

DOI: 10.13718/j.cnki.xdzk.2015.09.021

重庆王家沟小流域降水特性统计分析^①

常 宝, 张卫华, 靳军英, 魏朝富

西南大学 资源环境学院, 重庆 400716

摘要: 利用 Matlab 软件分析了涪陵站 31a 月降水序列, 检验了年降水量均值和方差, 并对月降水量极值和超过值进行了分析, 最后用 dfittool 对年降水量、月极值、月超过值进行了概率分布拟合. 结果表明: 对 31a 降水序列, 均值和方差均无显著变化, 且没有明显的趋势. 年降水量服从对数正态分布, 月极值服从广义极值分布, 月超过值服从广义帕累托分布. 以上结果可以为该流域水资源利用及水文预报、水循环提供科学依据.

关键词: 王家沟小流域; 降水; 统计; 检验; 概率分布

中图分类号: TV121.1

文献标志码: A

文章编号: 1673-9868(2015)09-0140-05

降水是最重要的气候要素之一, 无论是人类社会中的国民经济各部门, 还是大自然的和谐发展和有序进行, 都离不开降水. 尤其在农业生产和水利工程方面, 都需要各种不同时段降水统计分析资料, 国内外对降水分析也进行了大量的研究^[1-4]. 在各种不同时段降水量中, 月降水占有较重要的地位, 这是因为对一地的降水特点来说, 月降水量的代表性优于年或日降水量, 这是由于根据马尔可夫链性质, 连续降水或者连续干旱有很强的相关性, 会导致日降水数据不独立, 而月降水数据由于分析时间段延长, 降水数据相对独立很多, 而年降水数据又由于时间段太长, 而在某些应用(如作物生长)中很难匹配. 因此, 本研究将着重于对月降水特性的统计分析, 来为当地更有效地利用降水而提供科学依据.

王家沟小流域地处涪陵区珍溪镇东部, 位居长江北岸, 距涪陵城区 40 km, 距重庆主城区 170 km. 气候属亚热带季风气候, 年均气温为 22.1℃. 地形为典型丘陵地, 海拔介于 153~307 m, 地势从北到南逐渐降低并延伸至长江. 丘陵顶部多为旱地, 并伴有少量次生林或未利用荒地, 中部主要为土坎或石坎梯田, 底部地势平坦、以水田为主. 本研究所用数据为重庆市涪陵区气象站监测的 1976—2006 共 31a 的月降雨数据, 该气象站位于 107.42°E, 29.75°N, 海拔 218.70 m.

1 年降水量的趋势分析及检验

通常情况下, 年降水量作为随机数据, 虽然具有一定的变化, 但是不会有明显的变化趋势. 由于人类活动导致的诸如土地利用变化、气候变化等也可能会出现一定的趋势. 研究区 31a 年降雨量随时间变化见图 1.

本文对 1976—2006 年这 31a 年降雨数据的方差和均值进行稳定性检验, 以及这 31a 降雨是否具有明显的趋势进行假设检验. 其中方差的假设检验用 F -检验, 对均值利用 t -检验, 而对有无趋势的检验主要是根据 Spearman 秩相关分析法, 利用下面公式分别计算相关系数以及检验统计量, 并在 5% 置信水平下进行有无趋势的假设检验.

① 收稿日期: 2013-10-22

基金项目: 国家“十二五”水专项(2012ZX07104-003).

作者简介: 常 宝(1991-), 男, 重庆涪陵人, 硕士研究生, 主要从事水土资源研究.

通信作者: 张卫华, 博士, 副教授.

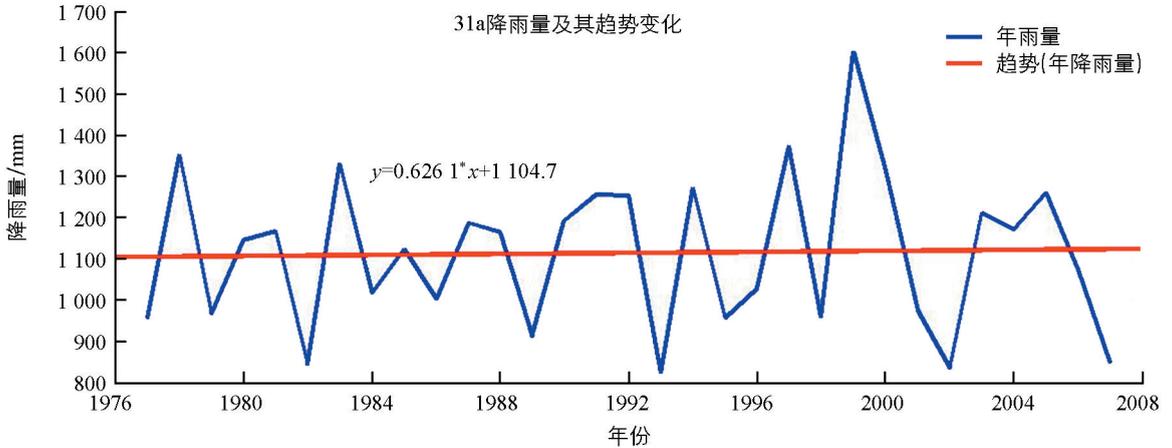


图 1 研究区 31a 年降雨量随时间变化及其趋势

$$R_{sp} = 1 - \frac{6 \sum D_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

$$t = R_{sp} \left(\frac{n-2}{1-R_{sp}^2} \right)^{0.5}$$

其中 D_i 为 1976—2006 年这 31a 降雨数据按照原来的排序序号和按照把降雨量从小到大排序后的序号之差, R_{sp} 为秩相关系数, t 为检验统计量, 且统计量 t 服从自由度为 $n-2$ 的 t 分布. 根据计算的统计量的值, 以及查 5% 置信水平下 t 分布的值, 据此判断降雨量有无明显的趋势存在.

对于方差检验, 经计算 F 统计量的值为 0.4491, 而 5% 置信水平下的接受域为 $[0.336, 2.98]$, 关于均值检验, t 统计量的值为 0.042, 5% 置信水平下的接受域为 $[-2.04, +2.04]$, F 检验和 t 检验统计量值均介于接受域之间, 因此说明该系列均值和方差均没有显著变化; 而对于趋势的检验, 计算得到 R_{sp} 为 0.0472, 由此计算的 t 统计量为 0.2543, 在 5% 置信水平下查表接受域介于 $[-2.04, +2.04]$ 之间, 因此在 5% 置信水平下这 31a 降雨量不存在明显的趋势. 根据对方差的 F -检验, 对均值的 t -检验, 以及趋势检验, 均证明 1976—2006 年该站 31a 的年降雨数据无显著变化.

年降水量由于时间尺度比较大, 而降水通常情况下持续时间不会太久, 因此对于降水资源化以及洪水预报来讲, 月降水量能够提供更详细的信息, 因此, 本文对月降水量做了重点分析, 包括月降水量的统计分析、月极值及超过值的分析等, 该站 31a 间的月降雨数据统计特性见表 1.

表 1 涪陵站 1976—2006 年降水量月均值和标准差

mm

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
均值	18.1	19.4	41.7	112.0	174.8	181.1	160.4	123.6	94.2	110.8	54.7	23.7
标准差	9.9	13.7	17.7	45.9	53.8	62.5	88.7	83.6	41.8	40.6	26.7	11.8

从表 1 统计情况来看, 该站汛期即 4—10 月 7 个月降雨量占全年的 86% 左右, 而主汛期的 5—8 月 4 个月降雨量占全年的 57% 以上. 在重庆地区, 虽然雨、热资源和作物生长季节基本上达到了同期, 但是也不完全吻合, 加上降雨时间和空间上分布的不均匀性, 频繁发生的春旱、夏旱、伏旱给作物生产造成了很大的损失. 从表 1 中可以看出, 11 月至次年 3 月月平均降雨量只有 31.5 mm, 冬干春旱几乎每年都会发生, 如 3 月份这个时候正是一些作物的播种时间, 但由于连续几个月的少雨导致多数地方吃水都成问题, 导致很多地方受灾严重.

2 月降水量的统计及极值和超过值的分布分析

图 2 给出了 31a 月降水数据共 372 个数据的分布情况, 该图可以非常直观地看到月降雨数值及月份的关系. 从图上可以看出, 月降水量超过 350 mm 的均发生在 7 月或者 8 月份, 6 月份密集分布在 200~300 mm 之间, 也就是南方通常说的汛期阶段, 此外, 基本上月降水量超过 150 mm 的月

份绝大多数是介于 5—8 月之间, 个别年份会出现在 4, 9 和 10 月, 而从 11 月至次年 3 月降水量相对比较小, 多数在 50 mm 左右或者更小的值以下。

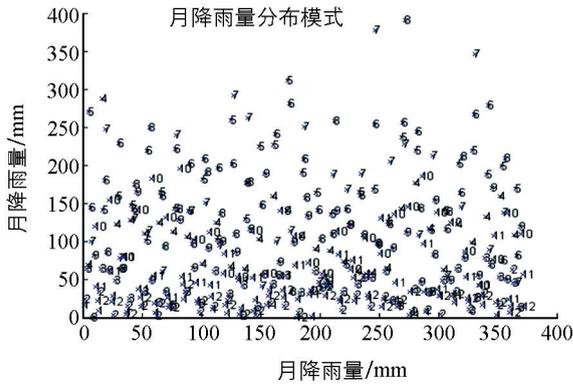


图 2 各月降水量在 31a 系列中的分布概览

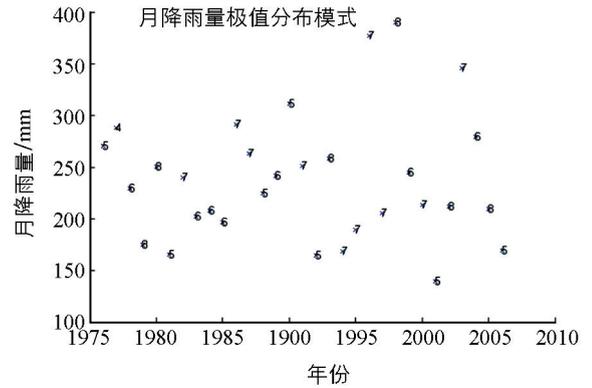


图 3 月极值的分布概览

此外, 在频率分析中, 极值分布以及超过某阈值的量的分布具有重要意义, 尤其在降雨事件中, 极值往往带来洪水, 而连续超过某个阈值的降雨更是发生洪水的最直接诱因, 极值和超过值在重现期及概率分布上均有显著的差别. 因此本研究对 31a 间降雨量的极值和超过值也进行如下分析, 见图 3 和图 4.

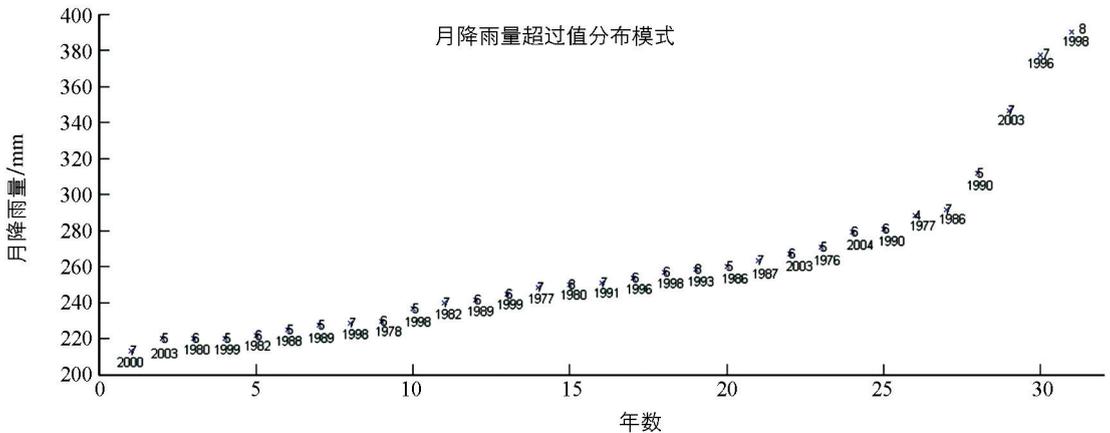


图 4 月超过值的分布概览

Langbein^[3]发现极值的重现期和超过值的重现期有如下关系:

$$\frac{1}{T} = 1 - \exp^{-\frac{1}{T_p}}$$

式中 T 为极值的重现期, 而 T_p 为超过值的重现期. de Laet^[5]总结了对于不同重现期的降雨事件, 随着重现期的增大, 超过值和极值的比值将越来越接近于 1.

由图 3 可以看出, 月极值只发生在 4, 5, 6, 7 和 8 月之间, 且 4 月只出现了 1 次, 5 月出现了 7 次, 6 月出现了 7 次, 7 月出现了 10 次, 8 月出现了 6 次. 根据降雨产流的原理, 通常情况下大暴雨的产流系数要比小雨产流系数大, 因此月最大值在时间上的分布在一定程度上说明了该地区暴雨在一年中出现的时间.

此外, 为了同极值进行比较, 超过值的取值是把 1976—2006 年共 372 个月份降雨量进行从大到小排列, 取前面的 31 个数值(以对应极值的 31 个数值), 这 31 个超过值中最小的为 213.3 mm, 也就是说超过值系列中凡是大于等于 213.3 mm 的月降水量都被取做超过值进行分析. 而 31a 月极值中最小的月极值为 139.9 mm, 31a 系列中有 94 个月的值大于或等于这个最小的月极值. 也就是说, 月极值分析的数值和超过值相比, 舍弃了很多个超过月极值的降雨量, 这对雨水资源利用以及洪水预报来说, 是不合理的. 月极值是从 31a 系列中每年取一个最大值, 而下面的超过值的出现情况则大不相同, 有图 4 可以得到具体如下结果: 超过值 213.3 mm 的月降水量 1998 年出现 4 个月份, 分别为 5, 6, 7, 8 月, 当年长江流域出现特大洪水, 2003 年出现 3 个月份, 分别为 5, 6, 7 月, 出现 2 个月份的

有 8 个年份, 分别为 1977(4, 7), 1980(6, 8), 1982(6, 7), 1986(5, 7), 1989(5, 6), 1990(5, 6), 1996(6, 7), 1999(5, 6), 而其余年份则没有出现. 因此为了更合理的分析降水数据, 应该对超过值概率及其分布进行详细的分析, 并与极值分布进行比较.

3 降水量的概率分布

降水作为一种自然现象, 国内外对它的研究多是基于对随机变量的概率统计分析方法, 根据不同的研究目的, 学者们对不同时段的降雨进行了概率分析, 并找出了它们的概率分布, 这些研究表明: 不同气候区以及不同时段、季节的降水量具有不同的概率分布模型. 本研究将对涪陵站 1976—2006 共 31a 的年降水量分布、月降水量极值分布、以及月降水量超过值分布进行概率分布拟合及参数估计. 概率分布拟合采用 Matlab 中 dfittool 工具, 参数估计是利用极大似然法原理, 拟合结果分别见图 5、图 6、图 7. 本研究中利用 dfittool 拟合结果中的 Log likelihood 数值来判断拟合程度的好坏, 一般情况下, 该值越大, 说明拟合结果越好. 根据拟合随机变量(年降雨量、月降雨量极值、月降雨量超过值)的性质, 分别选用 5 种分布来进行拟合, 并根据 Log likelihood 数值来确定哪个概率分布拟合的最好.

对于年降水量的分布, 广泛采用的分布是正态分布、对数正态分布、伽玛分布(皮尔逊 III 型作为伽玛分布的一种)以及欧洲学者喜欢使用威布尔分布来模拟. 本研究除了采用以上分布外, 还采用了对数逻辑斯谛分布线型来进行模拟, 通过肉眼观测发现(见图 5), 伽玛分布, 对数正态分布和对数逻辑斯谛分布拟合的较好, 而正态和威布尔分布不太好, 其中对数正态分布在峰值和尾部拟合的均较好, 进一步比较拟合结果中的参数 Log likelihood 也发现在这 3 个拟合较好的分布中最大, 因此认为年降雨量符合对数正态分布.

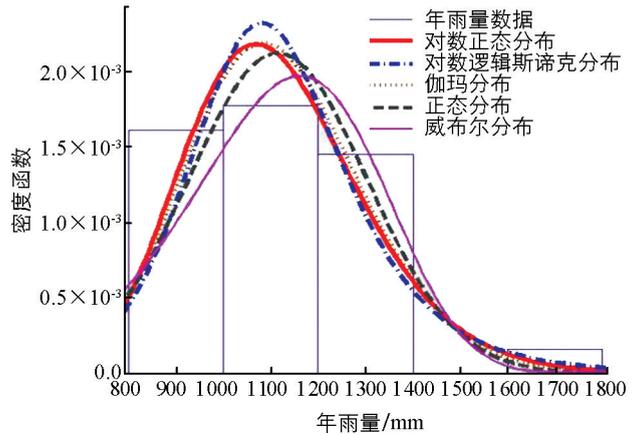


图 5 年降雨量的概率分布

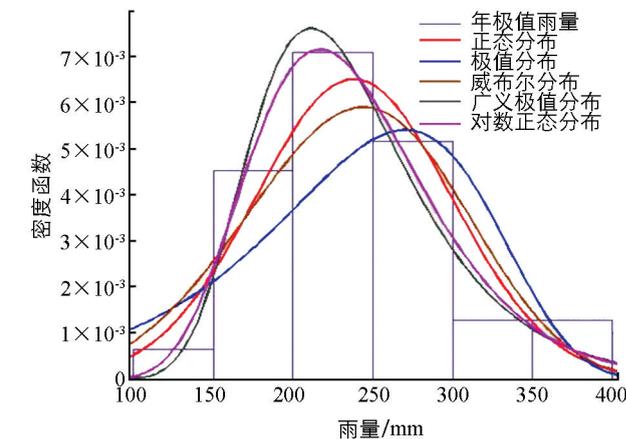


图 6 月降雨量极值的概率分布

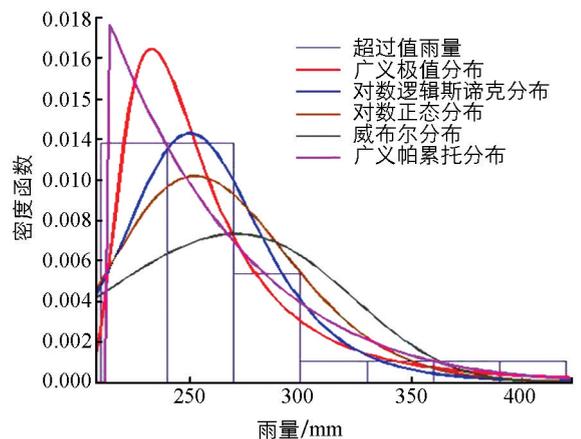


图 7 月降雨量超过值概率分布

对与极值分布以及超过值分布, 国内外学者多利用极值分布、广义极值分布等分布来以及广义帕累托分布等来进行概率分布拟合^[6-7], 通过对图 6 及图 7 的分析以及 Matlab 中 dfittool 分析结果得到, 对于极值分布来说, 广义极值分布(GEV)拟合的最好, 而对于超过值的概率分布, 广义帕累托分布拟合的最好, 因此可以得出对于该地区月降水量极值来说符合广义极值分布, 而对月降水量超过值来说, 符合广义帕累托分布.

4 结 语

降水作为水循环过程中的最直接的输入因子以及人类利用水资源的直接来源,在水文水资源研究以及工农业生产中具有举足轻重的作用.年、月降水量的统计分析在水量平衡、水文预报及水资源利用中可以起到很好的指导作用.王家沟小流域面积较小,降雨相对比较均匀,单站降雨分析可以为该流域的农业生产、水文预报提供所需的科学依据.由于降雨事件作为一个随机变量,每个月的极值也是随机变量,而随机变量是相互独立的.但是月超过值可能存在不独立的风险,如本文分析到的1998年的5,6,7,8这4个月在超过值分析中出现了4次(而在极值分析中,1998年只出现1个极值),而这个4个月是紧挨的4个月,可能会存在某种联系,而不像月极值分析的那样相互独立,这样可能对分析结果有一定的影响.另外在用Matlab中使用dfittool进行概率分布曲线拟合时,只使用了Log likelihood指标来判断拟合的好坏程度,可能有一定的偏颇,此时可以结合Akaike信息量准则(AIC)和Bayesian信息量准则(BIC)来进行判断,但是对于大多数拟合模型来说,是二参数模型(如正态分布),对二参数模型比较Log likelihood和比较AIC和BIC是等同的.

参考文献:

- [1] 周 浩,唐红玉,程炳岩.东亚夏季风与重庆夏季降水的关系研究[J].西南大学学报:自然科学版,2010,32(1):81-88.
- [2] 陈 忠,陈华芳,王建力,等.重庆市降水量的时空变化[J].西南师范大学学报:自然科学版,2003,28(4):644-649.
- [3] 谢毅文,张 强,李 越,等.东江流域三种时间尺度降雨量时空特征分析[J].人民黄河,2013,35(2):22-26.
- [4] 王兆礼,陈晓宏,张 灵,等.近40年来珠江流域降水量时空演变特征[J].水文,2006,26(6):92-96.
- [5] DE LAAT P J M. Workshop on Hydrology [M]. UNESCO-IHE, Delft, 2012.
- [6] EMBRECHTS P, KLÜPPELBERG C, MIKOSCH T. Modelling Extremal Events for Insurance and Finance [M]. New York: Springer, 1997.
- [7] KOTZ S, NADARAJAH S. Extreme Value Distributions: Theory and Applications [M]. London: Imperial College Press, 2000.

Statistical Analysis of Precipitation in Wangjiagou Cathment of Chongqing

CHANG Bao, ZHANG Wei-hua, JIN Jun-ying, WEI Chao-fu

School of Resources and Environment, Chongqing 400716, China

Abstract: The monthly precipitation data of 31 years at Fulin Weather Station was studied with the software Matlab, the mean and variance of annual precipitation were tested, and its monthly extremes and exceedances were analyzed. Finally, by integrating dfittool, the probability distribution curves were fitted. The results showed that the mean and variance were stable and no clear trend was detected in annual precipitation data. The probability distribution for annual precipitation followed the log-normal distribution, monthly extremes followed the generalized extreme value (GEV) distribution and monthly exceedance followed the generalized Pareto distribution. The results can provide a scientific background for water resource utilization and hydrological forecast in the catchment.

Key words: Wangjiagou catchment; rainfall; statistics; test; probability distribution

