第49卷 第1期 气 象 学 报 Vol. 49, No. 1
1991年2月 ACTA METEOROLOGICA SINICA Feb., 1991

新疆年降水变差系数的若干规律性*

马淑红 张学文

(新疆气象科学研究所)

提 要

本文采用统计学和水文学中常用的变差系数这个统计量研究了新疆地区年降水量的变化情况。在对近百个测站的25年资料分析的基础上，发现年降水变差系数与年降水量和测站海拔有较好的关系。这个关系可用一个二元函数表示。这一发现无疑对气候理论研究和资料稀少地区的水资源研究都是有实际价值的。

一、引 言

降水的年际变化不仅是气候研究的重要课题，也是决定旱涝、水利工程设计标准的重要因素。过去在气候学中，对年降水量的变化的研究主要用相对变率这个统计量。文献[1—3]指出，降水相对变率与降水量之间存在着反相关关系，而在我国西部则以幂函数拟合为最佳。本文从新疆的98个代表站25年资料统计中求得年降水量与另一个统计量(年降水变差系数)之间也是以幂函数关系为最佳。这与文献[2]是一致的。

新疆是干旱区。过去对降水年际变化的研究[4,5]是用相对变率作为统计量进行的，并且也定性地分析出一些规律。当时资料年代较短，用的测站也较少。现在不仅有了较多的测站，而且资料年代也较长，这为本文分析提供了资料基础。而在选用统计量上，这次我们改用在统计学和水文学中通用性更强的一个统计量，即用变差系数(标准差被平均值除)作分析。本文揭示了其地理分布规律，找到了它与测站降水、海拔之间存在着一个精度比较高的函数关系。

利用这个函数显然可以较准确地推算无资料，或资料年代过短地域的年降水的稳定性。这对于气候研究、水资源研究都有实际价值。

二、资料统计方法

我们在本文中计算变差系数 C_v 时就是用年降水的平均值 R 去除其标准差 σ，即

$$C_v=\frac{\sigma}{R}=\frac{1}{R}\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum(R_i-R)^2} \tag{1}$$

式中 n 为样本个数，本文中统一取为25(即资料年数)，R_i 是各年的年降水量。我们对98

* 本文于1988年9月15日收到，1989年6月14日收到最后修改稿。

个气象站、水文站的1960—1984年(合计25年)的年降水依上式分别求出98个C_v值。

三、年降水变差系数的地理分布

年降水变差系数C_v的大小反映了年雨量的逐年变化的相对大小。C_v值大，说明当地年雨量很不稳定。C_v值小，则各年降水总量相差不多。把依公式(1)求得的C_v值填在新疆地图上，可以看出年降水变差系数的分布特征是：西部小于东部、北疆小于南疆、山区小于盆地(图略)。

新疆东部的淖毛湖戈壁的年降水变差系数高达0.66，而西部的伊犁河谷的C_v值仅在0.25上下。北疆准噶尔盆地腹部的C_v值约为0.4而盆地南北边缘处的C_v值在0.25左右。

在天山以南的塔里木盆地，其南缘和北缘的年降水变差系数多在0.4—0.5之间，东缘多在0.5—0.7之间。这都大于北疆地区。而位于吐鲁番盆地中的托克逊站的C_v值高达0.89。当地年降水仅6.6 mm，为全国最低值，估计其C_v值也是全国最大的了。不过当地降水过少，在农业上没有实用意义，其C_v值大对人民生活并没有什么影响。

山区是我们关注的重点。这主要是因为山区降水量大，它又是新疆数百条河流的发源地，山区水源是否稳定与山区降水的C_v值密切相关。

计算表明在新疆各个山区其年降水变差系数都比盆地小。在表1中列出了四个主要的山系坡向的具体的C_v值随着高程与年降水的变化情况。

表1中显示各山系剖面上年降水变差系数随海拔加大而逐步减小。以天山北坡为

表1 新疆各山系年降水变差系数C_v垂直变化情况*

阿尔泰山南坡				天山北坡			
站点	高程	C_v	年降水量	站点	高程	C_v	年降水量
福海	501	0.363	114.5	梧桐窝子	450	0.243	146.5
巴里巴盖	518	0.323	107.7	昌吉	577	0.219	182.5
阿泰勒	735	0.311	174.6	乌市西郊机场	654	0.218	195.3
克兰河山口	988	0.263	257.7	乌鲁木齐	918	0.203	277.4
				英雄桥	1920	0.176	482.1
				小渠子	2160	0.182	525.1
				天山云雾站	3539	0.110	429.0
天山南坡				昆仑山北坡			
站点	高程	C_v	年降水量	站点	高程	C_v	年降水量
尉犁	885	0.530	42.8	巴楚	1117	0.615	50.2
库尔勒	932	0.433	52.2	麦盖提	1178	0.555	52.4
焉耆	1056	0.391	69.4	叶城	1360	0.463	52.9
和静	1101	0.431	52.1	玉孜门勒克	1620	0.359	72.4
巴仑台	1753	0.250	188.7	库鲁克栏杆	2000	0.348	94.0
巴音布鲁克	2453	0.143	267.0	康西瓦	3986	0.302	36.2

* 高程单位为m，年降水量为mm，C_v无因次。

例，在山脚下海拔 450 m 处 C_v 值 0.24，海拔 918 m 的乌鲁木齐，C_v 降至 0.20。到近天山顶处的天山云雾站 C_v 仅为 0.11，这是实测的新疆的 C_v 最小值。在干旱地区，年降水变差系数竟然这么小，这是值得进一步研究的；而山区水源地 C_v 小对于保证河水流量的稳定，对于灌溉农业的稳产、高产又有着重要意义。

表 1 中显示了不同山系的 C_v 随高程的变化情况，对比之下以天山北坡 C_v 值最小，其次是阿尔泰山南坡和天山南坡。降水最少的昆仑山北坡 C_v 值更大些。

表 1 中列出了 C_v 和测站海拔的值，也给出了相应的年降水量值。这就使我们看到了 C_v 与降水的关系。利用 C_v 的地理分布图与年降水地理分布图的对比也可以看出 C_v 值与 R 有关。下面就逐步深入分析年降水变差系数与年降水和海拔的综合关系。

四、年降水变差系数和年降水量的关系

降水量大则年降水变差系数小的关系在平面的地理分布图和表 1 中仅能作定性结论。它们之间的关系能否用一个方程式表示出来呢？为此我们进而作了图 1。在这张图上一个坐标为年降水量 R，另一个为年降水变差系数 C_v。我们把 98 个测站的各对应的 R，C_v 点聚于图上，从而显示了各个点子较明显的集中在一条曲线附近。

在图 1 中显示各个点子集中在一条曲线附近，这使我们想进一步寻找这一曲线的数学表达式。经过多次尝试（包括后边介绍的计算对比其剩余标准差）最后选定以幂函数形式的回归曲线表示 C_v 与 R 的关系最妥当，即年降水变差系数 C_v 与年降水 R 之间遵守如下曲线回归方程

$$C_v = aR^b \tag{2}$$

式中 a，b 为两个待定常数。我们按文献[6]的方法用 98 个测站资料求得 $a=2.0333$，$b=-0.3837$，即有

$$C_v = 2.0333\,R^{-0.3837} \tag{3}$$

这就是我们找到的一个精度较高的新疆年降水变差系数 C_v 与年降水量 R 的回归方程。

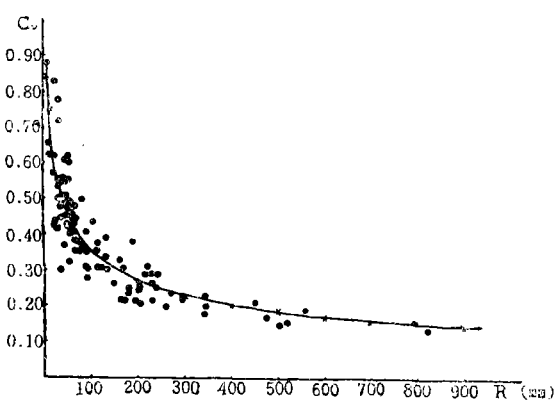


图 1　新疆年降水变差系数 C_v 与年降水量 R 的关系

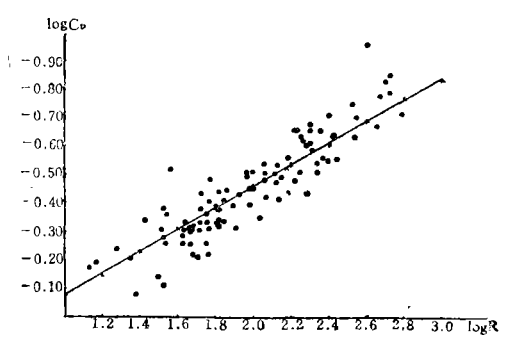


图 2　新疆 $\log C_v$ 与 $\log R$ 的关系

为进一步判定这个方程是否妥当，我们对(3)式两边取对数，这样 $\log C_v$ 与 $\log R$ 之间应当是有良好的直线关系。图 2 给出了这个直线。它显示点子均匀(无系统偏差)的聚集在直线两侧的近处。这说明我们取成幂函数是妥当的。计算 $\log C_v$ 与 $\log R$ 的相关系数，其值为 -0.9085。这个近于 -1 的相关系数值也说明了这一点。

为进一步提高回归方程的精度，我们又结合新疆的天气分区分别作了三个地区的回归方程。它们的差别仅在于待定参数 a,b 的值有些差别，而函数类型仍是幂函数。这些结果都列于表 2 中。

表 2 全疆和三个分区的 a, b, S_r, R^* 值

地 区	a	b	S_r	R^*
全 疆	2.0333	−0.3837	0.0733	0.8853
天山以北	1.2942	−0.3162	0.0379	0.9162
天山以南	1.2388	−0.2632	0.0544	0.8901
昆仑山北坡	1.3276	−0.2504	0.1009	0.6836

表 2 中我们把全新疆各区的 a,b 值也统一列了进去，此外还给出了两个表示精度的参数 S_r 和 R^*。S_r 是按此回归方程求算 C_v 值的剩余方差，而 R^* 是相关比[6]。表中 S_r 和 R^* 值显示了用分区求得的 a,b 值比从年降水求算年降水变差系数 C_v 的精度要更高一些。

这些结果显然可以用于仅有少数几年的降水测站点(或地区)上的 C_v 值的估计上，从而有利于气候和水资源研究。

应当指出，这些结果与孙安健[2]用平均降水相对变率作指标而得出的结论是一致的，但精度有所提高。

五、变差系数、海拔、降水的综合关系

图 2 和表 2 显示新疆地区的年降水变差系数 C_v 与年降水 R 的关系是很密切的。从 R 反求 C_v 有一定的精度。但是在表 1 中还显示测站海拔与 C_v 也有较好关系。表 1 中天山北坡的数据说明降水最大值与变差系数最小值并不重合。前者在中山带而后者则在山顶上。这些情况促使我们进而研究变差系数与降水和海拔的综合关系。

由于年降水变差系数的对数 $\log C_v$ 与年降水的对数 $\log R$ 有较好的关系，我们就以 $\log C_v$, $\log R$ 和海拔 H 这三个变量的点聚图来显示 C_v, R 和海拔 H 的关系。

为了使考虑了海拔后的关系比仅考虑年降水更好一些，我们直接对三个分区做上述点聚图。在点聚图中我们以 H, $\log R$ 分别为纵横两个坐标，而把 $\log C_v$ 值标在相应的点子近处。如果 $\log C_v$ 值在图上的分布有明显的规律，这也就相当于 C_v 确实可视为年降水和测站海拔的二元函数(或说用二元回归方程比仅用一元回归更好)。

我们作出了天山以北、昆仑山北坡、天山南坡三个分区的 $\log R$, H, $\log C_v$ 的三张点聚图。由于 $\log C_v$ 确实在图面上作有规律的分布，这使我们可以用二元线性方程来概括

$\log R, H, \log C_v$ 三个量之间的关系。有鉴于此，我们进而用数理统计方法求出了联系 $\log C_v, \log R, H$ 的二元线性回归方程。现把这三个方程列于下面：

$$\log C_{v1} = 0.2208 - 0.0069\,H - 0.3318\log R \tag{4}$$

$$\log C_{v2} = 0.2843 - 0.0091\,H - 0.2585\log R \tag{5}$$

$$\log C_{v3} = 0.1346 - 0.0034\,H - 0.2634\log R \tag{6}$$

式中 C_{v1}, C_{v2} 和 C_{v3} 分别代表天山以北、昆仑山北坡到 40°N 以南地区和 40°N 以北的天山南坡。H 为测站海拔(以 10 m 为单位)、R 为年平均降水量(以 mm 为单位)。

用以上方程从海拔 H、年降水 R 计算 $\log C_v$ 并求得 C_v 后，我们做了统计检验，其结果列于表 3 中。

表 3　新疆各区 $\log C_v$ 与 H 和 $\log R$ 的统计检验结果

地　区	复相关系数	确定系数*	剩余标准差 S_r	统计量			样本数
				F	F_H	$F\log R$	n
天山以北	0.9211	0.8484	0.0318	92.3799	16.9562	95.7239	36
天山以南	0.8922	0.7960	0.0514	56.5961	1.2446	20.6848	32
昆仑山北坡	0.8713	0.7592	0.0732	42.5598	26.0500	28.1312	30

* 是复相关系数的平方

表中 S_r 一项为剩余标准差。它的值越小说明经验方程的拟合精度越高。对比表 2，表 3 的 S_r 值可以看出表 3 中相应的 S_r 值更小一些。这表明考虑了测站海拔后用(4)、(5)、(6)式计算 C_v 比仅用降水的幂函数(2)式要更好。从表中还可看出三个地区的 F 总体检验很显著($F \gg F_{0.01}$)这也说明年降水变差系数取对数后与海拔高度、年平均降水的对数值有良好的直线关系。表中给出的复相关系数在 0.87 以上又从另一侧面表现了三个变量的密切关系。

从上述分析中可以看出用公式(4),(5),(6)分别求新疆三个分区的年降水变差系数值，其精确度是比较高的。

为便于应用我们把与公式(4),(5),(6)对应的直线列线图也给了出来(即图 3,4,5)。从图中可以依海拔高度、年降水量直接查出年降水变差系数 C_v 值来。

六、小　　结

在干旱的新疆，降水的变化程度如何？这个问题很有实用意义。可是新疆长系列的降水测站不多，这造成求算资料少的地区的降水变化程度方面的困难。

本文把研究年降水变化程度的指标从过去的相对变率改为在水文学、统计学中常用的变差系数 C_v(标准差被平均值除)，并用它分析年降水变化的规律性。

1．新疆年降水变差系数的地理分布特征为：山区水源地年降水变化少，C_v 值小，它有利于农业稳定增产。就全疆而论山区 C_v 小于盆地、北疆小于南疆、西部小于东部的特征明显。吐鲁番盆地的托克逊是全国年降水最少的地区(6.6 mm)年降水 C_v 高达

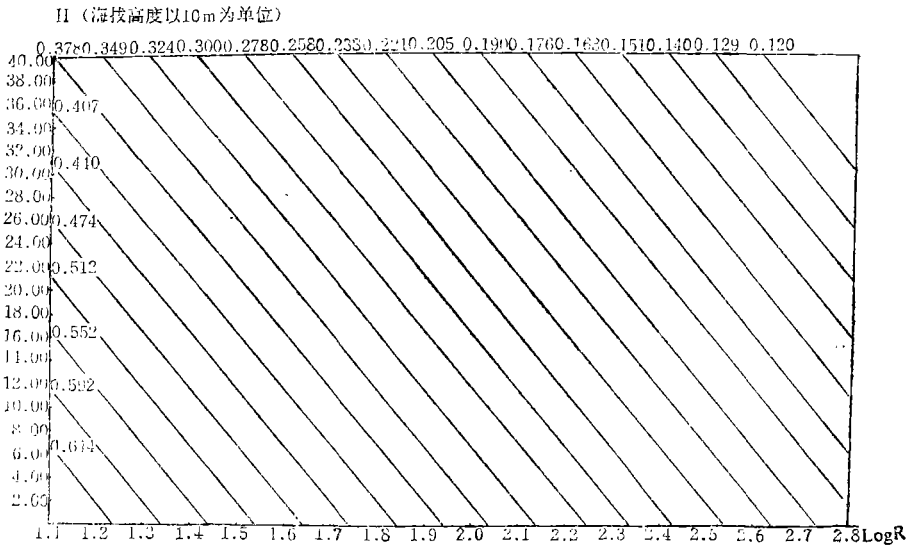


图 3 新疆天山以北 $\log C_v$ 与 H 和 $\log R$ 的列线分布规律

($\log C_v$ 的值标在列线的左、上侧，下同)

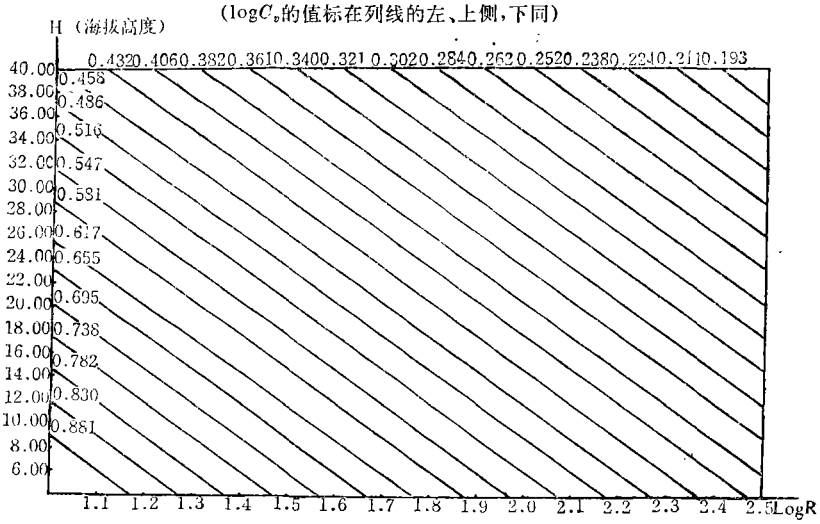


图 4 新疆昆仑山北坡 $\log C_v$ 与 H 和 $\log R$ 的列线分布规律

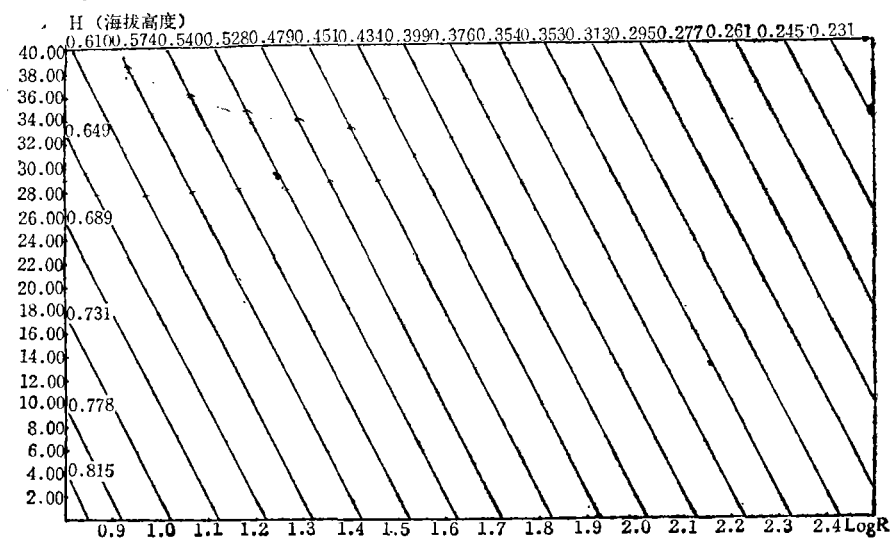


图 5 新疆天山南坡 $\log C_v$ 与 H 和 $\log R$ 的列线分布规律

0.89。

2．年降水变差系数与年降水、测站海拔的关系明显。C_v与年降水R有较好的反相关。这可用一个精度较高的幂函数[公式(3)、表2]表示。海拔越高，C_v越小，这使我们得出一个比公式(3)精度更高的公式(4)、(5)、(6)，它们显示出$\log C_v$、海拔H和$\log R$有良好的二元线性关系。这些定量的结果不仅揭示了气象要素的内在关系，而且可以用于水资源研究、水工设计等应用气候问题中。这表明本分析有一定理论意义并对资料稀少地区有实用价值。

参 考 文 献

[1] 么枕生，中国东部境内的降水变率，气象学报，**29**，225—238，1958。
[2] 孙安健，我国平均降水相对变率和降水量统计关系的研究，气象学报，**44**，102—107，1986。
[3] Conrad, V. , The variability of precipitation, *Mon. Wea. Rev.*, **69**, 1, 5—11, 1941.
[4] 陈汉耀，新疆气候及其和农业生产的关系，科学出版社，106—107，1963。
[5] 张家宝等，新疆降水概论，气象出版社，14—16，1984。
[6] 屠其璞等，气象应用概率统计学，气象出版社，278—279，1984。

SOME RULES OF VARIATION COEFFICIENT OF ANNUAL RAINFALL IN XINJIANG

Ma Shuhong　Zhang Xuewen

(Xinjiang Research Institute of Meteorological Science)

Abstract

In this paper, the variance of annual rainfall in Xinjiang by variation coefficient (C_V) widely used in staticstics and hydrography is studied. Based on analysing to 25 years' observational data in 98 stations, authors found that the variation coefficient of annual rainfall has better relation with annual rainfall and sea level elevation, which can be expressed by a bivariate function. It is valuable for this finding to research climatic theory and water resources in the area where data are rare undoubtedly.