

基于遥测雨量数据的地形对降水特性的影响研究

罗 贤 , 许有鹏 , 徐光来

(南京大学 地理与海洋科学学院 , 江苏 南京 210093)

摘 要: 以浙江省东部的宁波市鄞州区为例 , 采用 15 min 间隔的遥测降水数据 , 根据最小事件间隔时间对降水事件进行划分 , 探讨了地形对降水特性的影响在时间和空间上变化的复杂性。结果表明 , 不同年份年降水总量及降水频次与高程的相关关系较为显著 , 山区降水次数的增多对其降水量的增大有一定影响。另一方面 , 降水强度及历时与高程的关系比较复杂 , 地形对各种天气条件控制下不同类型降水的影响并不一致。降水强度小于 2 mm/h 以及降水历时介于 2 ~ 5 h 的降水频次随高程增大存在增加的趋势 , 且不同年份的这种增长趋势较为接近 ; 而其它高强度、短历时或长历时的降水频次与高程的关系则比较复杂 , 地形对这些类型降水的影响具有较大的随机性。

关键词: 降水事件 ; 地形 ; 降水强度 ; 降水历时 ; 降水频次

文献标识码 : A

文章编号 : 1000-288X(2012) 02-0090-06

中图分类号 : TV125

Precipitation Characteristics Based on Telemetering Pluviograph Data: Orographic Effects

LUO Xian , XU You-peng , XU Guang-lai

(School of Geographic and Oceanographic Sciences , Nanjing University , Nanjing , Jiangsu 210093 , China)

Abstract: Based on telemetering pluviograph data at the intervals of 15 minutes , the precipitation events were extracted according to minimum inter-event time , and the complex orographic effects on precipitation characteristics were analyzed in spatial and temporal scales in Yinzhou District , located in Ningbo City , Eastern Zhejiang Province. As confirmed by the results , the amounts and frequency of precipitation demonstrated a significantly close correlation with the elevations in various years , and the relative larger total rainfall amounts in the mountainous areas were partly attributed to the increments of precipitation frequencies. On the other hand , the relationships between rainfall intensity , duration and elevation were found more complex , and the orographic effects were not consistent on different types of precipitation controlled by various weather conditions. The number of rainfall events that had intensities less than 2 mm/h or durations of 2 to 5 hours increased significantly as the elevation rose , and this trend had been observed consistently in different years. The relationship between elevations and the frequencies of the rainfalls with high-intensity , or shorter and longer duration was more complicated , showing more random effects.

Keywords: rainfall event; topography; precipitation intensity; precipitation duration; precipitation frequency

地形对降水的影响显著而又复杂^[1-3] , 其相关问题一直为水文学家所关注。目前该方面的研究主要集中于地形对某一次暴雨过程以及年、月、日或时段降水量的影响^[4-8]。实际上 , 不同天气系统下地形对降水的影响是不一致的^[2] , 因地形增减的降水量并非均匀地分配在各场降水内^[1] , 有必要对比和分析地形对不同类型降水的影响规律。另一方面 , 受

观测设备限制 , 以往地形对降水的影响研究通常基于人为划定的时间 , 即年、月、日、小时等。由于降水在时间分布上具有相当大的复杂性 , 采用上述数据会导致降水强度、历时等降水特性的计算结果不够精确。随着水文遥测系统的迅速发展 , 越来越多高时间分辨率的遥测雨量数据被获取 , 为地形与降水特性关系的深入和全面分析提供了有效的数据支撑。目前 , 国内

收稿日期 : 2011-04-26

修回日期 : 2011-08-08

资助项目 : 国家自然科学基金重点项目“长江三角洲地区城市化对河流系统与水文过程的影响研究”(40730635) ; 水利部公益行业科研专项经费项目“长江三角洲城市化对洪水孕灾环境的影响”(200701024) ; 水利部公益性行业科研专项经费项目“基于水文循环动态结构的东部洪涝预测研究”(200901042)

作者简介 : 罗贤 (1985—) , 男 (彝族) , 云南省玉溪市人 , 博士研究生 , 主要从事水文及水资源研究。E-mail: lx2566@126.com。

通信作者 : 许有鹏 (1956—) , 男 (汉族) , 江苏省南京市人 , 博士 , 教授 , 主要从事水文及水资源研究。E-mail: xuyy305@yahoo.com.cn。

外基于高分辨率降水数据进行的地形对降水特性影响研究还较少, Dairaku^[9] 通过对泰国西北部的 Mae Chaem 流域雨季降水特性分析认为, 相对于降水强度来说, 降水历时和频次的增加对该区高海拔地区雨量增多的影响更大。

本研究选择浙江省东部的宁波市鄞州区作为研究区, 采用高分辨率的遥测雨量数据, 以最小事件间隔时间为依据对降水事件进行划分, 深入分析和探讨地形对降水特性的影响在时间和空间上变化的复杂性。其研究结果对山洪灾害防治、水土保持以及山区水资源保护具有重要意义, 对于自然条件类似的相邻地区也具有一定的借鉴意义。

1 研究方法和研究区概况

1.1 降水事件划分

从时间分布上来说, 降水通常是不连续的, 一场降水事件往往由数个降水时段以及相邻降水时段之间的无雨时间构成。本研究采用以往研究中较为常用的最小事件间隔时间 (minimum inter-event time, MIT) 对降水事件进行划分。即如果相邻降水时段之间的无雨时间小于特定的最小事件间隔时间, 那么前后两个降水时段以及它们之间的无雨时间均属于同一降水事件, 反之则这两个降水时段分属于不同的降水事件^[10]。

1.2 降水特性

主要研究地形对降水量、降水强度、降水历时及降水频次等特性的影响, 其中, 降水量为时段内降落到地面上的降水总量, 降水强度为单位时间的降水量, 降水历时则为从降水开始至结束所经历的时间^[11]。三者之间关系为:

$$D_i = I_i T_i \quad (1)$$

式中: D_i ——降水量; I_i ——降水强度; T_i ——降水历时。年降水量为一年内各降水事件降水量的总和, 可以表示为:

$$D = \sum D_i = \sum I_i T_i \quad (2)$$

式中: D ——年降水量。根据公式(1)和公式(2), 年平均降水强度则可表示为:

$$\bar{I} = \frac{\sum D_i}{\sum T_i} = \frac{\sum I_i T_i}{\sum T_i} \quad (3)$$

式中: \bar{I} ——年平均降水强度。而年平均降水历时的表达式为:

$$\bar{T} = \frac{1}{N} \sum T_i \quad (4)$$

式中: \bar{T} ——年平均降水历时; N ——降水事件数。根据公式(1) —(4), 则可推导出年降水量与年平均

降水强度、年平均降水历时以及降水事件数的关系:

$$D = \sum D_i = \sum I_i T_i = \frac{\sum I_i T_i}{N \sum T_i} N \sum T_i = \bar{I} \bar{T} N \quad (5)$$

1.3 研究区概况

鄞州区(东经 121°08′—121°54′, 北纬 29°37′—29°57′) 位于甬江流域中下游地区, 总面积 1 380.54 km²。该地区属亚热带湿润季风气候区, 年平均降水量为 1 603.5 mm, 雨量较为充沛。受梅雨和台风影响, 区内灾害性天气相对频繁, 洪涝灾害严重^[12]。鄞州区为浙东丘陵及宁绍平原的一部分, 地形较为复杂, 区内东部和西部多山地, 而中部则以平原为主。由于地形高低起伏, 区内降水空间分布不均匀, 且降水的分布格局主要和地形有关, 年降水量的高值区分布于西部及东部山区, 而低值区则主要位于中部平原区^[13]。

1.4 数据选取及处理

研究区东部和西部的山体总体上均呈北东走向, 而该区汛期风向主要为南风及东南风。考虑到坡向对降水的影响, 本研究选取了 16 个雨量遥测站进行分析, 其中, 山区雨量站大部分位于山体的西南侧, 即汛期的迎风坡一侧。遥测站雨量采用翻斗式雨量计观测得到, 当积水量达到 1 mm 时, 雨量计的翻斗自动倾倒, 而数据库则整理并记录 15 min 间隔的雨量数据。根据研究区降水特征及雨量记录情况, 本研究选取 2 h 作为最小事件间隔时间, 采用各站 2007—2009 年的降水记录(其中花龙庄、杖锡以及姜家山 3 站 2009 年之前的雨量观测数据不完整, 仅采用 2009 年数据进行分析), 进行降水事件的提取, 并分别计算其统计特性值。

考虑到观测设备的特征, 需要对降水记录中可能的误差进行分析。当 15 min 降水记录为 1 mm 时, 该时段的实际降水量可能不足 1 mm, 而是由于之前若干时段的累积降水量不足 1 mm, 雨量计未达到翻斗倾倒的标准, 在该时段其累积降水量达到或超过 1 mm 而记录的; 另一方面, 此时段的降水量也可能超过 1 mm, 但未达到 2 mm, 翻斗仅进行 1 次倾倒。上述观测设备的限制对长历时降水统计特性的影响不大, 但对于短历时降水来说则有很大影响。为了更好地分析地形与降水特性的关系, 在本研究中, 不考虑降水量为 1 mm 的孤立降水事件。

2 结果与分析

2.1 地形与降水特性的关系分析

从公式(5)可以看出, 总降水量取决于平均降水强度、平均降水历时以及降水事件数。因此, 首先对

上述几个降水特性与高程的关系进行分析探讨。表 1 为各降水特性及高程回归模型的参数,图 1 为研究区各站点降水特性以及高程之间的关系散点图。结合表 1 和图 1 可以看出,地形对于各降水特性的影响是有所不同的。图 1a 反映了总降水量与高程的关系,随着高程的增大,总降水量有显著的增加趋势($\alpha = 0.05$),另外,虽然不同年份平原站点雨量较为接近,但山区站点雨量却有较大差距,说明不同年份地形对降水量的影响并非是一致的;图 1b 为平均降水强度与高程关系散点图,对于 2007 和 2009 年来说,平均降水强度随高程增加而增大,然而从总体上看,3a 的变化趋势并不显著($\alpha = 0.05$);图 1c 反映了平均降水历时与高程的关系,2007 及 2008 年平均降水历时与高程未表现出明显的对应关系,2009 年

平均降水历时随高程增大而增长,但此趋势不显著($\alpha = 0.05$);由图 1d 可以看出,不同年份降水频次随高程的增大均有显著的增加趋势($\alpha = 0.05$),且各年份得到的趋势线较为接近。

通过对研究区降水特性的分析,可以认为山区的纯粹性地形降水,即在坡前平原并无降水,而在气流沿山坡爬升过程中形成较强的辐合气流,造成局地性降水,使其降水频次较平原区更大,是造成山区降水总量大的原因之一。另一方面,降水事件中雨量的增加,也就是降水强度或历时的增大,同样可能造成山区总降水量的增加,但由于降水过程十分复杂,地形对各个降水事件强度和历时的影响因天气系统的差异而有所不同,平均降水强度及平均降水历时与高程之间相关性不强。

表 1 不同年份降水特性及高程回归模型参数

年份	总降水量			平均降水强度			平均降水历时			降水事件数		
	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²	a	b	R ²
2007 年	0.07	3.05	0.75*	0.02	0.59	0.20	0.00	0.62	0.00	0.04	1.99	0.54*
2008 年	0.03	3.06	0.60*	-0.01	0.65	0.09	0.00	0.55	0.01	0.02	2.07	0.44*
2009 年	0.06	3.08	0.70*	0.02	0.60	0.19	0.02	0.58	0.17	0.03	2.04	0.46*

注:回归模型采用 $\lg y = a \lg x + b$ 的形式。式中: x ——高程; y ——总降水量、平均降水强度、平均降水历时以及降水事件数; a 、 b ——模型参数。* 代表模型回归效果显著($\alpha = 0.05$)。下同。

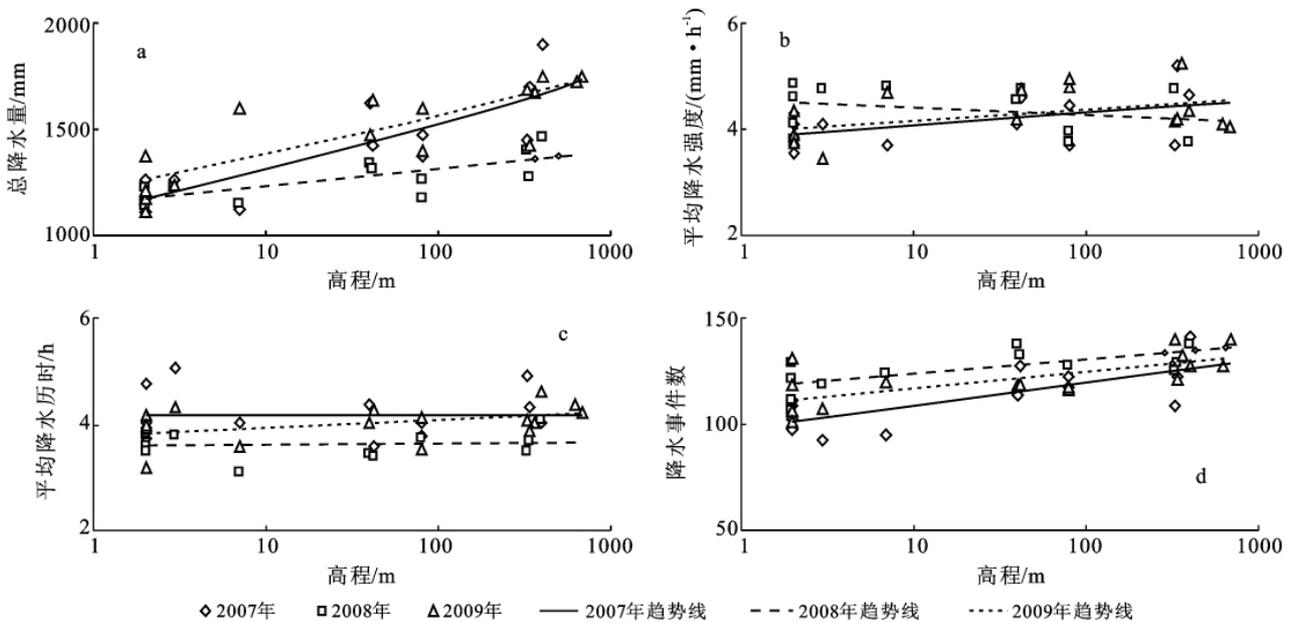


图 1 各降水特性与高程的关系

2.2 地形对不同类型降水的影响

通过分析可知,研究区地形对降水频次的影响较为明显,而对平均降水强度以及历时的影响则比较复杂。为了更好地探讨地形对降水的影响,本研究按照降水强度大小以及降水历时长短分别对降水事件进

行分组,依次分析各组中降水频次与高程的关系,从而探讨地形对不同类型降水的影响。

2.2.1 地形对不同强度等级降水的影响 表 2 列出了不同降水强度等级降水事件的特性以及高程—降水事件数回归模型的参数,图 2 则为各降水强度等级

降水事件数与高程关系散点图。在不同年份各个降水强度分组得到的高程—降水事件数关系中,大部分降水频次均随高程的增大而增多,但其相关关系显著程度以及趋势线形态却不尽相同。在降水强度小于 2 mm/h 的分组中,降水频次与高程有相对较好的对应关系,随着高程的增大,该类降水事件发生的次数有增加的趋势,2007 及 2009 年这种趋势均达到了显著水平 ($\alpha = 0.05$);此外,该组中不同年份回归模型的拟合趋势线斜率及截距较为接近,说明不同年份低强度降水的发生频次变化不大,且其与高程之间的关系也没有明显的差异。

另一方面,在高强度降水的分组中,大部分趋势并不显著 ($\alpha = 0.05$),但在 2007 年降水强度介于 5 ~ 10 mm/h 以及 2009 年降水强度高于 10 mm/h 的分组

中,高程和降水次数却有很好的相关关系,且随高程增大,降水次数增幅较大。造成这种结果的原因为,在部分降水事件中,山区气流被迫抬升导致降水强度增大,高于平原地区,因此山区发生高强度降水的频次大于平原地区;但降水过程较为复杂,并不是在所有高强度降水事件中山区的降水强度都大于平原地区,因此有的年份高强度降水事件发生的次数随高程增大而增多,但有的年份高程和高强度降水频次之间并没有显著的相关关系。总的说来,低强度降水的降水频次与地形有一定关系,山区纯粹性地形降水的发生使得低强度降水事件次数随高程变大而增加,且不同年份这一增加趋势较为稳定;而高强度降水影响因素则较多,地形与降水频次的关系也更为复杂。

表 2 不同降水强度等级降水事件特性及高程—降水事件数回归模型参数

降水强度 / (mm · h ⁻¹)	年份	平均降水 事件数	占总降水事件数 的百分比/%	平均降水 总量/mm	占总降水量 的百分比/%	a	b	R ²
I < 2	2007 年	45.9	41.0	304.4	22.2	0.05	1.59	0.68*
	2008 年	46.8	37.3	292.1	23.4	0.03	1.62	0.28
	2009 年	46.7	38.5	308.5	20.7	0.03	1.62	0.34*
2 ≤ I < 5	2007 年	40.3	36.2	498.3	36.7	-0.01	1.61	0.03
	2008 年	45.4	36.2	522.7	41.7	0.02	1.63	0.10
	2009 年	45.9	37.7	581.4	39.5	0.02	1.63	0.10
5 ≤ I < 10	2007 年	16.7	14.5	411.2	28.7	0.12	1.03	0.52*
	2008 年	20.5	16.3	259.3	20.5	0.04	1.25	0.21
	2009 年	16.9	14.0	267.4	18.2	0.01	1.18	0.01
10 ≤ I	2007 年	9.4	8.2	177.5	12.4	0.08	0.83	0.19
	2008 年	12.7	10.2	179.8	14.4	-0.01	1.11	0.03
	2009 年	12.1	9.8	331.7	21.6	0.08	0.94	0.41*

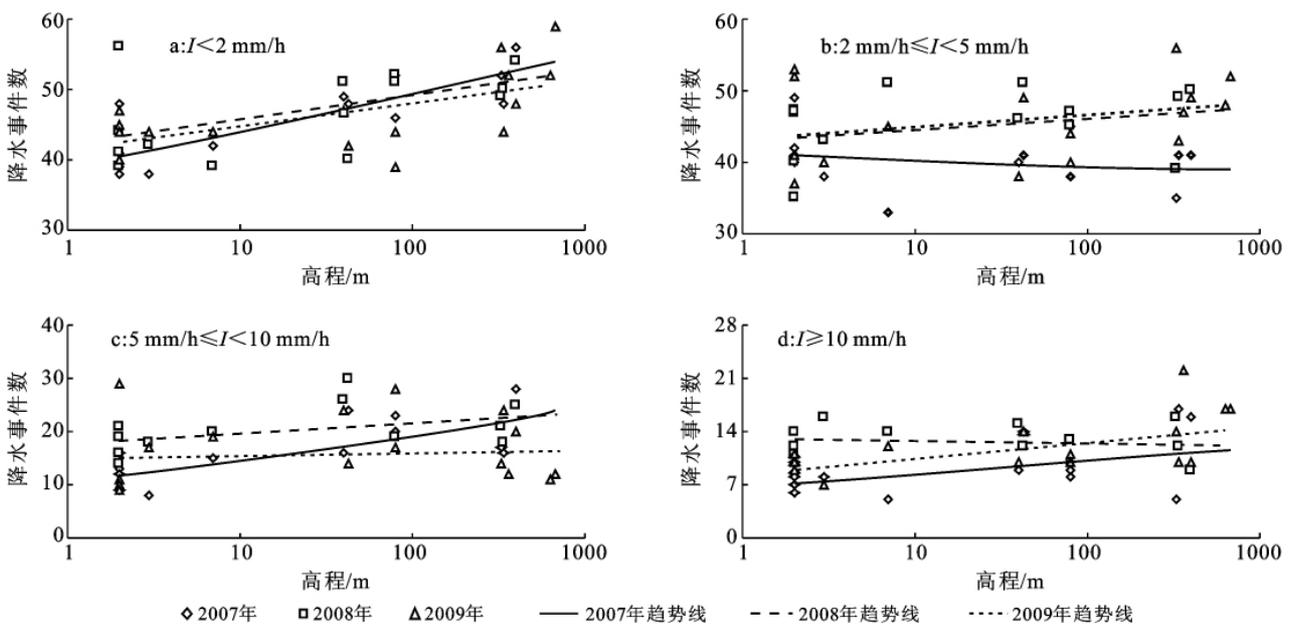


图 2 不同降水强度等级分组降水事件数与高程关系

2.2.2 地形对不同历时等级降水的影响 表 3 列出了不同降水历时等级降水事件的特性以及高程与降水事件数回归模型的拟合参数,图 3 则为各降水历时等级降水事件数与高程关系散点图。

与不同降水强度分组得到的结果类似,大部分降水历时分组得到的降水频次随高程增大而增多,而趋势线的形态以及回归效果却有所不同。在降水历时为 2~5 h 的分组中,降水频次随高程增大都有增加趋势,2007 和 2009 年该趋势达到显著水平($\alpha = 0.05$),且各年的趋势线也较为接近。而在其它降水

历时分组中,不论是趋势线还是回归效果,各年间均有一定的差别。但这些分组中也存在部分年份趋势线拟合效果显著($\alpha = 0.05$),且随高程增加降水频次增幅较大。

总体来说,对于降水历时介于 2~5 h 的降水事件来说,不同年份地形对降水频次的影响较为明显和一致,山区此类型的降水频次高于平原地区,纯粹性地形降水对其影响很大。另一方面,较短历时的降水具有一定的随机性,而更长历时的降水则主要受天气系统影响,二者降水频次与地形的关系比较复杂。

表 3 不同降水历时等级降水事件特性及高程-降水事件数回归模型拟合参数

降水历时/h	年份	平均降水事件数	占总降水事件数的百分比/%	平均降水总量/mm	占总降水量的百分比/%	a	b	R ²
T < 2	2007 年	44.4	39.2	229.7	16.6	0.06	1.56	0.34*
	2008 年	52.0	41.5	265.5	21.3	0.00	1.71	0.00
	2009 年	50.3	41.4	223.6	15.2	0.01	1.67	0.05
2 ≤ T < 5	2007 年	38.8	34.6	295.5	21.4	0.05	1.52	0.34*
	2008 年	43.2	34.4	362.8	29.0	0.04	1.58	0.26
	2009 年	42.0	34.6	430.0	28.9	0.03	1.57	0.37*
5 ≤ T < 10	2007 年	18.8	16.9	311.1	22.8	0.01	1.26	0.01
	2008 年	20.6	16.5	321.1	25.6	0.06	1.23	0.31*
	2009 年	18.8	15.5	314.3	21.3	0.03	1.22	0.05
10 ≤ T	2007 年	10.3	9.2	555.1	39.2	0.04	0.96	0.30
	2008 年	9.5	7.6	304.5	24.2	-0.03	1.01	0.11
	2009 年	10.5	8.6	521.0	34.6	0.09	0.87	0.66*

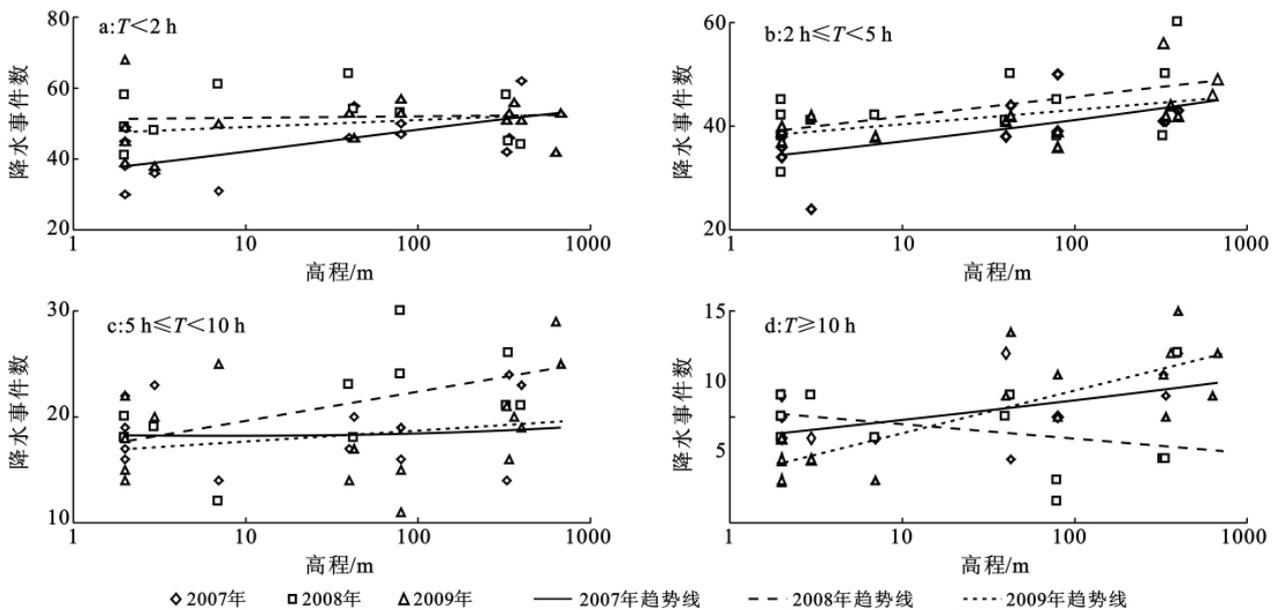


图 3 不同降水历时等级分组中降水事件数与高程关系

3 结论

(1) 根据降水特性与高程的关系分析可以看出,

随着高程的增大,各年降水总量、降水频次有显著的增加趋势($\alpha = 0.05$),而平均降水强度、平均降水历时与高程的相关关系并不显著($\alpha = 0.05$)。一方面,地形

的强迫抬升导致纯粹性地形降水,山区发生降水的频率高于平原地区,这是造成山区降水量增多的原因之一。另一方面,地形作用也可能致使山区降水强度和历时较平原区大,但由于地形对不同天气系统控制下各降水事件的影响存在差异,研究区平均降水强度及平均降水历时与高程之间未表现出很好的相关关系。

(2) 从不同降水强度及历时等级降水频次及高程的关系中可以看出,在降水强度小于 2 mm/h 以及降水历时介于 2~5 h 的降水事件分组中,降水频次与高程的相关关系较好,且各年降水频次随高程增加而增长的幅度类似,这说明了在地形作用下,研究区易形成降水强度小,历时中等的纯粹性地形降水;另一方面,其它不同年份降水强度以及降水历时分组所获得的降水频次与高程的拟合趋势线不尽相同,多数降水频次随高程增大而增多,但其回归效果并未达到显著水平($\alpha = 0.05$),也有一些年份山区站高强度、长历时降水频次与高程有显著的相关关系,且随高程增加降水频次增幅较大,表现出地形作用可能导致部分降水事件的强度增大,历时变长,但并非所有降水事件都会出现此种情况。总的说来,研究区地形作用对于不同年份低强度、中等历时的降水事件影响较为明显及一致,而对于高强度、短历时或长历时的降水事件来说,地形的影响具有一定的复杂性和随机性,大多数年份降水频次与高程的相关关系并不显著,且不同年份也较难得到类似的规律。

(3) 由于降水过程较为复杂,地形对不同类型降水事件的影响有所不同。在进行空间降水特性研究时,应根据降水类型,分析地形与降水特性的关系。另一方面,雨量遥测系统的发展为更加细致的地形对降水特性影响分析提供了良好的数据支撑,未来遥测站网的不断完善以及遥测数据的逐渐丰富将使该方面研究更为深入和全面。

[参 考 文 献]

- [1] 林之光. 地形降水气候学[M]. 北京: 科学出版社, 1995: 96-100, 309.
- [2] 刘国纬. 关于地形对降水的影响研究简介[J]. 水文, 1982(2): 53-59-63.
- [3] 孙继松, 杨波. 地形与城市环流共同作用下的 β 中尺度暴雨[J]. 大气科学, 2008, 32(6): 1352-1364.
- [4] Lee K O, Shimizu S, Maki M, et al. Enhancement mechanism of the 30 June 2006 precipitation system observed over the northwestern slope of Mt. Halla, Jeju Island, Korea[J]. Atmospheric Research, 2010, 97(4): 343-358.
- [5] 矫梅燕, 毕宝贵. 夏季北京地区强地形雨中尺度结构分析[J]. 气象, 2005, 31(6): 9-14.
- [6] Malby A R, Whyatt J D, Timmis R J, et al. Long-term variations in orographic rainfall: Analysis and implications for upland catchments[J]. Hydrological Sciences Journal, 2007, 52(2): 276-291.
- [7] 杨汉波, 杨大文, 雷志栋. 五台山区地形雨减少对水资源量的影响[J]. 水科学进展, 2010, 21(5): 674-680.
- [8] 张克映, 张一平, 刘玉洪, 等. 哀牢山降水垂直分布特征[J]. 地理科学, 1994, 14(2): 144-151.
- [9] Dairaku K, Emori S, Oki T. Rainfall amount, intensity, duration, and frequency relationships in the Mae Chaem Watershed in southeast Asia[J]. Journal of Hydrometeorology, 2004, 5: 458-470.
- [10] Dunkerley D. Identifying individual rain events from pluviograph records: A review with analysis of data from an Australian dryland site[J]. Hydrological Processes, 2008, 22(2): 5024-5036.
- [11] 芮孝芳. 水文学原理[M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2004: 44-52.
- [12] 宁波气象志编纂委员会. 宁波气象志[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 72-81.
- [13] 宁波市鄞州区水利志编纂委员会. 鄞州水利志[M]. 北京: 中华书局, 2009: 33-37, 89-90.