

中国近百年降水变化特征分析

红都孜·海拉提别克¹, 马哈巴·巴合提^{2*}, 努尔江·铁格斯¹

¹阿勒泰地区气象局, 新疆 阿勒泰

²伊犁州气象局, 新疆 伊犁

收稿日期: 2025年6月27日; 录用日期: 2025年7月23日; 发布日期: 2025年7月30日

摘要

中国气象台站资料具有时间较短(1951年以前观测站缺测资料较多)和覆盖面不均匀(东部站点密集, 西部站点稀少)的特点, 不利于中国降水年代际变率的研究。本文利用英国East Anglia大学气候研究中心(CRU)全球陆地逐月平均降水数据集TS3.22, 分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 时间长度为1901.1~2013.12的CRU资料, 德国气象局全球降水气候中心(Global Precipitation Climatology Centre)全球陆地逐月平均降水数据集, 分辨率为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 时间长度为1901.1~2010.12的GPCC以及中国2782台站逐月降水资料, 插值为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点资料, 时间长度为1901.1~2013.12的台站资料, 使用趋势分析, 小波分析, M-K突变分析, 功率谱分析等方法分析不同区域降水的变化特征和规律, 揭示中国百年来降水的时空变化特征。结果表明: 1) CRU和GPCC资料与中国台站资料降水的趋势基本吻合。2) 东北和华北地区近百年的降水呈线性上升趋势; 西南地区呈线性下降趋势。3) 小波分析表明, 东北地区存在2~3年和22左右的周期特征; 华北地区有1~2年和3年左右的周期特征; 江南地区有2年左右的周期特征; 西南地区有1~2年和2~4年左右的周期特征。4) 通过功率谱分析, 西北地区降水存在4~6年的周期振荡, 其它区域没有显著的周期特征。5) 通过Z指数反映出了各个区域近百年的旱涝程度。

关键词

中国, 降水, 百年, 变化趋势, 特征

Analysis of Variation Characteristics of Precipitation in Nearly 100 Years of China

Hailatibieke Hongduzi¹, Baheti Maheba^{2*}, Tiegese Nuerjiang¹

¹Aletai Meteorological Observatory, Aletai Xinjiang

²Yili Meteorological Observatory, Yili Xinjiang

Received: Jun. 27th, 2025; accepted: Jul. 23rd, 2025; published: Jul. 30th, 2025

*通讯作者。

文章引用: 红都孜·海拉提别克, 马哈巴·巴合提, 努尔江·铁格斯. 中国近百年降水变化特征分析[J]. 气候变化研究快报, 2025, 14(4): 817-830. DOI: 10.12677/ccrl.2025.144081

Abstract

Chinese meteorological station data have limitations such as relatively short records (with significant data gaps before 1951) and uneven spatial coverage (denser stations in the east but sparser in the west), which hinder the study of decadal precipitation variability in China. This paper utilizes the monthly average precipitation dataset of global land (TS3.22) from the Climatic Research Unit (CRU) of the University of East Anglia, UK, with a resolution of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ and a time span from January 1901 to December 2013; the monthly average precipitation dataset of global land from the Global Precipitation Climatology Centre (GPCC) of the German Meteorological Service, with a resolution of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ and a time span from January 1901 to December 2010; as well as the monthly precipitation data from 2782 stations in China, which are interpolated into grid data with a resolution of $0.5^\circ \times 0.5^\circ$ and cover the time period from January 1901 to December 2013. Methods such as trend analysis, wavelet analysis, Mann-Kendall mutation analysis, and power spectrum analysis are employed to analyze the variation characteristics and laws of precipitation in different regions, aiming to reveal the spatiotemporal variation characteristics of precipitation in China over the past century. The results show that: 1) The precipitation trends in the CRU and GPCC datasets are basically consistent with those in the Chinese station data. 2) Precipitation in Northeast China and North China has shown a linear upward trend over the past century, while that in Southwest China has shown a linear downward trend. 3) Wavelet analysis indicates that there are periodic characteristics of about 2~3 years and 22 years in Northeast China; about 1~2 years and 3 years in North China; about 2 years in the Jiangnan region; and about 1~2 years and 2~4 years in Southwest China. 4) By power spectrum analysis, there are periodic oscillations of precipitation in Northwest China, and there is no significant periodic characteristic in the other regions of the precipitation in the northwest of China. 5) The Z index reflects the drought degree of nearly one hundred years in each region.

Keywords

China, Precipitation, Hundred Years, Variation Trend, Features

Copyright © 2025 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

中国是世界上自然灾害多发国家之一，其每年对我国造成的损失相当可观，对人民生活和国民经济产生负面影响。据统计，全世界每年因自然灾害造成的损失可以达到 600 亿以上。气候和天气灾害在自然灾害中占相当大的比例，如洪水，干旱，大风，极端的炎热和寒冷等。其中旱涝灾害是我国历史上最主要的气象灾害之一，所造成的损失也大。描述一个地区，甚至全球气候变化的重要指标是降水，降水量的多少对一个地区气候有非常重要的影响。降水量过多会出现旱涝，降水量过少会有干旱。所以，研究中国或者某一个地区降水量的变化会减少该地区旱涝灾害引起的损失[1]-[3]。在增暖的背景下，全球和区域的降水发生了重大调整。而温度的升高增加了地表的蒸发，降水和地表蒸发的变化最终导致地表水分收支平衡发生变化。因此可以通过计算最大潜在蒸发并结合降水定义了干湿指标。干湿指标分析的结果表明，由于温度升高的原因近 100 年我国西部地区虽然降水增加，但是并不存在变湿趋势；而东部地区呈现出降水增加，也可以看到明显的变湿趋势；在近 50 年，西北西部的显著变湿范围小于降水显著增加的范围，东部的干化区域范围大于降水显著区域。以上充分说明增暖可以减弱降水增加对地表水分收支的贡献；在近 20 年，我国新疆北部，尽管降水有显著的增加，但是由于受区域增暖的影响，降水显著

增加的区域并没有显著的变湿趋势。而我国北方则主要以干旱为主。在降水显著减小的区域,由于温度的升高,加剧了这些地区的干化程度[4] [5]。

中国气象台站资料具有时间较短(1951 年以前观测站缺测资料较多)和覆盖面不均匀(东部站点密集,西部站点稀少)的特点,不利于中国降水年代际变率的研究。利用时空分辨率较高的降水资料,有利于进一步分析不同区域和不同季节中国降水的变化特征和规律。因此利用时空分辨率较高的长时间降水资料,揭示中国百年来降水的时空变化特征。

根据 NCC120 和 CRU 数据集分析可知,中国降水在 20 世纪的演变过程中,有显著的年代际变化。根据 CRU 曲线的距平值可以给出 20 世纪前五个大涝年份是:1954 年、1998 年、1973 年、1915 年和 1911;前五个大旱年份是:1902 年、1986 年、1929 年、1978 年和 1925 年[6] [7]。从 80 年代中期开始,由于全球变暖趋势的加剧,降水也相应增加。徐国昌等研究发现我国北方的大部分区域的年降水量有准三年周期,而东部地区在准三年周期显著区的中心部位。李栋梁等人研究发现,西北地区东部的年降水量也呈准三年周期。西北地区西部变化周期较长,20 世纪前半期干旱明显,后半期降水逐渐增加。1900 年代际降水较多,1910 年代较少。1920~1940 年代降水较多,1946 年降水最多。而在 1950~1960 年代降水下降趋势非常明显。1970 年降水很少,1974 年达到最低。从 1980 年代开始降水呈现上升的趋势[7] [8]。根据 CRU 数据和王绍武等重建的降水序列中可以得出中国东部地区四季降水的变化特征在近 100 年时间序列上为增加趋势。在东部,降温使得该区域的潜在蒸发减弱,加上降水的增加趋势,导致该地区变湿,变湿的范围与降水相比,范围大而且强度也强[9] [10]。综上所述,对我国降水变化方面的研究较多的是我国的东部地区、华北、西北地区,但都是较短时间的研究。本文试图通过较多的站点资料和较长时间尺度的降水资料对我国近百年的降水变化特征做分析。

2. 资料及方法介绍

本文利用英国 East Anglia 大学气候研究中心(CRU)全球陆地 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 时间长度为 1901 年 1 月~2013 年 12 月的逐月平均降水数据集 TS3.22 和德国气象局全球降水气候中心(Global Precipitation Climatology Centre)全球陆地 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$, 时间长度为 1901 年 1 月~2010 年 12 月的逐月平均降水数据集与中国 2782 台站,插值为 $0.5^{\circ} \times 0.5^{\circ}$ 格点,时间长度为 1961 年 1 月~2013 年 12 月的逐月降水资料以及 MK 法、小波分析法、功率谱分析和干湿指标着重分析: 1) 全国年降水量年代际变化的演变; 2) 分析中国各区域的百年降水变化,同时应用 Mann-Kendall 法研究年降水量的时间变化,揭示其变化规律; 3) 使用小波分析法和功率谱分析各个区域百年降水的周期变化; 4) 通过计算 Z 指数,分析近百年来各个区域的旱涝情况。

3. 资料对比

在分析百年降水变化特征时,首先将 CRU 和 GPCC 资料集与中国台站资料作对比,在验证其可信度的基础上,讨论全国降水时空分布特征。

在全国年降水气候分布图中(见图 1), GPCC 在长江以南地区、东北以及华北地区与中国台站资料相吻合,而 CRU 在西北、华北以及东北地区较吻合,两种资料的可信度都很高,只是 GPCC 的值相比 CRU 更接近于中国台站资料的值。从图 2 得知 20 世纪前 20 年代全国降水充沛; 20 世纪 20 年代年降水偏少; 20 世纪 30 年代是多雨期; 在 1940 年代的头 5 年全国经历了罕见的干旱时期; 在 1960 年之后, CRU、GPCC 和中国台站资料相比,整体趋势基本一致,因此两个数据集有较高的可信度。在 20 世纪后期,并没有出现明显的干湿情况,变化情况主要在各种不同的分布之间相互转换。综上所述,在年平均降水量中, CRU 与 GPCC 基本和中国台站资料相吻合,但值得一提的是,在 1901 年至 1930 年这 30 年中, GPCC 的值远大于 CRU 的值,其原因会进一步分析。

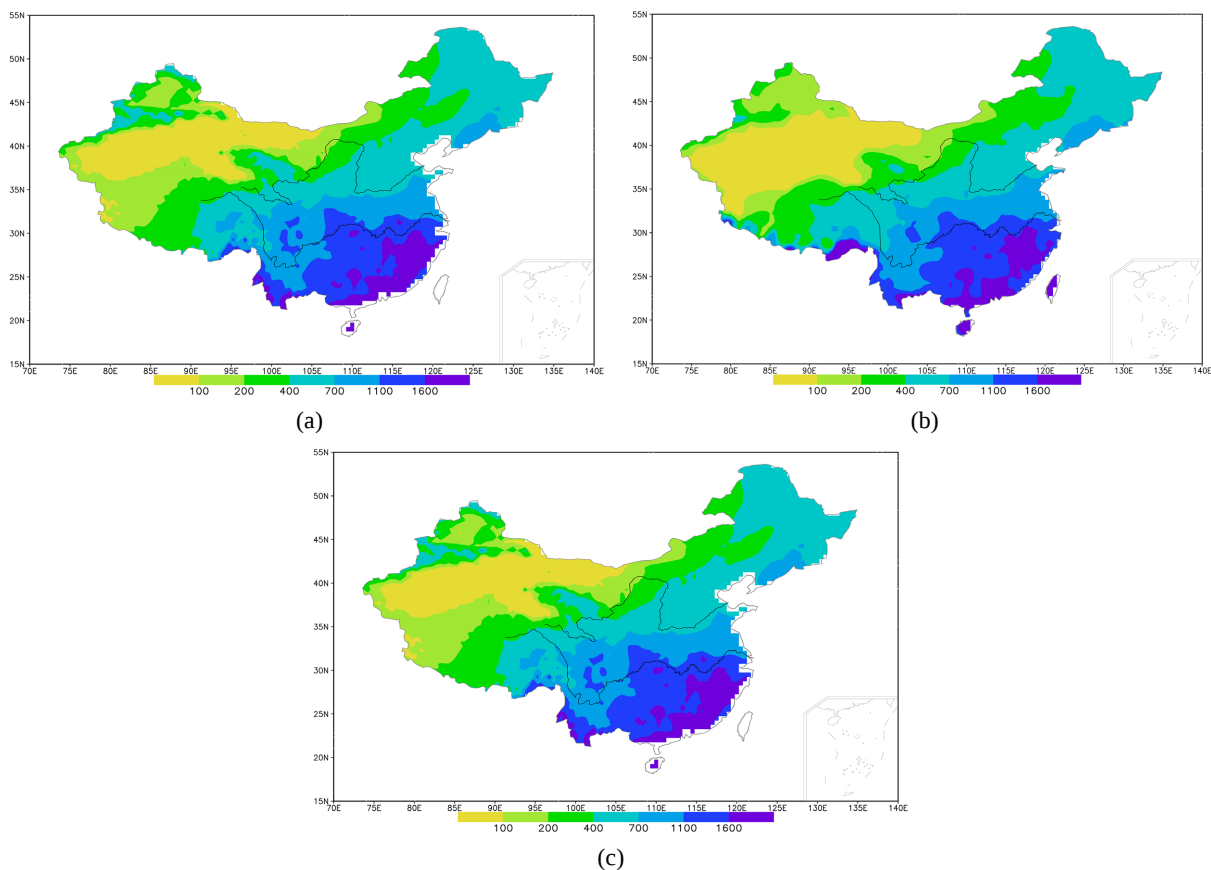


Figure 1. China's annual precipitation climatology distribution. (a) CMA; (b) GPCC; (c) CRU
图 1. 中国年降水气候态分布图。(a) CMA; (b) GPCC; (c) CRU

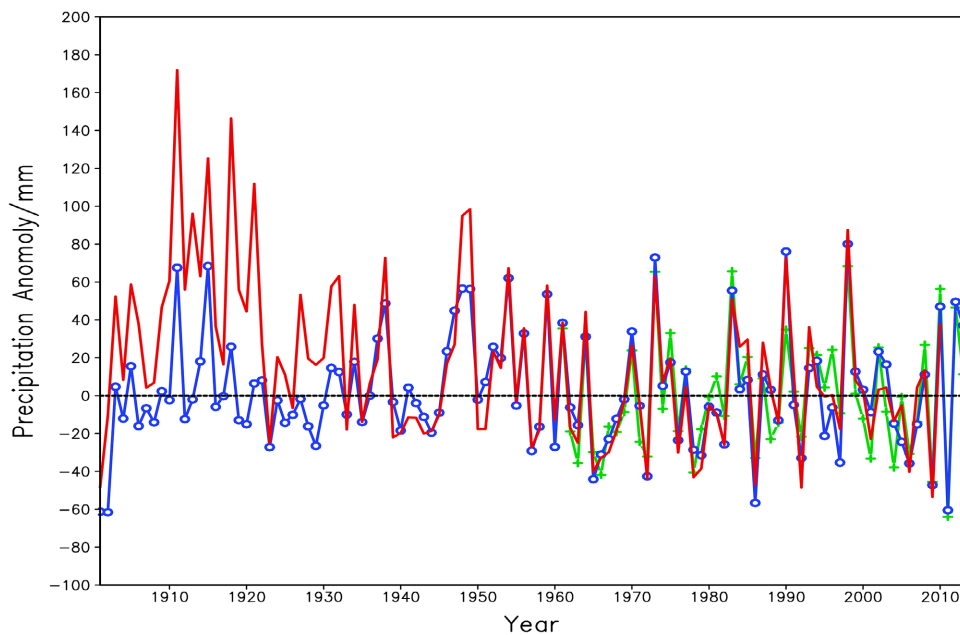


Figure 2. Anomalies of China's annual average precipitation. Red—GPCC, Blue—CRU, Green—China Meteorological Station data. The average value is based on the 1961~2010 climate average
图 2. 中国年平均降水量距平。红色——GPCC, 蓝色——CRU, 绿色——中国台站资料, 取 1961~2010 年平均值

3.1. 中国近百年降水年代际变化特征分析

这里主要对 CRU 和 GPCC 降水资料作对比。见图 3，GPCC 数据集的降水资料在青藏地区有一向外延伸的三角区域，并不沿高原地区地形走势，其数值非常大，但是这个现象只维持在 1901~1930 年中，在 40 年代以后逐渐减小，因此 1901~1930 年的降水变化主要参考 CRU 数据集。西北地区在 20 世纪前 80 年一直处于少雨期，在 1990 年后降水有所增加；东北以及内蒙一带降水除了 20 世纪 30 年代、50 年代以及 1981~2000 年间偏多以外，其余年份均属于降水偏少。华北地区整体在略偏少和略偏多之间徘徊，并未表现出降水连续偏少或者偏多的现象；江南地区除 20 世纪 30 年代处于少雨期外，降水整体充沛；西南地区除 20 世纪 10 年代和 90 年代外，降水整体处于偏多。综上所述，一百年尺度来分析，西北和东北地区的降水一直都处于偏少的状态，并没有明显增加的情况；江南和西南地区降水充沛。

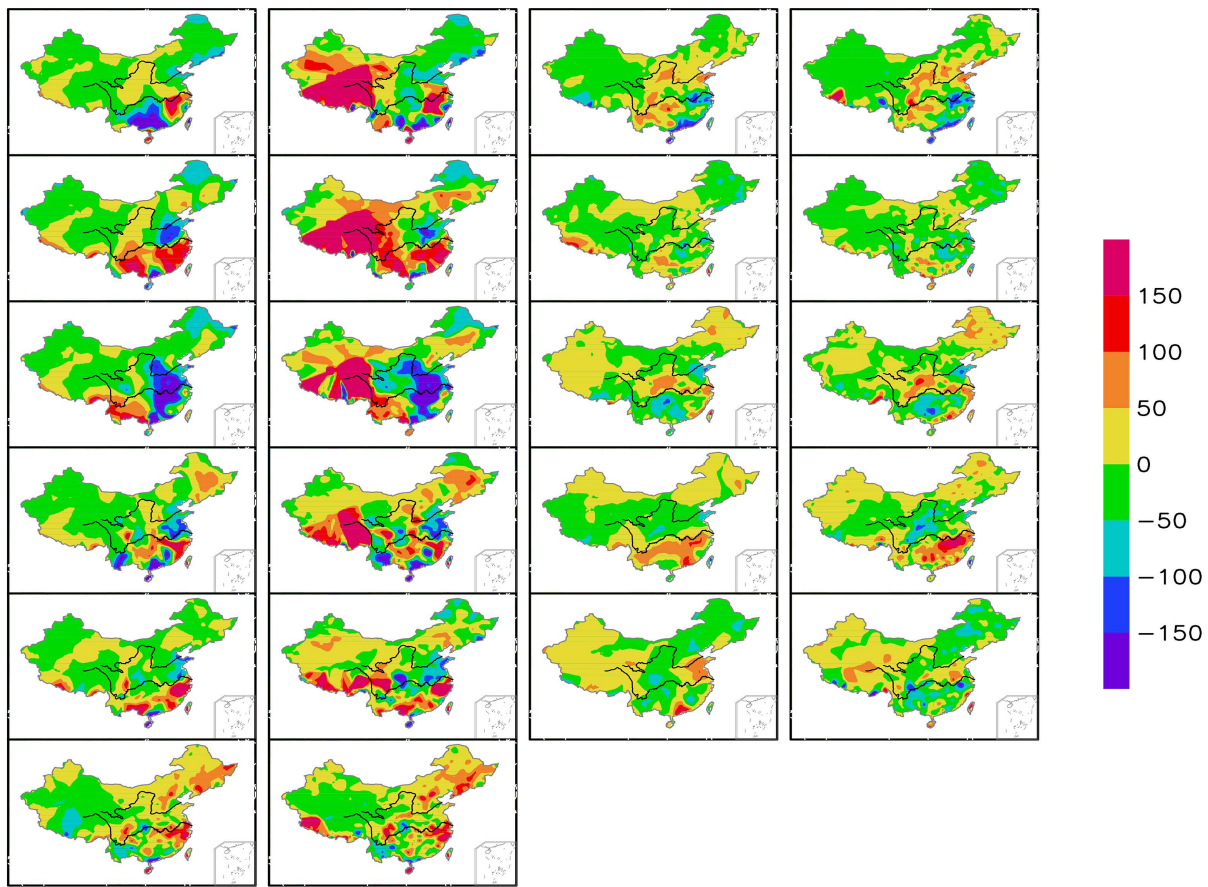


Figure 3. Spatial distribution of decadal precipitation in China. Columns 1 & 3: CRU data (1901~2013); Columns 2 & 4: GPCC data (1901~2010). Top to bottom, left to right: Spatial distribution maps for each decade; Climatological mean baseline: 1961~2010

图 3. 中国年代际降水空间分布图：第一和第三列是 CRU (1901~2013)；第二和第四列是 GPCC (1901~2010)从上到下，从左到右为每十年一个空间分布图，取 1961~2010 年平均值

3.2. 中国不同区域的降水变化特征分析

中国近百年降水变化有区域性变化的特征，因此本文将划分为五个区域进行分析(图 4)。西北地区以及青藏地区由于地形以及 GPCC 资料引起的三角高值区，在分区域时除去此部分。其经纬度的取值范围如表 1 所示。

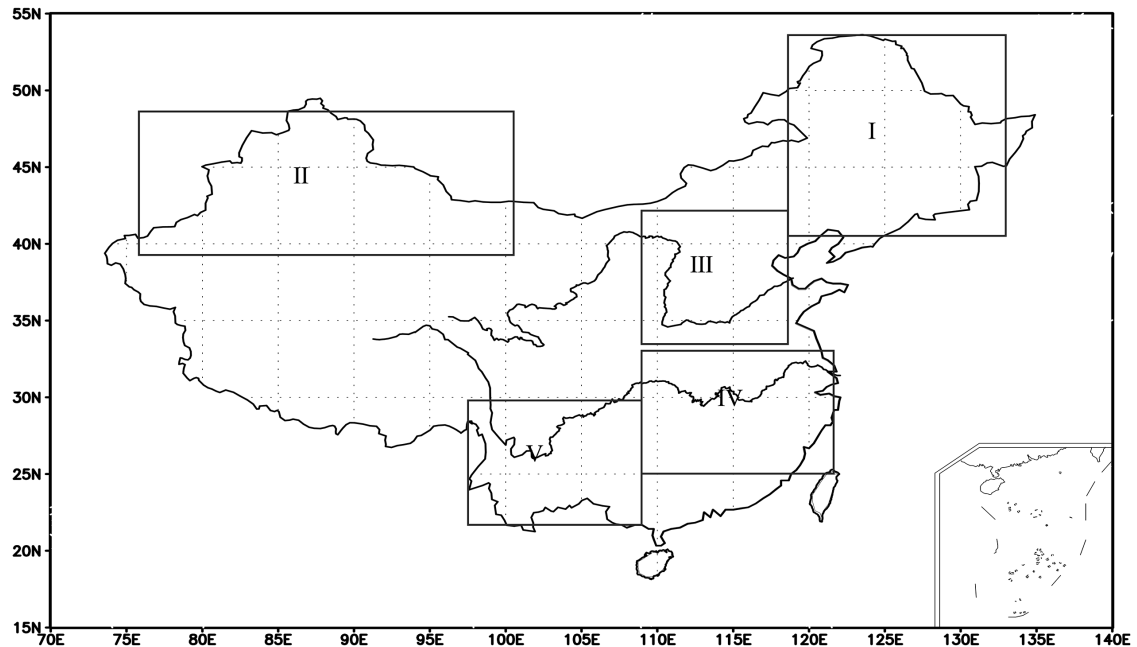


Figure 4. Schematic diagram of regional division
图 4. 区域划分示意图

Table 1. Value ranges for regional division
表 1. 区域划分取值范围

范围		
I	东北	120°~135°E, 38°~56°N
II	西北	73°~98°E, 39°~50°N
III	华北	110°~120°E, 34°~42°N
IV	江南	110°~123°E, 26°~34°N
V	西南	96°~108°E, 21°~28°N

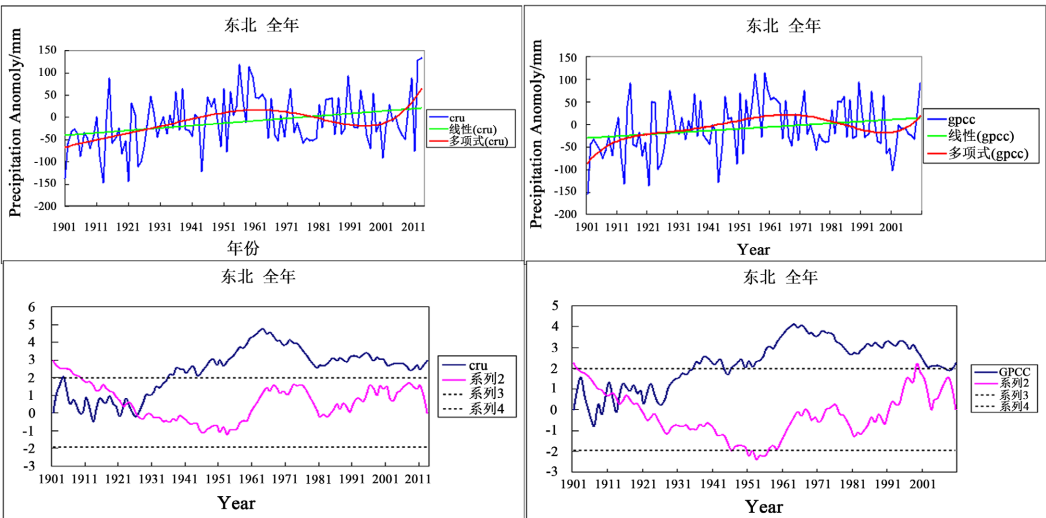
3.2.1. 百年降水变化趋势(MK 法)分析

由图 5(a)可知, 东北地区除 1971~2000 年左右有下降趋势外, 其余年代整体表现为上升趋势, 因此近百年的降水变化总体呈现线性上升的趋势, 从 MK 突变检验图中可以看出 1923 年前后有突变。

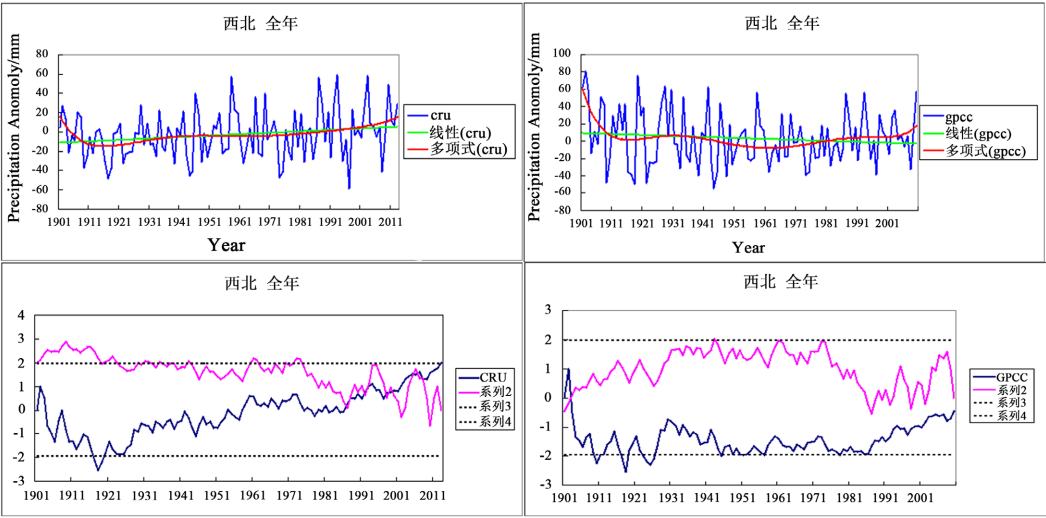
图 5(b)可知, CRU 呈现 20 世纪前十年变化是下降趋势, 而 1911 年之后整体为上升趋势, 1986 年前后有一个突变点; 与 CRU 资料不同的是, GPCC 资料在 1931~1961 年仍然表现出下降趋势, 从 MK 检验中可以知道, 其突变点是 1903 年左右, 但突变不明显。

从图 5(c)中可以看出, 华北地区的降水趋势并没有非常明显的线性下降或者线性上升趋势, 而表现出年代际的变化。多项式趋势图可以反映出 1901~1911 年、1931~1961 年、1991~2010 年为上升趋势, 1911~1930 年、1961~1981 年为上升趋势。MK 检验法分析突变的年份是 1944 年前后。

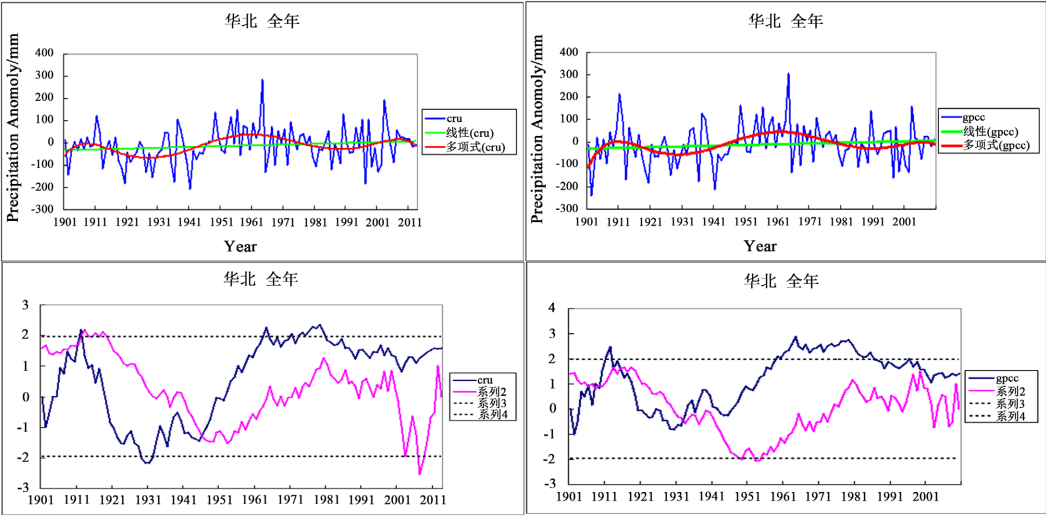
图 5(d)可知, 江南地区的降水变化也呈现出了年代际变化。1901~1911 年、1931~1961 年、1981~2000 年间的降水基本上是增加的趋势, 而 1912~1930 年、1961~1981 年以及 2001 年之后的降水都是明显下降的趋势。江南地区有显著突变的年份是 1912 年前后, 在 1912 年之后有下降的突变。



(a)



(b)



(c)

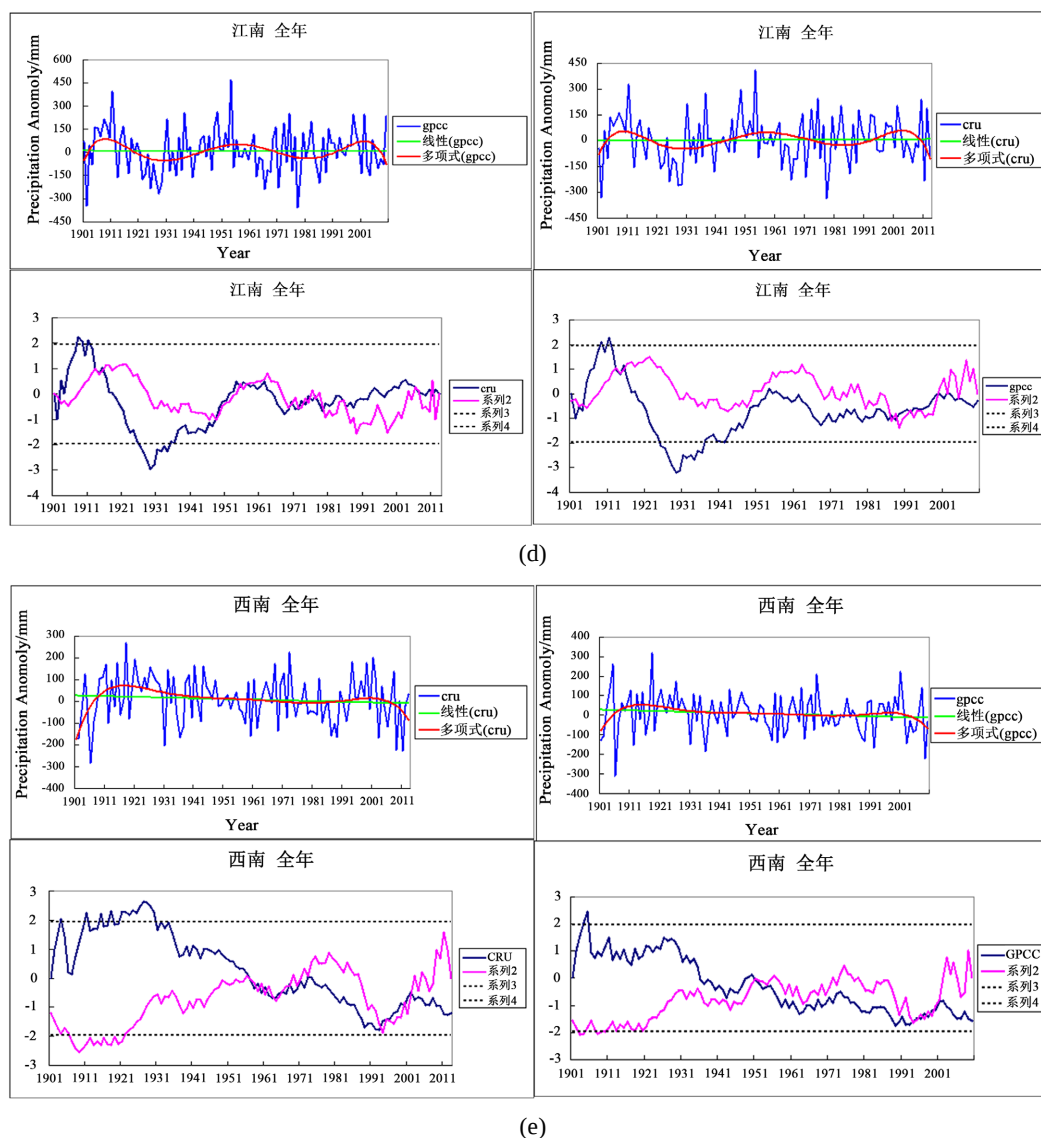


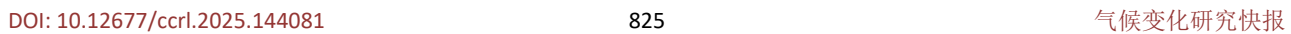
Figure 5. (a) Precipitation trend in northeastern China (MK); (b) Precipitation trend in northwestern China (MK); (c) Precipitation trend in north China (MK); (d) Precipitation trend in Jiangnan Region (MK); (e) Precipitation trend in southwest China (MK). Left—CRU, Right—GPCC

图 5. (a) 东北地区降水变化趋势(MK 法); (b) 西北地区降水变化趋势(MK 法); (c) 华北地区降水的变化趋势(MK 法); (d) 江南地区降水变化趋势(MK 法); (e) 西南地区降水变化趋势(MK 法)。左——CRU, 右——GPCC

图 5(e)中可知, 西南地区的降水整体呈现出线性下降的趋势。在 MK 检验图中, 显著的通过检验的突变点对应的年份是 1962 年左右。

3.2.2. 百年降水变小波分析法

从小波分析的结果表明(见图 6), 近百年来中国降水变化都存在一定的周期特征, 图 6(a)可知东北地区存在 2~3a 年和 22a 左右的周期特征; 西北地区小波分析的图中可以发现, CRU 资料集与 GPCC 资料集的结果并不一致, GPCC 资料集的结果是 2~4 年左右的周期变化, 而 CRU 资料的结果是 1~2 年以及 2~4 年左右的周期变化, 结合两个数据集分析得出西北地区有 2 年左右的周期特征; 华北地区有 1~2 年和 3 年左右的周期特征; 江南地区有 2 年左右的周期特征; 西南地区存在 1~2 年和 2~4 年左右的周期特征。



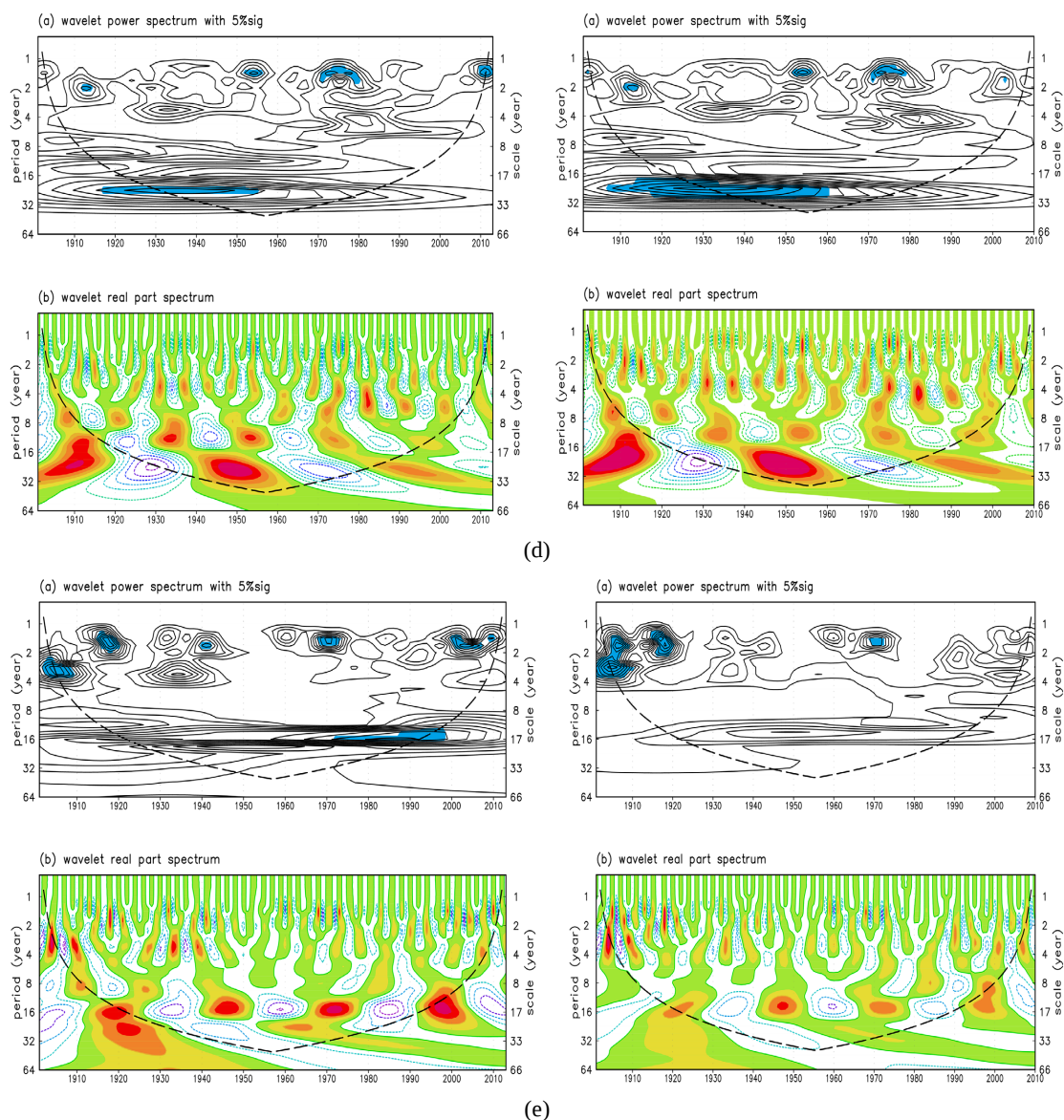


Figure 6. Wavelet analysis plot, Left: CRU, Right: GPCC. (a) Northeastern; (b) Northwestern; (c) North China; (d) Jiangnan region; (e) Southwest

图 6. 小波分析图, 左: CRU, 右: GPCC. (a) 东北; (b) 西北; (c) 华北; (d) 江南; (e) 西南

3.2.3. 功率谱分析

通过对各区域年降水量进行功率谱分析, 得出不同区域的周期变化特征。图 7(a)为东北地区功率谱分析图, 取平滑值 $m=22$, 只有 CRU 资料集的点通过了检验, 但周期特征不是很明显。图 7(b)为西北地区。取了 $m=25$, CRU 和 GPCC 资料集的点都通过了检验, 并且得出西北地区降水存在 4~6 年左右的周期震荡。华北地区取了 $m=19$, 同样只有 CRU 资料集的点通过了检验线, 但是没有显著的周期特征, 见图 7(c)。图 7(d)西南地区 and 图 7(e)江南地区分别取了 $m=19$ 和 $m=20$, 结果表明上述两个区域两个资料集都没有通过检验点, 也没有明显的周期特征。

3.2.4. 不同区域旱涝变化特征

由于某一时段的降水量一般并不服从正态分布, 现在假设年降水量服从 Person III 型分布[3], 其概率

密度分布为:

$$p(X) = [\beta \Gamma(\gamma)]^{-1} [(X - \alpha)/\beta]^{\gamma-1} e^{-(X-\alpha)/\beta} \tag{1}$$

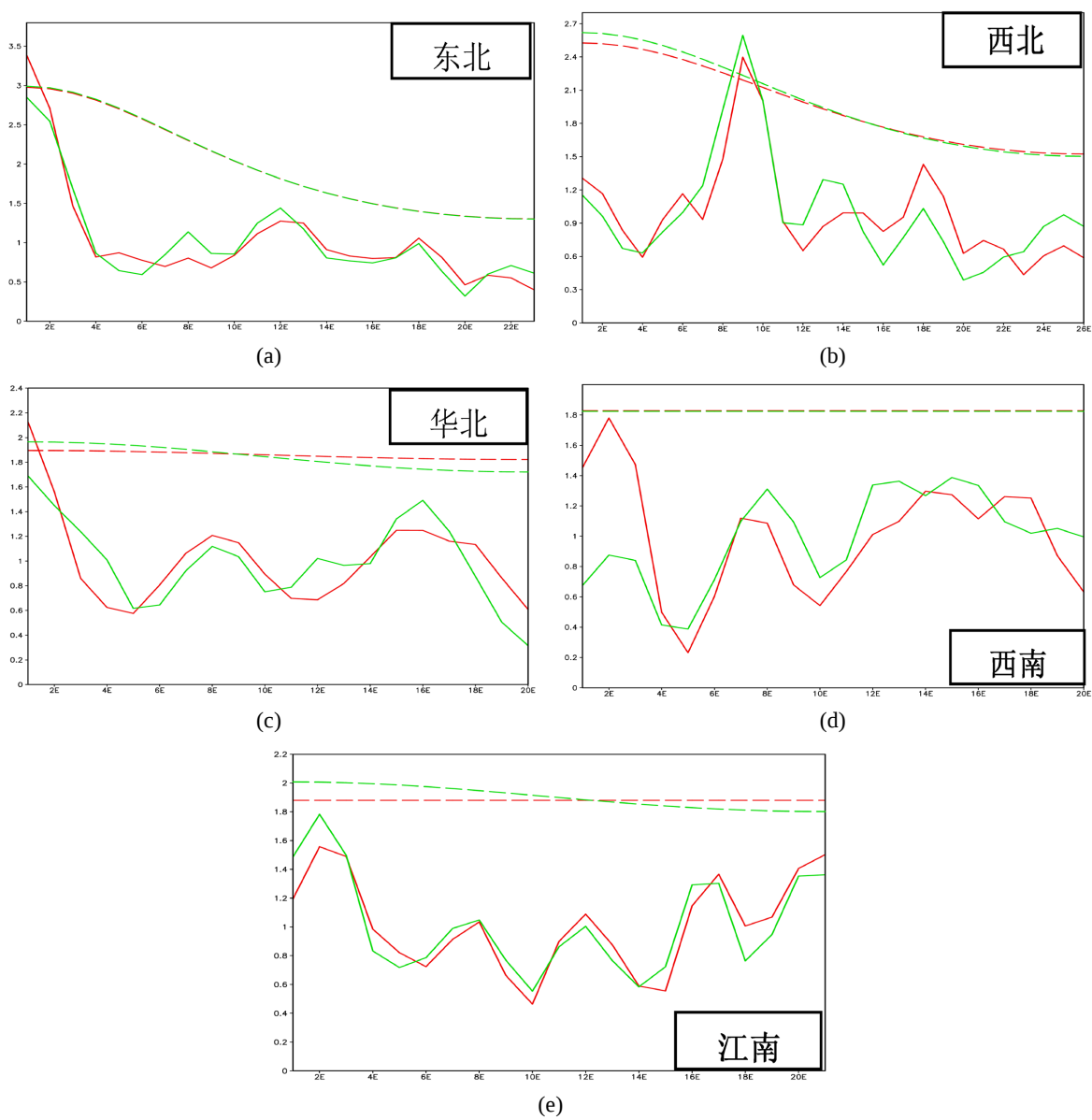


Figure 7. Centennial-scale precipitation power spectrum analysis across Chinese regions. Red—CRU (1901~2013), Green—GPCC (1901~2010)
图 7. 中国各区域百年降水功率谱分析图。红色——CRU (1901~2013)，绿色——GPCC (1901~2010)

对降水量进行正态化处理，可将概率密度型函数 Person III 型分布转换为以 Z 为变量的标准正态分布，其转换公式为：

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left[\frac{C_s}{2} \phi_i + 1 \right]^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \tag{2}$$

在式子(2)中， C_s 位偏态系数， ϕ_i 位标准变量，均可由降水资料序列计算求得，即

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{n\sigma^3}, \phi_1 = \frac{X_I - \bar{X}}{\sigma} \tag{3}$$

在式子(3)中， $\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}$ ， $\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i$ 。

根据 Z 变量的正态分布曲线，划分为 7 个等级并确定其相应的 Z 界限值，作为各级旱涝指标，如表 2 所示。接下来将根据 Z 指数，讨论每一个区域近百年以来的旱涝情况。

Table 2. Drought-flood classification using Z-index
表 2. 以 Z 为指标的旱涝等级

等级	Z 值	类型
1	$Z \geq 1.645$	极涝
2	$1.037 < Z \leq 1.645$	大涝
3	$0.842 < Z \leq 11.037$	偏涝
4	$-0.842 \leq Z \leq 0.842$	接近正常
5	$-1.037 \leq Z \leq -0.842$	偏旱
6	$-1.645 \leq Z \leq -1.037$	大旱
7	$Z < -1.645$	极旱

图 8 可知，东北地区在 20 世纪前 24 年基本上是偏旱年，在 30 至 40 年代左右是接近于正常值，在 1951 年至 1965 年左右降水基本偏多，有些年份出现了极涝和大涝，之后的也是都基本接近于正常值，在 1988 年左右又出现了一次极涝年；CRU 和 GPCC 资料在西北地区的分析结果并不一致，在 20 世纪前 40 年代，两个资料集结果表现相反，整体结果西北地区偏旱年较多；华北地区 20 世纪前 40 年代基本属于偏旱年，多次出现了极旱的情况，在 1951~1963 年左右降水增加，出现了大涝和极涝的情况，1963 年之后一直到 1991 年降水有所减少，但更多的年份是普遍接近于正常值，在 20 世纪末和 21 世纪初期属于旱年；江南地区的干旱情况是基本上属于大涝，极涝，或者是接近于正常值，这也是由于江南地区本身降水偏多的原因，在 20 世纪 20 年代以及 60~80 年代的属于偏旱年；西南地区在 20 世纪的前 30 年代的降水基本上属于大涝，有些年份还出现了极涝，在 1958~1968 年以及 21 世纪初期西北地区属于偏旱年，还出现了极旱的情况。

4. 结论和总结

本文利用了时空分辨率较高的长时间降水资料 CRU，GPCC 以及中国 2782 个台站逐月降水资料，对我国百年降水特征进行了分析。结果表明：

- 1) CRU 和 GPCC 资料与中国台站资料降水的趋势基本吻合，GPCC 资料在 20 世纪 30 年代前与 CRU 的差异很大，主要是由于 GPCC 在西藏地区的异常降水造成。
- 2) 中国区域降水的年代际变化呈显著的区域特征，因此分为东北、西北、华北、江南和西南地区分别讨论各区域的百年降水变化特征。
- 3) 东北和华北地区近百年的降水呈线性上升趋势；GPCC 资料在西北地区呈线性下降趋势，而 CRU 资料呈线性上升趋势；江南地区降水的线性趋势不明显，但具有显著的年代际变化特征；西南地区呈线性下降趋势。

4) 小波分析表明, 东北地区存在 2~3 年和 22 左右的周期特征; 西北地区有 2 年左右的周期特征; 华北地区有 1~2 年和 3 年左右的周期特征; 江南地区有 2 年左右的周期特征; 西南地区有 1~2 年和 2~4 年左右的周期特征。华北地区在 1911~1941 年间基本偏旱, 在 50 年代和 60 年代间有极涝。

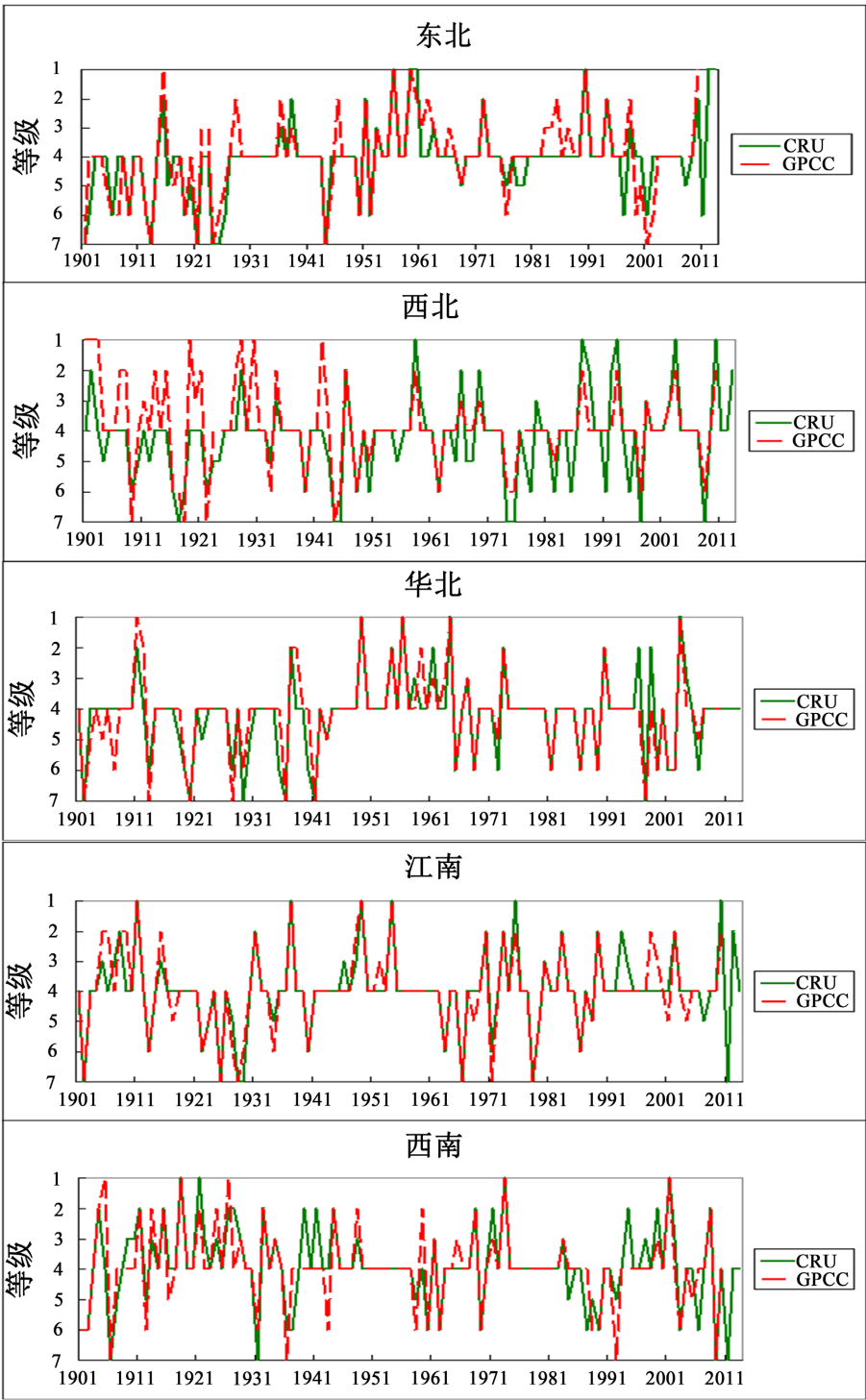


Figure 8. Annual grade values of Drought-Flood indices. Red—GPCC, Green—CRU
图 8. 旱涝指标的历年等级值。红色——GPCC, 绿色——CRU

5) 通过功率谱分析, 西北地区降水存在 4~6 年的周期振荡, 其它区域没有显著的周期特征。

6) Z 指数反映出东北在 20 世纪 30 年代前降水偏少, 多次出现极端旱年, 之后降水逐渐增多, 60 年代普遍偏涝; 西北地区基本是偏旱或者接近正常值, 在 1961 年之后偏涝, 有些年份出现极涝的情况; 江南地区基本接近正常值, 在 20 世纪 10, 20, 30, 70, 80 年代都是偏旱, 有些年份是极旱; 西南地区在 20 世纪 50 年代都是降水多, 基本是大涝年, 在 21 世纪降水有减少的趋势, 出现了极旱。

基金项目

中国气象局水文气象重点开放实验室项目(24SWQXZO39)。

参考文献

- [1] 马柱国, 黄刚, 甘文强, 陈明林. 近代中国北方干湿变化趋势的多时段特征[J]. 大气科学, 2005, 29(5): 671-681.
- [2] 崔绚, 周波涛, 周江兴, 梁有叶. TRMM 产品 3B43 的中国区域降水气候特征评估[C]//第 26 届中国气象学会年会论文集. 杭州: 中国气象学会, 2009: 29-34.
- [3] 简咏梅, 李建刚, 方雯. 1971-2020 年昌吉绿洲主汛期极端降水变化特征[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(4): 23-29.
- [4] 吴萍萍, 贾硕, 郭义涛, 叶正谦. 河北省塞罕坝地区气温和降水变化的环流特征及关键因子[J]. 沙漠与绿洲气象, 2024, 18(3): 63-68.
- [5] 鞠笑生, 杨贤为, 陈丽娟, 王有民. 我国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究[J]. 应用气象学报, 1997, 8(1): 26-33.
- [6] 闻新宇, 王绍武, 朱锦红, David VINER. 英国 CRU 高分辨率格点资料揭示的 20 世纪中国气候变化[J]. 大气科学, 2006, 30(5): 894-904.
- [7] 宋连春, 张存杰. 20 世纪西北地区降水量变化特征[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 143-148.
- [8] 吴秀兰, 张太西, 王慧, 郑先念. 近 60a 新疆区域气温降水变化事实分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(4): 27-34.
- [9] 王绍武, 龚道溢, 叶瑾琳, 等. 1880 年以来中国东部四季降水量序列及其变率[J]. 地理学报, 2000, 55(3): 281-293.
- [10] 白松竹. 阿勒泰地区降水变化特征分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2014, 8(1): 17-22.