

基于相对湿润指数的重庆市 气象干旱时空分布特征^①

徐 羽^{1,2}, 吴艳飞¹, 徐 刚¹, 甘芬芳¹

1. 西南大学 地理科学学院, 重庆 400715; 2. 南京大学 地理与海洋科学学院, 南京 210097

摘要: 以重庆市 34 个气象站点 1960 年—2008 年的气温、降水、日照时数等气象因子为基础, 利用相对湿润指数法对重庆市各区域干旱发生频率、干旱强度、干旱站点比以及不同等级干旱时空分布特点进行探讨, 以揭示重庆市干旱时空分布规律. 结果表明: ① 重庆市年及四季干旱发生频率在空间上由大到小依次为渝东北、渝西以及渝东南, 四季中, 冬夏季高于春秋季节; ② 年及四季干旱发生强度在空间分布上有所不同, 且冬夏季强度较大; ③ 四季干旱站点比表现为冬季最高、夏春季次之, 秋季最低; ④ 重庆市各等级气象干旱发生次数在空间上差异显著, 四季总体表现为冬夏季高于春秋季节.

关键词: 气象干旱; 相对湿润指数; Arc GIS; 时空分布规律; 重庆市

中图分类号: P429

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2016)04-0096-08

近年来, 随着全球气候变暖, 中纬度地区出现了显著的气候暖干化特征^[1], 干旱问题日趋严重. 干旱分为气象、水文及农业干旱等, 其中气象干旱是指“某时段由于蒸发量和降水量的收支不平衡, 水分支出大于水分收入而造成水分短缺现象”^[2], 它是其他各类干旱发生的主要原因. 已有研究表明^[3-10], 中国各大区域的干湿化趋势有所不同, 且存在季节差异.

重庆市位于中国西南地区, 北接陕西, 东临湖南、湖北, 南抵贵州, 西、西北与四川省相连, 是我国第二、三阶梯的过渡地带, 地形以山地、丘陵为主, 北部、东部及南部分别为大巴山、巫山、武陵山、大娄山所环绕. 气候上属亚热带湿润季风气候, 热量丰富, 冬暖夏热, 春早秋短, 四季分明; 多云雾, 少日照, 蒸发量较小; 降水丰沛, 但季节分配不均. 20 世纪中期以来, 重庆市气候变化显著, 地表水分收支发生变化, 影响区域干旱发生的频率、范围和严重程度等. 季节上, 夏旱和冬旱较为严重, 且有逐步加强的趋势^[11-14]. 因此有必要对重庆市近年来的干旱状况进行深入研究.

目前气象干旱指标主要有: ① 单因素干旱指数法: 主要有降水量距平法、标准化降水指数、Z 指数以及土壤湿度干旱指数法等, 其主要特点是以单个降水量或湿度要素的时间变化作为评价干旱的唯一标准, 误差往往较大; ② 多要素综合干旱指数法: 包括土壤相对湿度干旱指数、帕尔默干旱指数和相对湿润指数^[15-17]等, 该方法主要以区域降水量和蒸发量之间的关系作为干旱衡量标准, 结果较为精确. 本文采用国家颁布的 GB/T 20481-2006《气象干旱等级》中推荐使用的相对湿润指数指标, 以月为步长, 从干旱频率、

① 收稿日期: 2015-03-08

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(41372177).

作者简介: 徐 羽(1989-), 男, 安徽寿县人, 硕士研究生, 主要从事自然地理学城市地貌与灾害地貌.

通信作者: 徐 刚, 教授, 硕士研究生导师.

干旱强度、干旱站点比以及不同等级干旱时空分布 4 个方面分析 1960 年—2008 年重庆市气象干旱时空分布特征, 以期为重庆市干旱监测、预警以及防灾减灾提供参考.

1 资料与方法

1.1 资料来源

本文涉及到的气象资料来源于重庆市气象局, 包括 1960 年—2008 年重庆市 34 个气象站点的逐日平均气温、最高气温、最低气温、日照时数、风速、气压、降水等气象要素实测资料.

1.2 相对湿润指数计算方法

相对湿润指数指区域地表水分的净收入与实际蒸发量的比值, 可以直观反映区域水分收支盈亏情况. 其值越小, 表明干旱越严重. 计算公式如下:

$$M = \frac{P - PE}{PE}$$

(1)

式中: M 表示相对湿润指数; P 表示某时段内的降水量(mm); PE 表示某时段内的实际蒸散量(mm). 由于实际蒸散量的计算较为困难, 因此以参考作物蒸散量替代. 参考作物蒸散量的计算采用 FAO(1998)推荐使用的 Penman-Monteith 公式计算^[18]:

$$ET_0 = \frac{0.408\Delta(R_n - G) + r \frac{900}{T + 273} u_2 (e_s - e_a)}{\Delta + r(1 + 0.34u_2)}$$

(2)

式中: ET_0 为某时段内的参考作物蒸散量(mm); Δ 为饱和水汽压曲线斜率(kPa/℃); R_n 为参考作物表层净辐射(MJ/(m² · d)); G 是土壤热通量密度(MJ/(m² · d)); r 为干湿表常数(kPa/℃); T 为平均气温(℃); u_2 为 2 米高度处风速(m/s); e_s 为饱和水汽压(kPa), e_a 为实际水汽压(kPa).

1.3 干旱过程的确定及等级划分

采用国家颁布的《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^[2]. 以月为单位, 当月相对湿润指数在−0.4 以下则记为 1 次干旱过程, 干旱等级和类型见表 1.

表 1 基于相对湿润指数的气象干旱等级划分

气象干旱等级	气象干旱类型	相对湿润指数
1	无旱	$-0.40 < M$
2	轻旱	$-0.65 < M \leq -0.40$
3	中旱	$-0.80 < M \leq -0.65$
4	重旱	$-0.95 < M \leq -0.80$
5	特旱	$M \leq -0.95$

注: M 表示相对湿润指数.

1.4 干旱特征分析指标

① 干旱频率. 用于评价干旱发生的频繁程度, 即实际有干旱发生的月数与不同时间尺度下的月份序列数之比. ② 干旱强度. 用于评价干旱的严重程度, 即各气象站点发生干旱时的相对湿润指数平均值, 值越小, 干旱强度越大. ③ 干旱站点比. 用于评价干旱的范围大小和严重程度, 即某时间段内干旱发生站点占全部站点的百分比.

2 结果分析

2.1 重庆市干旱发生频率

对重庆市 1960 年—2008 年干旱发生特征进行分析后发现(图 1): 重庆市年均干旱频率呈现出明

显的区域差异, 渝东北高于渝西及渝东南(图 1(a)). 其中, 渝东北位于巫山的背风坡, 空气相对湿度和降水量较低, 同时蒸发相对旺盛, 易造成干旱事件的发生, 其大部区域干旱频率在 20% 以上, 最高值为奉节县的 30.61%; 干旱频率较低的地区主要位于渝东南及渝西的东南部, 均不超过 10%, 该区域位于夏季风的迎风坡, 降水量较大, 同时蒸发量相对较小, 不易形成干旱; 全市其他大部分地区的干旱频率均介于 10%~20% 之间.

重庆市春旱发生频率较小(图 1(b)), 呈现出由渝东南向渝西北和渝东北 2 个方向逐渐递增的特征. 高频区出现在渝东北, 春旱发生频率多高于 16%, 其中奉节最高, 为 26.53%; 渝西北多数地区介于 12%~16% 之间, 全市其他区域介于 4%~12% 之间. 夏旱发生频率较春季有明显上升(图 1(c)), 主要与伏旱天气有关, 夏旱高频区仍位于渝东北, 大部分在 19% 以上; 北部部分地区及渝东南的干旱频率多在 15% 以下. 重庆市秋旱发生频率较夏季有所下降(图 1(d)). 渝东北秋旱频率较高, 多在 15% 以上; 低频区主要位于渝西的东南部及渝东南, 频率值介于 2.7%~11% 之间. 重庆市冬旱发生频率较其他季节都高(图 1(e)), 且高低值之间的差异最大, 呈现出由渝东北向渝东南和渝西递减的空间分布格局. 渝东北冬旱发生频率多在 20% 以上, 其中奉节、云阳等地甚至超过 30%; 渝东南和渝西地区普遍介于 6%~15% 之间.

2.2 重庆市干旱强度

计算重庆市各气象站点发生干旱时的相对湿润指数平均值可以得到平均干旱强度, 采用 ArcGIS 反距离权重空间插值法制作专题地图以反映其区域分异. 重庆市年均干旱强度与年均干旱频率的空间分布格局较为相似(图 2(a)), 即东高西低. 渝东北干旱强度较高, 其中奉节、巫山及巫溪干旱强度均在 -0.67 以上, 相当于中旱等级; 干旱强度较高的区域还包括“垫江—武隆”所在的中部区以及渝东南的酉阳; 渝西地区年均干旱强度较小.

春季平均干旱强度较其他季节低(图 2(b)), 空间上呈现出西高东低的格局. 渝西北的平均干旱强度多在 -0.576 以下, 渝东北偏西区域以及渝东南的平均干旱强度仅在 -0.559~-0.45 之间. 重庆市夏旱较为严重(图 2(c)), 这与长江流域的伏旱天气密不可分, 夏旱平均强度达到中旱等级的区域覆盖了重庆市中西部的大部分地区, 渝西的东南部以及渝东北的夏旱强度较轻. 秋季干旱强度的区域差异最为明显(图 2(d)), 呈现出显著的东高西低分布格局, 渝东北大部及渝东南的酉阳和秀山秋季平均干旱强度均在 -0.821~-0.674 之间, 相当于中旱或重旱等级, 渝西地区平均干旱强度较低, 均介于 -0.65~-0.501. 冬季平均干旱强度空间分布态势与秋季相似(图 2(e)). 乌江以西的整个渝西地区平均干旱强度均介于 -0.65~-0.60 之间, 且内部差异较小, 整个东部地区的冬旱平均强度均达到了中旱等级, 其中渝东北的奉节、巫溪和云阳地区的平均干旱强度均在 -0.710 以上.

2.3 重庆市干旱站点比

1960 年—2008 年重庆市年干旱气象站点比超过 90% 的年份共有 15 年, 分别是 1963 年、1966 年、1967 年、1969 年、1971 年、1972 年、1973 年、1976 年、1978 年、1981 年、1987 年、1990 年、1992 年、1998 年和 2006 年(图 3). 四季中, 夏季干旱站点比达 90% 的年份有 3 年, 分别是 1972 年、1990 年和 2006 年, 秋季有 1 年(1999 年); 冬季有 6 年, 分别是 1963 年、1966 年、1969 年、1972 年、1978 年和 1990 年; 春季没有. 有 2 个及以上季节干旱站点比超过 90% 的年份有 2 个, 分别是 1972 年和 1990 年. 可见, 1960 年—2008 年重庆市大范围干旱事件主要出现在 20 世纪六七十年代, 且主要集中在夏、冬季节.

由图 3(a)可知, 1960 年—2008 年重庆市年总干旱站点比介于 14.706%(1988 年)至 100%(1978 年)之间, 年际差异显著. 20 世纪 60 年代至 80 年代干旱站点比起伏变化较小, 进入 80 年代以后波动加剧, 且呈一定的下降趋势.

春季重庆市干旱站点比相对较低, 所有年份均不超过 73.53%(2003 年), 有 2 个年份没有出现春旱(1992 年、2002 年). 大覆盖率的干旱事件呈现出先下降后上升的趋势, 转折点为 20 世纪 90 年代. 夏季干旱发生范围较春季大, 干旱站点比达到 50% 以上的年份有 16 年, 超过 80% 的有 5 年, 最大值为 91.18%

(1973 年、1991 年、2007 年). 20 世纪 80 年代出现了一个明显的干旱少发期. 秋季干旱站点比总体而言比其他季节都要小, 只有 1966 年、1978 年和 1998 年干旱站点比超过 50%. 自 1998 年以后, 全市几乎没有出现过大规模的秋旱. 冬旱在重庆市发生范围最广, 近 49 年中有 34 年的干旱站点比达到 50% 以上, 冬季大范围干旱事件的波动趋势与年均干旱较为相似.

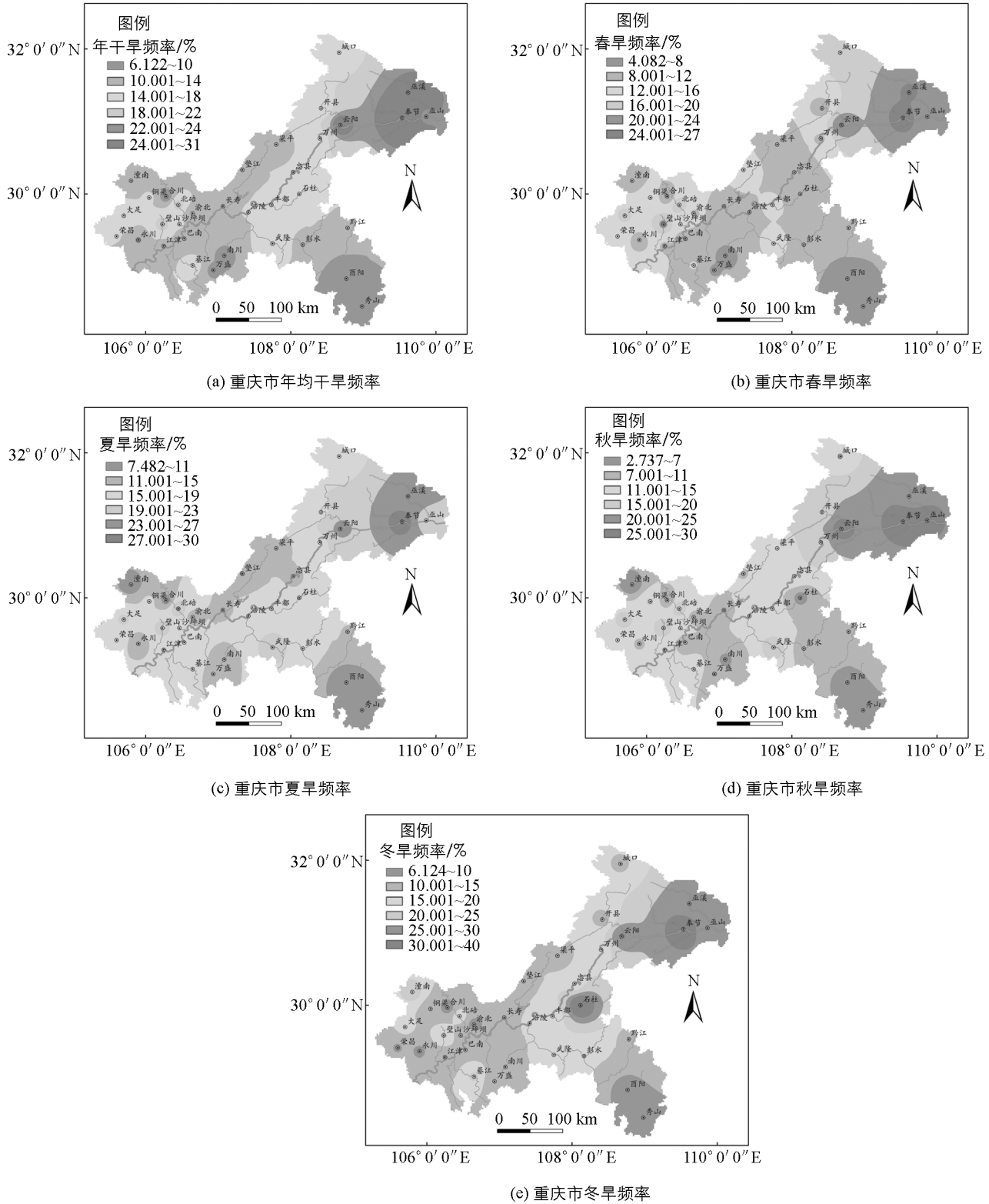


图 1 重庆市年均及四季干旱发生频率空间分布

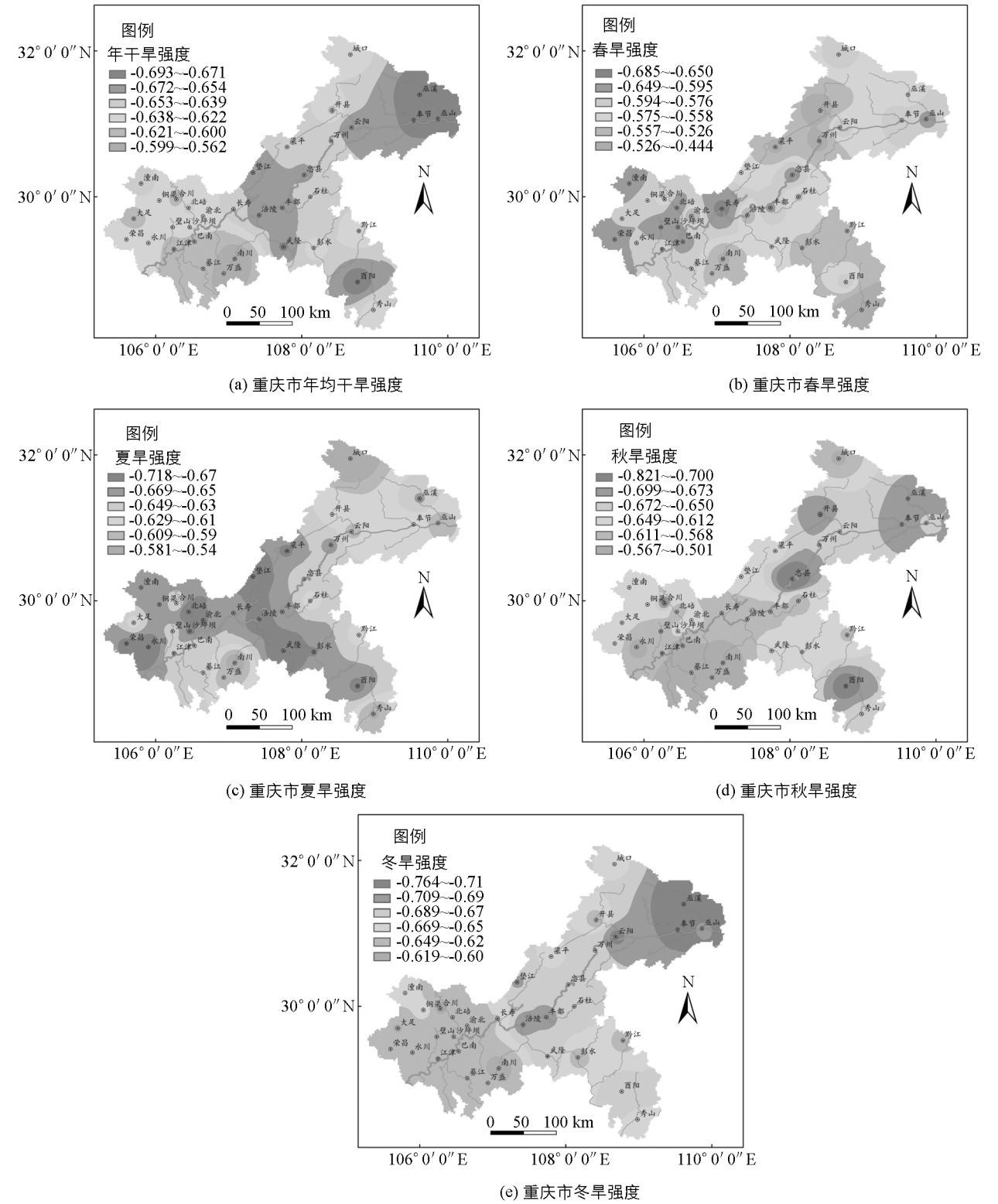


图 2 重庆市年均及四季干旱强度的空间分布

2.4 重庆市干旱发生等级

采用逐月各气象站点相对湿润指数值及不同等级相对湿润指数干旱指标对 1960 年—2008 年重庆市年及四季不同等级干旱出现的次数进行统计, 研究发现, 重庆市轻旱、中旱年均发生次数呈现出由渝东北向渝西和渝东南逐步递减的分布规律. 其中轻旱发生次数最多, 约占全年干旱次数的 44.85%~78.85%, 轻旱高发区主要集中在渝东北, 最高值为奉节的年均 1.71 次. 中旱发生次数仅次于轻旱, 约占全年的 9.59%

~28.17%，仅奉节年均中旱超过 1 次(1.04 次)。

重旱年均发生次数较高的区域仍集中于渝东北，其中奉节、巫溪、巫山等地均超过了 0.5 次；低值区集中在渝西，其中合川和渝北年均不足 0.1 次。重旱发生次数约占全年的 4.54%~23.86%。

特旱发生次数约占全年的 0%~9.42%。高值区集中在渝东北，云阳、奉节、巫溪、巫山年均值超过 0.2 次，相对低值区位于渝西，万盛、江津、大足等地，近 49 年仅出现过 1 次特旱，南川为 0 次。

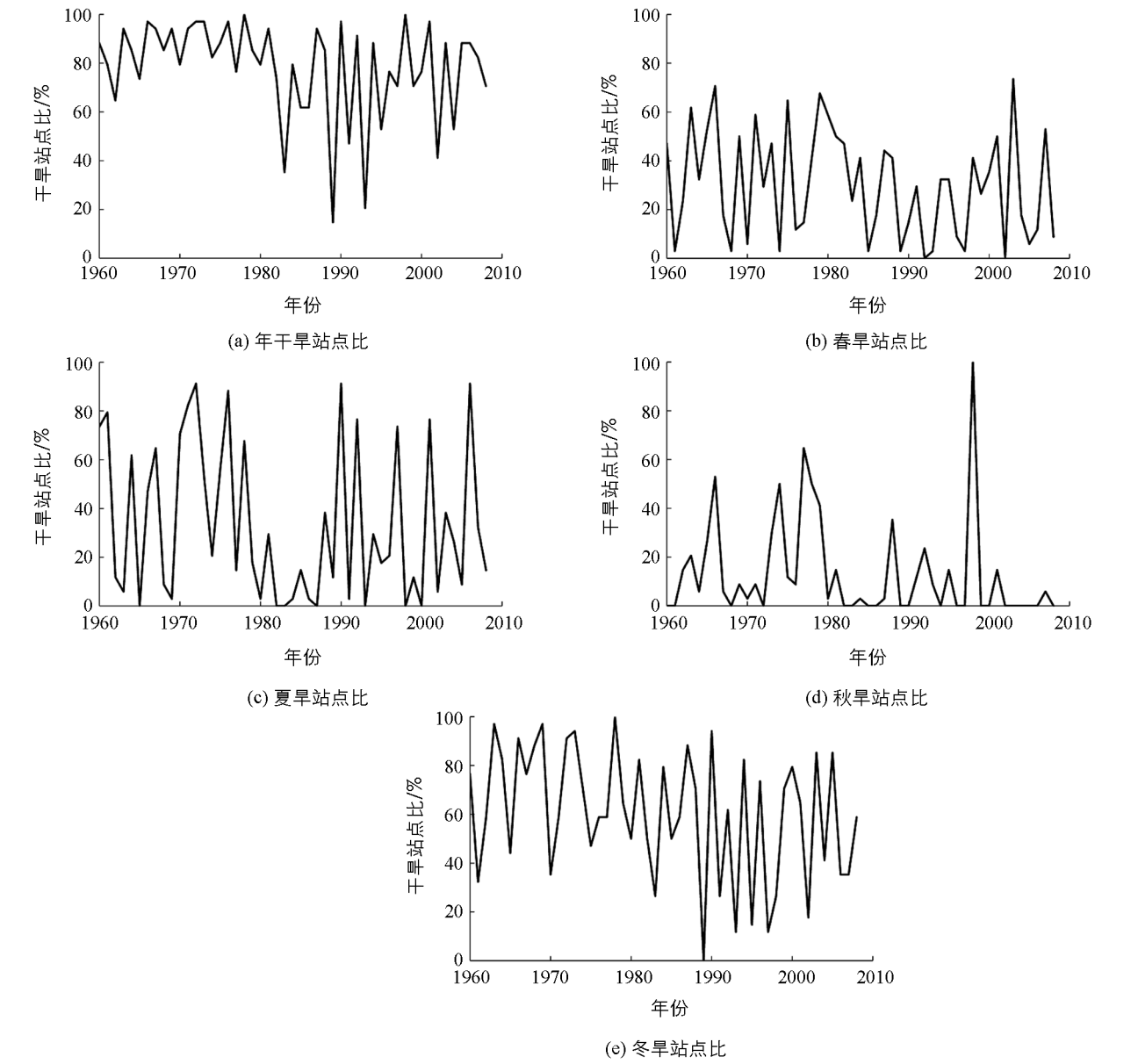


图 3 重庆市历年及四季干旱站点比的年际变化

分析 1960 年—2008 年重庆市不同等级干旱在各个季节的分布情况发现，重庆市春季轻旱、中旱与重旱发生次数在空间上具有相似性，发生次数最多的区域集中在渝东北，相对低值区出现在渝东南的酉阳、秀山等地。轻旱约占春旱次数的 45.45%~100%，中旱约占 0%~53.85%，重旱约占 0%~38.24%。重庆市特旱发生概率极小，近 49 年来仅出现 3 次，分别位于长寿、沙坪坝以及巫溪。

夏季轻旱约占夏旱总次数的 28.57%~83.33%，高发区位于渝东北，低发区位于渝东南和渝西北；中旱约占夏旱总次数的 5.56%~47.83%，相对低发区仍位于渝东南和渝西北，高发区则集中于渝西南；重旱约占夏旱的 0%~35.71%，高值区位于中部区域，低值区较为分散；夏季特旱多发，占夏旱的

0%~34.38%, 渝东北的巫山、奉节、云阳和巫溪等地年均夏季特旱超过 0.2 次, 渝西地区年均次数多在 0~0.02 之间。

秋季各等级干旱发生次数均最少, 轻旱、中旱、重旱和特旱分别占秋旱的 0%~20.41%, 0~18.37%, 0%~10.20% 以及 0%~6.12%。各级干旱的高发区均位于以奉节、巫山、巫溪等为中心的渝东北地区, 轻旱和中旱的低发区主要位于渝西北, 重旱和特旱则位于渝西南和中南部地区。

冬季各级干旱发生总次数在 4 个季节中是最多的, 轻、中、重、特旱分别占冬旱的 32.26%~72.73%, 5.56%~52.38%, 0%~38.71% 以及 0%~13.04%。轻旱、中旱以及重旱的相对高发区均位于渝东北, 低发区均位渝东南的秀山、酉阳以及渝西的合川、永川等地。冬季特旱较少, 所有区域年均发生次数均不超过 0.082(北碚)。

3 结论与讨论

- 1) 近 49 年来重庆市年均及四季的干旱发生频率均呈现出渝东北最高、渝西次之、渝东南最低的空间分布规律; 冬夏季干旱频率高于春秋季节; 年及四季干旱发生频率最高的地区均位于渝东北的奉节、云阳等地, 发生频率最低的地区均位于渝东南的酉阳、秀山等。
- 2) 年均及四季干旱发生强度在空间分布上有所不同, 其中年均及秋冬季均呈现出东高西低的分布格局, 春季则表现为西高东低, 夏季干旱强度高值区则位于中部区及渝西北, 低值区位于渝东南及渝西南; 冬、夏季干旱发生强度高于秋、春季。
- 3) 四季干旱站点比差异显著, 总体上冬季最高, 夏季次之, 春秋季节最低, 且均处于波动变化状态, 没有明显的线性变化趋势。
- 4) 从季节变化上, 各等级气象干旱发生次数从大到小依次为冬季、夏季、春季和秋季; 空间上, 年均及四季各等级干旱发生次数的分布差异较大; 各等级干旱发生次数基本上呈现出递减的态势。

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] 张 强. 华北地区干旱指数的确定及其应用 [J]. 灾害学, 1998, 13(4): 34—38.

[4] 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.

[5] 魏凤英, 曹鸿兴. 华北干旱异常的地域特征 [J]. 应用气象学报, 1998, 9(2): 205—212.

[6] 卫 捷, 马柱国. Palmer 干旱指数、地表湿润指数与降水距平的比较 [J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 117—124.

[7] 马晓群, 吴文玉, 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.

[8] 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.

[9] 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(增刊): 61—68.

[10] 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.

[11] 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.

[12] 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.

[13] 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.

[14] 叶 香. 重庆近 46a 极端气温和极端降水异常特征分析 [D]. 南京: 南京信息工程大学, 2008.

[15] 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]. 河南气象, 2006(4): 20—21, 22.

[16] 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.

- [17] 李金建, 张 菡, 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.
- [18] ALLEN R G, PEREIRAL S, RAES D, et al. Crop Evapotranspiration: Guidelinefor Computing Crop Water Requirements [R]. Italy: Food and Agriculture Organization, 1998.

Temporal and Spatial Patterns of Meteorological Drought in Chongqing Based on Relative Humidity Index

XU Yu^{1,2}, WU Yan-fei¹, XU Gang¹, GAN Fen-fang¹

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

2. School of Geographical and Oceanographic Sciences, Nanjing University, Nanjing 210097, China

Abstract: The observed meteorological data of 34 meteorological stations from 1960 to 2008 in Chongqing of China were collected and a relative humidity index of meteorological drought was used to analyze the temporal and spatial characteristics of droughts in Chongqing. Based on the analysis of occurrence frequency, intensity and stations proportion of meteorological drought in Chongqing, the temporal and spatial patterns of meteorological drought in different parts of the city were revealed. The results were as follows. (1) Spatially, the annual and seasonal occurrence frequencies of the meteorological drought in Chongqing were higher in northeast Chongqing, medium in west Chongqing, and lower in southeast Chongqing. Of the four seasons, winter had the highest drought occurrence frequency, followed in order by summer, spring and autumn. (2) The spatial distribution of annual and seasonal meteorological drought intensity in Chongqing differed with seasons, being highest in winter and lowest in spring. (3) The annual and seasonal temporal distributions of meteorological drought stations proportion in Chongqing were highest in winter and lowest in autumn. (4) The meteorological drought in different grades in Chongqing was most in winter and least in autumn, and distributed complex in different parts.

Key words: meteorological drought; relative humidity index; Arc GIS; temporal and spatial pattern; Chongqing

责任编辑 胡 杨

