

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2017.04.003

重庆市农作物生长季干旱时空分布规律研究^①

周婷婷¹, 徐刚^{1,2}, 白基恒¹, 赵志军¹

1. 西南大学地理科学学院, 重庆 400715; 2. 西南大学三峡库区生态环境教育部重点实验室, 重庆 400715

摘要: 利用重庆市 11 个国家气象站 1960—2013 年的逐日降水量资料, 按照《重庆市气象灾害标准》统计 1960—2013 年农作物生长季的干旱次数和强度, 并采用数理统计、地统计分析、小波分析等方法, 研究重庆市农作物生长季干旱时空分布规律。结果表明: 干旱发生次数年代际差异明显, 且干旱长期变化具有阶段性和周期性; 近 10 年来, 高强度等级干旱发生频率有上升趋势; 重庆市干旱主要发生在渝西南地区和中部地区以及渝东北地区。研究成果可为重庆市不同区域农作物布局和防旱避灾提供科学依据。

关键词: 农作物生长季; 干旱; 时空分布; 重庆市

中图分类号: X173

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2017)04-0014-11

干旱是全世界发生频率较高的气象灾害, 也是影响农业生产的主要气象因素之一。发生范围广、持续时间长、造成的损失大是干旱的几大特点。随着全球气候变暖, 干旱灾害更加严重, 引起了国内外界的关注^[1-2]。IPCC 第四、五次评估报告指出^[3-4], 近百年全球地表温度上升 0.56~0.92 °C, 气候变暖将会增加极端气象灾害发生的频率与强度, 对农业生态系统影响深远。国际权威杂志 Nature 和 Science 近年来连续报道气象灾害对农业生产的影响, 尤其关注旱灾的发生过程及其成因^[5-6]。

在我国发生的自然灾害中农业气象灾害占 70% 左右, 其中干旱、涝渍、低温气象灾害是最主要的农业气象灾害^[7], 具有季节性、区域性、随机性、时间与空间连续性等特征。国内学者多研究北方地区季节性干旱的时空特征及对农业生产的影响^[8]。霍治国等基于灾害风险分析的原理, 提出了我国几种主要农业气象灾害风险评估的技术方法^[9]。近年来南方地区的季节性干旱频繁发生, 对农业生产造成严重影响, 黄晚华等应用标准化降水指数研究了南方地区气象干旱时空特征^[10]。国内学者多研究月、季、年作为时间尺度的以作物水分亏损指数等的农业干旱指标^[11], 且多以省级区域为研究范围^[12]。干旱的根本原因是较长时间降水异常偏少或无降水, 虽然近年来气象部门在逐日干旱监测实现定常业务化, 但从逐日角度研究某一特定区域干旱时空特征的较少^[13]。

重庆市位于长江上游、四川盆地东部, 地处我国第二、三级阶梯的自然过渡带, 辖区范围 105°17'~110°11'E, 28°10'~32°13'N, 总面积约 82 403 km²^[14]。重庆市属于亚热带季风湿润气候区, 降水总量丰富, 但降水量的季节性分配不均、年际和区域之间差异较大, 使重庆成为干旱发生频率较高的地区^[15]。重庆有“十年九旱”之说, 春夏秋冬四季都会发生不同程度的干旱^[16], 如 2001 年和 2006 年的特大伏旱对社会经济和农业生产造成了较为严重的损失^[15,17]。前人对重庆地区干旱研究主要集中在对某一种特定干旱的发生规

① 收稿日期: 2016-04-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41201436)。

作者简介: 周婷婷(1991-), 女, 重庆璧山人, 硕士研究生, 主要从事城市地貌与灾害地貌的研究。

通信作者: 徐刚, 教授, 硕士研究生导师。

律以及成因的分析上^[18-19], 而分析干旱对农作物生长的影响以及从逐日角度综合分析不同干旱灾害时空特征的研究较少.

重庆市自然环境独特, 建立一套符合当地实际情况的干旱评估指标和模型, 精确分析不同农作物生长季节干旱空间分布特征规律对重庆乃至整个西南地区粮食安全、生态安全、水安全具有重要意义. 本文依据重庆市干旱地方标准, 选取日降水量作为评价干旱的指标, 试从逐日角度分析不同季节农作物干旱的时空特征, 以期重庆市不同区域作物布局以及防旱避灾提供依据.

1 数据来源与方法

资料主要来源于中国气象科学数据共享服务网站的重庆市 11 个国家气象站从 1960—2013 年的逐日降水量数据. 气象站点虽然偏少, 但站点分布较均匀, 有一定代表性.

本文根据重庆市气象局研制的重庆市地方标准《气象灾害标准》(DB50-T270-2008)^[20], 将重庆市气象干旱分为春旱(2月下旬—4月)、夏旱(4月下旬—6月)、伏旱(6月下旬—9月上旬)、秋旱(9—11月)、冬旱(11月下旬—次年2月); 根据干旱持续时间, 将各季节的干旱强度分为轻旱、中旱、重旱和特重旱.

选取重庆市主要农作物作为分析对象, 并按种植季节分为春播夏收农作物、春播秋收农作物、夏播秋收农作物和越冬农作物等 4 种类型. 具体代表作物和主要生育时段见表 1.

在作物的生长季内, 可能发生不同季节的多次干旱, 如果一次干旱过程都出现在作物生长季内, 就统计为一次干旱, 并根据干旱持续时间确定其干旱强度; 对于跨越作物生长季的干旱, 借鉴参考文献[12—13]对干旱等级指标的构建, 结合重庆市干旱和农作物生长实际情况, 统计农作物在生长季可能遭受的干旱时作如下取舍: 如果干旱期部分落在作物生长需水关键期, 且超过 10 日(含 10 日), 则依照重庆市地方标准根据干旱持续时间确定干旱强度; 如果没有超过 10 日, 则不统计为一次干旱.

按照上述干旱统计方法, 得到重庆市 11 个国家气象站 1960—2013 年干旱发生情况, 进而统计分析作物生长季干旱发生频次或频率, 及其年际和年代际变化; 应用 Morlet 小波分析方法分析干旱时间序列的周期变化^[21]. 使用 Arcgis 9.3 地统计分析模块中的反距离权重插值法对各站点不同生长季节干旱发生次数和不同干旱强度进行空间插值, 分析不同生长季节干旱发生次数和不同强度干旱的空间分布特征.

表 1 不同作物类型生长时段及代表作物

作物类型	作物生长时段	代表作物	可能遭受的干旱
春播夏收农作物	3—7 月	春玉米、烤烟	春旱、夏旱、伏旱
春播秋收农作物	4—10 月	水稻、大豆、花生	春旱、夏旱、伏旱、秋旱
夏播秋收农作物	6—9 月	高粱、夏玉米	夏旱、伏旱
越冬农作物	10—次年 5 月	小麦、油菜、土豆	秋旱、冬旱、春旱

2 结果与分析

根据气象站日降水资料, 结合不同作物水分临界期^[22], 统计并计算出 1960—2013 年重庆市不同作物生长季年均干旱发生次数(图 1)和不同农作物生长季年均干旱频次空间分布(图 2).

2.1 春播夏收农作物生长季干旱时空分布规律

2.1.1 春播夏收农作物生长季干旱次数的时间变化规律

重庆市春播夏收农作物生长季干旱次数的年变化如图 1a. 在研究时段内平均每年发生干旱 0.91 次/站, 其中发生次数最多的是 1969 年 1.91 次/站, 干旱发生次数最少的是 1996 年 0.09 次/站, 这反映出春播夏收农作物生长季干旱次数具有显著的年际变化. 春播夏收农作物生长季干旱长期变化具有明显的阶段性和周期性. 1961—1975 年干旱次数较多, 平均每年发生干旱 1.03 次/站; 1976—2000 年干旱发生次数较

少,平均每年发生干旱 0.76 次/站;2001—2013 年干旱发生次数较多,平均每年发生干旱 1.06 次/站.小波分析表明春播夏收农作物干旱具有 18 年,10 年和 3 年的周期变化.

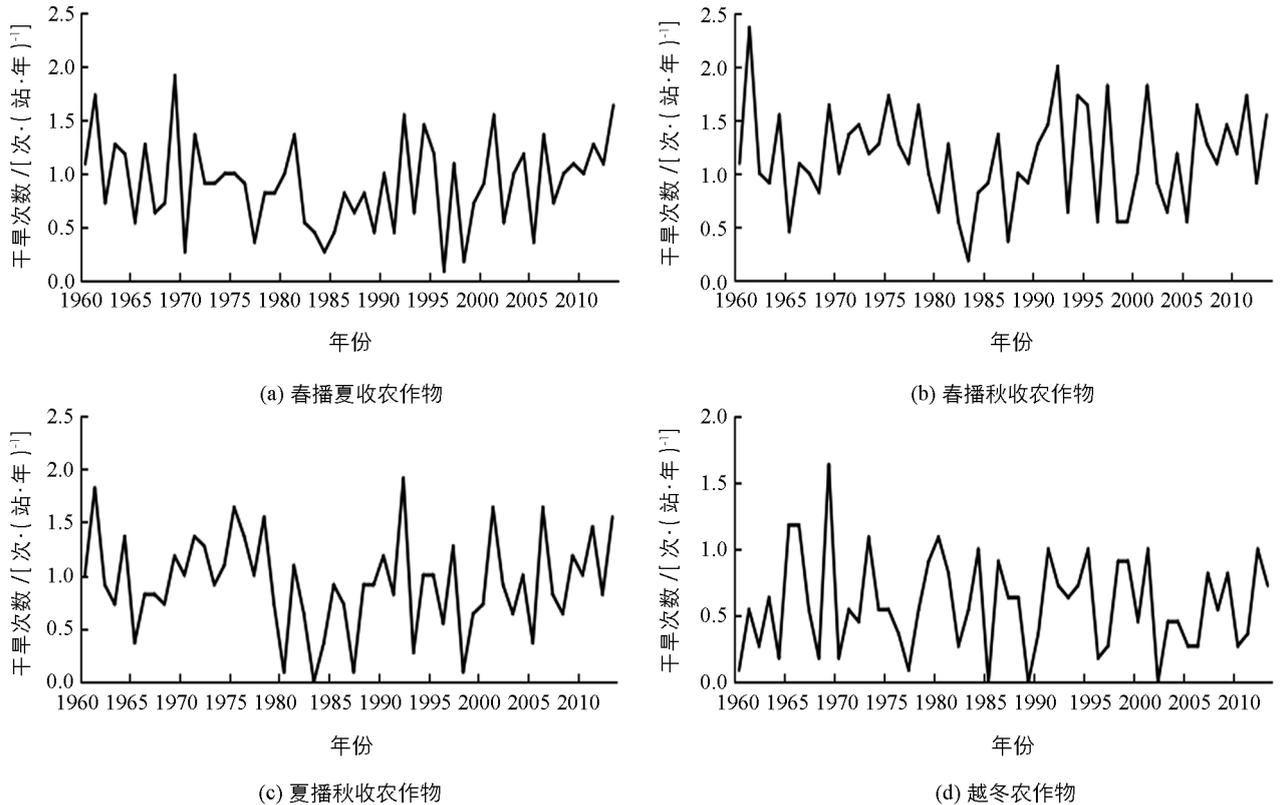


图1 重庆市不同农作物生长季干旱次数的年变化

2.1.2 春播夏收农作物生长季干旱次数的空间变化规律

重庆市春播夏收农作物生长季干旱年均次数空间分布如图 2a,总体上呈西高东低的空间分布特征.渝西部的大足区、合川区、江津区、潼南区、铜梁区、荣昌区、永川区以及沙坪坝区等为干旱高发区,平均每年发生 1.1~1.3 次干旱;梁平县、万州区、酉阳县、开县、秀山县、忠县、石柱县等地区为干旱低发区,平均每年发生 0.6~0.8 次干旱;其余区县平均每年发生 0.9~1.0 次干旱.

从大气环流异常方面来说:春末夏初,暖湿的夏季风逐渐影响本区,区域内年际间雨季开始日期早晚不一,雨季开始时间比较早且雨量大的年份,则夏旱影响不明显;反之,夏旱影响较大.初夏时节,长江中下游受准静止锋影响形成“梅雨”,而重庆在“梅雨”带西端,降水受到一定影响^[23].

春旱发生的频率和强度与春季偏南暖湿气流到达、雨季开始时间的早晚密切相关.重庆市各地雨季开始的时间有较大的差异,渝东南地区雨季开始早,渝西部地区开始晚.渝东南地区是重庆市春雨开始最早的地区,4 月上旬就进入雨季,且雨量较大、年际变化较小,因而该地区春旱和夏旱的频率为全市最低.而渝西部地区 5 月上中旬才进入雨季,且春季雨量较小、年际变化较大,因而渝西部地区为全市春旱频率最高的地区.

2.1.3 春播夏收农作物生长季干旱强度的时间变化规律

春播夏收农作物生长季干旱强度发生频率见表 2.由表 2 可以看出,各级干旱强度变化具有明显的阶段性.轻旱、中旱和重旱的时间变化相似,都是 1961—1975 年和 2001—2013 年,3 个等级干旱的发生频率高,1976—2000 年的发生频率低.从 1961—2013 年特重旱发生频率逐渐增加,与 1961—1975 年相比,2001—2013 年特重旱的发生频率增加了 3.22 个百分点,这表明进入 21 世纪后,重庆市春播夏收季不仅干旱发生次数在增加,干旱的强度也在增加,干旱对农作物的危害增强.

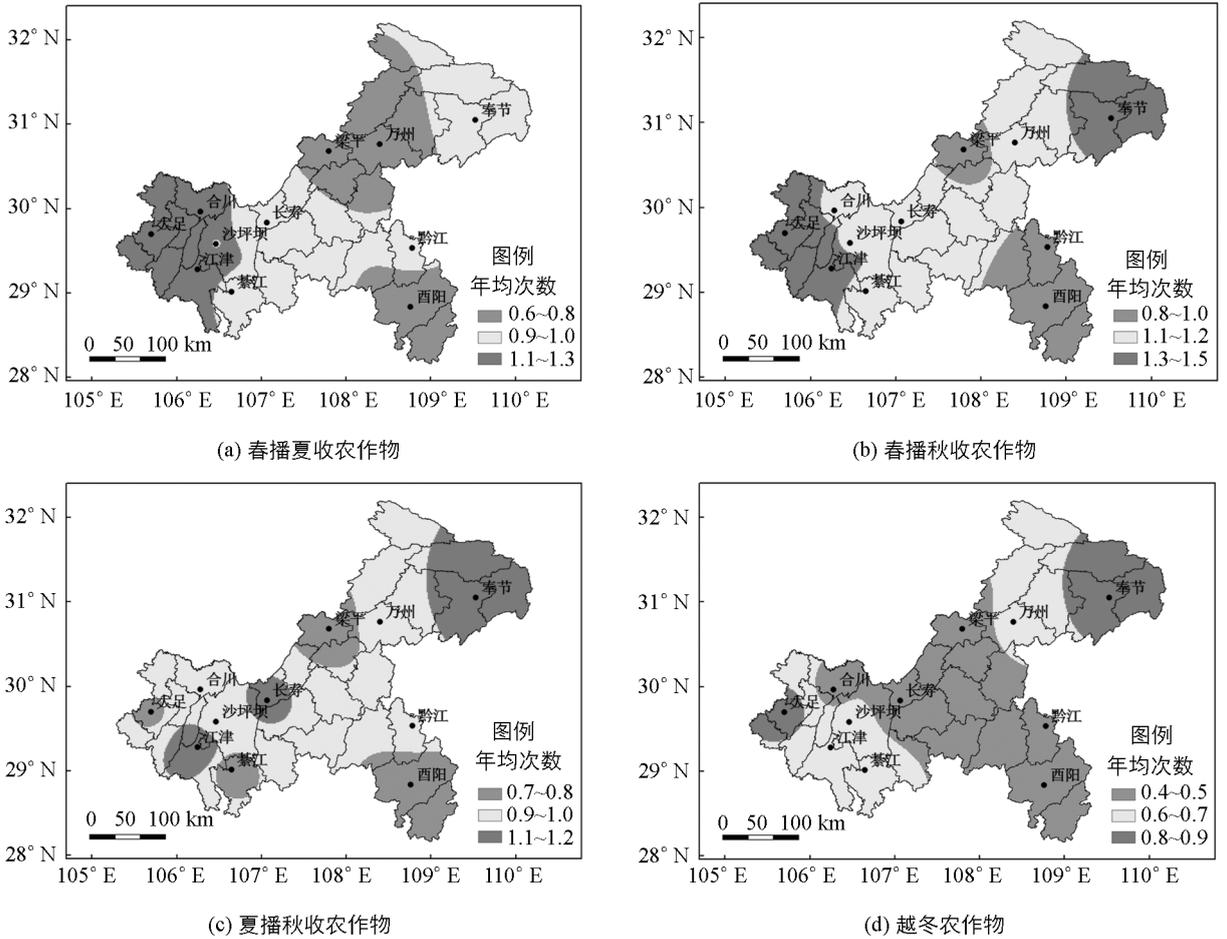


图 2 重庆市不同农作物生长季年均干旱次数空间分布

2.1.4 春播夏收农作物生长季干旱强度的空间分布规律

重庆市春播夏收农作物生长季干旱强度的空间分布如图 3。

轻旱、中旱和重旱的空间分布基本相似，总体上呈西高东低的空间分布特征(图 3a,图 3b,图 3c)。潼南区、永川区和江津区等地为干旱高发区；梁平县和万州区以及西阳县、秀山县等地为干旱低发区。

特重旱：总体上呈中间高四周低的空间分布特征(图 3d)。合川区、长寿区、垫江县以及涪陵区等地为特重旱高发区；江津区、綦江区、万州区、奉节县等地区为特重旱低发区。

表 2 重庆市春播夏收农作物生长季干旱强度发生频率

时段	轻旱/%	中旱/%	重旱/%	特重旱/%
1961—1975 年	68.48	19.39	7.88	7.27
1976—2000 年	47.64	13.45	7.27	7.64
2001—2013 年	64.34	21.68	9.79	10.49

2.2 春播秋收农作物生长季干旱时空分布规律

2.2.1 春播秋收农作物生长季干旱次数的时间变化规律

重庆市春播秋收农作物生长季干旱次数的年变化如图 1b。春播秋收农作物生长季干旱发生次数年际波动变化较大，在研究时段内平均每年发生 1.15 次干旱，其中干旱发生次数最多的是 1961 年 2.36 次/站，干旱发生次数最少的是 1983 年 0.18 次/站。春播秋收农作物生长季干旱长期变化具有阶段性和周期性。1961—1979 年干旱发生次数较多，平均每年发生干旱 1.25 次/站；1980—1989 年干旱发生次数较少，平均每年发生干旱 0.8 次/站；1990—2013 年干旱发生次数较多，平均每年发生干旱 1.21 次/站。小波分析表明

春播秋收农作物生长季干旱具有3年和18年的周期变化。

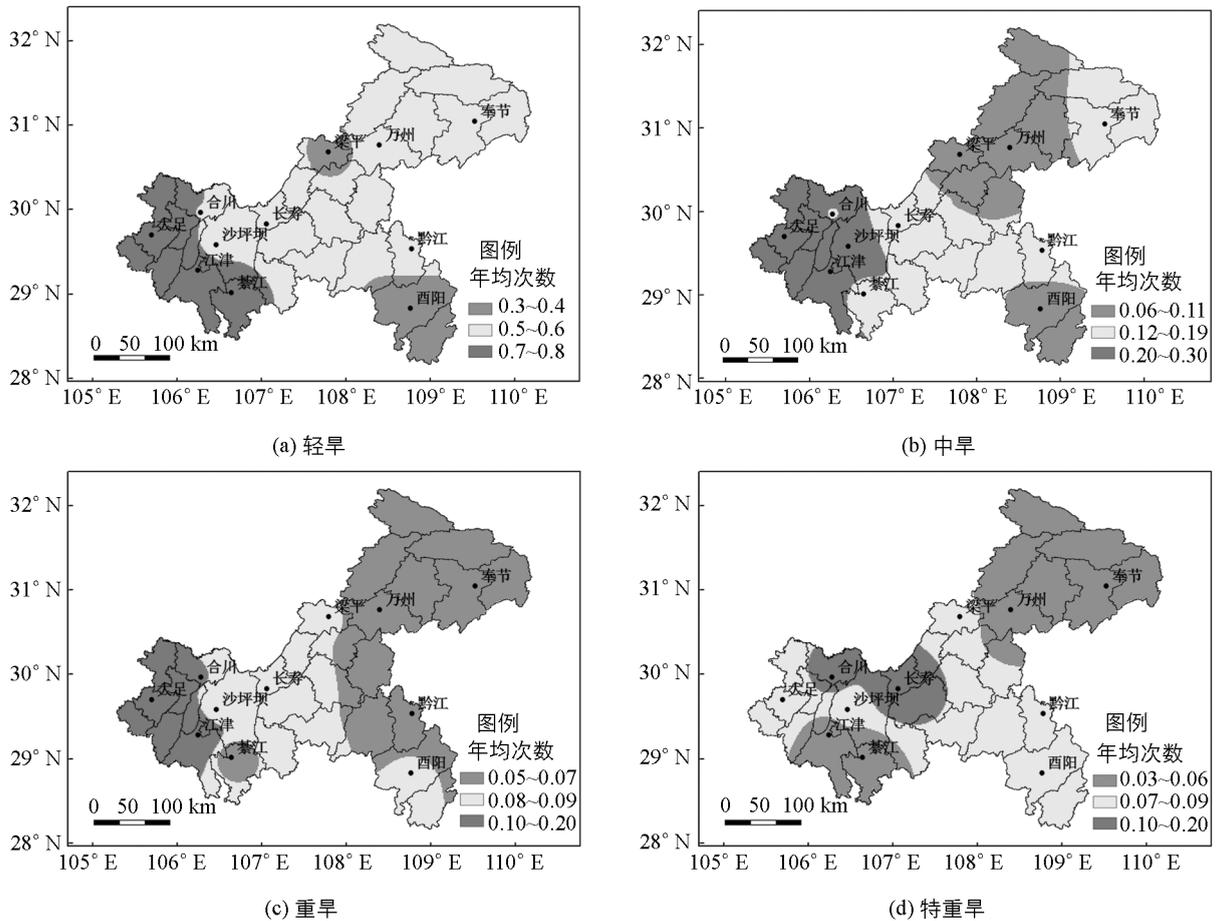


图3 重庆市春播夏收农作物生长季干旱强度空间分布

2.2.2 春播秋收农作物生长季干旱次数的空间分布规律

重庆市春播秋收农作物生长季干旱年均次数空间分布如图2b,总体上呈东西高中间低的空间分布特征。渝西部的大足区、江津区、潼南区、铜梁区、荣昌区、永川区和渝东北部的奉节县、巫山县以及巫溪县等地为干旱高发区,平均每年发生1.3~1.5次干旱;梁平县、黔江区、酉阳县、秀山县、彭水县以及忠县等地为干旱低发区,平均每年发生0.8~1.0次干旱;合川区、沙坪坝区、綦江区和长寿区等地平均每年发生1.1~1.2次干旱。

盛夏的7月和8月重庆地区受副热带高压控制,盛行下沉气流,气温高、空气干燥,易形成伏旱。若青藏高原中心东移,与副热带高压叠加,则会加剧伏旱强度和持续时间。2006年重庆百年不遇的严重伏旱就是典型例子。地形在一定程度上影响伏旱强度和频率的空间分布。宏观上,重庆市地貌属于四川盆地的一部分,夏季越过大娄山进入盆地的气流下沉,阐述焚风效应,加之盆地地形闭塞,热量不易扩散,对伏旱起加强作用。这种效应在长江、嘉陵江和綦江等河谷地区尤为显著,使这些地区容易成为重庆市的伏旱中心。

2.2.3 春播秋收农作物生长季干旱强度的时间变化规律

重庆市春播秋收农作物生长季干旱强度等级发生频率见表3。由表3可以看出,重庆市春播秋收农作物生长季干旱强度变化具有阶段性。1961—1979年和1990—2013年各级干旱强度的发生频率都较高;1980—1989年没有发生过特重旱,轻旱、中旱和重旱的发生频率明显低于其他两个时段。20世纪90年代以来,轻旱和中旱的发生频率有所降低,而重旱和特重旱发生频率上升,干旱强度增大,对农作物的影响不断增大。

表 3 重庆市春播秋收农作物生长季干旱强度发生频率

时 段	轻旱/%	中旱/%	重旱/%	特重旱/%
1961—1979 年	78.47	27.27	9.09	10.53
1980—1989 年	61.82	15.45	2.73	0
1990—2013 年	68.94	25.76	14.39	12.12

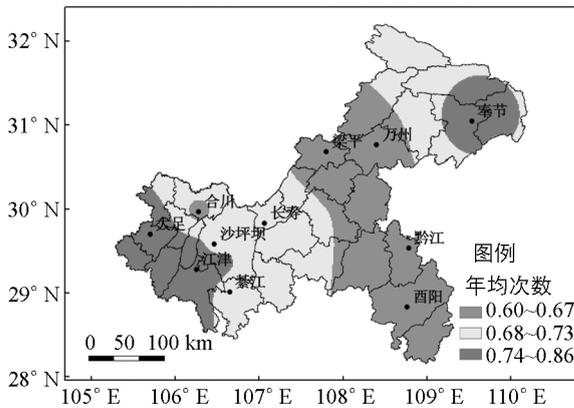
2.2.4 春播秋收农作物生长季干旱强度的空间分布规律

重庆市春播秋收农作物生长季干旱强度空间分布如图 4。

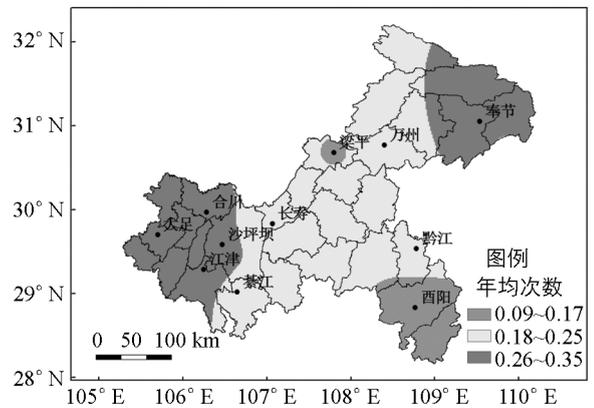
轻旱和中旱的空间分布基本相似：总体上呈东西高中间低的空间分布特征(图 4a,图 4b)。渝东北部的奉节县、巫溪县和巫山县,渝西部的大足区、永川区、江津区、铜梁区、潼南区、荣昌区等地为干旱高发区;梁平县、酉阳县和秀山县为干旱低发区。

重旱：总体上呈西高东低的空间分布特征(图 4c)。大足区、江津区、荣昌区、永川区、潼南区、铜梁县等地为重旱频发区;长寿区、梁平县、黔江区和酉阳县等地为重旱低发区。

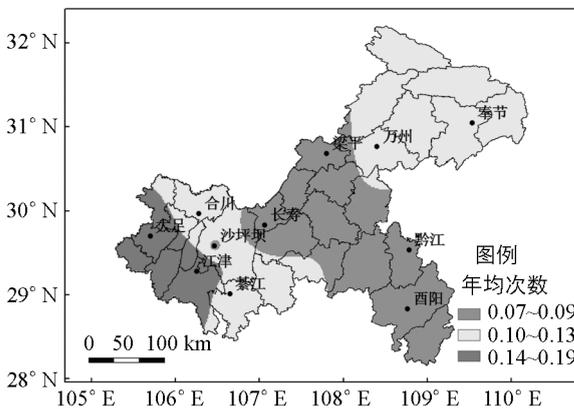
特重旱：总体上呈中间高四周低的空间分布特征(图 4d)。合川区、长寿区、涪陵区等地为特重旱频发区;江津区、綦江区等地为特重旱低发区。



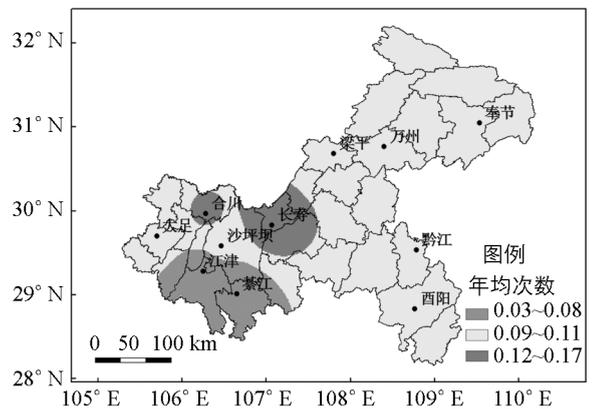
(a) 轻旱



(b) 中旱



(c) 重旱



(d) 特重旱

图 4 重庆市春播秋收农作物生长季干旱强度空间分布

2.3 夏播秋收农作物生长季干旱时空分布规律

2.3.1 夏播秋收农作物生长季干旱次数的时间变化规律

重庆市夏播秋收农作物生长季干旱次数的年变化如图 1c。夏播秋收农作物干旱发生次数年际变化较大,在研究时段内平均每年发生 0.93 次干旱,其中干旱发生频次最多的是 1992 年 1.91 次/站,干旱发生

频次最少的是1998年0.09次/站.夏播秋收农作物干旱长期变化具有阶段性和周期性.1961—1978年干旱发生次数较多,平均每年发生1.10次/站;1979—1993年干旱发生次数较少,平均每年发生0.70次/站;1994—2013年干旱发生次数较多,平均每年发生0.94次/站.小波分析表明夏播秋收农作物生长季干旱具有3年和18年的周期变化.

2.3.2 夏播秋收农作物生长季干旱次数的空间分布规律

重庆市夏播秋收农作物生长季干旱年均次数空间分布如图2c,总体上呈渝东北地区 and 渝西南地区高、中部低的空间分布特征.渝西地区江津区、永川区、璧山区、长寿区和渝东北奉节县、巫山县、巫溪县等地为干旱高发区,平均每年发生1.1~1.2次干旱;大足区、綦江区、梁平县和酉阳县、秀山县等地为干旱低发区,平均每年发生0.7~0.8次干旱;合川区、沙坪坝区、万州区和黔江区等地平均每年发生0.9~1.0次干旱.

2.3.3 夏播秋收农作物生长季干旱强度的时间变化规律

重庆市夏播秋收农作物生长季干旱强度等级发生频率见表4.由表4可以看出,重庆市夏播秋收农作物生长季各级干旱强度的发生频率有明显的时间差异.1961—1978年各级干旱强度发生频率都较高,是干旱最重的时期.1979—1993年是干旱最轻的时期,各级干旱强度发生频率最小.1994—2013年各级干旱强度发生频率都较1979—1993年有所增加,但干旱程度不及1961—1978年.

表4 重庆市夏播秋收农作物生长季干旱强度发生频率

时段	轻旱/%	中旱/%	重旱/%	特重旱/%
1961—1978年	65.15	27.27	7.07	11.11
1979—1993年	49.09	10.30	5.45	6.06
1994—2013年	50.45	21.36	13.18	9.55

2.3.4 夏播秋收农作物生长季干旱强度的空间分布规律

重庆市夏播秋收农作物生长季干旱强度的空间分布规律如图5.

轻旱:总体上呈东高西低的空间分布特征(图5a).奉节县、黔江区和长寿区等地为轻旱频发区;大足区、合川区、沙坪坝区、梁平县等地为轻旱低发区.

中旱:总体上呈东西高中间低的空间分布特征(图5b).渝东北部的奉节县、巫山县、巫溪县和渝西部的大足区、合川区、江津区等地为中旱频发区;梁平县、酉阳县等地为中旱低发区.

重旱:总体上呈渝东北和渝西南地区高中部低的空间分布特征(图5c).万州区、奉节县、沙坪坝区和江津区等地为重旱频发区;大足区、长寿区、梁平县、黔江区、酉阳县等地为重旱低发区.

特重旱:合川区、渝北区、长寿区和涪陵区为特重旱的高发区,由此往外逐渐降低(图5d).合川区、长寿区和涪陵区等地为特重旱频发区;江津区、綦江区、万州区、奉节县等地为特重旱低发区.

2.4 越冬农作物生长季干旱时空分布规律

2.4.1 越冬农作物生长季干旱次数的时间变化规律

重庆市越冬农作物生长季干旱次数的年变化如图1d.越冬农作物生长季干旱发生次数年际变化较大,在研究时段内平均每年发生0.6次干旱,其中干旱发生次数最多的是1969年1.64次/站,干旱发生次数最少的是1985年,1989年和2002年的0次/站.越冬农作物生长季干旱长期变化具有阶段性和周期性.1961—1973年干旱发生次数较多,平均每年发生干旱0.66次/站;1974—1990年干旱发生次数较少,平均每年发生干旱0.54次/站;1991—2013年干旱发生次数较多,平均每年发生干旱0.60次/站.小波分析表明越冬农作物生长季干旱有3年,7年和15年的周期变化.

2.4.2 越冬农作物生长季干旱次数的空间分布规律

重庆市越冬农作物生长季干旱平均次数空间分布如图2d,总体上呈东西高中间低的空间分布特征.渝

西地区的大足区、荣昌区和渝东北的奉节县、巫山县、巫溪县等地为干旱高发区, 平均每年发生 0.8~0.9 次干旱; 长寿区、梁平县、黔江区和酉阳县等地为干旱低发区, 平均每年发生 0.4~0.5 次干旱; 其余地区平均每年发生 0.6~0.7 次干旱。

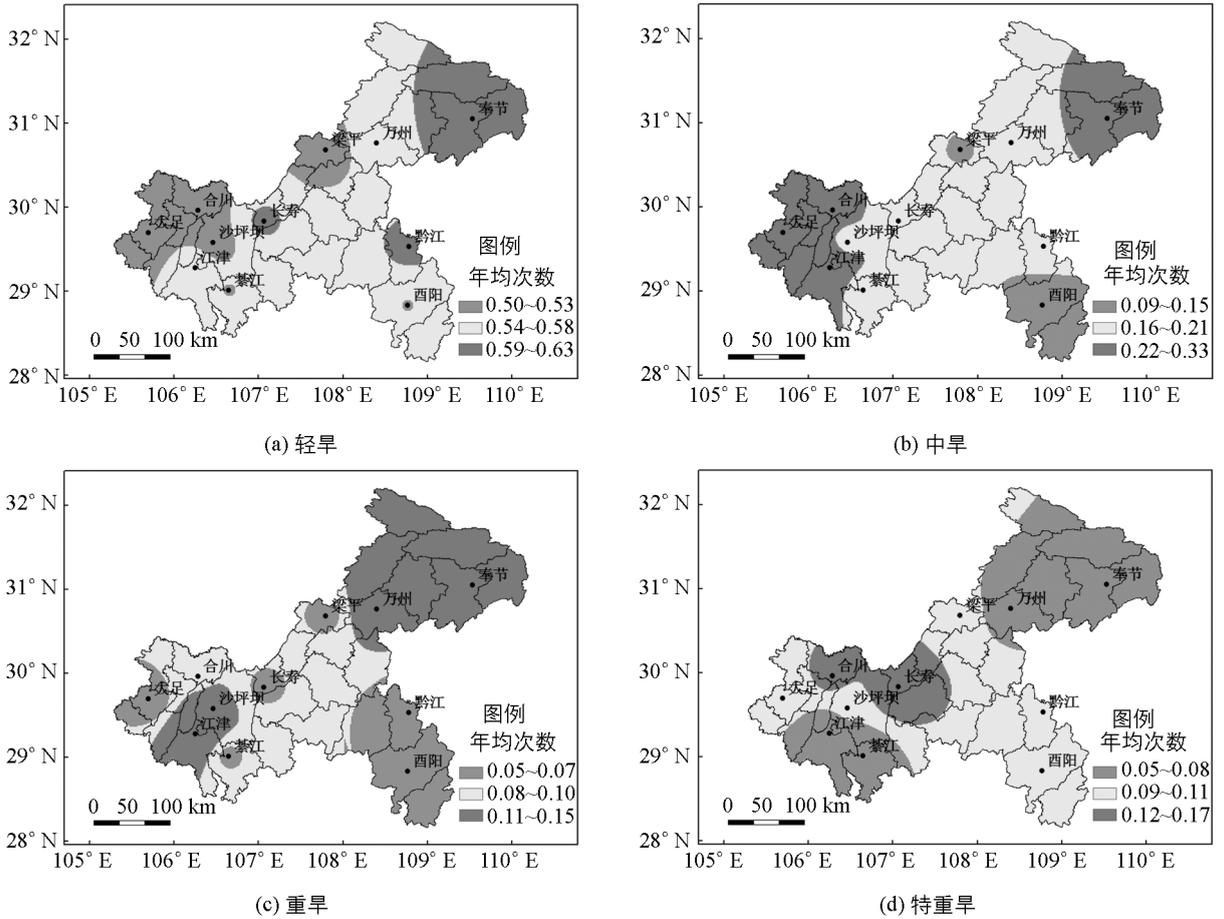


图 5 重庆市夏播秋收农作物生长季干旱强度空间分布

2.4.3 越冬农作物生长季干旱强度的时间变化规律

重庆市越冬农作物生长季干旱强度等级发生频率见表 5。由表 5 可以看出, 重庆市越冬农作物生长季各级干旱强度变化有阶段性。1974—1990 年轻旱、中旱和重旱的发生频率明显低于其他两个时段, 重旱发生频率最高; 1961—1973 年轻旱和特重旱发生频率是 3 个时段里最高的; 20 世纪 90 年代以来, 中旱发生频率上升, 轻旱、重旱和特重旱发生频率有所降低, 干旱强度相对 1961—1973 年减小。

表 5 重庆市越冬农作物生长季干旱强度发生频率

时段	轻旱/%	中旱/%	重旱/%	特重旱/%
1961—1973 年	52.45	9.79	2.10	1.40
1974—1990 年	43.85	8.02	2.14	0.53
1991—2013 年	45.06	12.65	1.98	0.40

2.4.4 越冬农作物生长季干旱强度的空间分布规律

重庆市越冬农作物生长季干旱强度的空间分布规律见图 6。

轻旱、中旱、重旱空间分布基本相似: 总体呈东西高、中间低的空间分布特征(图 6a, 图 6b, 图 6c)。渝西部大足区和荣昌区, 渝东北的奉节县、巫山县、巫溪县等地是 3 种强度干旱频发区; 长寿区、梁平县、黔江区、酉阳县等地为干旱低发区。

特重旱: 总体呈东高西低的空间分布特征(图 6d). 奉节县、巫山县和巫溪县等地为特重旱高发区; 其余地区为特重旱低发区.

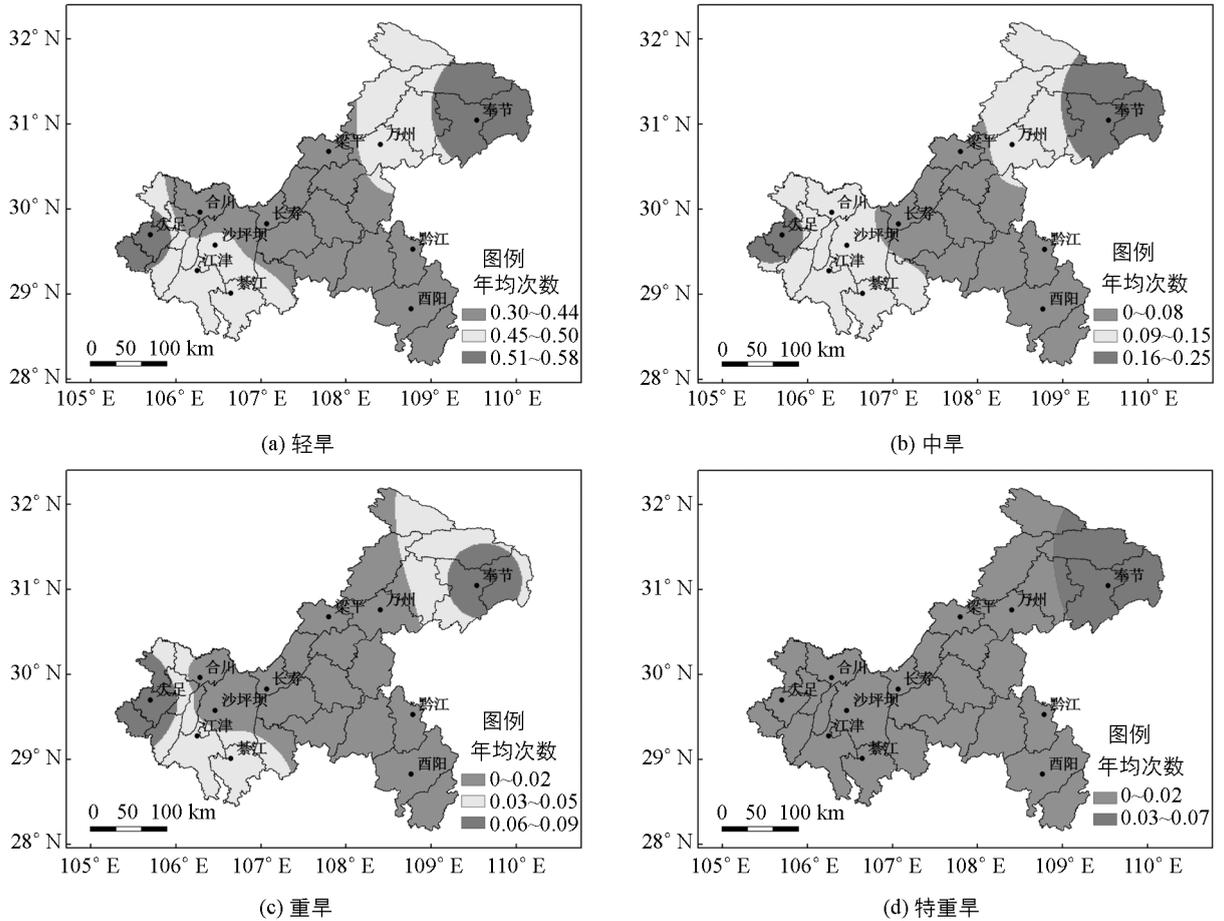


图 6 重庆市越冬农作物生长季干旱强度的空间分布

3 讨论与结论

本文根据重庆市地方干旱标准, 选取日降水量作为评价指标, 从时空尺度分析了重庆市不同农作物生长季干旱的规律, 为农作物的合理布局和种植季节调整提供一定依据. 得出以下主要结论:

3.1 时间规律

首先, 不同农作物生长季节的干旱发生次数差异明显, 春播秋收农作物生长季干旱发生次数最高, 对农作物生长影响最大; 越冬农作物生长季干旱发生次数最少. 其次, 研究时段内干旱长期变化具有明显的阶段性, 20 世纪 60—70 年代干旱发生次数较多, 20 世纪 80 年代干旱发生次数较少, 20 世纪 90 年代至 21 世纪 10 年代干旱发生次数较多. 从旱灾强度来看, 轻旱在整个干旱中所占比重最大, 发生次数最多, 强度小, 持续时间较短, 对农作物生长影响小, 重旱和特重旱虽然发生次数相对少, 但是干旱强度大, 持续时间长, 对农作物造成损失较大, 近 10 年来重旱、特重旱发生频率呈上升趋势.

3.2 空间规律

春播夏收和春播秋收农作物生长季干旱主要发生在渝西部地区, 但春播秋收干旱影响的地区范围更广; 夏播秋收农作物旱灾高发区在中西部地区; 越冬农作物旱灾频发区在渝东北部的奉节县、巫山县和巫溪县等地以及渝西部的大足区、荣昌区等地. 从旱灾强度来看, 轻旱主要发生在渝东南地区; 中旱主要发生在渝西南和渝东北地区; 重旱主要发生在渝西南地区, 特重旱主要发生在中部地区.

总体上讲, 渝西地区旱灾发生频率较高, 其次是渝东北地区 and 中部地区, 渝东南旱灾发生频率相对较

低. 根据以上结论, 在不同区域依据不同时间段发生旱灾的频率和强度, 制定相应的防旱抗灾措施.

本文研究结论与实际情况相符, 具有较高的可信度. 干旱是重庆市的主要自然灾害, 学者们采用相对湿润指数^[24]、标准化降水指数^[25]和 Z 指数^[26]等不同的干旱指标对重庆市的干旱进行了广泛而深入的研究. 本文与上述研究成果相比, 揭示出的重庆市干旱空间分布规律——渝东北地区 and 渝西地区干旱严重、渝东南地区干旱较轻的结论基本一致. 但得出的不同季节干旱频率和强度与文献[24]和文献[25]等得出的结论不同, 究其原因主要是对干旱季节划分、采用的干旱指标和气象数据的时间标度等不同所致. 哪一种干旱指标更适合重庆干旱研究有待作专门的研究. 本文未考虑温度、海拔和地形等因素以及当地抗旱保水能力对干旱发生的影响, 在以后研究中, 应对相关指标体系进行进一步完善.

参考文献:

- [1] WANG Jing-ai, SU Yun. Vulnerability Identification and Assessment of Agriculture Drought Disaster in China [J]. *Advances in Earth Science*, 2006, 21(2): 161–169.
- [2] 房世波, 阳晶晶, 周广胜. 30 年来我国农业气象灾害变化趋势和分布特征 [J]. *自然灾害学报*, 2011, 20(5): 69–73.
- [3] IPCC. *Climate Change 2007: the Physical Science Basis, Summary for Policy Makers* [R]. Paris: IPCC WGI Fourth Report, 2007: 195–199.
- [4] IPCC. Working Group I Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report, *Climate Change 2013: the Physical Science Basis, Summary for Policymakers* [R/OL]. [2013–10–28]. [Http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf](http://www.climatechange2013.org/images/uploads/WGIAR5-SPM_Approved27Sep2013.pdf).
- [5] Qiu J. China Drought Highlights Future Climate Threats [J]. *Nature*, 2010, 465(7295): 142–143.
- [6] LOBELL D B, ROBERTS M J, SCHLENKER W S, et al. Greater Sensitivity to Drought Accompanies Maize Yield Increase in the U. S. Midwest [J]. *Science*, 2014, 344(6183): 516–519.
- [7] 耿秀华, 王连喜. 宁夏农业干旱风险评价及区划 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2012.
- [8] 蔡菁菁, 王春乙, 张继权. 东北地区玉米不同生长阶段干旱冷害危险性评价 [J]. *气象学报*, 2013, 71(5): 976–986.
- [9] 霍治国, 李世奎, 王素艳, 等. 主要农业气象灾害风险评估技术及其应用研究 [J]. *自然资源学报*, 2003, 18(6): 692–703.
- [10] 黄晚华, 杨晓光, 李茂松, 等. 基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近 58 a 演变特征 [J]. *农业工程学报*, 2010, 26(7): 50–59.
- [11] 黄晚华, 杨晓光, 曲辉辉, 等. 基于作物水分亏缺指数的春玉米季节性干旱时空特征分析 [J]. *农业工程学报*, 2009, 25(8): 28–34.
- [12] 徐新创, 葛全胜, 郑景云, 等. 区域农业干旱风险评估研究——以中国西南地区为例 [J]. *地理科学进展*, 2011, 30(7): 883–890.
- [13] 黄晚华, 隋月, 杨晓光, 等. 基于连续无有效降水日数指标的中国南方干旱时空特征 [J]. *农业工程学报*, 2014, 30(4): 125–135.
- [14] 王龙, 徐刚. 基于“综合赋权”复合模糊物元的重庆市综合灾害模糊风险评价 [J]. *山地学报*, 2015, 33(3): 356–364.
- [15] 桑琰云, 徐刚. 重庆市旱灾及其经济损失研究——重庆市 2001 年旱灾为例 [D]. 重庆: 西南大学, 2004.
- [16] 温克刚. 中国气象灾害大典. 重庆卷 [M]. 北京: 气象出版社, 2008: 14.
- [17] 盛巧玲, 徐刚, 王新才. 基于 GIS 的重庆市伏旱风险性分析 [J]. *四川师范大学学报(自然科学版)*, 2010, 33(3): 388–392.
- [18] 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.
- [19] 李泽明, 陈皎, 董新宁. 重庆 2011 年和 2006 年夏季严重干旱及环流特征的对比分析 [J]. *西南大学学报(自然科学版)*, 2014, 36(8): 113–122.
- [20] 刘德, 张亚萍, 陈贵川, 等. 重庆市天气预报技术手册 [M]. 北京: 气象出版社, 2012: 244.

- [21] 王文圣,丁 晶,李跃清. 水文小波分析 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005: 138—141.
- [22] 全国气象防灾减灾标准化技术委员会. 农业干旱等级: GB/T 32136—2015 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2015: 26—29.
- [23] 陈 欢,王式功,李永华,等. 重庆市夏季极端旱涝成因分析 [J]. 西南大学学报(自然科学版), 2014, 36(1): 120—128.
- [24] 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.
- [25] 赵 伟,张 宇,张智红. 1981—2010年重庆地区季节性干旱时空变化特征分析 [J]. 水土保持研究, 2016, 23(3): 192—199.
- [26] 李永华,毛文书,高阳华,等. 重庆区域旱涝指标及其变化特征分析 [J]. 气象科学, 2006, 26(6): 638—644.

Research of the Temporal and Spatial Distribution of Drought During the Crop Growing Season in Chongqing

ZHOU Ting-ting¹, XU Gang^{1,2}, BAI Ji-heng¹, ZHAO Zhi-jun¹

1. School of Geographical Sciences, Southwest University, Chongqing 400715, China;

2. Key Laboratory of Eco-Environments in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, Southwest University, Chongqing 400715, China

Abstract: In order to provide a scientific basis for crop layout in different regions and protection against drought and disaster avoidance in Chongqing, a study reported in this paper was made, in which frequency and intensity of drought occurring during the crop growing season were calculated, based on the daily precipitation data from 1960 to 2013 recorded at 11 national meteorological stations in Chongqing municipality and according to the Meteorological Disaster Standard in Chongqing, and mathematical statistical analysis, geostatistical analysis and wavelet analysis were used to study the temporal and spatial distribution of drought in the crop growing season in this municipality. The results revealed an obvious interdecadal variation in drought frequency and showed a periodic and cyclical feature of long-term changes of drought. In the recent 10 years, the frequency of high-intensity drought appeared to be on the rise. Drought in Chongqing occurred mainly in its southwestern, central and northeastern regions.

Key words: crop growing season; drought; temporal and spatial distribution; Chongqing municipality

责任编辑 周仁惠

