

云南省楚雄州多年平均降水量时空变化及地区分布规律分析

曾艳芬¹, 涂进²

¹云南省水文水资源局楚雄分局, 云南 楚雄

²长江水利委员会水文局汉江水文水资源勘测局, 湖北 襄阳

收稿日期: 2022年2月21日; 录用日期: 2022年3月17日; 发布日期: 2022年3月23日

摘要

随着经济的快速发展, 楚雄州水资源量不足的问题已是社会普遍关注的问题, 而楚雄州内水资源均由大气降水形成, 且降水量时空变化和地区分布直接影响地表径流量变化。研究降水量及其变化和分布, 对水资源量研究具有重要意义。因此, 本文根据楚雄州第三次水资源调查评价, 选择了26个具有1956~2016年长系列雨量站资料作为主要计算站, 其他具有1980~2016年资料的52个站作为参考, 采用ArcGis软件自动绘制和人工经验修订相结合的方法绘制楚雄州1956~2016年多年平均降水量、Cv等值线图, 并用面积加权法量算出楚雄州及各县(市)多年平均降水量。并根据降水的影响因素分析楚雄州降水量年内分配、水平地带和垂直分布规律、年际变化特征, 为楚雄州水资源量分析和防洪减灾等提供参考作用。

关键词

降水量计算, 时空变化和地区分布特征, 分析, 楚雄州

Analysis of Spatial-Temporal Variation and Regional Distribution Law in Annual Mean Precipitation over Chuxiong Prefecture, Yunnan Province

Yanfen Zeng¹, Jin Tu²

¹Chuxiong Hydrology and Water Resources Bureau of Yunnan Province, Chuxiong Yunnan

²Hanjiang Bureau of Hydrology and Water Resources Survey, Changjiang Water Resources Commission, Xiangyang Hubei

Received: Feb. 21st, 2022; accepted: Mar. 17th, 2022; published: Mar. 23rd, 2022

文章引用: 曾艳芬, 涂进. 云南省楚雄州多年平均降水量时空变化及地区分布规律分析[J]. 气候变化研究快报, 2022, 11(2): 170-179. DOI: 10.12677/ccrl.2022.112017

Abstract

With the rapid development of economy, the problem of shortage of water resources has been widespread concern; within the current conditions, the water resources are formed by atmospheric precipitation, and precipitation temporal variation and regional distribution directly affect the surface runoff change, rainfall and its variation and distribution, and research on water resources is of great significance. Therefore, according to the third water resources survey and evaluation in Chuxiong Prefecture, 26 rain stations with data from 1956 to 2016 were selected as the main calculation stations, and the other 52 stations with data from 1980 to 2016 were selected as the reference. The annual average precipitation and Cv contour map of Chuxiong Prefecture from 1956 to 2016 were drawn by the method of ArcGis software automatic drawing and manual experience revision, and the annual average precipitation of Chuxiong Prefecture and all counties (cities) were calculated by area weighting method. According to the influencing factors of precipitation, the annual distribution, horizontal and vertical distribution and inter-annual variation characteristics of precipitation in Chuxiong Prefecture are analyzed, which can provide a reference for water resources quantity analysis and flood control and disaster reduction in Chuxiong Prefecture.

Keywords

Precipitation Calculation, Spatio-Temporal Variation and Regional Distribution Characteristics, Analysis, Chuxiong Prefecture

Copyright © 2022 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. 前言

随着全球气候变暖,水循环加速,大气中平均水汽含量增加,降水时空分布格局的明显变化导致气候变化对人类生存环境的影响更加明显,如致使洪涝频发和干旱加剧等,已经威胁到人类赖以生存的粮食、水等基本条件的维持。

云南省位于我国西南方位,境内汇集了长江、珠江、西南诸河3个水资源一级区。区域水资源丰富,但各地降水量差异很大。目前研究人员对于云南省的降水变化已有一定的研究,刘稳[1]等根据云南省多年降水数据分析了云南省降水量的时空变化并进行了周期分析,胡嘉佳[2]等结合正交经验函数,以昆明某区域为研究范例,对其年季降水时空变化特征进行时空解译。

随着经济的快速发展,楚雄州需水量增大,水资源量不足的问题已是社会普遍关注的问题,而楚雄州内水资源均由大气降水形成,且降水量时空变化和地区分布直接影响地表径流量变化。本文根据楚雄州第三次水资源调查评价,选择了26个具有1956~2016年长系列雨量站资料作为主要计算站,其他具有1980~2016年资料的52个站作为参考,研究云南省降水量的时空变化的基础上进一步研究其地区分布,为楚雄州水资源量分析和防洪减灾等提供一定参考作用。

2. 自然地理位置、气候特征及河流水系

楚雄州位于横断山脉和云贵高原的过渡地带,在东经100°43'~102°30',北纬24°13'~26°30'之间,属云

贵高原西部、滇中高原的主体部位, 东接春城昆明市, 北连四川省攀枝花市和凉山彝族自治州, 西邻大理白族自治州、丽江市, 南界玉溪市、普洱市, 是省会昆明市西出滇西七州市及缅甸国的必经之地, 故有“省垣门户”、“迤西咽喉”之称[3]。全州国土面积 28,448.2 km², 总人口 273.9 万人, 总耕地面积 366,467 hm²。境内多山, 山地面积占总面积的 90% 以上, 其间山峦叠嶂, 诸峰环拱, 谷地错落, 溪河纵横, 素有“九分山水一分坝”之称。

楚雄州属亚热带高原季风气候, 夏秋季受来自印度洋面、孟加拉湾气流影响, 湿润深厚, 水气充沛, 冬春季受流经北非、中东以及印度次大陆的气流影响, 温暖干燥, 降水量偏少。由于受地形影响, 山高谷深, 气候的区域差异和垂直变化明显, 州内寒、温、热 3 种气候类型俱全, 具有立体气候的特点, 其中元谋盆地和金沙江、元江河谷素有“天然温室”之称。州内大部份地区日照值大。全州总的气候特征是冬夏短、春秋长, 季节变化不明显; 年温差小, 日温差大; 干湿季分明, 雨热同季; 日照充足, 霜期较短; 降水量偏少, 春夏旱重; 同时由于地形海拔的差异, 形成的气象、水文要素时空分布复杂, 小气候特征明显[4]。

楚雄州境内共有 100 km² 以上河流 101 条, 有 50 km² 以上河流 184 条, 分属长江、红河两流域, 州境分水岭以北为长江流域, 范围涉及除双柏县外的 8 县 1 市地区, 流域面积占全州总面积的 58.3%; 主要支流自西向东有: 渔泡江、多底河、湾碧河、万马河、蜻蛉河、龙川江、勐果河、黑鲁拉河等, 流向都是由南向北, 在平面上呈树枝状和平行状水系[5]。州境南部为红河流域, 流域涉及双柏全县及南华、禄丰、楚雄 3 县市的部分地区, 流域面积占全州面积的 41.7%; 主要有礼社江、马龙河、绿汁江以及 13 条小支流, 均系从北向南流。

3. 降水量分析计算

3.1. 采用资料及代表性分析

3.1.1. 资料采用情况

考虑雨量系列代表性的要求, 降水量系列统一采用 1956~2016 年(61 年)和 1980~2016 年。根据楚雄州第三次水资源调查评价中的统计成果, 经插补延长, 全州具有 1956~2016 年完整系列的降水站点有 26 个, 站网密度 9 个/万 km²; 具有 1980~2016 年完整系列的降水站点有 52 个, 选用雨量站点统计成果见表 1。

Table 1. Statistical tables of selected rainfall stations for each watershed
表 1. 各流域选用雨量站点统计表

系列长度	流域	长江	红河	全州
1956~2016 年系列	站点(个)	19	7	26
	站网密度(个/万 km ²)	11	6	9
1980~2016 年系列	站点(个)	42	10	52
	站网密度(个/万 m ²)	25	9	18

3.1.2. 资料代表性分析

选取观测资料在 61 年以上且包含 1956~2016 年系列、1956~2000 和 1980~2016 年系列的雨量站, 分别计算长系列、61 年系列、45 年系列、37 年系列等四个系列的统计参数及不同频率的年降水量, 分析评价 1956~2016 年、1956~2000 年和 1980~2016 年系列的代表性。采取统计参数稳定性分析和频次分析两种方法来论证长短系列的代表性。

1) 统计参数的稳定性分析是基于长系列统计参数比短系列统计参数的代表性相对较好这一基本假

定, 即长系列统计参数更接近于总体, 故以长系列统计参数为标准来检验短系列资料的代表性[6]。以 2016 年为起点, 计算系列长度 $n = 5、10、15、20$ 等每 5 年滑动的统计参数。然后用均值模数 K_x 和 $K_x - 1$, 变差系数模数 K_{C_v} 和 K_{C_v-1} 作为评定不同系列长度统计参数稳定性的标准。

分析结果表明: ① 均值模数大都在 20 年以后逐渐趋于稳定。20 年后 K_x 的变化范围在 0.95~1.05 内的占总统计站数的 93%; 若将变化范围缩小到 0.98~1.02, 则约有 74% 以上的站数能满足要求。因此, 降水量多年平均值的代表性结果显示: 当降水量系列长度达到 20 年以后, 绝大部分系列的均值基本趋于稳定, 仅有极少数站系列的均值变化幅度较大; 当系列长度达到 40 年以上时, K_x 值在 1.0 附近很小的范围内波动, 而 $K_x - 1$ 已接近于 0, 说明均值已经趋于稳定。② K_{C_v} 的变化较均值不易稳定。大部份雨量站降水量系列需在 20 年以上 C_v 值的变化范围才慢慢缩小, 当系列到达 40 年以后, K_{C_v} 的变化逐渐趋近 1.0, 基本稳定下来, 也就是说资料系列达到 40 年以上的站 C_v 值才有较好的代表性(表 2, 图 1, 图 2)。

Table 2. Calculation results of K_x and K_{C_v} of major precipitation representative stations in Chuxiong Prefecture
表 2. 楚雄州主要降水代表站的 K_x 、 K_{C_v} 计算成果表

站名	系列	年数	K_x	$K_x - 1$	C_v	K_{C_v}	K_{C_v-1}
楚雄	N	65			0.22		
	2012~2016	5	0.999	-0.001	0.137	0.674	-0.326
	2007~2016	10	0.937	-0.063	0.178	0.871	-0.129
	2002~2016	15	0.929	-0.071	0.190	0.933	-0.067
	1997~2016	20	0.947	-0.053	0.205	1.006	0.006
	1992~2016	25	0.963	-0.037	0.212	1.039	0.039
	1987~2016	30	0.974	-0.026	0.217	1.061	0.061
	1982~2016	35	0.982	-0.018	0.219	1.074	0.074
	1977~2016	40	0.986	-0.014	0.221	1.085	0.085
	1972~2016	45	0.988	-0.012	0.222	1.089	0.089
	1967~2016	50	0.990	-0.010	0.222	1.088	0.088
	1962~2016	55	0.991	-0.009	0.221	1.085	0.085
	1957~2016	60	0.992	-0.008	0.221	1.082	0.082
	1952~2016	65	0.993	-0.007	0.220	1.077	0.077
小 黄 瓜 园	N	61			0.18		
	2012~2016	5	1.105	0.105	0.088	0.431	-0.569
	2007~2016	10	1.035	0.035	0.138	0.675	-0.325
	2002~2016	15	1.018	0.018	0.144	0.703	-0.297
	1997~2016	20	1.024	0.024	0.151	0.741	-0.259
	1992~2016	25	1.034	0.034	0.156	0.765	-0.235
	1987~2016	30	1.037	0.037	0.161	0.786	-0.214
	1982~2016	35	1.037	0.037	0.164	0.803	-0.197
	1977~2016	40	1.035	0.035	0.166	0.814	-0.186
	1972~2016	45	1.032	0.032	0.169	0.825	-0.175

Continued

	1967~2016	50	1.030	0.030	0.171	0.836	-0.164
	1962~2016	55	1.029	0.029	0.173	0.847	-0.153
	1957~2016	60	1.027	0.027	0.176	0.859	-0.141
	N	61			0.18		
董 户 村	2012~2016	5	1.017	0.017	0.152	0.828	-0.172
	2007~2016	10	0.967	-0.033	0.183	0.997	-0.003
	2002~2016	15	0.964	-0.036	0.194	1.055	0.055
	1997~2016	20	0.970	-0.030	0.193	1.053	0.053
	1992~2016	25	0.978	-0.022	0.191	1.040	0.040
	1987~2016	30	0.984	-0.016	0.189	1.027	0.027
	1982~2016	35	0.987	-0.013	0.186	1.015	0.015
	1977~2016	40	0.988	-0.012	0.185	1.009	0.009
	1972~2016	45	0.988	-0.012	0.184	1.003	0.003
	1967~2016	50	0.989	-0.011	0.183	0.998	-0.002
	1962~2016	55	0.990	-0.010	0.184	1.002	0.002
1957~2016	60	0.991	-0.009	0.184	1.004	0.004	

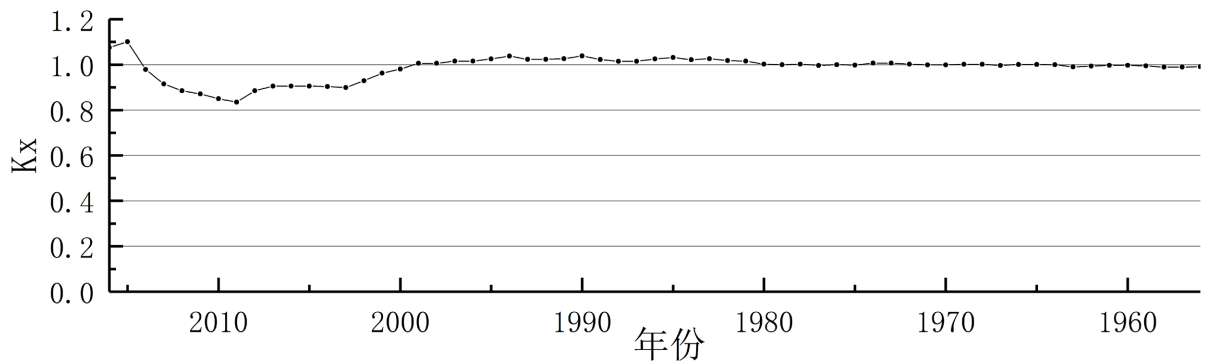


Figure 1. K_x value process line of Chuxiong hydrological station

图 1. 楚雄水文站 K_x 值过程线

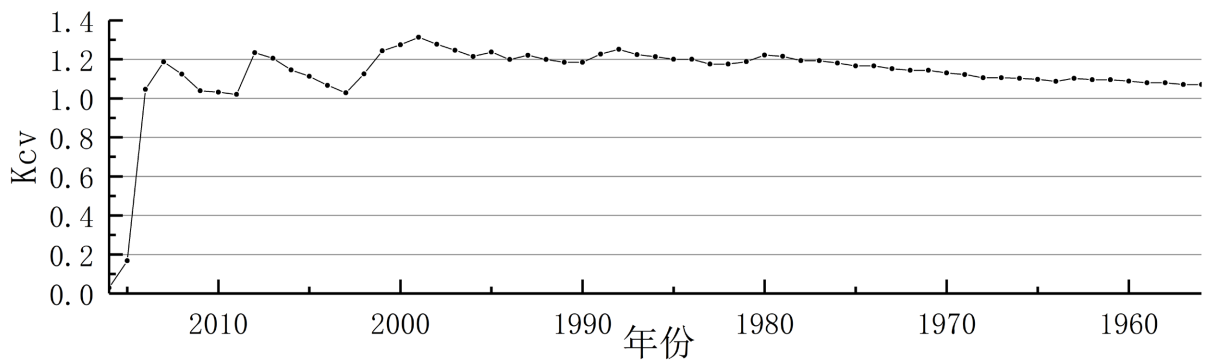


Figure 2. K_{cv} value process line of Chuxiong hydrological station

图 2. 楚雄水文站 K_{cv} 值过程线

2) 频次分析。选取 3 个资料系列比较长的站点作为分析依据, 判断有限样本与总体的偏离程度, 用系列频率计算适线后的频率曲线代替总体分布, 按频率小于 12.5%、12.5%~37.5%、37.5%~62.5%、62.5%~87.5%、大于 87.5% 分别将年降水量划分为丰水年、偏丰年、平水年、偏枯年、枯水年五种年型, 按这个标准分别统计不同系列出现的频次百分比, 并以此来论证不同系列频率曲线经验点据分布的代表性, 根据五种年型出现的频次接近总体频次分布, 则可判断系列的代表性是否良好。分析结果表明: 61 年资料系列各频次接近长系列各频次的百分比, 因而其代表性较好。37 年资料系列各频次与长系列各频次有一定差异, 即该系列代表性稍差。主要代表站年降水量长短系列丰、平、枯水年出现频次见表 3。

Table 3. The long and short series frequency analysis and calculation table of representative rainfall station
表 3. 代表雨量站长短系列频次分析计算表

序号	站名	系列	年数	丰水年		偏丰年		平水年		偏枯年		枯水年	
				频次	频率	频次	频率	频次	频率	频次	频率	频次	频率
1	楚雄	1997~2016	20	2	10%	5	25%	6	30%	5	25%	2	10%
		1980~2016	37	4	11%	10	27%	9	24%	10	27%	4	11%
		1956~2016	61	7	11%	16	26%	15	25%	16	26%	7	11%
		1952~2016	65	8	12%	16	25%	17	26%	16	25%	8	12%
2	小黄瓜园	1997~2016	20	2	10%	5	25%	6	30%	5	25%	2	10%
		1980~2016	37	4	11%	10	27%	9	24%	10	27%	4	11%
		1956~2016	61	7	11%	16	26%	15	25%	16	26%	7	11%
3	董户村	1997~2016	20	2	10%	5	25%	6	30%	5	25%	2	10%
		1980~2016	37	4	11%	10	27%	9	24%	10	27%	4	11%
		1956~2016	61	7	11%	16	26%	15	25%	16	26%	7	11%

3.2. 降水量分析计算

根据 26 个具有 1956~2016 年长系列雨量站资料作主要计算站, 其他具有近 30 年资料的 50 个站作参考, 对各站降雨资料, 首先采用公式(1)计算其经验频率 p , 而后采用公式(2)计算均值 \bar{x} , 变差系数 c_v 和偏态系数 C_s 等统计参数, 计算公式如下:

$$p = \frac{m}{n+1} \times 100\% \quad (1)$$

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n xi, \quad c_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (ki-1)^2}{n-1}}, \quad ki = \frac{xi}{\bar{x}} \quad (2)$$

上述公式中: xi —降雨量, m —系列顺位, n —系列项数。降水资料系列经与理论频率曲线进行适线后(取 $C_s = 2C_v$), 确定最终采用的统计参数值 \bar{x} , c_v , C_s [7]。由计算得到的各站降水量均值、 c_v 成果, 根据县级行政分区图、地形地貌, 森林植被和气候特征采用 ArcGis 软件自动绘制和人工经验修订相结合的方法绘制楚雄州 1956~2016 年多年平均降水量、 c_v 等值线图, 并用面积加权法量算楚雄州及各县(市)多年平均降水量见表 4。

Table 4. Annual average precipitation results of Chuxiong Prefecture and counties (cities)**表 4.** 楚雄州及各县(市)多年平均降水量成果表

州、县(市)名称	楚雄州	楚雄市	双柏县	牟定县	南华县	姚安县	大姚县	永仁县	元谋县	武定县	禄丰市
降水量(mm)	879.1	860.5	877.0	868.0	939.7	863.4	916.1	882.6	736.8	917.5	883.0

4. 降水量年内分配、水平地带和垂直分布规律、年际变化特征分析

4.1. 降水量影响因素

由于地理环境因素的影响,气象要素分布较为复杂。楚雄州位于云南高原腹地,连绵的哀牢山横亘在本州西南部,使楚雄州处于西南气流的大背风坡一侧,盛夏的东南气流虽沿元江河谷北上,由于沿途地势不断抬高,以及受乌蒙山余脉的影响,水气含量减少,所以影响楚雄州的东南气流一般情况下不会造成大范围的强降水天气,使楚雄州成为云南省降水量最少的地区之一[8]。另外,楚雄州地形呈畚箕状,向东南开口,影响的楚雄州的冷空气多数由东向西推进,横贯楚雄州中部,北部地区反而较中部地区受冷空气影响的次数要少,因此在相同海拔高度上,中部地区气温要比北部、南部偏低。北部的金沙江沿岸地带,四周高山环抱,地形封闭,越山气流的效应明显,因而气温较高,雨量较少[9]。

4.2. 降水量年内分配和水平地带分布分析

全州降水量偏少,年均降水量 800~1100 mm,是全省最干旱的地区[10]。从年内分配过程来看,全州降雨量较为集中,降水量主要集中在汛期(5~10月),一般占全年的 80.8%~95.7%,枯期(11~4月)降水量一般占 4.3%~19.2%。连续最大四个月降水量占全年降水量百分比的变化范围为 61.3%~83.0%,最大的是元谋等干旱坝区,最小是礼社江右岸等丰水地区。全州最大四个月降水量的出现时间一般为 6~9月,降水量的年内分配十分不均,干旱地区降水量年内分配更不均匀。降水量的年内分配不均,直接造成水资源的分配不均。在枯季,水资源的需求最大,但降水量少,形成巨大的供需矛盾,对农业生产极为不利。

在选用的 52 个雨量站中,实测最大年降水量为双柏县岔河站 1986 年的 2062.8 mm,最小是大姚县皮苴黑站 1997 年 307.5 mm,两者相差 6.7 倍。就多年平均降水量而言,最大值为双柏岔河站,达 1629.2 mm,最小为元谋县多克水文站为 639.5 mm,两者相差约 3 倍。大气环流和水汽来源决定了楚雄州年降水量总的分布趋势是由北部、中部向东、南、西三面逐渐增多。根据年降水量的大小,把楚雄州降水量分为多雨区、中雨区和少雨区[11]。① 多雨区(降水量 ≥ 1200 mm): 西南部多雨区: 主要分布在南华县五台山、马街、兔街,楚雄市西舍路、双柏县朋嘉一带; ② 少雨区(降水量 < 700 mm): 金沙江河谷少雨区,主要分布在元谋县姜驿、江边; ③ 其余地区都属中雨区[12]。

4.3. 降水量垂直变化分析

楚雄州地形极为复杂,山高谷深,在高山区的局部范围内,年降水量随高程增加而增大,为了分析降水在山区的分布规律,解决高山无资料地区降水量的问题。根据实测资料、地形、气候条件等,选择 52 个分析区建立降水-高程关系分析规律(图 3、图 4)。共采用 52 个雨量站的多年平均降水量和站点高程资料,分区建立降水-高程的关系,长江流域 I 线是姚安县栋川镇、太平镇、官屯乡一带; II 线主要是大姚县金碧镇、龙街镇、桂花镇、姚安县弥兴镇、左门乡,元谋县元马镇、物茂乡、黄瓜园镇、老城乡; III 线指禄丰县广通镇、土官镇,元谋县羊街镇及牟定县范围内; IV 线是永仁县中和街镇、永兴乡,大姚县石羊镇, V 线是指元谋县姜驿乡。红河流域 I 线是指楚雄市大地基乡、三街镇,双柏县妥甸镇、

法脞镇; II 线是指双柏县安龙堡乡、大庄镇, 禄丰县一平浪镇、和平镇、中村乡、仁兴镇、碧城镇, III 线是双柏县大麦地镇、爱尼山乡、独田乡, IV 线是礼社江左岸, V 线是礼社江右岸。

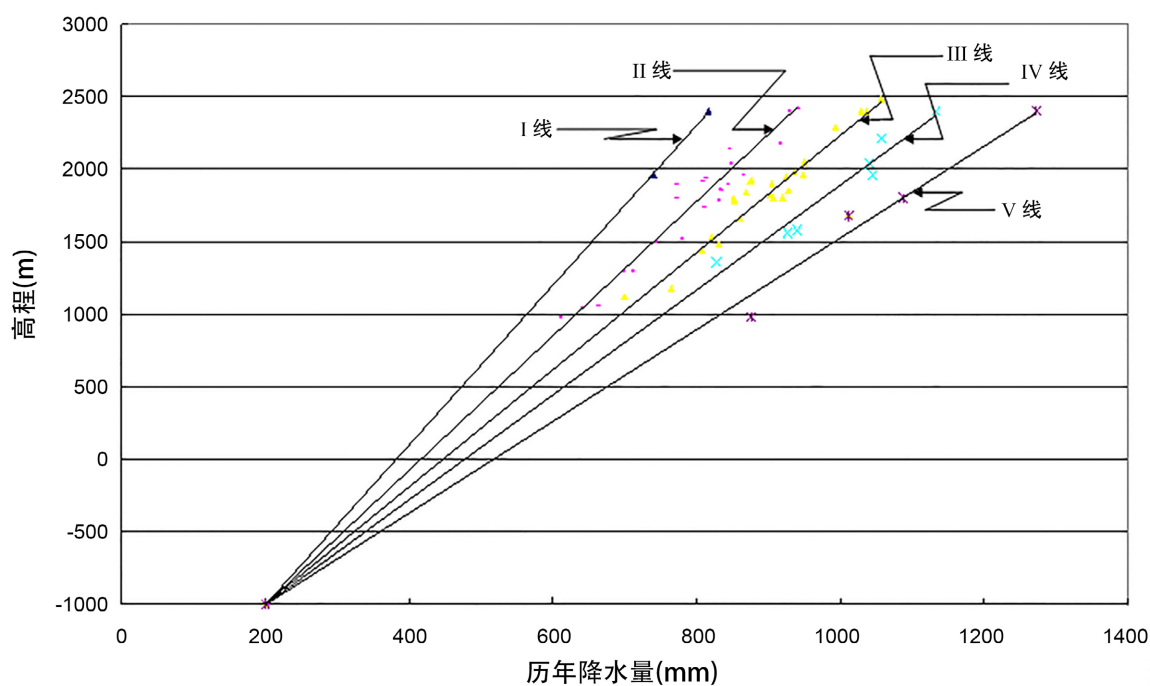


Figure 3. Relationship between precipitation and elevation in the Yangtze River Basin of Chuxiong Prefecture (1956~2016)
图 3. 楚雄州长江流域(1956~2016 年)降水量与高程关系图

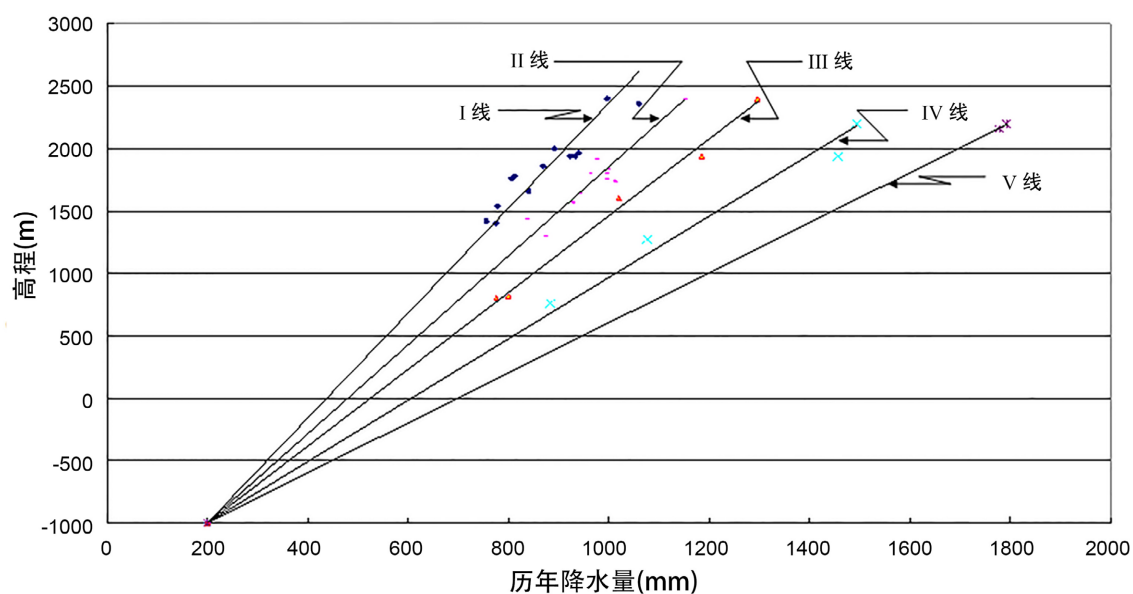


Figure 4. Relationship between precipitation and elevation in the Red River Basin of Chuxiong Prefecture (1956~2016)
图 4. 楚雄州红河流域(1956~2016 年)降水量与高程关系图

4.4. 降水量年际变化分析

从选用的 52 个雨量站降水资料看, 各站最大年降水量与最小年降水量的比值最大为 4 倍, 大于 3 倍

的站有 4 个, 大于 2 倍的站有 43 个, 其余的在 2 倍以下。由此可见, 降水量的年际变化大, 变化较大的是降水量较少的干旱地区, 变化较小的是降水量较多的湿润地区。年降水量变差系数 C_v 值的大小, 是体现降水量多年变化的指标。 C_v 值大表示各年间的降水量变化大, 反之则小。全州各单站的 C_v 值变化范围在 0.14~0.24 之间。从 C_v 等值线图看, 全州没有明显的地带性规律, 只是降水量多的地区的 C_v 值普遍比降水量少的地区小。受大气环的影响, 楚雄州各地降水量系列丰水年和枯水年交替出现, 具有明显的周期性, 据统计一般是枯水年组多于丰水年组, 且枯水年组出现的频次高, 持续时间较长。特别是 2003~2005 年和 2009~2013 年的枯水年组, 影响较大, 导致多年平均降水量减少。

4.5. 降水量年内分配情况分析

全州选取 12 个系列长且各月资料都齐全的雨量代表站, 分析不同频率的降水量月分配。典型年的选择依据是: 1) 实测年降水量接近某一保证率的年降水量; 2) 月分配对农业需水和径流调节等较为不利; 3) 所选典型年, 其年、月降水量均为实测值。从年内分配过程来看, 降水量主要集中在汛期(5~10 月), 一般占全年的 80.8%~95.7%, 枯期(11~4 月)降水量一般占 4.3%~19.2%。连续最大四个月降水量占全年降水量百分比的变化范围为 61.3%~83.0%, 最大的是元谋等干旱坝区, 最小是礼社江右岸等丰水地区。全州最大四个月降水量的出现时间一般为 6~9 月, 降水量的年内分配十分不均, 干旱地区降水量年内分配更不均匀。典型代表站月降水量分配过程见图 5。降水量的年内分配不均, 直接造成水资源的分配不均。在枯季(11~4 月), 水资源的需求最大, 但降水量少, 形成巨大的供需矛盾, 对农业生产极为不利[13] [14]。

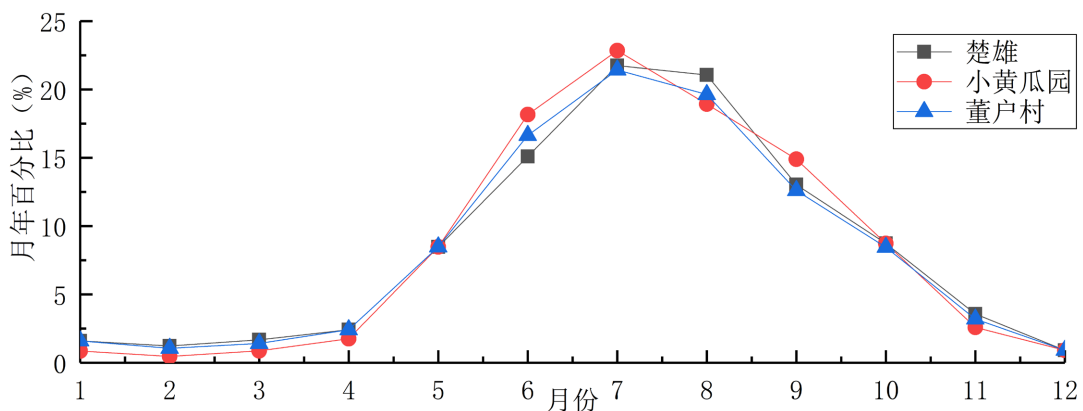


Figure 5. Monthly precipitation distribution process diagram of typical representation stations
图 5. 典型代表站月降水量分配过程图

5. 结论

- 1) 楚雄州降水量资料系列 30 年以上已具有代表性, 40 年以上资料系列代表性较好。
- 2) 楚雄州多年平均降水量 879.1 mm, 在县(市)级行政区中其中南华县最大为 939.7 mm、元谋县最小为 736.8 mm。
- 3) 降水量受地形地势、地貌、植被、地理位置及局部小气候等因素的影响, 时空分配和地区分布极不均匀, 年际变化大: 地区总的分布趋势是由北部、中部向东、南、西三面逐渐增多, 降水随高程增加而增大。降水量主要集中在汛期(5~10 月), 一般占全年的 80.8%~95.7%, 枯期(11~4 月)降水量一般占 4.3%~19.2%。全州各单站的 C_v 值变化范围在 0.14~0.24 之间; 从 C_v 等值线图看, 全州没有明显的地带性规律, 只是降水量多的地区的 C_v 值普遍比降水量少的地区小。楚雄州各地降水量系列丰水年和枯水年交替出现, 具有明显的周期性。

参考文献

- [1] 刘稳, 刘国东, 夏菁. 近 57 年云南降水量时空格局及周期特性研究[J]. 人民长江, 2018, 49(S2): 80-85+123.
- [2] 胡嘉佳, 曹壹梅. 云南昆明地区年季降水量空间演变特征分析[J]. 水利规划与设计, 2020(4): 36-39+119.
- [3] 地方志编纂委员会. 楚雄彝族自治州州志[M]. 北京: 人民出版社, 1994.
- [4] 楚雄彝族自治州水务局. 楚雄彝族自治州水利志[R]. 2008.
- [5] 云南省水利厅. 云南省河流状况[R]. 2002.
- [6] 蔡文祥, 许大明. 水文计算[M]. 南京: 河海大学出版社, 1988.
- [7] 周云, 谢波, 马显莹, 等. 珠江上游水资源配置及持续利用对策研究[J]. 云南农业大学学报, 2011, 26(1): 97-104.
- [8] 万云霞, 朱保林, 张万诚, 任菊章. 云南秋季降水的变化特征及其成因分析[J]. 云南大学学报(自然科学版), 2016, 38(1): 62-71.
- [9] 邓先俊. 陆地水文学[M]. 北京: 水利电力出版社, 1986.
- [10] 云南省水利厅. 云南省水资源公报[R]. 2020.
- [11] 谷桂华, 余守龙, 李学辉, 段路松. 云南省 1956-2016 年降水变化特征分析[J]. 水利水电快报, 2019, 40(10): 13-15+29.
- [12] 刘新有, 李自顺, 刘永兴, 谢飞帆. 怒江流域云南区段降雨时空变化分析[J]. 人民长江, 2017, 48(18): 39-44.
- [13] 云南省水利厅. 云南省水资源调查评价专题报告[R]. 2019.
- [14] 楚雄彝族自治州水务局. 楚雄州水资源公报[R]. 2020.