

近 50 年重庆市气象干旱时空分布特征研究

徐 羽^{1,2}, 许有鹏¹, 吴艳飞², 徐 刚², 吴 雷¹

(1. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210023; 2. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715)

摘 要:根据重庆市 34 个气象站点 1960—2009 年的气温、降水、日照时数等诸多气象因子观测资料,利用相对湿润指数法对重庆市近 50 年的气象干旱频率和干旱强度进行统计分析。通过 ArcGIS 空间插值、滑动 t 检验以及小波分析等方法分析了重庆市干旱频率和干旱强度的空间分布、突变年和振荡周期。结果表明:(1) 近 50 年重庆市年、春、夏、伏、秋、冬干旱频率和干旱强度均呈现出明显的区域差异,干旱频率和强度均是冬季最高,夏季最低;(2) 经滑动 t 检验发现,重庆市年干旱频率突变点为 1982 年前后的由多变少,年干旱强度突变点为 1978 年前后的由弱变强,其他季节各有不同;(3) 重庆市年及各季节的干旱频率和干旱强度各具有不同的振荡周期。

关键词:气象干旱; 相对湿润指数; 干旱频率; 干旱强度; 重庆市

中图分类号: P429

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2016)06-0363-06

Temporal and Spatial Patterns of the Meteorological Drought in Chongqing City During Recent 50 Years

XU Yu^{1,2}, XU Youpeng¹, WU Yanfei², XU Gang², WU Lei¹

(1. School of Geographic and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210023, China;

2. School of Geographic Sciences Southwest University, Chongqing, 400715, China)

Abstract: The observed meteorological data of 34 meteorological stations from 1960 to 2009 in Chongqing City of China were collected and a relative humidity index of meteorological drought was used to analyze the temporal and spatial characteristics of drought frequency and intensity. Based on the methods of Inverse Distance Weighted methods on ArcGIS, running t -test and Morlet wavelet analysis, the temporal and spatial patterns of meteorological drought frequency and intensity, mutated years and oscillating periods were revealed. The results showed as follows: (1) the spatial distributions of drought frequency and intensity in whole year, spring, summer, hot season, autumn and winter were different. The drought frequency and intensity were the highest in winter, and the lowest in summer. (2) the abrupt change of drought frequency shifts from more to less level in 1982, and the abrupt change of drought intensity shifts from the weak to heavy level in 1978. And the abrupt change years of drought frequency and intensity are not the same in different durations. (3) the departure sequence vibrations of annual and seasonal drought frequency and intensity are different.

Keywords: meteorological drought; relative humidity index; drought frequency; drought intensity; Chongqing City

农业生产和人类生活均受到气候干湿状况的影响。随着全球变化的发展,区域水平平衡和干湿状况也随之发生变化。近年来,中纬度地区出现了显著的气候暖干化特征,干旱问题日趋严重^[1]。干旱可以分为气象干旱、水文干旱、农业干旱等,其中气象干旱是

其他各类干旱发生的主要原因^[2]。近几十年来,西南地区干旱频率呈西高东低格局,冬旱频率最高,干旱有逐步加强的趋势^[3-7]。因此,有必要对重庆市近年来的干旱状况进行深入研究。

目前国内外关于区域气象干旱研究的主要方法

收稿日期: 2015-10-24

修回日期: 2015-11-27

资助项目: 国家自然科学基金面上项目(41371046); 水利部水利公益专项项目(201201072); 江苏省自然科学基金资助项目(BK20131276); 江苏省水利科学资助项目(2015003)

第一作者: 徐羽(1989—), 男, 安徽寿县人, 博士研究生, 研究方向: 水文学与水资源学。E-mail: xuyu906@163.com

通信作者: 许有鹏(1956—), 男, 江苏南京人, 博士, 教授, 博士生导师, 主要从事水文水资源及水环境研究。E-mail: xuyup305@163.com

有降水距平率、SPI 指数、Z 指数等,但多数方法只考虑了降水单一要素,没有重视蒸散等因素对于旱形成的作用^[8-10]。因此,本研究结合区域特点,从区域水分收支平衡的原理出发,以气象要素实测资料为基础,采用国家颁布的 GB/T20481—2006《气象干旱等级》^[2]中推荐使用的相对湿润指数(M)为干旱指标,采用多种方法,从干旱频率、干旱强度两个方面分析了 1960—2009 年重庆市气象干旱的时空分布及演变特征。旨在能够全面的阐述重庆市气象干旱的时空分布规律,为重庆市干旱监测、预警以及防灾减灾工作提供必要的参考。

1 研究区概况、资料来源与研究方法

1.1 研究区概况

重庆市位于中国西南地区,介于 28°10'N—32°13'N, 105°17'E—110°11'E。地处我国地势的第二、三级阶梯的过渡地带。属中亚热带湿润季风气候,热量丰富,冬暖夏热,四季分明;降水丰沛,但季节分配不均。1960s 以来,全市年际降水量以下降趋势为主。同时,年蒸散发量的空间分布差异显著,1980s 以来以波动上升趋势为主^[11]。

1.2 资料来源

本文所使用的资料包括由重庆市气象局提供的 1960—2009 年重庆市 34 个气象站点逐日平均气温、最高气温、最低气温、日照时数、空气相对湿度、风速、气压、降水等实测数据。

1.3 相对湿润指数计算方法

降水和地表蒸散量是影响区域地表干湿变化的两个重要因子,降水量减少及蒸散量的增加均会使地表变干。地表相对湿润指数值越小,表明干旱越严重。相对湿润指数可表征为:

$$M = \frac{P - PE}{PE} \quad (1)$$

式中: M 表示地表相对湿润指数; P 表示某时间段内的降水量 (mm); PE 表示某时间段内的蒸散量 (mm)。

目前,重庆市部分气象台站已经开展了蒸散发的观测,一般年限较短,且均为自由水面蒸发观测,与区域实际蒸散发量差距较大。Penman-Monteith 公式考虑了众多气象要素,具有较强的物理意义,在气候变化对潜在蒸散发、水文循环模拟中得到广泛应用。因此本研究对蒸散量的计算采用 FAO 推荐使用的 Penman-Monteith 公式^[12]:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T + 237} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34u_2)} \quad (2)$$

式中: ET_0 为参考作物蒸散量 (mm); Δ 为饱和水汽压曲线斜率 (kPa/°C); R_n 为参考作物表层净辐射 (MJ/m²d); G 是土壤热通量密度 (MJ/m²d); r 为干湿表常数 (kPa/°C); T 为平均气温 (°C); u_2 为 2 m 高度处风速 (m/s); e_s 为饱和水汽压 (kPa); e_a 为实际水汽压 (kPa)。

1.4 干旱特征分析指标

以旬为统计单位,参照 GB/T20481—2006《气象干旱等级》中提出的相对湿润指数气象干旱等级划分法。当旬平均相对湿润指数小于或等于 -0.40,则为 1 次干旱过程;并根据前人研究成果及重庆市具体情况,划分出 5 个干旱时段,即春旱、夏旱、伏旱、秋旱和冬旱,其对应的时段分别为 2 月下旬—4 月中旬、4 月下旬—6 月中旬、6 月下旬—9 月上旬、9 月中旬—11 月中旬以及 11 月下旬—2 月中旬。

使用干旱频率和干旱强度来表征重庆市干旱的频繁程度及严重程度。干旱频率为实际有干旱事件发生次数与旬序列数的比值。干旱强度为发生干旱时的相对湿润指数平均值。指数越小,干旱强度越大。

2 结果与分析

2.1 重庆市干旱频率

2.1.1 重庆市干旱频率空间分布 重庆市年均干旱频率呈现出明显的区域差异,总体呈渝东北>渝西>渝东南空间分布格局(图 1)。干旱高发区均位于渝东北,低频区主要位于渝东南。

春旱高频区集中于渝东北和渝西,大部分地区频率值在 35% 以上;低频区位于渝中部和渝东南。夏旱频率较低,全市均在 30% 以下,空间分布上与春旱较为相似。伏旱发生频率较夏旱有明显上升,高频区位于渝中部区和渝东北;低频区主要有渝东北的西北部、渝西北以及渝东南,多在 40% 以下。秋旱频率在空间上呈现出东北高西部低的格局。冬旱频率较其他任何季节都高,北多南少的空间分布格局较为显著,渝东北频率值最高,其中奉节、巫山和云阳超过 60%;渝西和渝东南频率值较低,多为冬旱少发区。

2.1.2 重庆市干旱频率突变检验 利用滑动 t 检验分别对近 50 a 重庆市年、春、夏、伏、秋、冬旱发生频率进行突变分析,时间序列长度为 4~6 a。从图 2 中可以看出,年尺度上重庆市干旱频率突变点为 1982 年前后的由多变少。

春旱发生频率有 1 个突变点,为 1998 年前后的频率由少变多;夏旱发生频率突变点是 1997 年前后的由多变少;伏旱发生频率突变点有 2 个,分别为 1979 年

和 1980 年前后的由多变少,其中 1979 年前后最为显著;秋旱发生频率突变点为 1998 年前后的由少变多;

冬旱发生频率的突变点分别是 1966 年、1970 年前后的由多变少和由少变多。

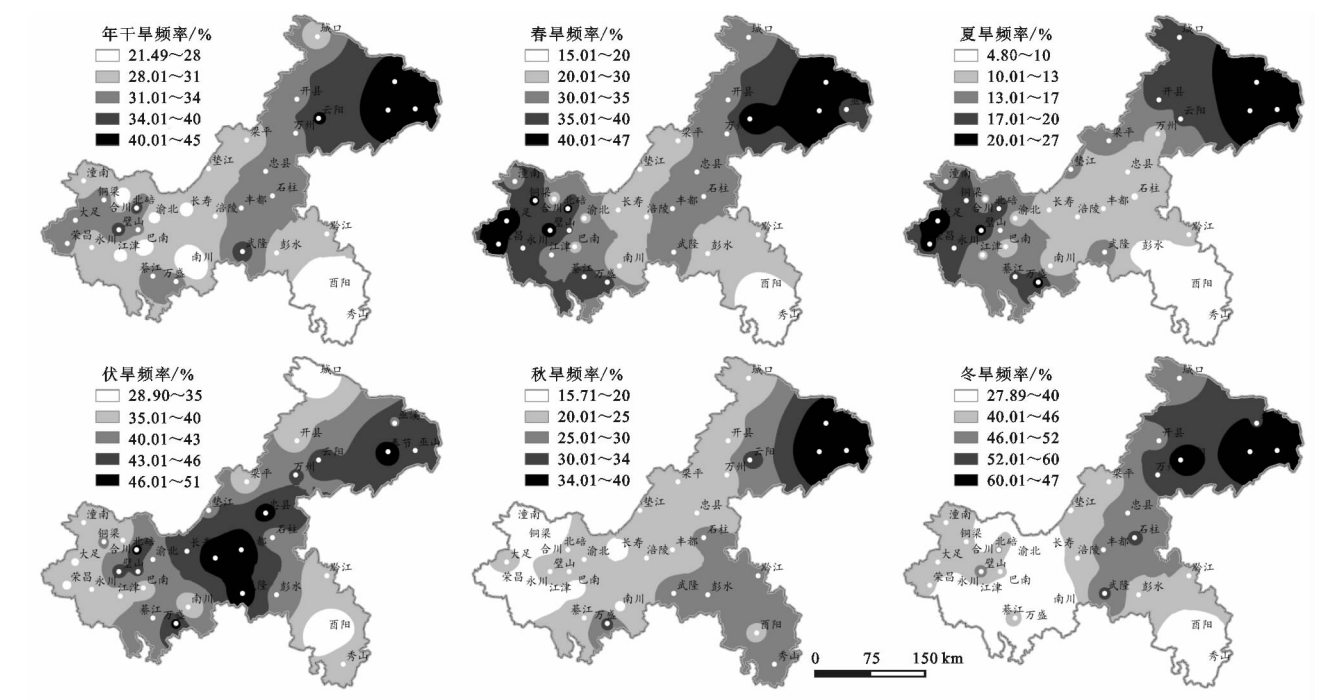


图 1 年、春、夏、伏、秋、冬干旱频率的空间分布

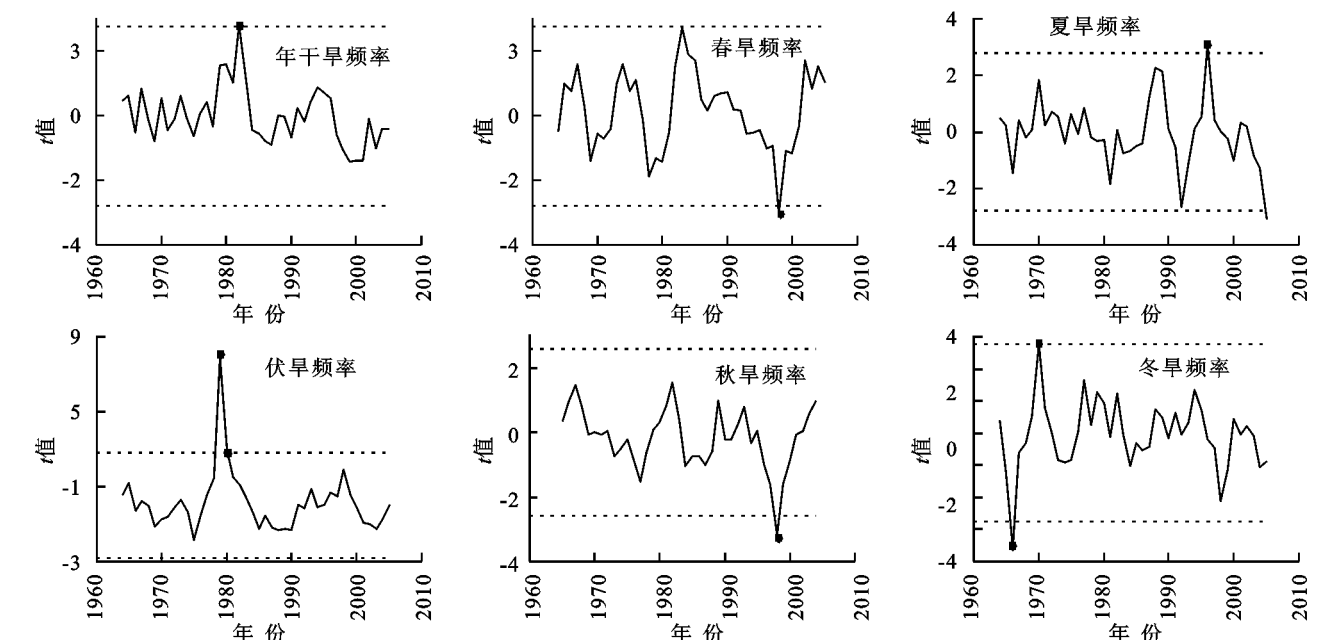


图 2 年、春、夏、伏、秋、冬干旱频率的滑动 t 检验结果

2.1.3 重庆市干旱频率周期分析 图 3 为重庆市干旱频率小波变换系数实部时频图,相位为正则表示干旱强度偏小,为负则干旱强度偏大。从结果可知,年干旱频率的周期变化显著,存在多个振荡周期。其中准 3 a 周期振荡最明显,主要存在于 1960—1990 年;准 15 a 振荡周期的持续性较好,占据了时域上的绝大部分,有 4 个干旱频率高值期和 3 个干旱频率低值期。

春旱频率存在准 8 a 振荡周期,1960—1985 年最显著;准 5 a 振荡周期主要出现在 1970—1980 年以及 1998—2009 年;准 18 a 周期时间持续性好,震荡强度小。

夏旱频率存在着准 3,12,23 a 的振荡周期。准 3 a 周期主要出现在 1960—2003 年;准 12 a 振荡周期出现在 20 世纪 80 年代末以后;准 23 a 振荡周期主要出现在 1960—2000 年期间。伏旱频率的准 16 a 振荡周期最为显著。此外,还存在准 3,5 a 周期。秋旱频率有准 5,12,26 a 振荡周期,准 5 a 和 26 a 振荡周期时间延续性较好。冬旱频率有准 3 a 和 7 a 的振荡周期,时间延续性均较好,振荡强度较其他任何季节小。

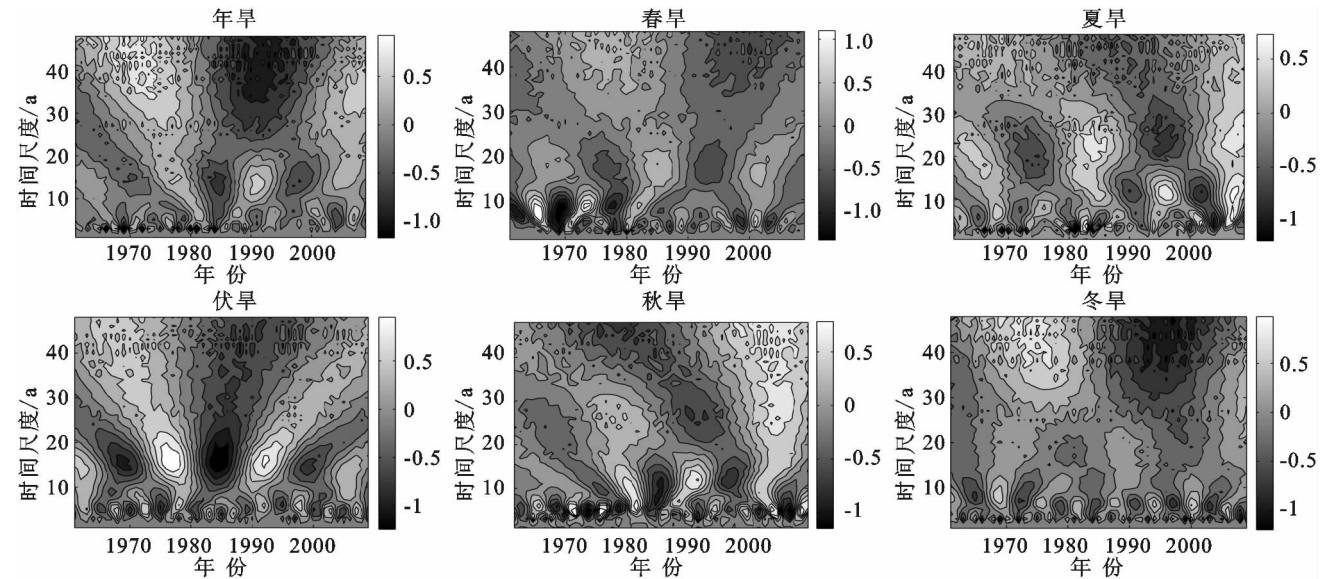


图 3 年、春、夏、伏、秋、冬干旱频率的复值 Morlet 小波变换系数的实部时频分布

2.2 重庆市干旱强度

2.2.1 重庆市干旱强度空间分布 重庆市年均干旱强度呈现出东北高西南低的空间分布格局(图 4)。年均干旱强度较高的区域集中于渝东北;年均干旱强度较小的区域主要集中在渝西南。

春旱强度高值区主要沿长江和嘉陵江呈带状分布,低值区主要位于渝东南。夏旱较其他季节轻,空

间上呈现出四周高、中间低的格局。伏旱强度较大的区域集中在中西部地区,低值区包括渝西的南部地区、渝东南和渝东北。秋旱强度呈现出显著的东高西低空间分布格局,“武隆—涪陵—垫江”一线以东地区的干旱强度大;低值区主要分布于渝西。冬季干旱强度较其他任何季节都高,渝东北和渝东南干旱强度高,渝西的南部地区干旱强度较低。

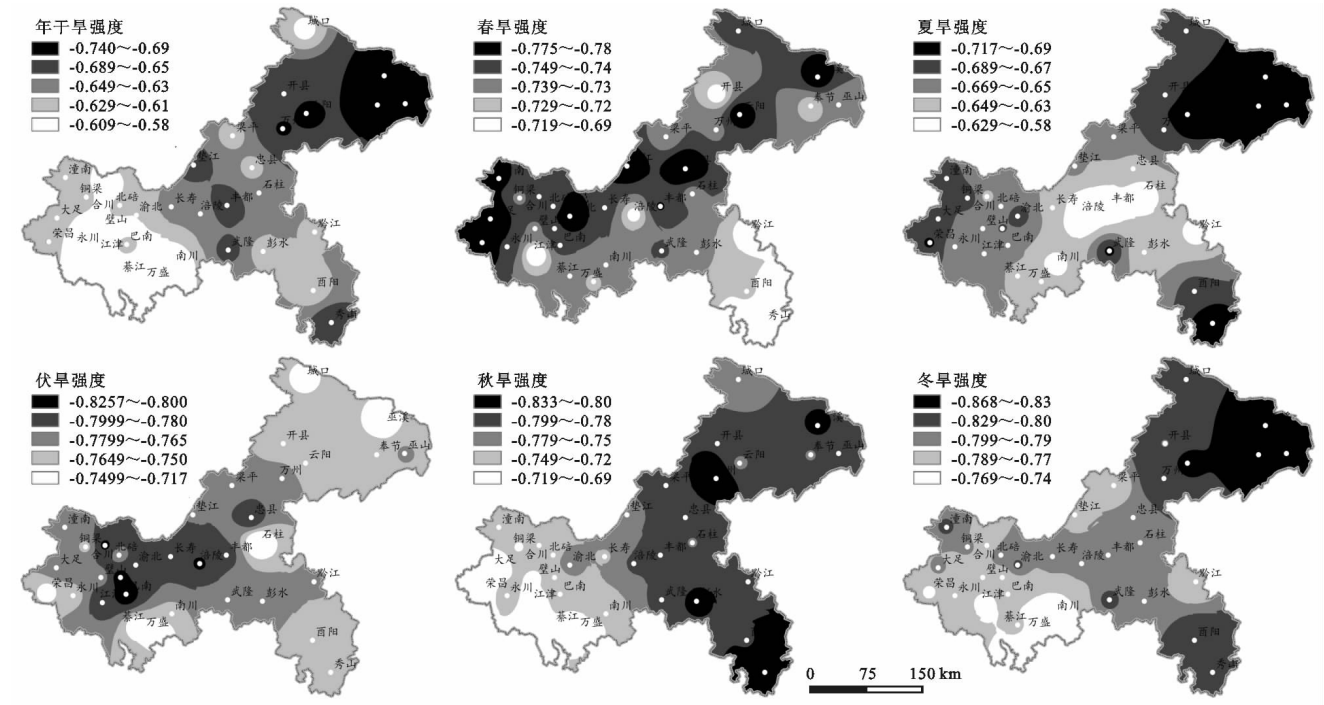


图 4 年、春、夏、伏、秋、冬干旱强度的空间分布

2.2.2 重庆市干旱强度突变检验 再次利用滑动 t 检验方法分别对近 50 a 重庆市年、春、夏、伏、秋、冬旱发生强度进行突变分析(图 5)。从年干旱尺度看,重庆市干旱强度突变点位于 1978 年前后,此时干旱强度由弱变强。

春旱强度波动次数较多,如 1975 年、1980 年、1984 年及 1997 年前后,除 2007 年前后的由弱变强外,其他都没有通过 0.05 的置信度检验;夏旱强度的突变点有 3 个,分别是 1982 年、1993 年和 1997 年,前两个为夏旱强度的由强变弱,后一个为由弱到强;伏旱强度突变点为

1979 年左右的由弱变强;秋旱强度突变点有 2 个,分别为 1965 年和 1980 年左右的由强变弱和由弱变强,1980 年以后秋旱强度波动较小;冬旱突变点分别是 1965 年和 1971 年前后的由弱变强和由强变弱。

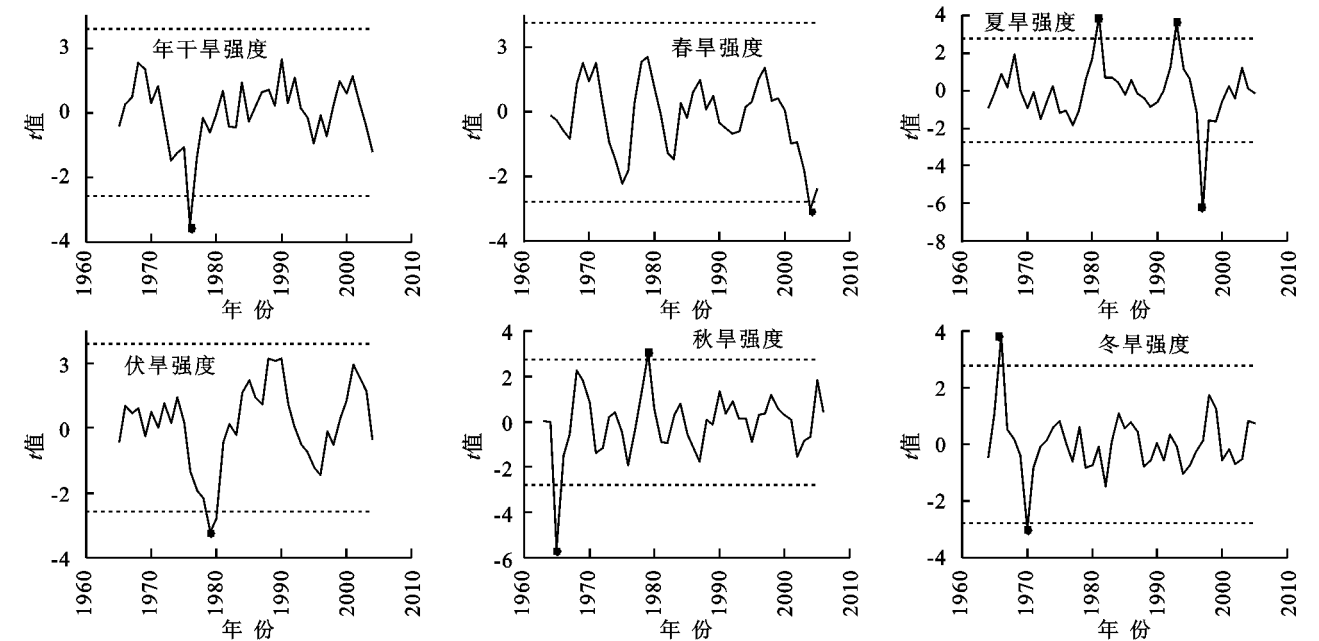


图 5 年、春、夏、伏、秋、冬干旱强度的滑动 t 检验结果

2.2.3 重庆市干旱强度周期分析 近 50 a 来重庆市年干旱强度存在多重时间尺度振荡周期(图 6)。其中,准 3 a 振荡周期时间延续性较好,时间跨度为 1965—2000 年;准 7 a 振荡周期主要分布在 1970—1995 年;准 15 a 振荡周期主要出现在 20 世纪 90 年代以前;准 27 a 振荡周期时间延续性最好,其中 1965—1976 年以及 1990—2002 年两时段为负相位,表示干旱强度偏大。

春旱强度的周期振荡主要有准 3,9,15,27 a。准 3 a 振荡周期主要出现在 1970—1975 年和 1982—2005 年期间;准 9 a 振荡周期最显著;准 15 a 和 27 a

振荡周期的时间延续性较好,但强度较小。夏旱强度振荡周期包括准 3,7,12,25 a 振荡周期。准 7 a 和 12 a 振荡周期较为显著,前者主要出现在 1960—2005 年之间,后者贯穿整个时段;准 25 a 振荡周期共包括了两个高值期和两个低值期。伏旱强度振荡最显著的是准 16~30 a 周期,时间延续性也较好。此外,还存在准 3,8 a 的振荡周期。秋旱强度存在准 3,5 和 21 a 振荡周期。冬旱强度存在着时间延续性较好的准 3 a 和准 17~28 a 振荡周期;准 7 a 振荡周期主要出现在 1960—1975 年以及 1985—2005 年期间。

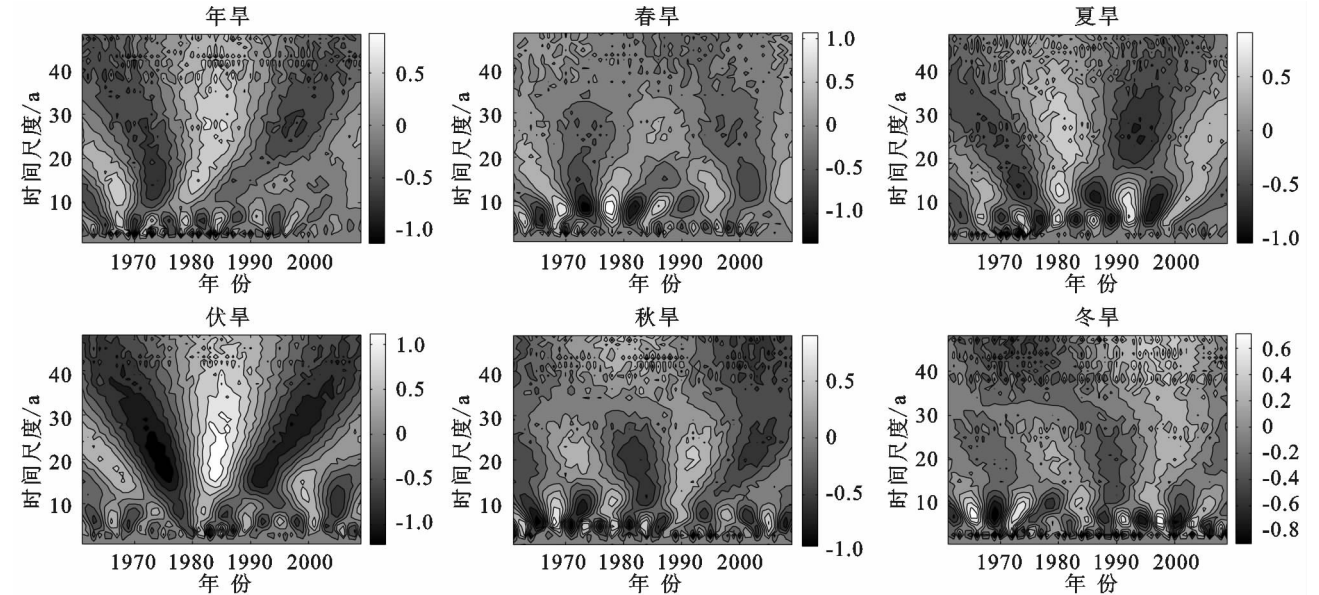


图 6 年、春、夏、伏、秋、冬干旱强度的复值 Morlet 小波变换系数的实部时频分布

3 结论与讨论

(1) 从干旱频率看,渝东北的年、春、夏、伏、秋、冬旱频率均较其他地区高;渝西地区的干早期集中在春、夏季;除秋季外,渝东南地区干旱频率最低;渝中部区伏旱最为严重。干旱强度与干旱频率的空间分布具有相似性:渝东北地区始终为干旱强度高值区,渝西地区的春、夏、伏旱较为严重,渝东南秋季干旱强度最大;渝中部区春、伏旱强度值较高。

区域干旱状况主要受大气环流及地形条件的影响,同时还受到地表植被覆盖状况、水系条件及离海距离等条件的制约。重庆市深受东亚和南亚季风及特殊地形等条件的影响,受干旱的影响程度较全国其他地区小,年及四季气象干旱的时空分布具有强烈的地域特点。冬季主要受大陆气团控制,降水稀少,气候干旱;5 月份时,雨带开始影响市境,气候干旱程度逐渐缓解;7 月份受伏旱影响,局部地区干旱严重;秋季时暖湿气团受到渝东南高山地形的阻挡作用,南退迟缓,降水量较全国其他地区高,干旱程度较轻。从区域看,渝东北位于巫山西侧,为东南季风的背风坡,干旱较为严重;渝东南则位于四川盆地东部盆周山地的外侧,处于东南季风的迎风坡,降水充沛,全年干旱程度较轻。与全国其他区域相比,重庆市干旱发生频率及强度程度总体较小,且主要集中于冬季及伏旱期^[13-21]。

(2) 经滑动 t 检验及小波分析发现,重庆市年、春、夏、伏、秋、冬干旱频率和强度具有不同的变化趋势和振荡周期。20 世纪 60 年代以来,重庆市气象干旱经历了年代际波动,总体上 60、70 年代干旱最严重,80 年代最弱,进入 90 年代后强度不断上升。年代变化过程与全国其他地区相比,具有特殊性^[22-25]。

参考文献:

- [1] IPCC. Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panels on Climate Change [M]. London: Cambridge Press, 2000.
- [2] 中国气象局政策法规司. 气象干旱, 等级[M]. 北京: 气象出版社, 2008: 33-54.
- [3] 王明田, 王翔, 黄晚华, 等. 基于相对湿润指数的西南地区季节性干旱时空分布特征[J]. 农业工程学报, 2012, 28(19): 85-92.
- [4] 徐羽, 吴艳飞, 徐刚, 等. 基于相对湿润指数的重庆市气象干旱时空分布特征[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2016, 38(4): 96-103.
- [5] 贺晋云, 张明军, 王鹏, 等. 近 50 年西南地区极端干旱气候变化特征[J]. 地理学报, 2011, 66(9): 1179-1190.
- [6] 江玉华, 程炳岩, 邓承之, 等. 重庆市严重伏旱气候特征分析[J]. 高原山地气象研究, 2009, 29(1): 31-38.

- [7] 李金建, 张茵, 王锐婷, 等. 基于湿润指数的四川盆地农业干旱时空变化特征[J]. 西南大学学报: 自然科学版, 2014, 36(1): 129-136.
- [8] 朱业玉, 王记芳, 武鹏. 降水 Z 指数在河南旱涝监测中的运用[J]. 气象与环境科学, 2006(4): 20-22.
- [9] 王劲松, 郭江勇, 倾继祖. 一种 K 干旱指数在西北地区春旱分析中的应用[J]. 自然资源学报, 2007, 22(5): 709-717.
- [10] 张永, 陈发虎, 勾晓华, 等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布: 基于 PDSI[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1142-1152.
- [11] 徐羽, 徐刚, 吴艳飞, 等. 重庆市参考作物蒸散量及湿润指数变化研究[J]. 水土保持研究, 2015, 22(3): 176-181.
- [12] RG ALLEN, LS PEREIRA, D RAES, et al. Crop Evapotranspiration-Guidelines for Computing Crop Water Requirements[M]. FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Rome, 1998.
- [13] 魏凤英, 曹鸿兴. 华北地区干旱异常的地域特征[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 133-136.
- [14] 马晓群, 吴玉文, 张辉. 利用累积湿润指数分析江淮地区农业旱涝时空变化[J]. 资源科学, 2008, 30(3): 371-377.
- [15] 包云轩, 孟翠丽, 申双和, 等. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布特征[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 599-608.
- [16] 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(9): 61-68.
- [17] 贺晓霞, 吴洪宝, 陈小兰, 等. 我国东南夏季干旱指数的 ECC 预测方法[J]. 南京气象学院学报, 2008, 31(1): 10-17.
- [18] 张永, 陈发虎, 勾晓华, 等. 中国西北地区季节间干湿变化的时空分布: 基于 PDSI[J]. 地理学报, 2007, 62(11): 1142-1152.
- [19] 温克刚, 马力. 中国气象灾害大典(重庆卷)[M]. 北京: 气象出版社, 2008.
- [20] 卫捷, 马柱国. Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水量距平的比较[J]. 地理学报, 2003, 58(S): 117-124.
- [21] 邵晓梅, 刘劲松, 许月卿. 河北省旱涝指标的确定及其时空分布特征研究[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 133-136.
- [22] 邹旭凯, 张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 679-687.
- [23] 栗健, 岳耀杰, 潘红梅, 等. 中国 1961—2010 年气象干旱的时空规律: 基于 SPEI 和 Intensity analysis 方法的研究[J]. 灾害学, 2014, 29(4): 176-182.
- [24] 邹旭凯, 任国玉, 张强. 基于综合气象干旱指数的中国干旱变化趋势研究[J]. 气候与环境研究, 2010, 15(4): 371-378.
- [25] 杨帅, 于志岗, 苏筠. 中国气象干旱的空间格局特征(1951—2011)[J]. 干旱区资源与环境, 2014, 28(10): 54-60.