势一致,并且增暖是干旱化加剧的另外一个重要原因。我国华南、长江中下游和西北地区西部的一些地区降水量有增加的趋势,以上地区的干旱面积没有显示出增加或减少的变化趋势,基本稳定。

表 1 1951—2009 年中国不同区域年、季降水量变化趋势相关系数检验

Table 1 Correlation coefficient of trend in the annual and seasonal precipitation in various regions of China during the period of 1951—2009

	年平均	春季	夏季	秋季	冬季
华东	-0.06	-0.22	+0.15	-0.17	+0.09
华南	+0.07	-0.06	+0.23	-0.15	-0.00
华中	-0.03	-0.26	+0.15	-0.09	+0.11
华北	-0.34	+0.01	-0.34	-0.16	-0.01
西北	-0.02	-0.04	+0.03	-0.08	+0.17
西南	-0.25	+0.10	-0.19	-0.26	+0.01
东北	-0.31	+0.22	-0.25	-0.39	+0.06

注:黑体表示通过置信水平 $\alpha=0.05$ 显著性检验

Bold means passing through the $\alpha=0.05$ significance level of test

3 近 10 年我国降水变化趋势

计算了区域平均的华北、西南地区各季以及年平均降水量距平百分率 10 年际变化的演变情况,将 1951—2009 年(59 年)分为 20 世纪 50、60、70、80 和 90 年代及 21 世纪初期一共 6 个时间段,如图 3 所示。华北地区(图 3a)各季降水年代际变率比西南地区(图 3b)要强,近 10 年来华北地区降水除夏季有明显的减小外,其他各季都为正距平。为了分析各季降水变化在年总降水量变化中的作用,我们计算了各季降水对年降水年际变率方差的方差贡献,结果发现华北地区夏季的方差贡献最大,6—8 月的降水量对年降水量年际变率的方差贡献达到 70% 以上。这一事实说明,虽然华北地区近 10 年来春、秋、冬季降水偏多,但是夏季华北地区普遍少雨,年平均的降水量偏少明显,干旱不断加剧的形势依旧

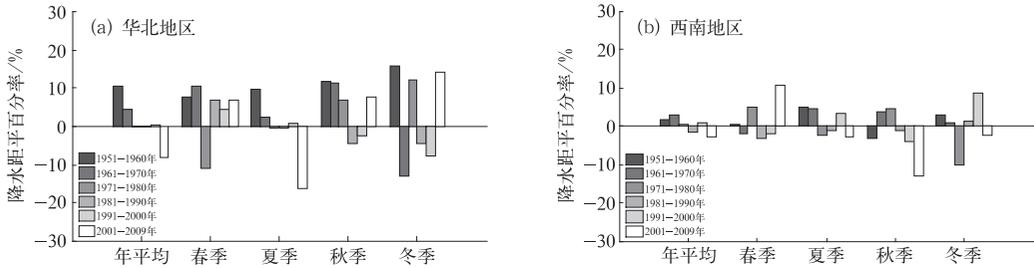


图3 我国华北、西南地区各年代际的季节降水距平百分率直方图

Fig. 3 Interdecadal variations of the seasonal precipitation anomaly percentage in North China (a) and Southwest China (b) (unit: %)

严峻。西南地区21世纪以来春季降水正距平明显,而夏、秋、冬三季降水减少,尤其是秋季降水偏少情况最为严重。夏季降水不足,秋、冬季降水偏少形成的累积效应,使得近年来西南地区大旱较易发生。

我国其他地区近10年来的降水变化情况为:长江流域春、秋季降水为负距平,其他两季降水相比气候平均状态略多,年平均的降水为负距平。华南地区除夏季降水为增长趋势外,其他各季降水都为明显负距平,西北地区情况正好与华南相反,秋、冬季降水较多。东北地区各季降水振幅最大,年平均的降水减少。另外,近10年来我国西南、华南秋、冬季降水都减少,而华北、西北地区这两季降水均增加,其他地区秋季降水也有明显减少。根据《中国北方未来干旱化发展趋势预测意见》称,2000—2010年,我国东北和华北地区的干旱化趋势仍将持续,局部地区甚至还可能加剧,但西北地区东部无干旱化趋势。通过计算以上地区的降水量距平百分率近10年的变化,表明东北、华北地区年平均降水量正处在偏少阶段,也证实了干旱化发展这一事实。

4 孟加拉湾季风撤退与云南干季雨量

从上述分析可以看到,我国西南地区近年来处于夏、秋、冬季降水减少的时期,尤其是秋季降水的减少最为显著。众所周知,云南地区干、湿两季分明,雨季(5—9月)降水集中,降水量占全年总降水的80%以上,而干季降水较少,冬、春两季为该地区干旱常发季节。由于秋季降水明显减少,大大增加了冬、春干旱的风险,并容易出现秋、冬、春连季干旱。相关研究也指出,11月至次年3月云南省出现干旱灾害的风险可能性较大^[17]。

云南地区受到西南季风的影响,降水的多寡与季风活动密切相关^[18-19]。我们对孟加拉湾季风爆发与结束的时间进行分析,用云南24个测站11月至

次年4月(1961—2006年)降水平均的距平百分率代表云南干季雨量的多少,讨论孟加拉湾季风活动与云南地区干旱之间可能存在的联系。

用孟加拉湾地区850和200 hPa纬向风差值来确定孟加拉湾季风爆发,将纬向风速差 >0 并稳定维持4候确定为孟加拉湾季风爆发^[20],计算1951—2009年逐年孟加拉湾季风爆发时间,可以发现,孟加拉湾季风爆发的平均日期在5月第3候,爆发日期在过去60年呈振荡波动,没有明显的变化趋势(图略)。用相同方法将纬向风速差 <0 并稳定维持4候确定为孟加拉湾季风结束时间,图4为1951—2009年逐年孟加拉湾季风爆发时间相对季风结束平均时间(10月3候)的距平(单位:候)与云南干季(11月至次年4月)雨量距平百分率变化。在这里我们认为,季风撤退日期距平在 ± 1 候之间为季风结束正常, >1 候(或 <-1 候)为季风结束偏晚(或偏早)。在1951—2009年共59年中,有6年季风结束在10月第3候,有16年季风结束日期正常(偏早或偏晚1候),其他时期季风结束偏早或偏晚(其中偏早年份比偏晚年份明显偏多)。同时注意到,孟加拉湾季风结束日期有明显的年代际变化特征,15年左右的周期振荡比较明显,20世纪60—70年代、70年代末期到80年代初期、90年代中期以及2000年以后,是孟加拉湾季风撤退偏晚的4个时期。另外可以发现近60年孟加拉湾季风撤退时间有比较明显的提前趋势(通过 $\alpha=0.05$ 的显著性检验)。孟加拉湾季风的爆发时间和结束时间呈负相关,即孟加拉湾季风爆发较早,则季风结束时间偏晚,季风持续时间长;反之亦然。

比较孟加拉湾季风结束时间与云南干季雨量的年际变化可以看到,季风撤退偏早与云南11月至次年4月雨量变化有很好的对应关系。在1961—2006年间孟加拉湾季风结束偏早的20年里,有14年云南干季雨量偏少,3年雨量正常。在季风结束

偏晚或正常年份,季风结束时间与云南干季雨量没有很好的对应关系。从以上的分析可以看出,孟加拉湾季风结束时间有偏早的变化趋势,近 10 年云南地区干季降水处在明显的负距平阶段,干季降水偏少,孟加拉湾季风结束时间对云南干季的影响,可能是造成云南等西南地区秋冬春连季干旱增多的原因之一。

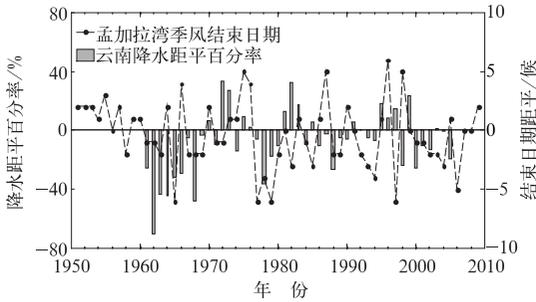


图 4 云南干季降水距平百分率(直方图)与孟加拉湾季风结束日期距平(点线)时间序列
Fig. 4 Time series of dry-season precipitation anomaly percentage (bar, unit: %) in Yunnan and the monsoon drawback date (dotted lines, unit: pentad) of BOB

5 结 论

本文以降水量距平百分率反映降水异常引起的干旱,分析我国 7 大地理区域季节时间尺度降水的年代际变化特征及趋势,探讨了近 10 年来云南等西南地区干旱事件增多的原因,主要有以下几点结论:

(1) 近 60 年来我国各地区秋季降水都有减少的趋势,冬季降水增多或变化不明显。华北、西南、东北地区夏季降水偏少易造成该地区夏、秋季干旱较多,形成东北—西南走向的干旱带。春季江淮流域、华南降水都为偏少趋势,西北地区春、夏季降水相比气候平均状态变化不大,这些结果与以往的研究结论有相近之处。

(2) 近 10 年我国南方秋、冬季降水减少,而北方这两季降水均增加,其他地区秋季降水也有明显减少趋势。和以前的研究成果相比,在增加 21 世纪以来的最近几年资料以后,我国各个区域降水变化趋势的空间分布特征基本没有改变。

(3) 2000 年后华北地区易发生夏季干旱,西南等地秋旱频繁发生,以上地区夏季降水处于明显的偏少阶段。通过分析孟加拉湾季风撤退时间和云南干季降水年际变化的关系,结果表明孟加拉湾季风结束时间平均在 10 月第 3 候,近 60 年有逐渐偏早

的趋势,在 2000 年以后孟加拉湾季风处于结束偏早的阶段,造成 21 世纪初期至今云南干季降水小于气候平均状况,西南等地秋、冬、春连季干旱频发。

(4) 本文只是依据地理概况将我国划分为 7 个主要区域进行分析,处于同一区域的站点变化情况也不可能完全一致,因此需要利用更加客观、可靠的分区方法来进一步深入研究。

参考文献

- [1] 翟盘茂,邹旭恺. 1951—2003 年中国气温和降水变化及其对干旱的影响[J]. 气候变化研究进展, 2005, 1(1): 16-18.
- [2] 马柱国,符淙斌. 20 世纪下半叶全球干旱化的事实及其与大尺度背景的联系[J]. 中国科学, 2007, 37(2): 222-233.
- [3] 董安祥,白虎志,雷小斌. 中国西北地区干旱气候学的新进展及其主要科学问题[J]. 干旱气象, 2006, 24(4): 57-62.
- [4] 杨小利. 西北地区气象干旱监测指数的研究和应用[J]. 气象, 2007, 33(8): 90-96.
- [5] 陈少勇,郭江勇,郭忠祥,等. 中国西北干旱半干旱区年平均气温的时空变化规律分析[J]. 干旱区地理, 2009, 33(3): 364-372.
- [6] 林纾,张东方,王永光,等. MOS 方法在西北地区东部春季干旱预警中的应用与检验[J]. 气象, 2010, 36(5): 98-101.
- [7] 马柱国,符淙斌. 1951—2004 年中国北方干旱化的基本事实[J]. 科学通报, 2006, 51(20): 2429-2439.
- [8] 谢安,孙永罡,白人海. 中国东北近 50 年干旱发展及对全球气候变暖的响应[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 75-82.
- [9] 李新周,马柱国,刘晓东. 中国北方干旱化年代际特征与大气环流的关系[J]. 大气科学, 2006, 30(2): 277-284.
- [10] Qian W H, Lin X. Regional trends in recent precipitation indices in China[J]. Meteor Atmos Phys, 2005, 90: 193-207.
- [11] Qian W H, Qin A M. Precipitation division and climate shift in China from 1960 to 2000[J]. Theor Appl Climatol, 2008, 93: 1-7.
- [12] 邹旭恺,高辉. 2006 年夏季川渝高温干旱分析[J]. 气候变化研究进展, 2007, 3(3): 149-153.
- [13] 牛宁,李建平. 2004 年中国长江以南地区严重秋旱特征及其同期大气环流异常[J]. 大气科学, 2007, 31(2): 254-264.
- [14] 陈丽华,周率,党建涛,等. 2006 年盛夏川渝地区高温干旱气候形成的物理机制研究[J]. 气象, 2010, 36(5): 85-91.
- [15] 王志伟,翟盘茂. 中国北方近 50 年干旱变化特征[J]. 地理学报, 2003, 58(S1): 61-68.
- [16] 张庆云,卫捷,陶诗言. 近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(3): 307-318.
- [17] 彭贵芬,张一平,赵宁坤. 基于信息分配理论的云南干旱风险评估[J]. 气象, 2009, 35(7): 79-86.
- [18] 郑建萌,段旭. 2001 年云南雨季开始偏早与孟加拉湾季风爆发的关系[J]. 气象, 2005, 31(2): 59-63.
- [19] 刘瑜,赵尔旭,孙丹,等. 东南亚地区夏季风异常对云南 2005 年初夏干旱的影响[J]. 气象, 2006, 32(6): 91-96.
- [20] 晏红明,肖子牛,王灵. 孟加拉湾季风活动与云南 5 月降雨量[J]. 高原气象, 2003, 22(6): 624-630.