

基于 WAP 指数的长江流域及其以南地区干旱气候特征分析

梁成¹ 申双和²

摘要

根据长江流域及其以南地区 194 站 1958—2007 年共 50 a 的逐日降水资料,利用 WAP 指数对该区域干旱的主要特征进行综合分析.对各季节 WAP 指数的多年平均分布特征、WAP 指数的长期变化趋势、区域平均的 WAP 指数变化特征等空间分布特征进行分析,并对基于 WAP 指数的干旱开始时间空间分布特征和干旱持续时间的变化特征进行分析.结果表明:通过 WAP 指数表征的降水量具有明显的地域性差异和季节性差异;该区域夏冬季节降水量有增大趋势,不易发生持续干旱情况,而春秋季节降水量的长期趋势明显减少;该区域春秋两个季节干旱开始和持续的时间存在显著季节性差异及南北和东西地域性的显著差异.

关键词

干旱;气候特征;长江流域及其以南地区;WAP 指数

中图分类号 P466

文献标志码 A

收稿日期 2010-03-24

资助项目 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200806026);中国气象局气候变化专项(CCSF09-12)

作者简介

梁成,男,硕士生,研究方向为气候变化及应用. lc@nuist.edu.cn

0 引言

Introduction

干旱作为最严重的自然灾害之一,对人民生活及其经济活动有着很大的影响.据 Obasi^[1]统计,在各类自然灾害造成的总损失中,气象灾害引起的损失约占 85%,而干旱又占气象灾害损失的 50%左右;叶笃正等^[2]也指出:1961—1990 年长江流域旱涝灾害所造成的损失约占整个气象灾害损失的 78%,而干旱就占其中的 50%.因干旱出现频率高、持续时间长、涉及范围广,严重影响经济社会的发展和人民生活水平的提高,早在 20 世纪 30 年代我国科学家已经开始关注气候干旱问题.近年来,全球气候变暖及区域季节性降水减少等因素对干旱发生和发展的影响已引起社会和科技界高度重视.科学家们对我国干旱特别是北方地区干旱机理、演变规律及其预测,干旱区大气过程、地表过程及其与人类活动的相互作用进行了大量的研究^[3-12],这些研究对于国家在战略层面上的决策具有重要的理论意义和应用价值.

我国长江流域及其以南地区人口密集、经济发达,随着国民经济的快速发展、人口膨胀以及水资源短缺现象日益严重,发生于干旱对经济社会危害将会更加严重.我国南方降水虽比北方多,但往往受西太平洋副热带高压影响而晴热高温少雨,不少地区会出现干旱现象.本文利用长江流域及其以南地区 194 个测站 1958—2007 年共 50 a 的逐日降水资料,引入 WAP 指数对该地区干旱的主要特征进行综合分析,期望对我国长江流域及其以南地区干旱的发生及发展规律有更深入的了解和判断,从而为我国南方旱涝的短期气候预测以及为减轻旱涝灾害对国民经济和社会事业发展所造成的危害提供依据.

1 资料与方法

Data and method

本文所用资料为长江流域及其以南地区共 194 个测站 1958—2007 年共 50 a 的逐日降水资料集.考虑到资料时间序列问题,已去除由于资料缺失较多(缺测大于 5%)及因搬迁造成的资料不连续的站点.图 1 给出了 194 个站点分布情况.

本文所使用的 WAP(the Weighted Average of Precipitation)指数定义方法为^[13]

1 南京信息工程大学 大气科学学院,南京,210044

2 南京信息工程大学 应用气象学院,南京,210044

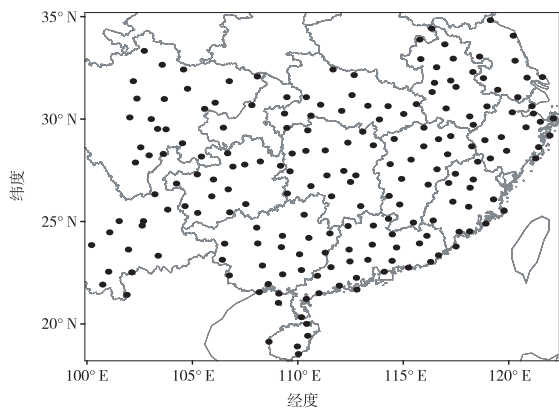


图1 长江流域及其以南地区194个站点分布

Fig.1 Geographic distribution of 194 stations in Yangtze river basin and regions to its south

$$I_{WAP} = \frac{\sum_{n=0}^N a^n P_n}{\sum_{n=0}^N a^n} \quad (1)$$

其中, P_n 为日降水量, n 为距离当前日的天数, a 为贡献参数. 当 a 取趋近于1的值时, 式(1)可进一步简化为

$$I_{WAP} = \sum_{n=0}^N w^n P_n \quad (2)$$

其中 $w^n = (1 - a)a^n$, 本文中 a 取值为0.9, $N = 44$, 因此式(2)可写为

$$I_{WAP} = 0.1 \sum_{n=0}^{44} 0.9^n P_n \quad (3)$$

WAP 指数可以很好地表征一段时间内的降水状况, 它主要考虑了前期降水对后期土壤湿度的贡献, 可以对干旱进行动态和定量化的监测. WAP 值越大, 表明前期降水越多, 干旱不易发生; 而 WAP 值越小, 则表明前期降水越少, 干旱容易发生. 因此, 可以较好反映干旱和洪涝等极端气候状况.

此外本文还采用了线性回归, EOF 等分析方法.

2 WAP 指数变化的基本特征

Basic features of the WAP index variation

2.1 多年平均的空间分布特征

首先分析 WAP 指数在 1958—2007 年的多年平均空间分布情况. 图 2 给出了各个季节 WAP 指数的

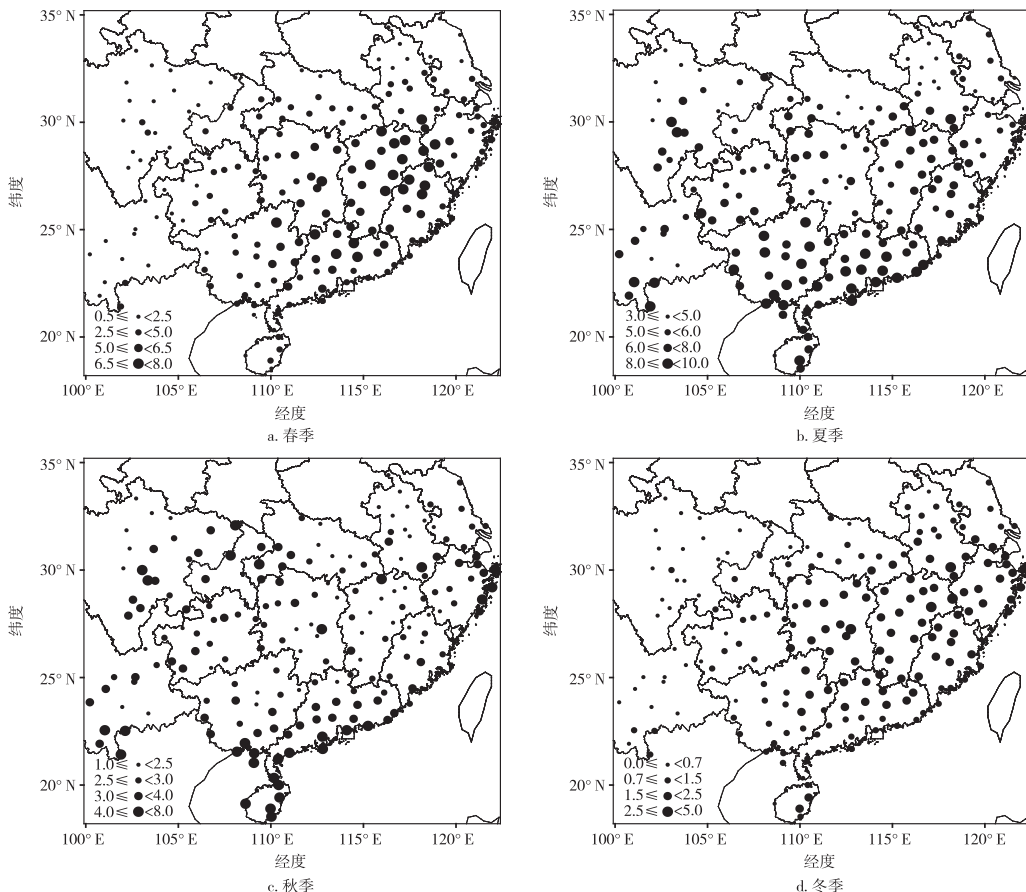


图2 1958—2007 年平均 WAP 指数的空间分布(单位:mm)

Fig.2 Geographic distribution of the averaged WAP index during 1958—2007(units:mm)

空间分布.从图 2a 中可以看出,春季降水量较多的区域为长江以南省份,如湖南、江西、浙江、广西、广东等,WAP 指数达到 6.5 以上;而四川、云南的 WAP 指数很小,大都在 2.5 以下,降水量相对较少.夏季(图 2b)WAP 值普遍较大,绝大多数站点都可达到 6.0 以上,降水量充沛,两广地区最大,长江流域南面几个省份则相对较少.秋季(图 2c)降水量较多的地区为西南地区、两广南部以及海南省,可达 4.0 以上,多数都在 3.0 以下.冬季(图 2d)的情况与春季极为类似,长江中下游地区,尤其是以南的几个省份,雨量相对较多.总之,通过 WAP 指数表征的降水量具有明显的地域性差异和季节性差异.

2.2 区域平均 WAP 指数的变化特征

由于 WAP 指数的计算公式累加了前期 44 d 的降水量情况对于当前天 WAP 值的贡献,可以很好地表征某段时期内累积降水量甚至土壤含水量的情况.我国幅员辽阔,地域性差异显著,不同地区 WAP 值相差较大;而不同季节 WAP 值当然也会有很大差异.本文主要分析长江流域及其以南地区的 194 个测站,按行政区划来说,主要包括长江中下游地区、华南地区以及西南地区,本部分暂且按照上述 3 个区域分别分析多年平均 WAP 指数的年内变化情况.

如图 3 所示,在 1—7 月左右,西南地区 WAP 值总体比长江中下游和华南地区小,而 7 月以后直至 12 月长江中下游地区最小,西南地区次之,华南地区最大.全年来说,华南地区 WAP 值一直为最高,并且在 6 月左右和 8 月底 9 月初左右出现两个高峰期,这与副热带高压的北进南退以及与之对应的雨带的南北移动有很大联系.长江中下游地区和西南地区只有一个高峰期,都出现在 7、8 月盛夏时节.总体来说,冬季累积降水最少,夏季最充沛,春秋次之.表 1 给出了 3 个区域各季节 WAP 指数区域平均的多年平均值,可为农作物生长需水量、供水量以及缺水等提供参考依据.

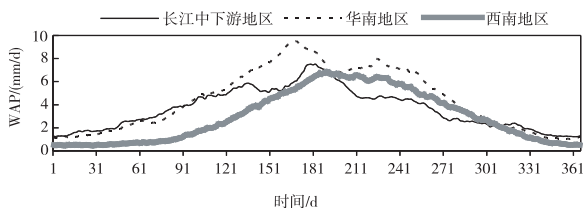


图 3 区域 WAP 指数的多年平均年变化

Fig. 3 Annual variations of regional averaged WAP

表 1 各季节区域 WAP 指数的多年平均值(1958—2007)

Table 1 The average for 1958—2007 of regional averaged WAP in different seasons

区域	WAP 指数			
	春季	夏季	秋季	冬季
长江中下游地区	4.394	5.636	2.806	1.678
华南地区	4.761	7.839	3.731	1.428
西南地区	2.088	6.042	3.199	0.590

2.3 WAP 指数的长期变化趋势

为了分析 WAP 指数的长期变化趋势,图 4 给出了各季节 50 a 来总体变化趋势情况.由图 4a 可知,春季在云南和四川地区降水量有增大的趋势,广东和福建交界处也有一些显著增大趋势的站点,回归系数可达 0.2 以上;其他地区都为减少趋势.而夏季与春季基本相反(图 4b),除了云南和四川一些站点为负值,即有降水量的减少趋势,其他地区都为一致性的增大趋势,系数趋势大多在 0.1~0.5.说明夏季降水量在西南地区有所减少,容易发生干旱灾害,而长江中下游流域及其以南地区降水都较为充沛.秋季(图 4c)的情况与春季类似,绝大多数省份 WAP 值有明显减小趋势,而江西、云南等省的某些站点则出现降水量较小增加趋势.冬季状况又与夏季类似(图 4d),全区域范围内降水量呈现一致增大趋势,尤其是长江中下游流域,但 WAP 指数的线性回归系数不大,大都在 0.2 以下.从以上分析可以看出,夏冬季节降水量有增大趋势,不易发生持续干旱情况,而春秋季节降水量的长期趋势明显减少,这两个季节正好为农作物生长需水期,雨水的供给非常重要,需要多注意干旱情况的发生.

3 基于 WAP 指数的干旱特征分析

Basic features of the drought disclosed by WAP index

根据 WAP 指数,可以分析各地区一般累积降水量的情况,也可以分析干旱或洪涝等极端天气事件的发生.我国是一个农业大国,分析各种天气状况对农作物的影响是非常重要的.由于春秋时节为农作物生长发育的重要时期,掌握降水量的供给、短缺情况是首要任务,因此本文主要分析春秋时节干旱的发生及其持续时间等情况,为今后防旱减灾提供一些基本的科学依据.

本文中,定义一次干旱发生的方法为 WAP 指数距平值连续 10 d 或以上小于 -0.5 即为一次干旱发生,出现上述状况的第一天作为干旱开始的时间.

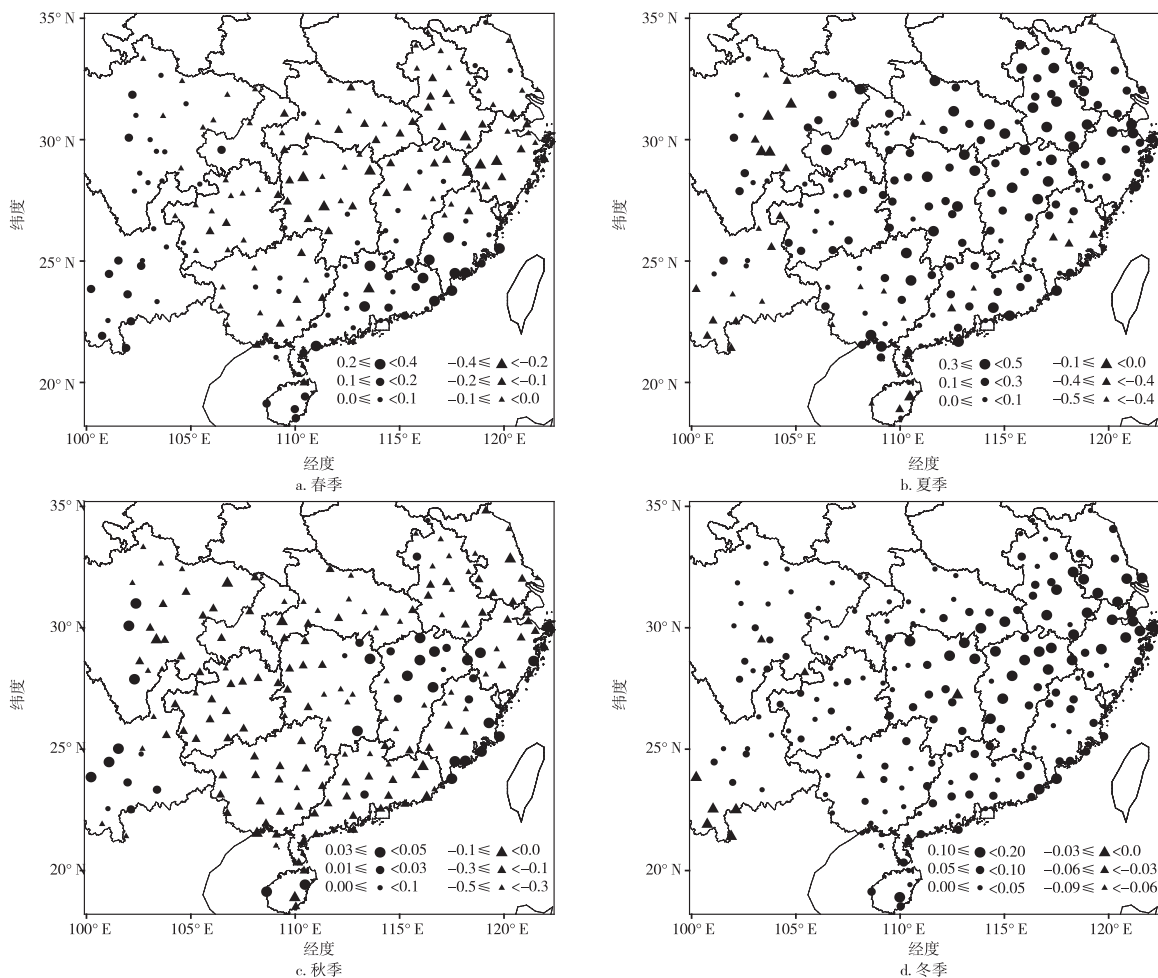


图4 WAP指数线性变化趋势(单位:mm/(10 a))

Fig. 4 Linear trends of WAP index(units:mm/(10 a))

3.1 干旱发生的时空分布特征

为了进一步分析春秋两个季节降水量的多少对农作物的影响,以下对干旱开始时间作了 EOF 分析,它可以体现出干旱开始时间的异常分布特征.图 5 给出了春季干旱开始时间的经验正交函数 EOF 前 3 个空间模态及相应的时间系数演变曲线.从第 1 模态(图 5a)可以看出,长江以北的湖北、安徽、江苏 3 个省份为一致的负值,而西南地区四川、云南以及长江中下游以南的几个省份为一致的正值区域,它们呈现很好的反向变化特征,基本以长江为界,体现了南北地域性的显著差异.该模态对总方差的贡献为 11%,从标准化的时间系数变化曲线(图 5d)可以看出,该模态在这 50 a 间正负异常交替出现,没有主要的正负异常时段,主要体现了年际变化特征.第 2 模态(图 5b)方差贡献为 9%,绝大多数地区为正值,只有四川、重庆以及广西、广东南部沿海等少数某些站点为负值.该模态

在 1966—1976 年主要为负异常,而其他年份也多为正负异常交替出现.第 3 模态方差贡献最少,为 7%,从图 5c 中可以看出,第 3 模态主要体现东西部差异性.在东部安徽、江苏、浙江、福建、广东等地区为正值,而湖北、湖南、广西以及西南地区省份为负值,它们呈现很好的反向变化特征.而从时间系数图上看来,依然主要体现年际变化特征,只是振幅较大,负异常出现两个峰值.

图 6 与图 5 类似,但是为秋季干旱开始时间的 EOF 分析结果,前 3 个模态的方差贡献分别为 27.2%,8.0%,7.5%.从第 1 模态空间分布图可以看出,所取站点都为正值,这表明在秋季,各地干旱开始时间呈现出全区一致性(图 6a).时间系数体现为年际变化特征,没有明显的正负异常时段.图 6b 是第 2 模态情况,可以看出,长江以北的省份,湖北、安徽、江苏以及四川和重庆的北部大部分地区都为较大的正值,而长江以南地区则为负值,尤其云南负

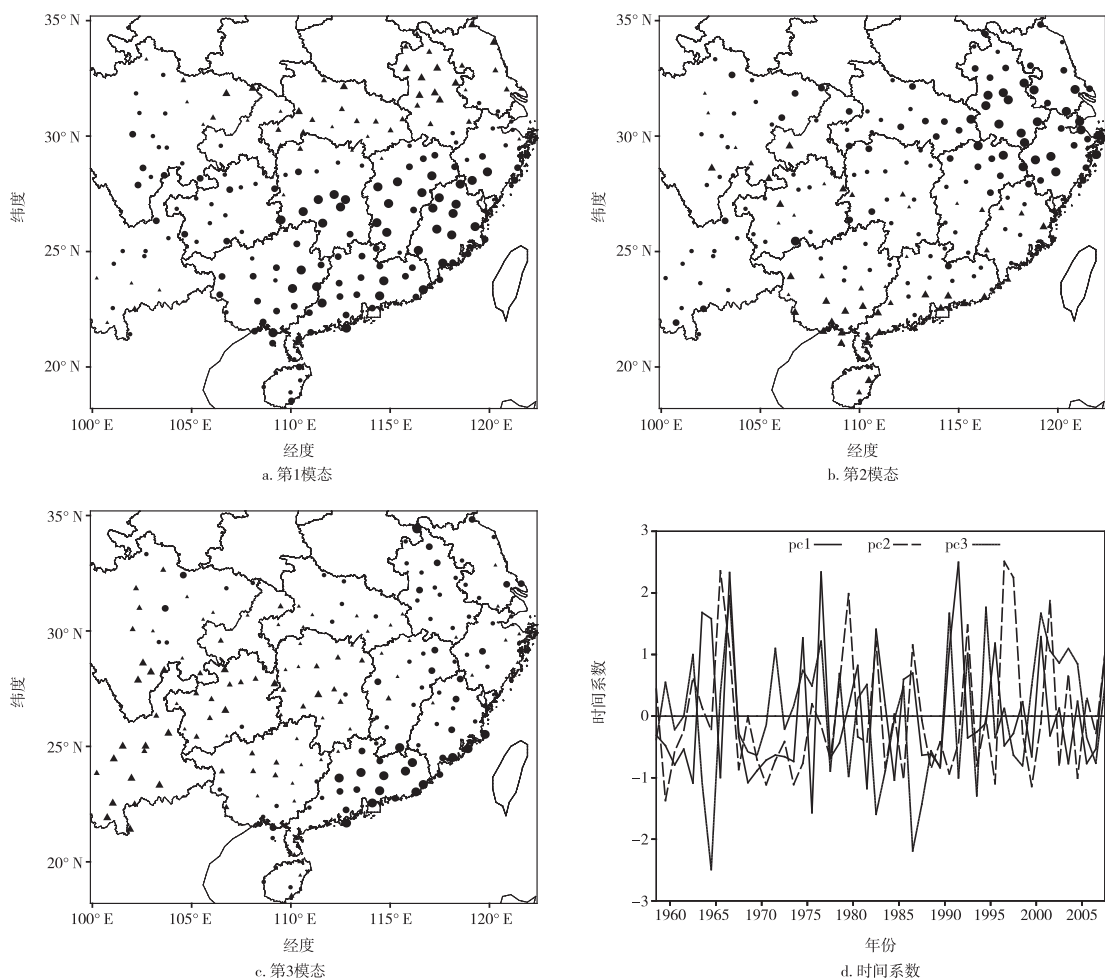


图5 春季干旱开始时间 EOF 分析前 3 个模态及相应的时间系数(圆圈代表正值,三角代表负值)

Fig. 5 The three leading modes of the beginning time of Spring drought from EOF analysis together with their time coefficients
(Where circle denotes positive value but triangle for negative value)

值较大. 第 2 模态的分布情况呈现了显著的南北反向变化特征. 从时间系数来看, 20 世纪 60 年代至 70 年代末, 该模态主要为正异常, 80 年代以后则又为正负异常交替出现. 第 3 模态主要表现出广东、福建以及浙江南部为负值, 与其他地区反向变化. 时间系数上, 大体看来, 在 80 年代末之前主要为负异常, 这之后大都为正异常.

通过上述分析可以得出, 春秋季节的干旱开始时间存在显著季节性差异和地域性差异. 地域性差异主要体现了大体以长江为界的南北差异以及东部沿海与内陆的差异.

3.2 干旱持续时间的时空分布特征

为了分析各地区的干旱程度, 下面给出了春季与秋季干旱持续时间的 EOF 分析结果. 首先分析春季情况, 选取前 3 个主要模态, 方差贡献分别为

25%, 16%, 10%. 图 7a 给出了第 1 模态的空间分布情况, 可以看出云南和两广地区正值最大, 西南地区也为较小正值, 而长江以北则为较大负值. 大体来看, 依然以长江为界, 体现了南北反向变化特征; 从时间系数来看, 该模态在 20 世纪 70 年代中期之前主要为正异常, 至 80 年代末则转为负异常. 第 2 模态的情况为除了云南、海南全省, 四川和贵州部分站点为负值, 其他地区呈现一致性正值. 越往长江下游正值越大, 南侧大于北侧(图 7b). 该模态从 80 年代到 90 年代中期主要为负异常; 其他年份多为正负异常交替变化, 表现出年际变化特征. 在第 3 模态空间分布中(图 7c), 除了江西、浙江、福建三省为很大正值, 其他地区都为负值, 西南地区负值较大. 第 3 模态的时间系数也主要体现了年际变化特征.

秋季情况(图 8)与春季有所不同, 第 1 模态方

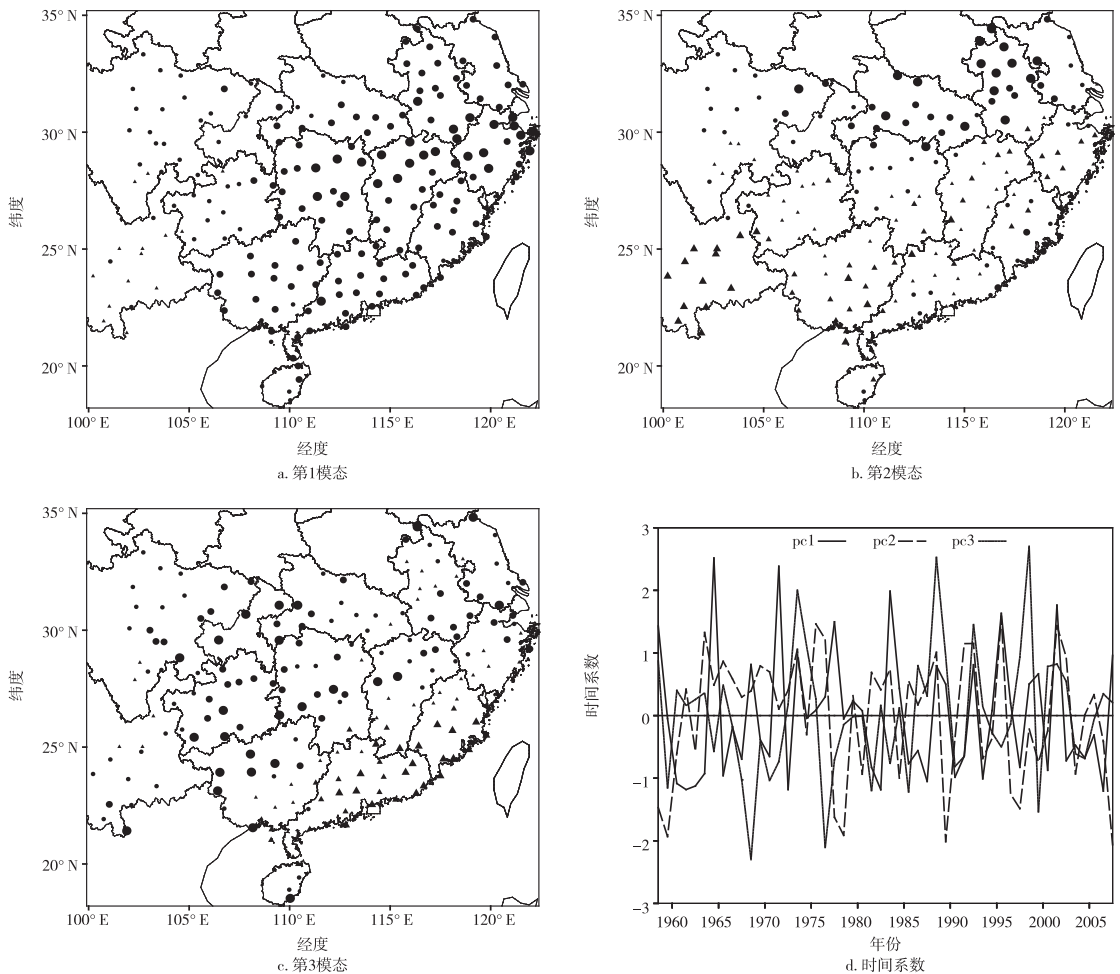


图6 秋季干旱开始时间 EOF 分析前 3 个模态及相应的时间系数(圆圈代表正值,三角代表负值)

Fig. 6 The three leading modes of the beginning time of Autumn drought from EOF analysis together with their time coefficients (Where circle denotes positive value but triangle for negative value)

差贡献为 28%, 空间分布图上所有站点都为正值, 呈现显著的全区一致性; 第 2 模态, 湖北、安徽、江苏以及浙江为负值, 其他地区为正值, 两广和云南、四川等地正值较大; 第 3 模态方差贡献与第 2 模态一样, 都为 9%, 主要体现了以东北—西南走向为界, 界限以南为负值, 以北为正值, 呈现明显反向变化特征. 前 3 个模态的时间系数也都表现出年际变化特征, 无显著正负异常时段.

上述春秋季节干旱持续时间的分析结果体现了长江流域及其以南地区干旱情况的地域差异显著.

4 总结与讨论

Summary and discussion

本文根据长江流域及其以南地区 194 个测站 1958—2007 年共 50 a 的逐日降水资料, 利用 WAP 指数对该区域干旱的主要特征进行综合分析. WAP

指数既可以体现出一段时间内的一般降水状况, 又可以表现出干旱和洪涝等极端气候状况. 对各季节 WAP 指数的空间分布特征进行分析, 并对基于 WAP 指数的干旱开始时间空间分布特征和干旱持续时间的变化特征进行分析. 得出以下结论:

1) 通过 WAP 指数表征的降水量具有明显的地域性差异和季节性差异. 春季降水量较多的区域为长江以南省份, 如湖南、江西、浙江、广西、广东等, 而四川、云南降水量相对最少; 夏季降水量充沛, 两广地区最大, 长江流域南面几个省份则相对较少; 秋季降水量较多的地区为西南地区、两广南部以及海南省; 冬季的情况与春季极为类似, 长江中下游地区尤其是以南的几个省份雨量相对较多.

2) 从各季节 50 a 来总体变化趋势情况看, 该区域夏冬季节降水量有增大趋势, 不易发生持续干旱情况, 而春秋季节降水量的长期趋势明显减少, 这两

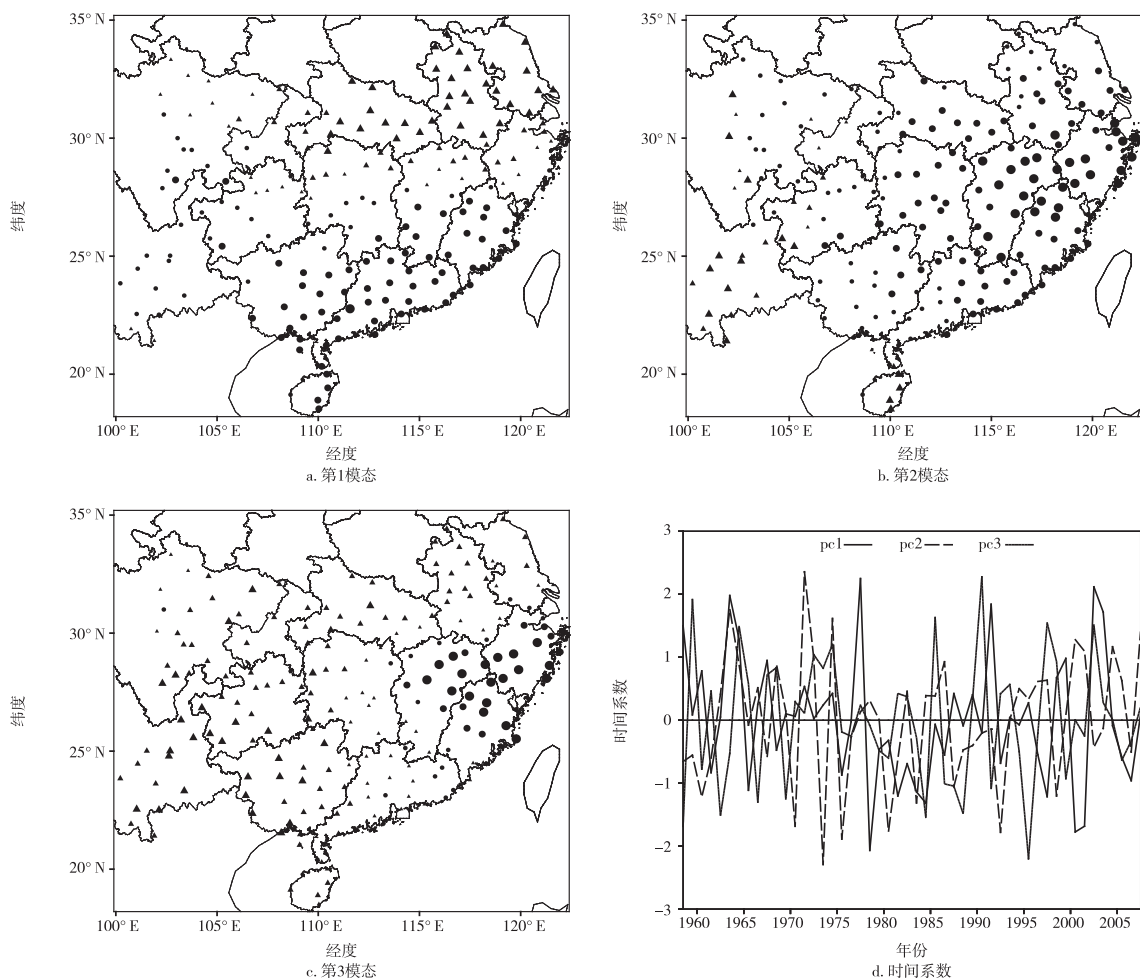


图7 春季干旱持续时间 EOF 分析前 3 个模态及相应的时间系数(圆圈代表正值,三角代表负值)

Fig.7 The three leading modes of the spring drought duration from EOF analysis together with their time coefficients
(Where circle denotes positive value but triangle for negative value)

个季节正好为农作物生长需水期,雨水的供给非常重要,需要注意干旱情况的发生.春季在云南和四川地区降水量有增大的趋势,广东和福建交界处也有一些显著增大趋势的站点,其他地区都为减少趋势;夏季与春季基本相反,除了云南和四川一些站点有降水量的减少趋势,其他地区都为一致性的增大趋势,说明夏季降水量在西南地区有所减少,容易发生干旱灾害,而长江中下游流域及其以南地区降水都较为充沛;秋季的情况与春季类似,绝大多数省份 WAP 值有明显减小趋势,而江西、云南等省的某些站点则出现降水量较小增加趋势;冬季状况又与夏季类似,全区域范围内降水量呈现一致增大趋势,尤其是长江中下游流域,但 WAP 指数的线性回归系数不大.

3) 干旱开始时间的 EOF 分析结果表明,该区域春秋两个季节干旱开始的时间存在显著季节性差异

和地域性差异,并表现出明显的异常空间分布特征.春秋两个不同季节干旱开始的时间有显著的差异性,而地域性差异主要体现了大体以长江为界的南北差异以及东部沿海与内陆的差异.

4) 通过对干旱持续时间的 EOF 分析表明,该区域春秋两个季节干旱持续的时间也存在显著季节性差异和地域性差异.春季干旱持续时间异常最主要的空间分布特征为南北反相型,反映了北方干旱持续时间长(短),南方干旱持续时间短(长)这一主要特征;而秋季干旱持续时间异常最主要模态则为全区一致型.

本文通过引入 WAP 指数,分析我国长江流域及其以南地区的干旱气候特征,揭示了该区域 50 a 来的降水表征及干旱发生的规律,得到的结果只是初步的.对于该区域干旱的成因等方面还需要进一步深入研究,这些将在后续工作中加以分析.

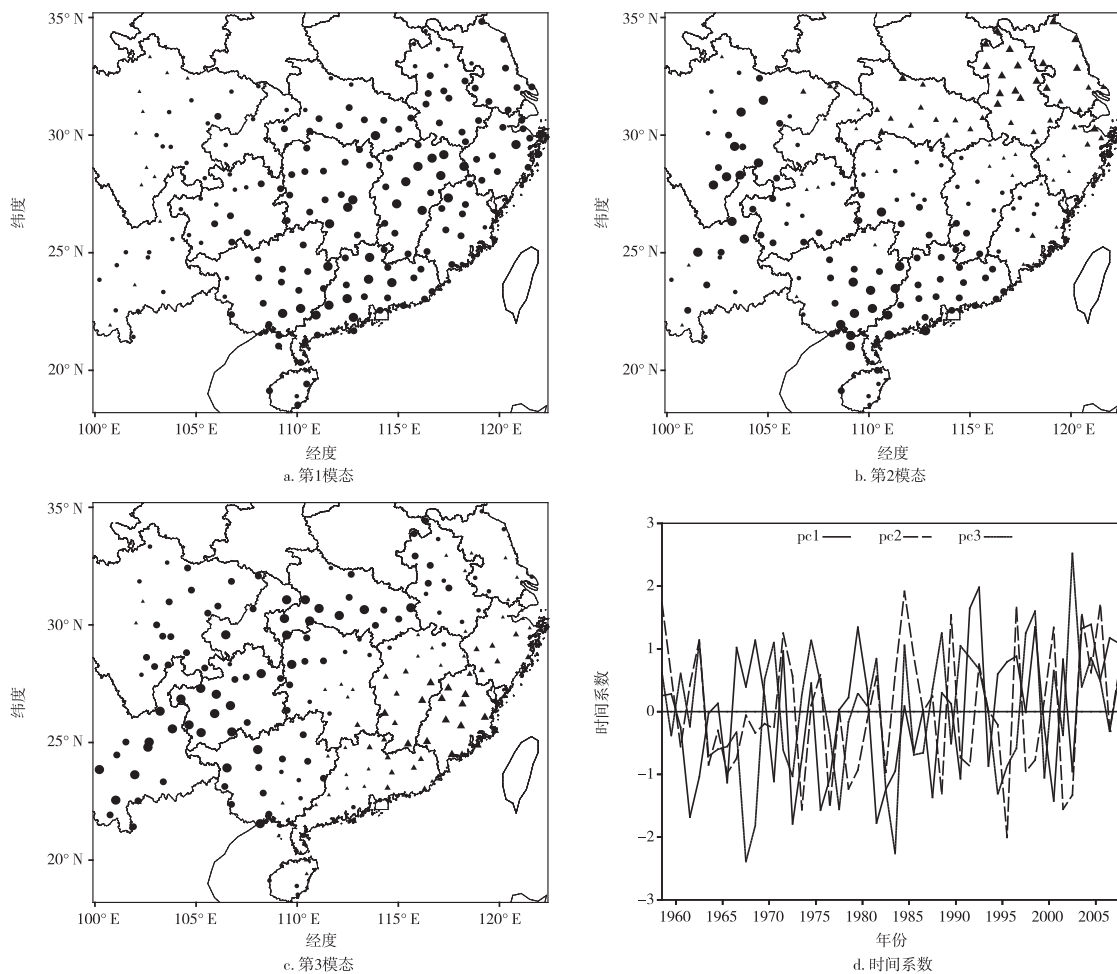


图 8 秋季干旱持续时间 EOF 分析前三个模态及相应的时间系数(圆圈代表正值,三角代表负值)

Fig. 8 The three leading modes of the autumn drought duration from EOF analysis together with their time coefficients (Where circle denotes positive value but triangle for negative value).

致谢:感谢南京信息工程大学大气科学学院硕士研究生范苏丹在资料处理、图表绘制方面提供的大力帮助。

参考文献

References

[1] Obasi G O P. WMO's role in the international decade for natural disaster reduction[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1994, 75(9): 1655-1661

[2] 叶笃正, 黄荣辉. 我国长江黄河两流域旱涝规律成因与预测研究的进展、成果与问题[J]. 地球科学进展, 1991, 6(4): 24-29
YE Duzheng, HUANG Ronghui. Advances, results and problems of the project "investigation on laws, causes and predictions of droughts and floods in the Yellow River valley and the Yangtze River valley of China" [J]. Advance in Earth Sciences, 1991, 6(4): 24-29

[3] 符滨斌, 温刚. 中国北方干旱化的几个问题[J]. 气候与环境研究, 2002, 7(1): 22-29
FU Congbin, WEN Gang. Several issues on aridification in the Northern China[J]. Climatic and Environmental Research, 2002,

7(1): 22-29

[4] 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(增刊 1): 75-82
XIE An, SUN Yonggang, BAI Renhai. Arid climate trend over Northeastern China and its response to global warming[J]. Acta Geographica Sinica, 2003, 58(Sup1): 75-82

[5] 孙力, 沈柏竹, 安刚. 中国东北地区地表干湿状况的变化及趋势分析[J]. 应用气象学报, 2003, 14(5): 542-552
SUN Li, SHEN Bozhu, AN Gang. A study of the variation and tendency of surface dry-and-wet state of northeast area in china [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2003, 14(5): 542-552

[6] 杨林, 魏应植, 丁一汇, 等. 东亚地区夏季旱涝分布与南海夏季风爆发时间关系[J]. 自然灾害学报, 2007, 16(5): 52-58
YANG Lin, WEI Yingzhi, DING Yihui, et al. Relationship between summer drought-flood distribution in East Asia region and breaking out time of South China Sea summer monsoon [J]. Journal of Natural Disasters, 2007, 16(5): 52-58

[7] 汪秀清, 陈长胜, 张智勇, 等. 东北地区夏季旱涝的区域特征及水汽异常输送[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(4): 53-58
WANG Xiuqing, CHEN Changsheng, ZHANG Zhiyong, et al. Regional features of summer drought and flood in Northeast China and corresponding abnormal water-vapor transportation [J]. Jour-

- nal of Natural Disasters, 2006, 15(4):53-58
- [8] 贾小龙,王谦. 东北地区汛期降水异常的大气环流特征分析 [J]. 高原气象, 2006, 25(2):309-318
JIA Xiaolong, WANG Qianqian. Analyses on general circulation character of precipitation anomaly in Northeast China flood season [J]. Plateau Meteorology, 2006, 25(2):309-318
- [9] 钱维宏,符娇兰,张玮玮,等. 近 40 年中国平均气候与极值气候变化的概述 [J]. 地球科学进展, 2007, 22(7):673-684
QIAN Weihong, FU Jiaolan, ZHANG Weiwei, et al. Changes in mean climate and extreme climate in China during the last 40 years [J]. Advances in Earth Science, 2007, 22(7):673-684
- [10] 蔡敏,丁裕国,江志红. 我国东部极端降水时空分布及其概率特征 [J]. 高原气象, 2007, 26(2):309-318
CAI Min, DING Yuguo, JIANG Zhihong. Extreme precipitation experimentation over Eastern China based on L-moment estimation [J]. Plateau Meteorology, 2007, 26(2):309-318
- [11] 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
ZHAI Panmao, ZOU Xukai. Changes in temperature and precipitation and their impacts on drought in China during 1951-2003 [J]. Advances in Climatic Change Research, 2005, 1(1):16-18
- [12] 卫捷,张庆云,陶诗言. 1999 及 2000 年夏季华北严重干旱的物理成因分析 [J]. 大气科学, 2004, 28(1):125-137
WEI Jie, ZHANG Qingyun, TAO Shiyan. Physical causes of the 1999 and 2000 summer severe drought in North China [J]. Chinese Journal of Atmospheric Sciences, 2004, 28(1):125-137
- [13] Er L. Determining the start, duration, and strength of flood and drought with daily precipitation; Rationale [J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36, L12707, doi:10.1029/2009GL038817

Climatic features of the drought in the Yangtze River Basin and regions to its south disclosed by WAP index

LIANG Cheng¹ SHEN Shuanghe²

1 College of Atmospheric Sciences, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 College of Applied Meteorology, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

Abstract Based on 1958—2007 daily precipitation data of 194 stations in the Yangtze River Basin and regions to its south, the main features of the droughts are investigated by using the weighted average of precipitation (WAP) index. Some basic characteristics, such as the climatology, regional average and long-term trends of WAP index, are analyzed. The spatial features of both the beginning time of the drought occurrence and the duration of the drought are studied based on the WAP index. Results show that the precipitation reflected by WAP index exhibits significant regional and seasonal differences. An increasing trend is found in the precipitation of summer and winter, and the trends of the drought in both seasons tends to be decreasing. However, the spring and autumn precipitation tends to be smaller, and the droughts tend to be more frequent. The beginning time and the duration of the drought in both spring and autumn also exhibit evident spatial and seasonal differences.

Key words drought; climatic features; Yangtze River Basin and regions to its south; WAP index