

1961—2010 年中国降水量变化分区及其区域特征

王 耸¹,高西宁²,肖 瑶³,王 琪⁴,王 宁¹

(1. 吉林省气象服务中心, 吉林 长春 130062; 2. 沈阳农业大学农学院, 辽宁 沈阳 110866;
3. 河南省气象服务中心, 河南 郑州 450003; 4. 吉林省气象台, 吉林 长春 130062)

摘 要: 为研究中国近 50 a(1961—2010 年)降水量变化的空间分区及其区域特征,利用 598 个气象站 1961—2010 年逐旬降水资料,计算各站的降水量距平百分率,通过经验正交函数(ROF)和旋转经验正交函数(REOF)对降水量变化进行空间分析,进而对中国 50 a 降水量变化特征进行分区,同时采用线性趋势分析及 5 a 滑动平均分析方法,分析了全区及各个分区降水量变化特征。结果表明:根据 1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年 3 个时段可分别将中国分成 12、11 和 11 个降水量变化区。综合 3 个时间段降水量变化特征,可将中国分为江淮地区、东北中南部地区、中国北部地区、新疆地区、江南和华南东部地区、黄淮地区、西南地区东部和江南西部地区、东北北部地区、华南中西部、青藏地区、西南地区西部 11 个区域。通过降水量变化特征分析,近 50 a 中国降水呈现减少趋势,且存在区域差异。降水量减少幅度最大的是黄淮地区,气候倾向率为 $-13.9415\text{ mm}\cdot 10\text{ a}^{-1}$,降水量增加幅度最大的是江南和华南东部地区,气候倾向率为 $23.2075\text{ mm}\cdot 10\text{ a}^{-1}$ 。

关键词: 降水距平百分率;旋转经验正交函数;降水量变化分区;线性趋势分析;5 年滑动平均分析
中图分类号: P426.6 [HTH]文献标志码: A

The division of precipitation change and its regional characteristics in China during 1961—2010

WANG Song¹, GAO Xi-ning², XIAO Yao³, WANG Qi⁴, WANG Ning¹

(1. Jilin Province Meteorological Service Center, Changchun, Jilin 130062, China;
2. College of Agronomy, Shenyang Agricultural University, Shenyang, Liaoning 110866, China;
3. Henan Province Meteorological Service Center, Zhengzhou, Henan 450003, China;
4. Jilin Meteorological Observatory, Jilin 130062, China)

Abstract: In order to study the division of precipitation change and its regional characteristics in recent 50 years of China, using each ten days precipitation data from 598 meteorological stations during 1961—2010, the precipitation anomaly percentage of each station was calculated. Through the empirical orthogonal function and rotated empirical orthogonal function, carried out the spatial analysis for the precipitation change and division of the precipitation change characteristics in recent 50 years of China, also using the linear trend analysis and 5 - years moving average analysis methods, the variation characteristics of precipitation in the whole region and each district were analyzed. The results indicated that: China can be divided into 12, 11 and 11 change regions, respectively, according to the 1961—1990, 1971—2000 and 1981—2010. Synthesized the precipitaion change characteristics in three time periods, whole China can be divided into 11 regions, such as Jianghuai region, Central and Southern Northeast region, Northern part of China, Xinjiang region, Southern and South Eastern region, Huanghuai region, Eastern of Southwest region and West of Southern regions, Northern part of the Northeast region, Midwest of South China, Qinghai - Tibet region, West of the Southwest region. Through the analysis of the precipitaion change characteristics, the precipitation was tended to decrease in recent 50 years of China, but presented regional difference. The maximal precipitation decreasing trend was in Huanghuai region, and the climatic trend rate was $-0.0183\text{ mm}\cdot 10\text{ a}^{-1}$. While the most obvious increase tendency of precipitation was occurred in Southern and south eastern region, the climatic trend rate was $23.2075\text{ mm}\cdot 10\text{ a}^{-1}$.

收稿日期: 2016-07-14 修回日期: 2017-10-12
基金项目: 国家自然科学基金重点项目(41430528)
作者简介: 王 耸(1989—), 女, 辽宁阜新新人, 硕士, 助理工程师, 研究方向为气象服务和气候变化。E-mail: 763310054@qq.com。
通信作者: 高西宁(1973—), 男, 陕西富平人, 副教授, 硕士生导师, 研究方向为气候变化。E-mail: 88487135@163.com。

Keywords: precipitation anomaly percentage; rotated empirical orthogonal function; the division of precipitation changes; linear trend analysis; 5 – years moving average analysis

IPCC 第 5 次报告指出,全球平均陆地和海洋表面温度于 1880—2012 年期间升高了 0.85℃(0.65℃~1.06℃)^[1]。全球气候变暖会造成海平面气压场的重新调整,加速地球系统的水循环,进而影响全球的总降水量变化^[2-3]。中国幅员广阔,领土面积达 1 430 多万 km²^[4],占有热带、亚热带、暖温带、温带、寒温带五种气候带。受不同气候带、不同大气环流形势^[5]及复杂地形的影响,气候变化特征有垂直变化和水平变化不均一的特点,中国的气候变化特征存在一定的区域差异^[6]。

降水量的变化是区域气候变化最敏感、最直接的因素^[7]。在气候变暖背景下,极端降水事件很有可能强度增大、频率增高,干旱、洪涝等极端气候增加^[8-9]。已有研究主要针对中国某个地区以及省、市的降水量变化研究^[10-14],而缺乏对中国整体范围降水量变化的空间分布及年际差异等的系统研究。在全球气候变化的背景下,中国过去 50 年气候变化十分显著,因此在全球气候变化背景下对中国近 50 a 降水量变化的分区及其变化特征进行研究十分重要^[2]。

为研究 1961—2010 年中国降水量变化的空间格局的稳定性及其动态变化过程,同时考虑研究气候变化需要至少 30 a 的气候资料,本研究采用滑动时段法,将研究时段分为 3 个时段(1961—1990、1971—2000、1981—2010 年)对其降水量变化特征进行分区,并探讨分区结果的差异。通过此项研究,对进一步揭示中国降水量变化特征,研究其气候学意义,对提高我国农业生产等对气候变化的适应性,以及社会、经济和环境的可持续发展具有重要意义。

1 数据来源及研究方法

1.1 数据来源

本文使用的降水量资料来源于中国气象科学数据共享服务网提供的 1961—2010 年中国地面气候资料日值数据集,其中包含中国 756 个基准、基本气象站自 1951 年 1 月以来的气温、气压、降水量等 8 个要素的日值数据,从中提取 1961—2010 年降水量数据,用于本文研究。756 个气象站中,由于建站时间有所不同,资料时间长短不同,对于降水量时间长度少于 30 a 的 84 个气象站进行剔除;剔除因由基本(基准)站改为一般站,造成数据中断的 46 个站点;剔除 28 个由于台站迁址等原因造成数据 10 a 以上

中断的气象站;剩余 598 个气象站中,缺测降水资料用 1981—2010 年的标准气候值代替^[4],最终选取此 598 个气象站(站点分布见图 1)1961—2010 年旬降水数据进行研究。

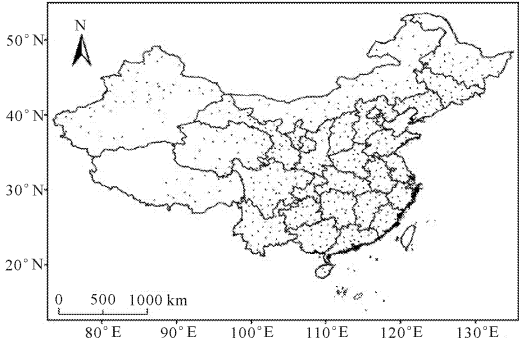


图 1 中国 598 个站点分布

Fig.1 Distribution of 598 meteorological stations in China

1.2 研究方法

1.2.1 数据处理 选取 1981—2010 年作为气候标准期,分别计算各站 1~36 旬降水量平均值,并生成各个站点 1961—2010 年的逐旬降水距平百分率数据集。

$$P_a = \frac{P - \bar{P}}{\bar{P}} \times 100\% \tag{1}$$

式中, P 为某站某旬降水量(mm); $\bar{P}$ 为该站 1981—2010 年对应旬的旬平均降水量(mm)。

1.2.2 经验正交函数 EOF 和旋转经验正交函数 REOF 经验正交函数 EOF 分解是气候统计诊断中应用最为普遍的方法之一,在保持原有信息损失的前提下,把原始变量分解为正交函数的线性组合,构成为数很少的互不相关典型模态,代替原始变量场,每个典型模态都含有尽量多的原始场信息^[15]。

旋转经验正交函数 REOF 分解是基于经验正交函数 EOF,采用正交旋转矩阵,使原始要素场的特征信息集中映射到载荷场所代表的优势空间上,从而使得旋转后的典型场空间结构更加清晰,能更好地表现地域的差异,同时反映不同地域的相关分布状况,实现将气候要素一致的地区划分为同一区域^[16-18]。

本研究 EOF 对 598 个站点的降水距平百分率进行处理,为了清晰表示要素场区域特征,采用 REOF 进行区域划分,即在区域特征分析基础上对 EOF

结果做方差最大正交旋转,重新分配方差 $P^{[15,19-20]}$;根据 REOF 分解结果,形成各台站经方差最大旋转后的载荷特征向量矩阵,查找各站点绝对值最大的载荷值对应的特征向量,从而确定出对该站点影响最大的特征向量,使某一特征向量的高荷载值聚为同一类型,进而对降水量变化特征进行分区^[21]。

1.2.3 降水量变化趋势分析 对分区后各区域年平均降水量的距平值进行线性趋势分析及 5 a 滑动平均分析,讨论各区域降水量变化特征。

线性趋势分析采用线性倾向率,即采用线性回归方程 $\hat{y} = ax + b$ 来拟合各区域年平均降水量的距平值的时间变化序列, a 为线性倾向率,可以定量反映各区域年平均降水量的距平值随时间的线性变化趋势^[22]。

5 a 滑动平均分析使用的计算公式为^[23]:

$$\begin{aligned} \bar{y}_1 &= (3y_1 + 2y_2 + y_3 - y_5)/5 \\ \bar{y}_2 &= (4y_1 + 3y_2 + 2y_3 + y_4)/10 \\ \bar{y}_i &= (y_{i-2} + y_{i-1} + y_i + y_{i+1} + y_{i+2})/5 \\ (i &= 3, \dots, n - 2) \\ \bar{y}_{n-1} &= (y_{n-3} + 2y_{n-2} + 3y_{n-1} + 4y_n)/10 \\ \bar{y}_n &= (-y_{n-4} + y_{n-2} + 2y_{n-1} + 3y_n)/5 \end{aligned} \tag{2}$$

式中, y_i 为原始序列数值; $\bar{y}_i$ 为滑动平均后数值。

2 结果与分析

2.1 降水量变化空间分析

采用 REOF 对 598 个站点的降水距平百分率进行分析,3 个时段前 11 个载荷向量累积解释方差贡献均超过 65% (表 1),第 12 个载荷向量以后方差贡献率较小,即可认为取 11 个旋转特征向量,基本上能够代表分区结果^[24-26]。3 个时段均取前 11 个载荷向量进行正交旋转,并就此进行降水量变化的空间分析。

表 1 前 11 个载荷向量累积方差贡献率
Table 1 The cumulative variance contribution rate of the first eleven load vectors

时间段 Time period	累积方差贡献率/% Cumulative variance contribution rate
1961—1990 年	65.48
1971—2000 年	66.02
1981—2010 年	65.84

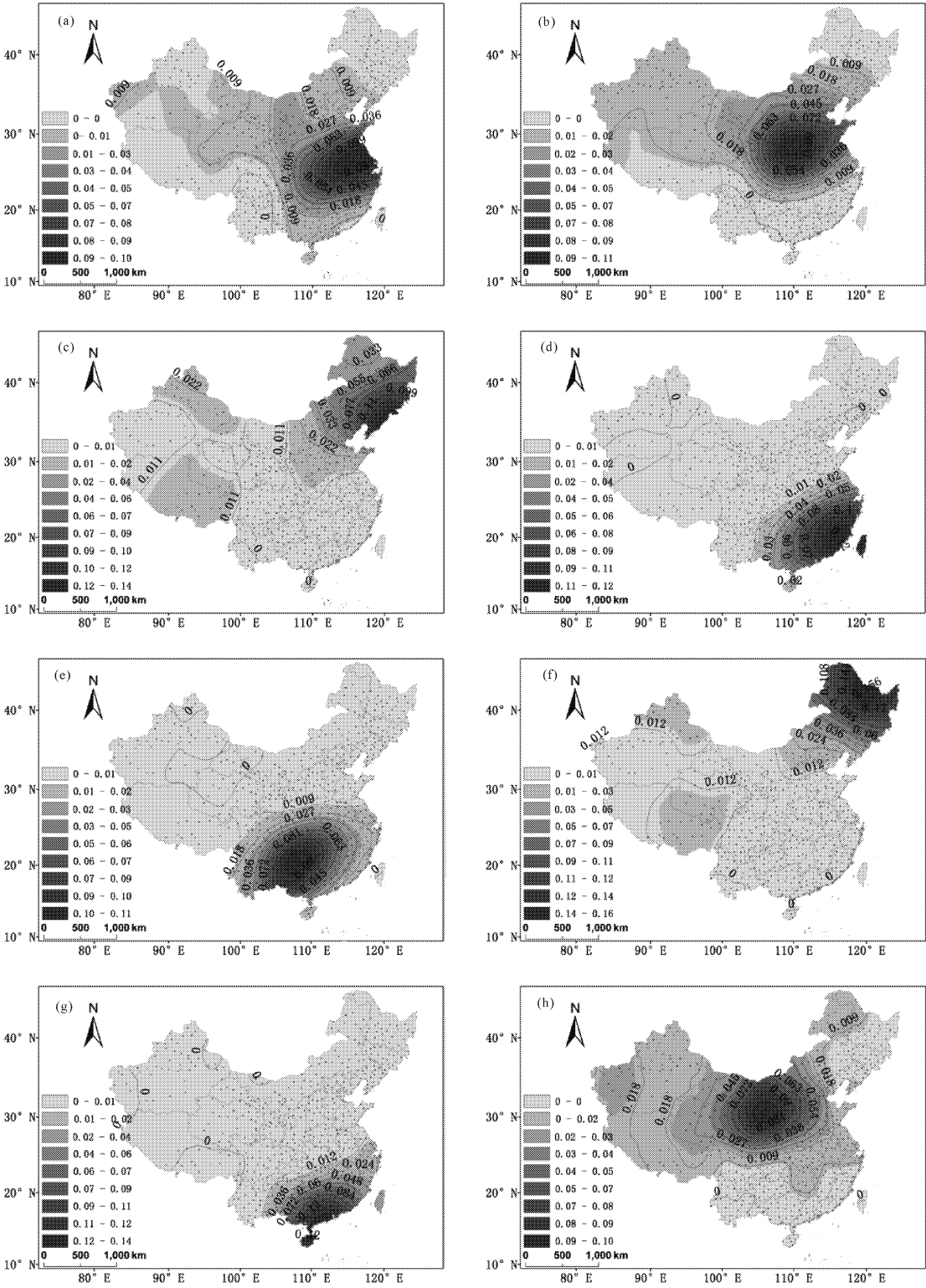
2.1.1 1961—1990 年时段降水量变化空间特征分析 图 2 为 1961—1990 年前 11 个旋转载荷向量的空间分布图。图 2a 为第一个旋转载荷向量场,正的高值区位于江淮地区,最高值(0.161)位于安徽省的

滁县,由图 2a 可知 1961—1990 年以滁县地区为中心,合肥、六安、巢湖、霍山、寿县以及南京等地其特征向量值均达到了 0.150 以上。此区域包括安徽、江苏、湖北东部和河南南部为降水量变化较大的地区,即江淮地区为 1961—1990 年时间段第一个降水量变化明显地区。图 2b 为第二个旋转载荷向量场,最高值(0.158)位于河南省的三门峡地区。此区域的高值区位于山东、河南、陕西和山西南部,将此区域统称为黄淮地区。图 2c 是第三个旋转载荷向量场,最高值(0.174)位于吉林省的通化地区,高值区位于辽宁、吉林、内蒙古的通辽和赤峰,位于东北的中部和南部地区,以及内蒙古东四盟中的通辽和赤峰区域,这些地区统称为东北中南部地区。图 2d 为第四个旋转载荷向量场,高值区位于江南东部的福建、江南中部的江西与华南东部的广东东部地区,此地区统称为江南、华南东部地区。图 2e 为第五个旋转载荷向量场,高值区位于中国的西南地区东部的贵州、广西西部和江南西部地区的湖南,最高值(0.183)位于榕江地区。可见西南地区东部和江南西部地区为第五个降水变化较大的区域。图 2f 为第六个旋转载荷向量场,高值区位于中国东北北部地区的黑龙江以及内蒙古东四盟中的乌兰浩特和海拉尔,将这片区域统称为东北北部地区为第六个降水变化明显的地区。图 2g 为第七个旋转载荷向量场,最高值(0.208)位于广东省的高要地区。华南西部的广西和华南中部的广东以及海南为第七个降水变化区,将华南西部和华南中部统称为华南中西部地区。图 2h 为第八个旋转载荷向量场,此向量场出现两个高值区,分别是中国西北东北部地区,以及新疆地区。即根据第八个旋转载荷向量的向量场,分出两个降水变化区,分别是中国西北东北部地区(包括甘肃、宁夏)以及新疆地区。图 2i 为第九个旋转载荷向量场,最高值(0.220)位于内蒙古的集宁,高值区位于内蒙古西部和包含河北、山西北部的华北北部地区。图 2j 为第十个旋转载荷向量场,最高值(0.266)位于云南省的思茅地区。高值区位于中国西南地区南部,即此地区为全国降水量变化明显的地区。图 2k 为第十一个旋转载荷向量的向量场,高值区位于西藏地区、西北地区中部和西南地区北部,包括西藏、青海和四川。将西藏地区、西北地区中部和西南地区北部统称为青藏地区。

2.1.2 1971—2000 年时段降水量变化空间特征分析 分析 1971—2000 年时段前 11 个旋转载荷向量

的空间分布(图略)。与 1961—1990 年时段不同的是第 4 个旋转载荷向量的向量场,此区有两个高值区,其中之一是位于内蒙古西部、青海北部、甘肃、宁夏、山西北部大片区域,属于西北地区东北部、华北北部和内蒙古西部,在此统称为中国北部地区。第二个区域为新疆地区,可见此两个地区为 1971—

2000 年时间段两个降水量变化明显地区。第 10 个旋转载荷向量的向量场显示出高值区所占面积较小,位于福建和广东地区,与第三个和第六个特征向量所表示的区域接近,这个区域所凸显出的降水变化已经被第三和第六个区域表示出来。



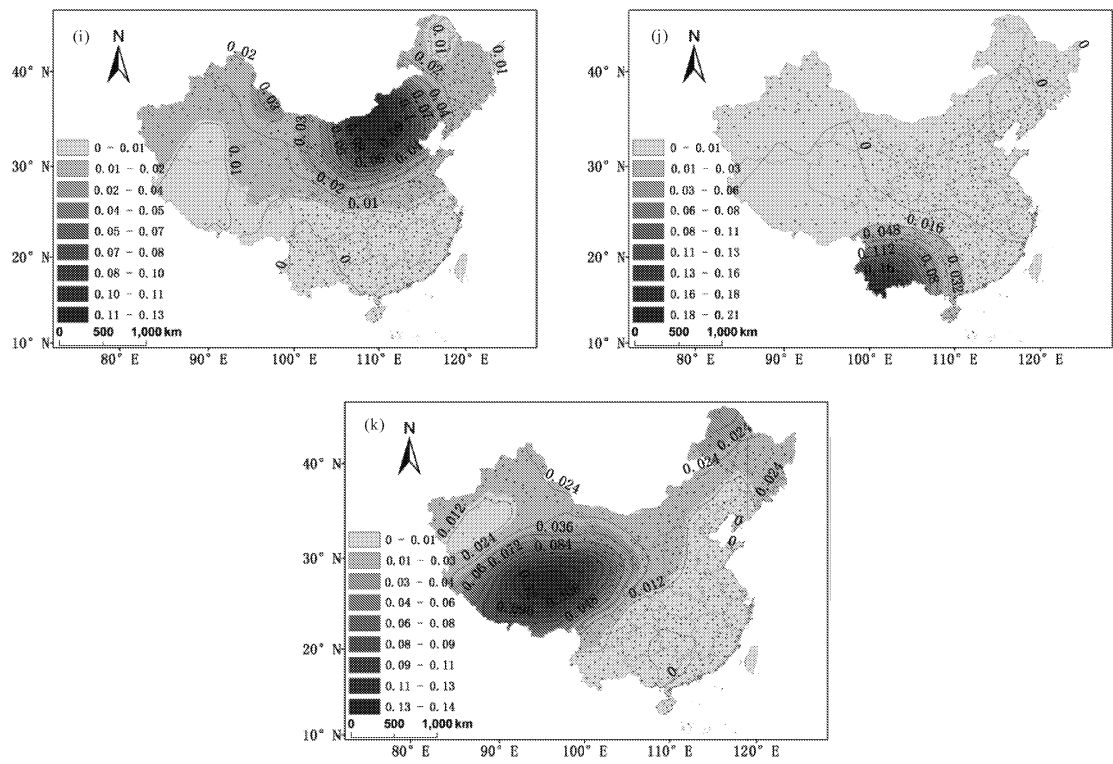


图 2 1961—1990 年前 11 个特征向量场的空间分布图

Fig.2 The spatial distribution map of the first 11 eigen vector fields during 1961—1990

2.1.3 1961—1990 年时段降水量变化空间特征分析 分析 1981—2010 年时段前 11 个旋转载荷向量的空间分布(图略),与 1961—1990 年、1971—2000 年时段不同的是,第 10 个旋转载荷向量的向量场显示出高值区有两个,分别位于河北地区与新疆地区,河北地区与第 4 个和第 5 个特征向量所表示的区域接近,这个区域所凸显出的降水变化已经被第 4 和第 5 个区域所表示出来,只将新疆地区划分为一个区域。第 11 个旋转载荷向量的向量场显示出高值区所占面积较小,位于福建和广东地区,与第 2 和第 6 个特征向量所表示的区域接近,这个区域所凸显出的降水变化已经被其表示出来。

2.2 降水量变化的空间分区

2.2.1 3 时段空间分区 以 1961—1990 年 EOF 及 REOF 分析计算结果为例,前 11 个载荷向量累积解释方差贡献达到 65.48%,基本上能够代表分区结果,1961—1990 年降水量变化可分成 12 个区域。根据旋转经验正交函数分解结果,结合实际地理分布情况,确定各个分区的边界线位置,分区结果见图 3。其它两个时段的分区过程与此相同,分区结果见图 4、图 5。

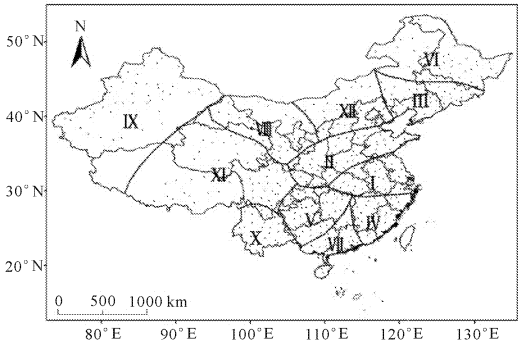


图 3 1961—1990 年降水量变化分区

Fig.3 Precipitation change division during 1961—1990

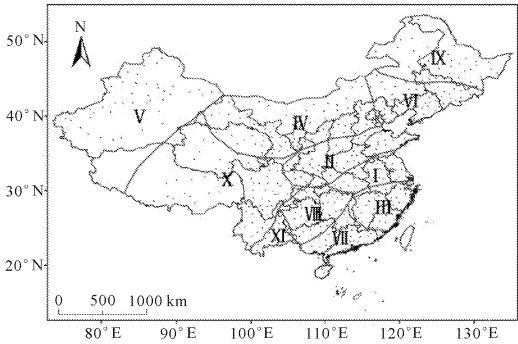


图 4 1971—2000 年降水量变化分区

Fig.4 Precipitation change division during 1971—2000

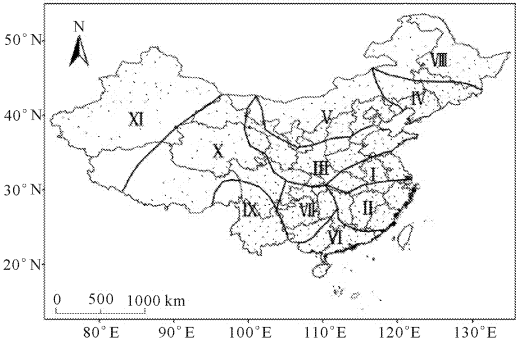


图 5 1981—2010 年降水量变化分区

Fig.5 Precipitation change division during 1981—2010

2.2.2 1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年 3 时段分区图叠加 分析 1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年三个时段的分区结果,将三个分区图(图 3~5)叠加(图 6),可知江淮地区、东北中南部地区、西南地区东部和江南西部地区、新疆地区和东北地区北部这五个地区三个时间段降水量变化情况相同。而中国北部地区,在 1961—1990 年时段,由于东西变化不同,分为东西两区,而 1971—2000 年和 1981—2010 年两个时段分区情况基本相同,1971—2000 年时段,青海北部与甘肃西部也被并入中国北部地区,说明在 1971—2010 年间,中国北部地区降水量出现了明显的变化;江南和华南东部地区,1961—1990 年时段,较 1971—2000 年和 1981—2010 年时段包含的地区增加了广东东部区域,可以看出自 1971 年起,降水在此地区有变化;黄淮地区,1961—1990 年和 1971—2000 年较为相近,1981—2010 年时段黄淮地区与西北东部地区的降水量变化情况相似,归在同一区域;华南中西部地区,1971—2000 年和 1981—2010 年时段区域相同,在 1961—1990 年时段,区域包含地区小,比后两个时间段缺少广东东部地区,表明自 1971 年起,此地区的降水开始出现变化;西南地区,青海、西藏、四川、云南变化情况相似,而云南部分地区与整体西南地区的变化略有不同,1961—1990 年时段,云南独自划分成一区,1971—1990 年云南西部独自成一区,1981—2010 年时段,云南又恢复独自成为一区,表明 1980 年左右,云南的降水有所变化。

2.2.3 1961—2010 降水量变化分区结果 根据 3 时段分区叠加结果,可较为清晰地看出 1961—2010 年降水量变化的空间格局的稳定性及其动态变化过程。根据前面的分析,除中国北部地区之外,其它地区空间位置点发生变化的站点相对较少,可以认为研究时段内降水量变化的空间结构比较稳定,因此

利用 3 时段分区叠加结果,对研究时段内降水量变化进行分区^[26]。综合 3 时段分区结果,中国 1961—2010 年近 50 a 的降水量变化分为 11 个区域,如图 7。11 个区域分别为:Ⅰ 江淮地区;Ⅱ 东北中南部地区;Ⅲ 中国北部地区;Ⅳ 新疆地区;Ⅴ 江南和华南东部地区;Ⅵ 黄淮地区;Ⅶ 西南地区东部和江南西部地区;Ⅷ 东北北部地区;Ⅸ 华南中西部;Ⅹ 青藏地区;Ⅺ 西南地区西部。

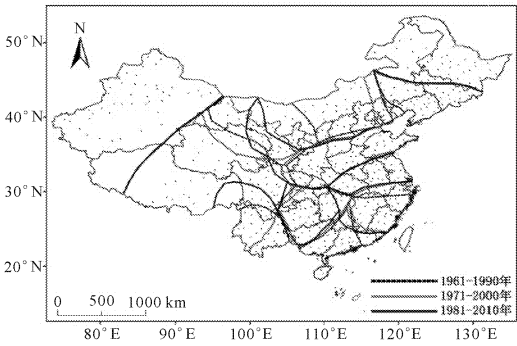


图 6 1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年 3 时段叠加分区图

Fig.6 Superimposed plot of three periods include 1961—1990, 1971—2000 and 1981—2010

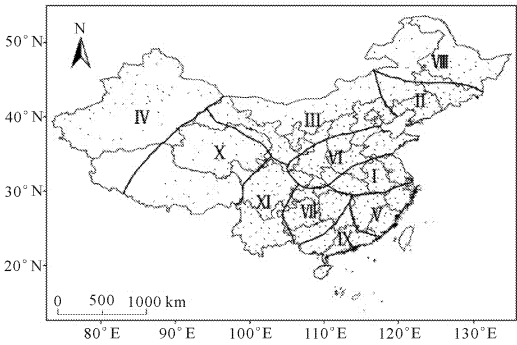


图 7 1961—2010 年降水量变化分区

Fig.7 Precipitation change division during 1961—2010

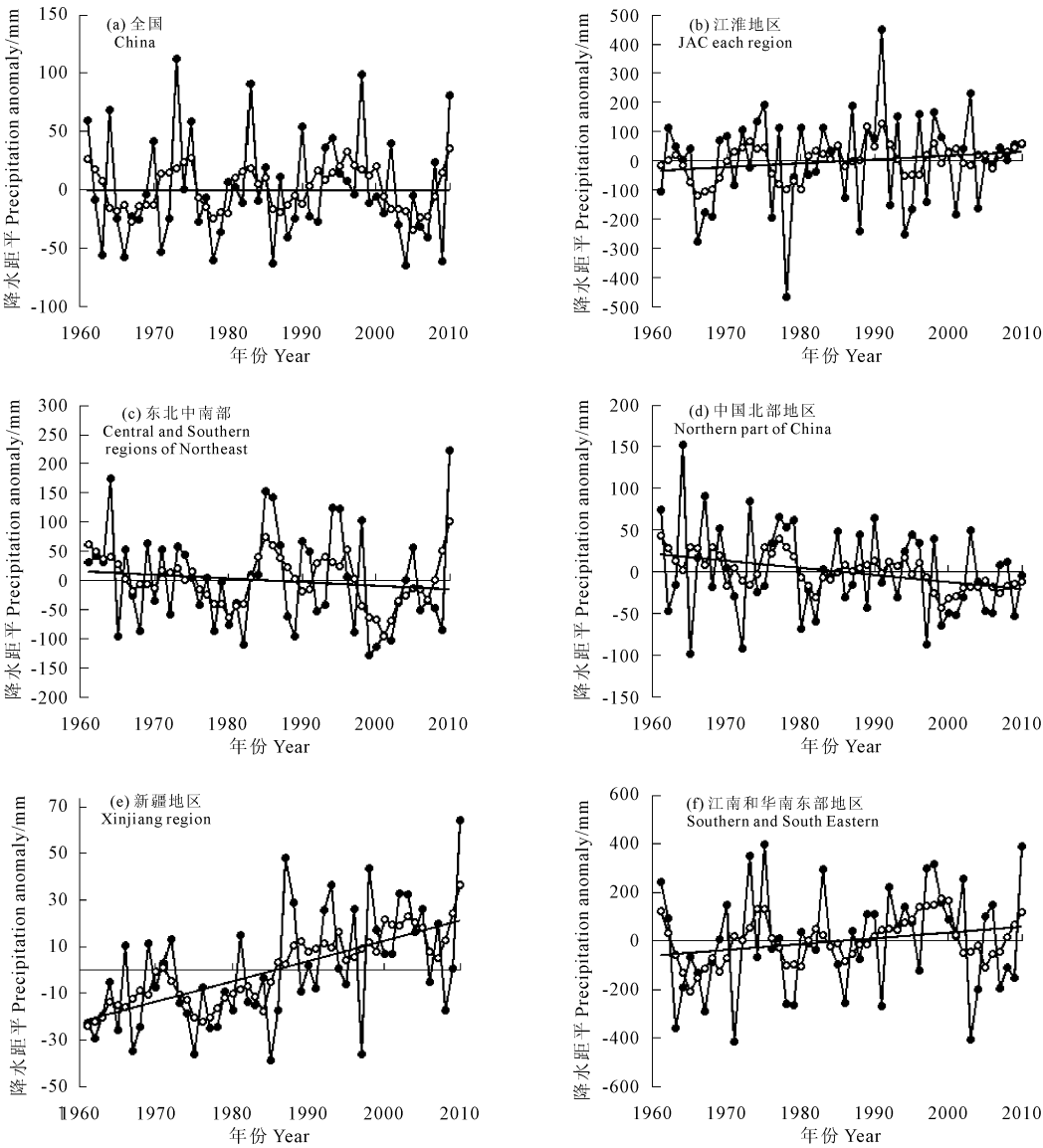
2.3 各分区降水量变化趋势分析

图 8 为 1961—2010 年全国及全国各区域降水量距平变化曲线图。图 8(a)为 1961—2010 年全国降水量距平变化曲线图,由此看出,过去 50 a 中国全区年平均降水量呈现出微小的减少趋势,气候倾向率为 $-0.0183 \text{ mm} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$,相关系数为 -0.0005 ,未达到显著性水平,该结果与以往的研究结果^[27–31]基本一致;降水年际变幅较大,年降水量较多的年份分别为:1973 年、1998 年、1983 年和 2010 年;降水量较少,较为干旱的年份分别为:2004 年、1986 年、2009 年和 1978 年。5 a 滑动平均曲线表明,

1961—2010 年间降水距平呈波动式变化并略有减少,1963—1970 年间中国降水量除个别年份外,多数年份为负距平,表明此时段降水相对较少,且降水量在波动中呈现不断下降的趋势;70、80 年代出现了两个降水距平由正转负的 10 a 准周期变化。1991—2001 年,中国降水量除个别年份外,多数年份为正距平,表明此时段降水量相对较多;2002—2008 年,又出现了较长时间的负距平,随后降水距平逐渐增大,降水量逐渐增多。

图 8(b~f)为 1961—2010 年全国各区域降水量距平变化曲线图。分析图 8(b~f)中中国各分区的降水量距平变化得出,中国各区域降水存在明显的差异性,其中东北中南部地区、中国北部、黄淮地区、西南地区东部和江南西部地区、东北北部地区、西南地区西部降水量变化的气候倾向率依次为: -6.2237 、 -8.5088 、 -13.9415 、 -7.8451 、 -1.4029 、

$-7.5658 \text{ mm} \cdot 10\text{a}^{-1}$, 相关系数分别为 -0.1092 , -0.2342 , -0.1941 , -0.1017 , -0.0327 , -0.1941 , 均未达到显著性水平,降水量均表现为减少的趋势;江淮地区、新疆地区、江南和华南东部地区、华南中西部、青藏地区气候倾向率依次为 12.9260 、 8.7274 、 23.2075 、 14.3882 、 $7.3256 \text{ mm} \cdot 10 \text{ a}^{-1}$, 相关系数分别为 0.1187 、 0.5294 、 0.1646 、 0.0960 、 0.4214 , 均未达到显著性水平,降水量均表现为增加的趋势。由 5 a 滑动平均曲线可以看出,江淮地区的降水距平波动较小,20 世纪 60 年代开始减少,60 年代中期趋于上升,于 70 年代中期开始下降,到了 80 年代开始上升,直到 1995 年又开始下降,之后降水变化趋于平缓(图 8b)。这个区域的降水增加主要是因为 1980 年到 1995 年,江淮流域不断出现夏秋季洪涝^[32];东北中南部地区在 1975 年和 1996 年均出现了明显的降水距平减少的趋势,80 年代之前,降水距平波动



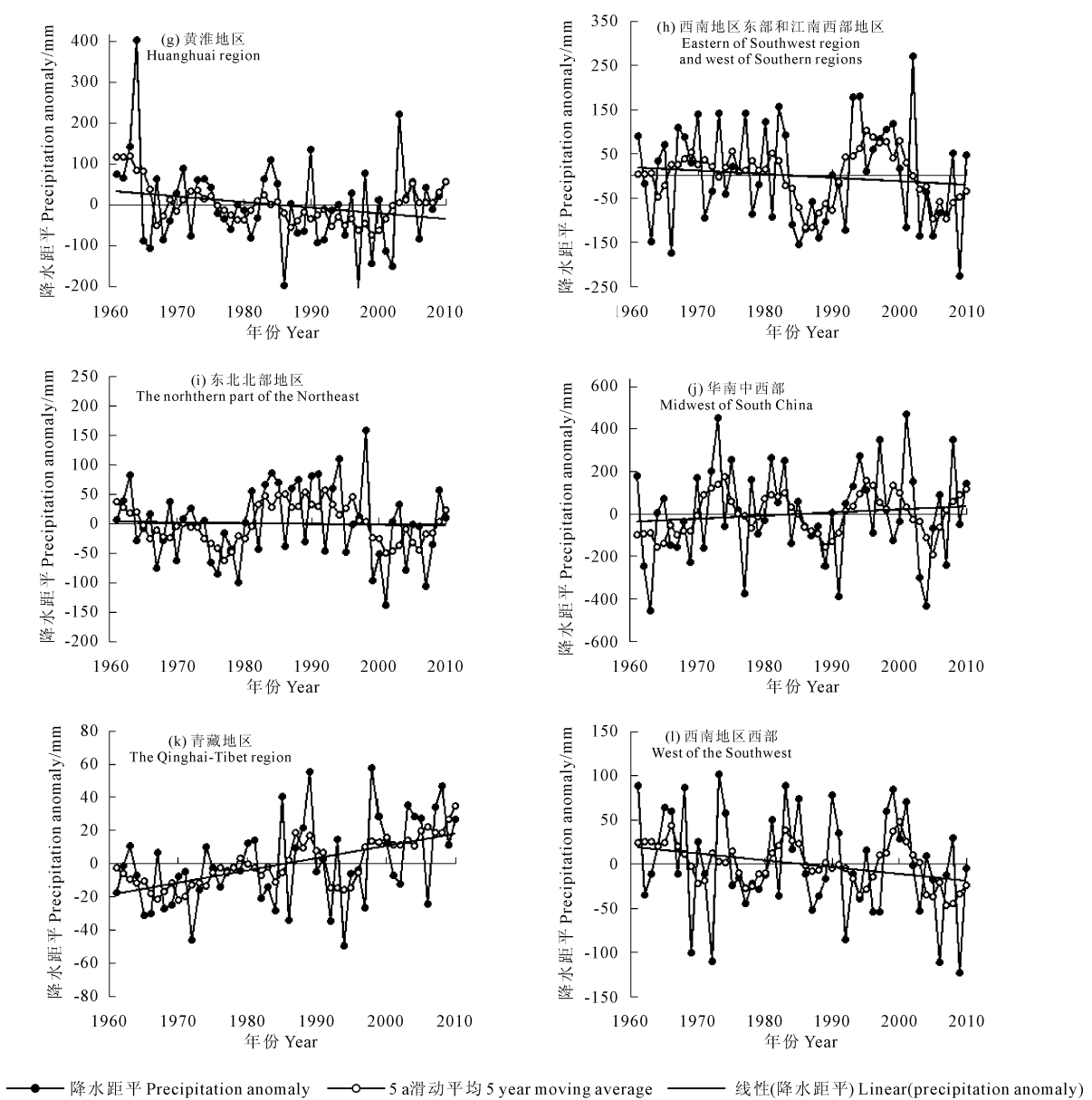


图 8 1961—2010 年全国及全国各区域降水量距平变化曲线图

Fig.8 Zones of precipitation anomaly graphs in China and the whole of China during 1961—2010

较小,80年代后期降水距平波动变大(图 8c);中国北部地区降水距平具有较强的变化性,降水距平由70年代开始减少,由70年代中期回升,又在80年代初期开始减少,之后呈波动性变化。在90年代中后期降水略有下降(图 8d),该地区整体降水趋势下降与极强降水频率的减少有很大关系,此地区在1965年和1980年出现了降水异常的两次跃变,65年之前为涝年,之后为旱年,以1980年为界,1965—1980年初是重旱年,随后旱涝相间^[33],近50 a间,此区域的降水变化非常大,这也是3个时间段,区域划分界限不好明确的原因;新疆地区60年代降水为正距平,到了70年代初期降水略微减少,之后波动性上升,总降水趋势没有明显的突变情况(图 8e);江南和华

南东部地区在60年代初期降水量有下降的趋势,到了60年代中期开始上升,70年代中期到80年代初期降水量距平有所减少,之后一直是波动性增加趋势,到2000年有所降低,2009年降水距平回升(图 8f);黄淮地区降水量波动性较小,降水量从2000年开始有回升的趋势,70年代到2000年之间,降水距平的变化不大(图 8g);西南地区东部和江南西部地区60年代到80年代初期,降水量距平值正负相互抵消,总的气候倾向率为负值的原因是在80年代降水量急剧下降,虽在90年代有所回升,但到了2000年降水量又开始下降(图 8h);东北北部地区降水距平变化的总趋势与东北中南部地区较为接近,在80年代到2000年降水距平相对较大,但变化幅度明显

高于东北中南部地区,这也是两将东北分成南部和北部的原因,此地区从 60 年代初期开始下降,在 70 年代后期达到了最低点,然后又开始急剧上升,在 80 年代的前中期达到了最大值,此后上下波动,到了 90 年代中期又开始下降(图 8i),东北地区的降水量减少与极强降水频率的减少有关^[34],东北地区为中国的少雨区,降水不足,干旱等气象灾害时有发生^[9];华南中西部降水波动较大,60 年代降水距平为负值,70 年代和 80 年代前期降水距平为正值,80 年代末期,降水距平减小变为负值,之后在 90 年代降水距平回升,2000 年降水距平又有减少趋势(图 8j);青藏地区持续波动性上升,只有在 90 年代初期,降水距平有所减少,但在 2000 年降水距平恢复增加的趋势,此地区降水量的增加是由极强降水频率的增加和强度增强而产生。此地区受高原气候的影响,降水量等其它气候条件多变,导致在用 30 a 为周期进行滑动分析时,3 个时间段对此区域的划分有所不同(图 8k);西南地区西部区域降水变化的波动性很大,降水距平从 60 年代到 70 年代末期,降水趋于减少,之后降水量开始上升,到 80 年代后期开始下降,1990 年降水距平回升,之后又下降,2000 年有一个降水距平高值区,2000 年后降水量趋于下降(图 8l)。

3 讨论与结论

(1) 由于经验正交函数(EOF)分解的局限性,即分离出的空间分布结构不能清晰地表示不同地理区域的特征^[15]。然而,采用旋转经验正交函数(RE-OF)分解分区时,由于载荷场经过正交旋转后,载荷平方的方差和达到最大,使各特征向量的高载荷值更加突出,因而该方法对降水量变化特征进行分区具有一定的客观性^[16,18,20];但是,个别边界区域站点,虽然按照载荷值绝对值最大的特征向量确定分区归类,但该最大值与其它特征向量对应的载荷值差异是否显著导致分区可能存在一定的主观性和模糊性;这一方面说明了降水量变化的复杂性,另一方面体现了内外因子年际变化对区域降水量变化的影响。因此在方法研究的基础上,结合区域降水量变化的气候学原因研究,对分区的客观性有重要的意义,同时更有利于研究气候变化。本研究以 30 a 为研究尺度,分析了 1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年中国降水距平百分率空间分布的动态过程,3 个时段分别将中国降水量分成 12 个、11 个和 11 个变化区。中国北部地区、黄淮地区、江南和华南东部地区、华南中西部地区和西南地区西部这

五个地区 1961—1990 年、1971—2000 年和 1981—2010 年 3 个时间段区域界限变动比较明显,其中黄淮地区与中国北部地区的分界线随着时间的变化逐年向南移动、黄淮地区与西南地区西部的分界线逐年向西北方向移动、华南中西部地区与西南地区东部和江南西部地区的分界线随着时间变换逐渐向西北方向移动。综合 3 个时间段的降水变化情况,将中国分成了 11 个降水量变化区。

(2) 已有的研究表明,中国降水量有减少的趋势,同时也有研究表明减少趋势并不显著^[30];本研究利用 1961—2010 年降水量距平数据分析了中国各区域的降水量变化特征,所得结论与多数研究一致^[2,4,9,21,24,26,34];研究时段内中国的年降水量下降趋势未达到显著性水平;结合分区研究各个区域降水量的特征,各区域与全区年降水量变化趋势有所不同,年降水量趋于减少的 6 个区域中,减少趋势最大的是黄淮地区,最小的是东北北部地区,各区年降水量减少趋势未达到显著性水平;年降水量趋于增加的 5 个区域中,增加趋势最大的是江南和华南东部地区,最小的是青藏地区,各区年降水量增加趋势也未达到显著性水平。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2013: the physical science basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, in press, 2013.
- [2] 王英,曹明奎,陶波,等.全球气候变化背景下中国降水量空间格局的变化特征[J].地理研究,2006,25(6):1031-1040.
- [3] Folland C K, Karl T R, Christy J R. Climate Change 2001: The Scientific Basis[M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2001:99-181.
- [4] 虞海燕,刘树华,赵娜,等.1951—2009 年中国不同区域气温和降水量变化特征[J].气象与环境学报,2011,27(4):1-11.
- [5] 左洪超,吕世华,胡德樵.中国近 50 年气温及降水量的变化趋势分析[J].高原气象,2004,23(2):238-244.
- [6] 卢爱刚,康世昌,庞德谦.全球升温下中国各地气温变化不同步性研究[J].干旱区地理,2009,32(4):506-511.
- [7] 白爱娟,施能,方建刚.陕西省降水量变化的区域特征分析[J].高原气象,2005,24(4):635-641.
- [8] 陈家其,施能.全球增暖下我国旱涝灾害可能情景的初步研究[J].地理科学,1995,15(3):201-207.
- [9] 吉奇,宋冀凤,刘辉.近 50 年东北地区温度降水变化特征分析[J].气象与环境学报,2006,22(5):1-5.
- [10] 刘闻,曹明明,宋进喜,等.陕西年降水量变化特征及周期分析[J].干旱区地理,2013,36(5):865-874.
- [11] 向亮,郝立生,安月改,等.51a 河北省降水时空分布及变化特征[J].干旱区地理,2014,37(1):56-65.
- [12] 孙倩倩,刘晶磊.基于聚类分析的中国东北地区气温和降水时空变化特征[J].气象与环境学报,2014,30(3):59-65.
- [13] 阿依加马力·克然木,努尔巴衣·阿布都沙力克.近 52 年新疆

吐鲁番市气温及降水量变化特征分析[J].干旱区资源与环境,2014,28(12):45-50.

[14] 张 卉,程永明,江 渊.山西省近 49 年降水量变化特征及趋势分析[J].中国农学通报,2014,30(8):197-204.

[15] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术(第 2 版)[M].北京:气象出版社,2007:117-124.

[16] Richman M B. Rotation of principal components[J]. Journal of Climatology,1986,6(3):293-335.

[17] Kelly P M, Jones P D, Jia P Q. Spatial patterns of variability in the global surface air temperature data set[J]. Journal of Geophysical Research, 1999,104(D20):24237-24256.

[18] Zhang Q, Xu C Y, Zhang Z. Spatial and temporal variability of precipitation over China,1951—2005[J]. Theoretical and Applied Climatology,2009,95(1-2):53-68.

[19] Qian W H, Chen D, Zhu Y. Temporal and spatial variability of dryness/wetness in China during the last 530 years[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2003,76(1-2):13-29.

[20] Wang J L, Zhang R H, Wang Y C. Areal differences in diurnal variations in summer precipitation over Beijing metropolitan region[J]. Theoretical and Applied Climatology,2012,110(3):395-408.

[21] 高西宁,王 耸,郝志新,等.东北地区近 50 年降水量变化特征的分区[J].沈阳农业大学学报,2015,46(3):270-276.

[22] 何书樵,郑有飞,尹继福.近 50 年长江中下游地区降水特征分析[J].生态环境学报,2013,22(7):1187-1192.

[23] 李鸿吉.Visual Basic 6.0 数量统计实用算法[M].北京:科学出版社,2003,283.

[24] 杨 绚,李栋梁.中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J].干旱气象,2008,26(2):17-24.

[25] 车少静,李春强,申双和.基于 SPI 的近 41 年(1965—2005)河北省旱涝时空特征分析[J].中国农业气象,2010,31(1):137-143.

[26] 韩翠华,郝志新,郑景云.1951—2010 年中国气温变化分区及其区域特征[J].地理科学进展,2013,32(6):887-896.

[27] 陈隆勋,邵永宁,张清芬.近四十年来中国气候变化的初步分析[J].应用气象学报,1991,2(2):164-173.

[28] Hulme M. A 1951 - 1980 global and precipitation climatology for the evaluation of general circulation models[J]. Climate Dyn, 1992,7(2):57-72.

[29] Chen L X. Climate change in China during the past 70 years and its relationship to the monsoon variations[C]//Richard G Zepp. Climate Biosphere Interaction: Biogenic Emissions and Environmental Effects of Climate Change. New York: John Wiley and Sons, Inc, 1994:31-49.

[30] 翟盘茂,任福民,张 强.中国降水极值变化趋势检测[J].气象学报,1999,57(2):208-216.

[31] 王遵娅,丁一汇,何金海.近 50 年来中国气候变化特征的再分析[J].气象学报,2004,62(2):228-236.

[32] 陈隆勋,朱文琴,王 文,等.中国近 45 年来气候变化的研究[J].气象学报,1998,56(3):257-271.

[33] 杨修群,谢 倩,朱益民,等.华北降水年代际变化特征及相关的海气异常型[J].地球物理学报,2005,48(4):789-797.

[34] 王小玲,翟盘茂.1957—2004 年中国不同强度级别降水的变化趋势特征[J].热带气象学报,2008,24(5):459-466.

(上接第 271 页)

[20] 王鹏新,孙辉涛,解 毅,等.基于 LAI 和 VTCI 及粒子滤波同化算法的冬小麦单产估测[J].农业机械学报,2016,47(4):248-256.

[21] 何慧娟,卓 静,李红梅,等.基于 MOD16 产品的陕西关中地区干旱时空分布特征[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):236-241.

[22] 刘骁月,王鹏新,张树誉,等.基于作物模型模拟年际生物量变化的冬小麦干旱监测研究[J].干旱地区农业研究,2013,31(1):212-218.

[23] 贺 鹏,王鹏新,解 毅,等.基于动态模拟的冬小麦水分胁迫敏感性研究[J].干旱地区农业研究,2016,34(1):213-219.

[24] 孙 威,王鹏新,韩丽娟,等.条件植被温度指数干旱监测方法的完善[J].农业工程学报,2006,22(2):22-26.

[25] 姜志伟,陈仲新,任建强,等.粒子滤波同化方法在 CERES - Wheat 作物模型估产中的应用[J].农业工程学报,2012,28(14):138-146.

[26] 苏 涛,王鹏新,刘翔舸,等.基于熵值组合预测和多时相遥感的春玉米估产[J].农业机械学报,2011,42(1):186-192.

[27] Savitzky A, Golay M J E. Smoothing and differentiation of data by simplified least squares procedures[J]. Analytical Chemistry, 1964,36(8):1627-1639.

[28] 张树誉,孙 威,王鹏新.条件植被温度指数干旱监测指标的等级划分[J].干旱区研究,2010,27(4):600-606.

[29] Weerts A H, El Serafy G Y H. Particle filtering and ensemble kalman filtering for state updating with hydrological conceptual rainfall runoff models[J]. Water Resources Research, 2006,42(9):W9403.