

丁仁海, 丁鑫. 2014. 九华山与周边区域的降水分布差异分析. 气象, 40(4): 458-465.

# 九华山与周边区域的降水分布差异分析<sup>\* 1</sup>

丁仁海<sup>1</sup> 丁鑫<sup>2</sup>

1 安徽省九华山气象台, 九华山 242811

2 九华山风景区管委会, 九华山 242811

**提 要:** 本文基于 1980—2010 年 30 年观测资料及山区不同高度的自动站数据, 运用天气学理论和数理统计的分析方法, 研究九华山区与周边丘陵区域降水的分布差异及其成因。结果表明: 不同区域(地形)的降水时空分布很不均匀, 九华山年降水量比丘陵区域多 34.1%, 且主要降水集中在 5—9 月。造成山区与周边丘陵区域降水的明显差异主要是两地的局地水汽输送条件和垂直运动条件存在明显的差别, 它们对降水效应主要为: 海拔>200 m 的山体对降水产生影响, 且降水量随海拔的升高而增大, 并以海拔在 400~900 m 对降水的增强作用最为显著; 山区地形对降水的增雨作用较为明显, 地形对降水的平均贡献率为 37.6%, 并有强度越大的降水, 其增强作用越明显的特点。分析不同区域降水分布差异及成因对于降水区域预报和水资源研究应用有着重要的参考作用。

**关键词:** 山区, 丘陵, 降水, 时空分布, 增雨效应, 差异分析

**中图分类号:** P466

**文献标志码:** A

**doi:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2014.04.008

## Analysis on Precipitation Differences Between Jiuhua Mountains and Its Surrounding Regions

DING Renhai<sup>1</sup> DING Xin<sup>2</sup>

1 Jiuhua Mountain Meteorological Observatory of Anhui Province, Jiuhua Mountain 242811

2 Jiuhua Mountain Scenic Area Management Committee of Anhui Province, Jiuhua Mountains 242811

**Abstract:** Based on nearly 30 year' observational data and automatic weather station data at different altitudes during 1980—2010, and using weather science theory and mathematical statistics, the precipitation distribution difference and its formation cause between Jiuhua Mountains and its surrounding hills are studied in this paper. The results show that: the spatio-temporal distributions of precipitation in different regions are very uneven, and the average annual rainfall in Jiuhua Mountaions is 34.1% more than the surrounding areas, and precipitation mainly is concentrated in May to September. The formation cause mainly exists in the difference between the local water vapor transport conditions and the vertical motion condition in different regions and it affects precipitation when the terrain elevation is higher than 200 m, and rainfall increasing with the increase of altitude, and the enhancement effect on precipitation is the most obvious in 400—900 m height. The terrain effect on rainfall is more significant in mountains, and its average contribution rate is 37.6%. The greater the intensity of precipitation, the more obvious of its effect. Analysis on the differences and the causes of the different regional precipitation distribution offers an important reference to the regional forecasts of rainfall and water resources research applications.

**Key words:** Mountainous areas, hills precipitation, spatio-temporal distribution, rain enhancement effect, difference analysis

\* 公益性行业(气象)科研专项(GYHY201006037)和安徽省池州市科技社会发展项目(CZ201140)共同资助  
2012 年 11 月 29 日收稿; 2013 年 9 月 5 日收修定稿  
第一作者: 丁仁海, 主要从事天气预报技术与山区气候分析. Email: drh2486@sohu.com

## 引言

长江南岸皖南山区具有多雨湿润的气候特征,属于降水资源充沛区域(杜川利等,2009),这里山区丘陵相间分布,地形复杂多样,水资源存在着明显的空间分布差异和时间变化特征,这种时空分布不均造成季节性水资源短缺现象时有发生,尤其在山区水资源分布以自然降水为主,无可利用的客水调配,汛期的集中强降水和枯水季节的久旱无雨都会带来气象灾害。

本文研究区域是九华山及周边相邻的8个丘陵县。九华山是著名风景区,现有规划面积120 km<sup>2</sup>,以天台至大花台为主脉,位于九华山体的腹地,近似南北向,最高海拔1300 m,峰形奇峭、危崖环绕,上升坡度大。四周向外有低山、丘陵相依,海拔逐级下降,低山海拔300~600 m,外围8县皆属丘陵地区,呈北低南高,海拔均小于200 m,起伏不大,丘体都很小。分析山区与邻近周边区域降水的分布差异,对于山区复杂地形的不同区域水资源研究应用,即如何科学、有效、系统地开发利用水资源提供了重要依据,而对这种差异的成因分析为中长期预报精细化制作和气象预警服务提供一些启示和参考。

目前,关于降水资源的研究给出的时空尺度较大,多是全球、区域气候变化对水资源的影响,如陈桂亚等(2006)、杨帆等(2012),而涉及局部区域,针对复杂地形条件下则以降水过程的个例分析较多,如陈双等(2011)、丁青兰等(2009)、张迎新等(2011),统计分析的少;所用的研究方法有的根据气候变化的条件,利用模型计算水资源量的变化(陈桂亚等,2006),或周兵等(2012)、张夏琨等(2012)通过NCEP/NCAR再分析数据资料计算大尺度环流形势及反映水汽物理量场分布特征。以上这些通过时间序列进行趋势分析的较多,研究降水分布规律的较少,且大都以空间资料(诸如水汽来源和输送、水汽的收支变化、大气可降水量等)分析为主,这的确为分析较大范围的降水分布及变化趋势提供了很好的思路。通常山体的高低、地形坡向对天气气候的影响差别很大,对于本文局地降水的研究,由于其空间尺度小、涉及的地形复杂(以丘陵为主,>200 m的山体较孤立),常规探空资料因尺度较大很难反映小山体的气候特征,对于局部小区域,受探测手段限制,目前不便也无法进行空间物理量的对比分析。

但是局地小气候的差异总是准确地反映在地面气象要素中。因此本文利用30年地面气象统计历史资料及山区各高度的气象加密观测数据做对比分析,通过距平分析法、多项式拟合、差值分析等数理统计方法,分析不同地形降水资源的分布特点及时空分布差异,再从影响降水系统的近地面入手,对山体海拔、地形对降水的增强机理展开研究,分析海拔高度与降水的关系和山区地形对降水贡献大小。对于地形作用是如何影响近地层的风场及水汽的输送,仅从理论上作一些简析。

## 1 资料的选取与分析

气象资料使用30年气候资料和2007—2010年暖季的加密自动站资料(冷季的月份由于山区高海拔站多固态降水,影响了该期间自动站降水数据月统计的准确性)。在九华山四周的邻站中,选取8个丘陵站作为九华山低山丘陵区域的外延,其平均值代表该区域背景气候(以下称周边丘陵区域),与九华山区进行对比分析,同时以相邻的高山站黄山作进一步验证。由于各台站建站时间不一,九华山使用1991—2010年,其他站统一使用1981—2010年30年。相关分析采用“斯皮尔曼等级相关系数法”,使用同期1991—2010年资料。质量控制方法:对自动站资料均一性作检验和订正,剔除疑误记录和缺测较多的不完整年月份,对于非使用不可的疑误、缺测时次采取临近前后分时资料代替并参考相邻测站资料。

## 2 山区与丘陵的降水分布差异

### 2.1 降水量的分布特点

九华山区处在过渡型气候带,天气不仅受背景气候的影响,还受山区的高度和地形的影响,因此降水分布极不均匀,降水资源的时空变率很大,不同程度的旱、涝等气象灾害时有发生。图1反映两山与8个丘陵站降水的多年平均值的年内分布,山区和丘陵地区降水的季节分布形态基本一致,但山区降水量大于丘陵地区,尤其是在夏季6—8月明显偏多,并呈双峰型;两高山站这种明显偏多因季节又有区别,九华山表现在夏末和秋季偏多,黄山站则前移,在春末和夏季偏多,以6、7月特多。九华山一年

中 5—9 月降水充沛(称汛期),占全年降水量的 58.7%。图 1b 为各站夏季多年旬平均降水的逐旬分布特征,皖南山区夏季降水都略显双峰型特征,峰值分别出现在 6 月下旬和 8 月下旬,而两高山站的双峰型特征明显,又以九华山(处在海拔 647 m)最为显著;图 1b 中的数字为九华山 20 年统计中相应各旬的强降水 $\geq 50$  mm 日数,可以看出,九华山强降水日数的分布也具有双峰型特征,两峰值出现时段与前者完全吻合。因为 6 月下旬和 8 月下旬分别是江南梅雨期和台风影响皖南山区的集中期,暴雨频发,而山区尤其是一定海拔高度的山体对强度大的降水能产生明显增强作用所致。

考虑年降水量气候分布由南向北递减,将九华山以北 5 个县级站称为北片丘陵站,九华山以南 3

个县级站称为南片丘陵站,这样周边丘陵地区分南北两片与两山降水的年内(季节)分布如图 2。图中可见,各站全年降水在各季所占比重均以夏季最多,次之春秋冬排列。同是丘陵地区,南片春夏冬 3 季降水皆大于北片,且在夏春偏多明显。比较山区与丘陵降水分布差异:九华山多年平均降水量为 2075 mm,比周边丘陵区域平均年降水(1547.2 mm)多 34.1%,黄山站因海拔更高,年平均降水量更大(2269 mm);九华山降水量无论在汛期 5—9 月,还是春夏秋冬各季皆多于周边的南北丘陵地区,只不过在汛期这种偏多状态表现更加明显;黄山站夏季所占比重偏大,这是海拔对降水影响以及位置偏南所致。

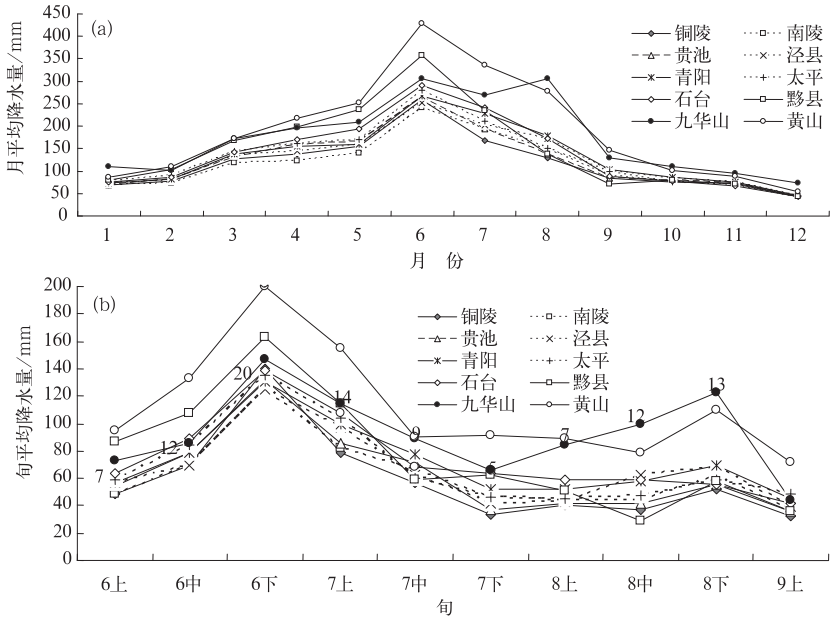


图 1 各站点降水量(单位: mm)的年内变化特征

Fig. 1 The annual variation of precipitation (unit: mm) at all stations

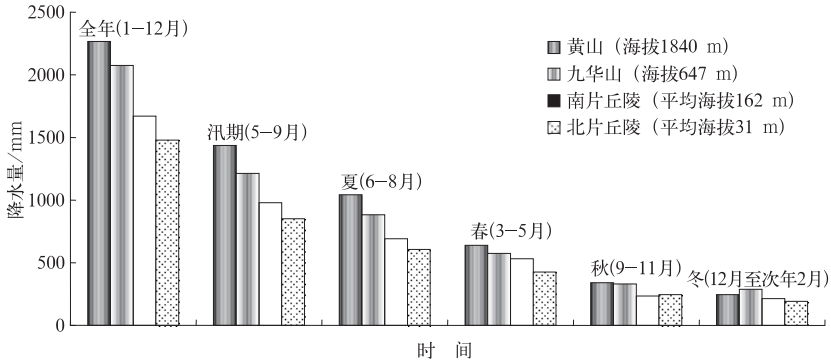


图 2 山区和丘陵地区降水量的季节分布

Fig. 2 Seasonal distribution of precipitation in Jiuhua Mountains and its surrounding hilly areas

2.2 各级别降水的差异特征

从表 1 的统计可以看出,各级别降水的平均日数山区站皆多于丘陵地区,且海拔越高,其值越大。九华山与丘陵区域均值相比,小雨至大暴雨各等级的增长幅度分别是 3.5%、27.9%、33.6%、45.7%和 130.5%,小雨日数九华山与周边丘陵地区几乎相近,随着雨量等级增大,其日数增长越多,黄山也

是如此,说明山区地形作用使强降水或大级别降水次数增多,而量级大的降水多发生在汛期,因此,山区汛期降雨量明显多于丘陵地区。山区强降水的区域特征不仅表现在量级大的雨日偏多,还表现在降水强度上比周边降水量大,如统计山区与周边暴雨、大暴雨两个量级降水量的平均值,九华山分别比周边丘陵多 41.6%和 52.3%,也表明山体高度对强度大的降水贡献要大。

表 1 不同量级降水的平均日数 (单位: d)  
Table 1 Average number of days (unit: d) for different levels of precipitation

雨量等级	周边丘陵区域								高山站		
	铜陵	南陵	泾县	贵池	青阳	太平	石台	黟县	8站平均	九华山	黄山
小雨	92.6	99.1	106.3	96.8	106.6	107.2	103.4	100.3	101.5	105.1	112.9
中雨	24.0	26.4	28.5	26.0	27.9	30.0	29.4	29.3	27.7	35.4	36.4
大雨	11.6	10.7	11.9	11.6	12.4	12.7	13.0	13.7	12.2	16.3	17.1
暴雨	3.3	3.6	4.4	4.5	5.1	4.1	4.9	5.8	4.5	6.5	7.2
大暴雨	0.8	0.6	0.5	0.7	0.6	0.7	0.9	1.1	0.7	1.7	1.8

3 降水分布差异的成因分析

范广洲等(1999)、刘艳华等(2011)、张楠等(2011)、黄玉霞等(2006)学者利用多年 NCEP/NCAR 月平均再分析资料分析了空中水汽资源的时空分布,包含了本文的研究区域。刘艳华等(2011)在分析中得出了水汽含量的季节分布与降水量的季节变化特征完全一致,且水汽含量的 74%分布在 700 hPa 以下,又以 700~850 hPa 层为大值层区。显然九华山、黄山两高山站海拔接近水汽含量大值区层,是其降水偏多原因之一。又如张楠等(2011)分析了华中地区四季的大气水汽来源、分布和收支变化,大气可降水量以夏季最多,冬季最少,水汽分布也受海拔高度的影响;长江中下游地区皆为水汽来源的盈余区,其南边界为稳定的水汽输入边界。

3.1 水汽要素对比分析

表 2 的一组数据反映不同区域与水汽相关的气象要素分布情况,九华山雾(指能见度≤1 km)的日数是周边丘陵的 3.7 倍,黄山则是丘陵地区的 6.4 倍,可见山体海拔越高雾日越多。山区的雾可分为上坡雾、辐射雾和平流雾,前两种是由山区地形作用形成的,平流雾是降水天气系统过境时形成或系统云移至山坡所致,这种雾多发生在降雨前后和伴有降雨,它和产生降水的云连成一体,随地形抬升会增大降雨量。山区有平流雾移近时,能见度一般≤500 m,统计表明九华山的雾约 7 成属这种平流雾。两高山站的相对湿度就多年平均而言与周边丘陵地区相近,但降水过程中山上相对湿度明显大于周边区域(丁仁海等,2010),无雨日则相反,说明降水过程中地形对山区水汽场的调节作用是明显的。山区总云量不占优势,可年降雨日数山区多于周边地区,

表 2 山区与周边区域气象要素平均值的对比分析  
Table 2 Contrast analysis of meteorological factors in Jiuhua Mountains and its adjacent stations

气象要素 统计项	周边丘陵区域								高山站		
	铜陵	南陵	泾县	贵池	青阳	太平	石台	黟县	平均	九华山	黄山
多年平均相对湿度/%	74	79	76	74	76	76	74	75	75.5	75	77
多年平均总云量/成	6.2	6.5	6.7	6.5	6.8	7.2	6.9	6.7	6.7	6.4	6.8
日降水量≥0.1 mm 多年平均日数/d	92.6	99.1	106.3	96.8	106.6	107.2	103.4	100.3	101.5	105.1	112.9
雾多年平均日数/d	16.4	38.2	31.0	22.2	22.5	95.0	21.5	32.2	34.9	145.4	260.6

山脚下的青阳受山区影响,降雨日数同样偏多,这表明山区云中降水效率比周边大,与地形动力作用有关。观测资料显示,九华山降雨多来自对流云和混合云降水,山区的水汽条件和抬升作用使水汽饱和层变厚,有利于云滴增长,外来的云移入山区,与地形云的混合作用也增强了水滴碰并效率(朱乾根等, 2000),这些因素皆使降水过程的雨量增大。

3.2 地形海拔对降水的影响

图 1 和图 2 显示了山区和丘陵降水的年内分布差异,又显示了丘陵南片降水略大于北片的降水,实际上该区域降水的气候分布由南向北递减。因此,本文研究区域的降水分布既受经向气候差异影响,又受地形海拔的影响,为了分析降水仅受海拔的影响,应剔除气候经向差异对降水的影响因素,本文根据研究区域多年降水平均值与南北差距之比设定经向订正系数。见图 3,将研究区域(虚线方框)10 站( $A_0, B_{10}, \dots, B_{10}, \dots, B_{90}$ )分别代表由北到南的各站投影到九华山站所在的经线上,分别为  $A, B_1, B_2, \dots, B_{99}$ 。①求各站所在纬度的平均降水量  $RA, RB_i$  ( $i=1, 2, \dots, 9$ )。由该纬向( $\pm 3'$  范围内)不少于 3 个站的多年平均降水量求得,如  $B_{10}$  站的  $RB_i$  由  $B_{10}, B_{11}, B_{12}$  求 3 站和平均,两高山站不参于统计;②以最北端铜陵站为起点,分别求出铜陵与其他 8 点的经向降水分布系数: $\gamma_i = (RB_i - RA) / S_{AB_i}$ ;③将各点的经向降水分布系数求和平均则为研究区域降水经向订正系数  $\gamma$ 。

$$\gamma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \gamma_i \quad (\text{其中 } n = 9) \quad (1)$$

由式(1)计算年和夏春冬秋四季降水经向订正系数

分别是 3.19、1.62、1.26、0.31、0.23(单位: $\text{mm} \cdot \text{km}^{-1}$ ),再由各站距起点铜陵的距离分别计算出订正后的各站年、季降水量,绘出图 4 中的 5 条虚线,这时表示的降水量仅与海拔高度有关。图 4 中粗实线是各站的海拔分布线(由低向高排列),与订正后的年降水线对比分析,说明海拔仅在  $>200\text{m}$  才对降水产生影响,表现为降水量随海拔的升高而增大;订正后的各个季节降水分布线同样能反映海拔对降水产生增幅作用,也是海拔超过  $200\text{m}$  才起作用,但不同季节其增幅作用效果有较大差别,春夏二季受海拔影响明显,又以盛夏影响显著。这是因为一定高度的山体坡度能加强地形对气流的动力抬升作用,对于夏季多对流性降水过程的系统起增强作用(张志刚等, 2011),同 2.2 节的分析是一致的。图 4 中细实线是各站年降水量的多年平均值(即未经纬差订正),可见分布线波动较大,特别是在海拔  $200\text{m}$  以下与海拔相关较差。

为了进一步分析海拔对降水分布的影响,统计

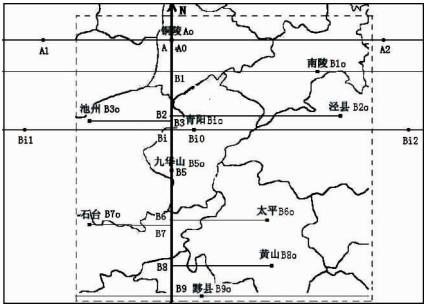


图 3 研究区域(虚线方框)的站点分布及  $\gamma$  值求法示意图

Fig. 3 The site distribution in study area (dashed box) and diagram of “ $\gamma$ ” method

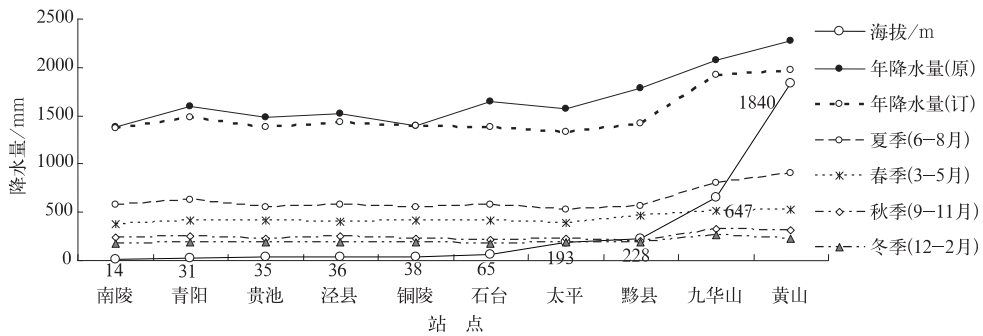


图 4 各站点海拔(数值表示,单位: m)与降水量的分布

Fig. 4 The site elevation (digital, unit: m) and precipitation distribution (Thick dashed line represents revised annual and seasonal precipitation distribution, black dotted solid line is not revised annual rainfall distribution)

2007—2010 年九华山上不同高度自动站降水月平均和夏季强降水日数,见表 3,表中各站水平直线距离不超过 3 km,其降水资料能较好地反映山区降水的垂直分布。从表 3 可以看出,逐月降水基本随高度增加而增大,尤其是夏季 6—8 月的降水,且在夏

季暴雨、大暴雨日数也是随高度增加而增多,并在九华街、百岁宫处增加较明显,丁仁海等(2010)通过多个暴雨个例对上述站点暴雨量的分析,同样体现了山体海拔在 400~900 m 对降水的增幅作用最为显著。这也是图 1b 中九华山夏季降水双峰型特征比

表 3 九华山上不同高度的月平均降水量和夏季强降水日数(单位:d)  
Table 3 The average monthly precipitation and severe precipitation days (units: d)  
in summer at different heights in Jiuhua Mountains

自动站	海拔/m	4 年平均月降水量/mm					6—8 月降水 合计/mm	6—8 月强降水日数合计/d	
		5 月	6 月	7 月	8 月	9 月		≥50	≥100
牛角尖	148	193.9	210.9	305.9	308.8	141.7	825.6	18	6
九华街	647	159.3	340.8	321.1	354.7	189.5	1016.7	19	7
百岁宫	825	179.3	383.8	299.1	368.4	179.3	1051.3	21	8
天台	1147	165.6	362.2	310.4	374.6	200.4	1047.2	20	8

黄山明显的另一原因。

表 3 中统计年代较短,但海拔大于 200 m 的山区在夏季的双峰型降水特征还是较明显的。皖南山区是暴雨多发的地区,每年 4—9 月,主雨带南北来回移动,其间先后受西风带系统和热带台风登陆的影响,产生两次大的强降水集中期。一是发生在每年 5—7 月,西风带中低槽低涡东移过程中产生的暴雨,二是 8—9 月受台风外围影响产生的暴雨,由于山脉地形作用,降水系统移至九华山都有一次系统加强、降水量增大的过程。九华山南北走向,无论西风带系统的东移,还是登陆台风向西北移动深入内陆,都会与山体接近正交产生较大的抬升动力。九华山每年 5—7 月暴雨日数占 53.7%,8—10 月暴雨日数占 30.5%,两次强降水日数及旬降水量最(次)大值分别位于 6 月下旬和 8 月下旬(即双峰型特征),这正是由于受上述不同类型环流形势影响下产生强降水几率最(次)大的时段。

3.3 山区地形对降水的贡献

以上分析了山的高度与降水的关系,还有山的走向、坡度、地貌等地形作用都会对降水产生影响,这种地形作用是通过近地层流场的调整改变低空的水汽含量和水汽垂直输送条件,影响局地降水的大小。地形作用对降水影响的定量估算可以这样考虑,把九华山降水量年变化看作区域背景气候的年变化加上山区地形作用的结果,故设计:ΔR=ΔR<sub>a</sub>—ΔR<sub>b</sub>,参见(王丽娟等,2010)对城市化对气候变化贡献率的计算方法。选取周边 8 个丘陵站 30a 平均年降水量为基准值,与九华山历年降水量变化值为

ΔR<sub>a</sub>,与 8 站历年平均降水量变化值为 ΔR<sub>b</sub>(称区域背景气候的变化)。在九华山降水量年变化中减去区域背景气候变化因素,差值为山区地形对降水的影响,记为 ΔR。历年的 ΔR<sub>a</sub> 序列由九华山 1991—2010 年降水量序列计算得出,ΔR<sub>b</sub> 由 8 个丘陵站同期的 20a 平均年降水量序列求得,反映区域背景气候的年变化,结果如图 5 的方形图,可见无论是多雨年份还是少雨年份,山区地形对降水的影响都起正效应作用(使降水量增加),增加幅度的年际变化不大,70%稳定在 559.4 mm±20% 间。导致这种山区与周边降水差异的年际间无规律变化,是由于在不同年份大气环流的异常波动,所受降水系统类型、影响路径的不同,使得山区地形对过境降水系统的影响效果产生了差异。山区地形对降水的贡献率用公式  $P = \frac{1}{20} \sum_{i=1}^{20} (\Delta R_i / \Delta R_{bi}) \times 100\%$  计算得 37.6%。这与“山区降水比周边区域多 34.1%”结论相近,其差异说明复杂地形下降水分布的差异除地形因素外,还有不同地点间的气候差异及其他偶然因素影响。从图中折线可以看出,九华山年降水量的变化同区域背景降水量的变化趋势一致,二者等级相关系数为 0.94,属于高度相关,这说明山区降水虽然受地形影响明显,但是区域气候影响始终还是决定了降水变化的趋势。

分析年降水的变化趋势,20 世纪 90 年代与 21 世纪 10 年代相比,九华山年降水的变化趋势同区域背景降水的变化趋势一致,呈减少趋势,九华山降水变化率为-6.93 mm·(10 a)<sup>-1</sup>,周边区域背景降水变化率为-9.49 mm·(10 a)<sup>-1</sup>。丁仁海等



(2010)更细致地分析出“九华山的迎风坡地形对降雨的增幅最大,背风坡降水则小于同高处的迎风坡降水,喇叭口地形处降水量多于其他地区”的山区降水分布特点。

3.4 近地层流场特征分析

大气中水汽含量和水汽输送的变化影响局地降水,而且强度越大的降水影响程度越大,尤其是暴雨、大暴雨。九华山与周边区域同属水汽的盈余区,同时山区因地形抬升作用与摩擦辐合作用改变近地层流场,通过水汽的平流和垂直输送影响到地面和大气中的水分循环,导致山区与周边区域降水天气及水资源的分布差异。

地形抬升作用。九华山山脉为南北走向,且西高东低。西侧由山下的喇叭口地形和迎风上坡构成,气流在喇叭口内汇聚、收缩并沿迎风坡爬升获得了上升速度。在  $p$  坐标中,地形抬升作用所造成的垂直速度  $W$  可用公式(2)(参见徐国强等,1999)表示:

$$W = -\rho_0 g \left( u_0 \frac{\partial h}{\partial x} + v_0 \frac{\partial h}{\partial y} \right) \tag{2}$$

式中,  $\rho_0$  是地面空气密度,  $u_0$  和  $v_0$  是地面风的分量,  $h$  是地形高度,  $\partial h/\partial x$  和  $\partial h/\partial y$  是地形坡度的两个分量,地形抬升作用所造成的垂直速度与地形坡度和地面风有关,风一定时,地形坡度越大,引起的垂直速度越大。由不同处的平均风和坡度求出上升速度在  $-0.27 \sim -0.14 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ 。山区地形强迫抬升作用,有助于上升气流突破稳定层,获得不稳定能量的释放,也能加强过境降水系统的上升动力,当处在大尺度上升运动区域,又遇中尺度雨团或雨带过境,气流遇山坡被迫抬升加强了上升气流,这时既有产生中尺度系统发展的环境条件,又有动力抬升使不稳定得以发展的触发条件,极易形成强对流天气而产生暴雨乃至特大暴雨。

地面摩擦辐合作用。地面气流辐合能使近地层的水汽汇合随气流上升输送到高层,增加该区域上空的水汽来源,也增加空气中热能和动能的上下交

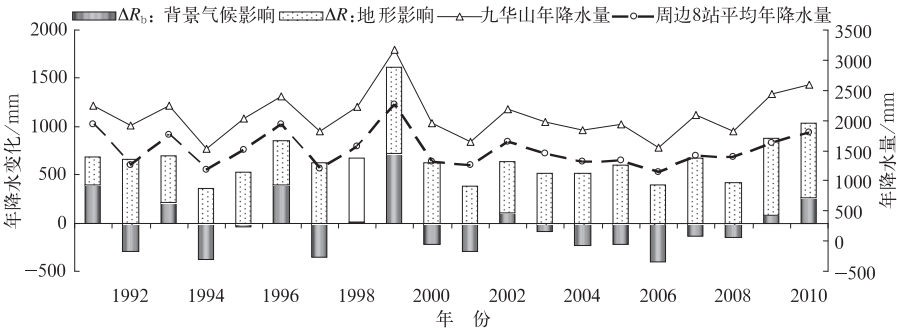


图 5 九华山和丘陵区降水年际变化及差值分析

Fig. 5 The interannual variation of rainfall and difference analysis in Jiuhua Mountains and its surrounding hilly areas

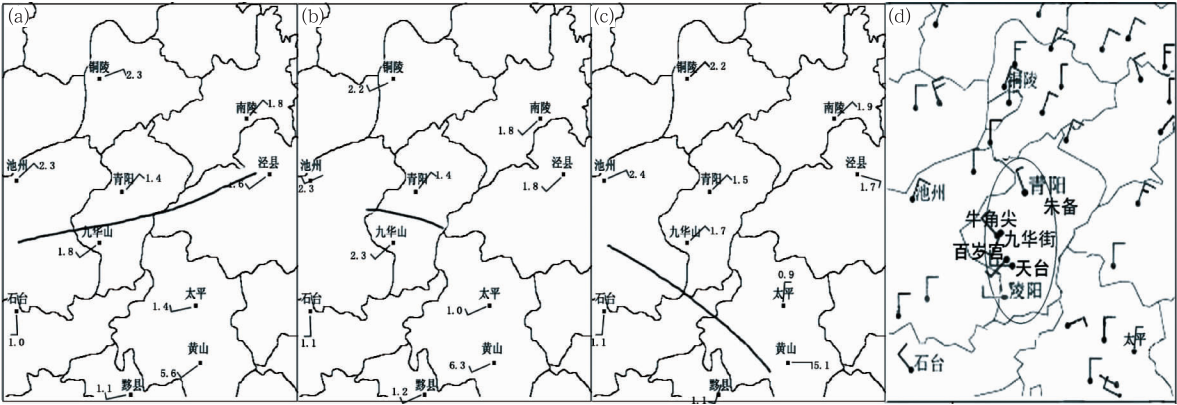


图 6 6—8月地面平均风场(a~c)、2007年10月7日21时10 min风场(d)

Fig. 6 Average surface wind field in June—August (a—c), 10 min wind field (d) during 20:50 to 21:00 BT 7 October 2007

换过程。针对6—8月九华山与周边区域降水有较大的差异(图1),统计30年6、7、8月的风资料,以该月的最多风向表示各站的风向,风速用该月的月平均风速(用数字表示),见图6a~6c(分别近似表示6—8月的平均风场)。可以看出,6和8月在九华山附近形成的辐合线范围较大,对应6月和8月山区与丘陵降水差异最大,8月辐合线南移,带来的降水差异更大;7月的风场仅为局地的地形辐合线,两山的平均风速却明显增大,是全年平均风速的最大月份。

地形辐合线在山区有强降水时更加明显,气流经过山区下垫面时,由于山区地形摩擦力,使得实际风总是偏离地转风,形成风场辐合。图6d为2007年10月7日发生在九华山的一次大暴雨天气中最大1h降水时段前2h的山区风场(图中椭圆线区域),其中牛角尖、九华街、百岁宫、天台为山上的风加密观测站(海拔分别148、647、825和1147m,在迎风坡的不同高度上),对应当日降水量分别是44、125、132和112mm,暴雨分布的局地性和降水量的不均匀性在山区体现得更加突出。这时出现强降水前山区风场有较明显的辐合,与周边风场(呈一致性偏北风)明显不同。

## 4 结论与讨论

(1) 山区与丘陵区域降水分布规律基本一致,但分布(季节性)很不均匀,夏季降水最多,春秋冬依次减少;另外,汛期(5—9月)降水占全年降水比例随海拔增高而增大。九华山年降水量比周边丘陵区域多34.1%,在雨季(特别是夏季)这种偏多程度表现更加明显,同时,由于地形和海拔的作用,山区的降水强度和暴雨、大暴雨日数比周边丘陵区域大(多),且两山夏季降水具有双峰型特征,又以九华山较为显著,峰值分别在6月下旬和8月下旬。

(2) 山区的高度(指 $>200$  m的山体)、地形对降水系统的增雨作用较为明显,山区降水量分布与海拔高度有关,海拔越高,降水量越大,且海拔在400~900 m对降水的增强作用最为显著;山区地形对降水的平均贡献率为37.6%,雨量或强度越大的降水,地形的增雨作用就越明显,山区的地形增雨量(年际变化)基本稳定在 $559.4\text{ mm}\pm 20\%$ 范围。

(3) 山区地形抬升作用与摩擦辐合作用加强了近地层上升速度,也影响地面和大气间的水汽交换和垂直输送,使得山区与丘陵区域尽管受相同环流和降水系统影响,降水分布却存在明显的差异;正是由于这种山脉地形作用,降水系统移至山区都有一次系统加强、降水量增大的过程。

本文仅用地面气象资料对造成山区与周边丘陵区域降水分布差异的原因以及地形对不同量级降水的影响进行了中尺度分析。随着近地层探测手段的改善,有必要深入细致地分析各种复杂地形对降水的影响机制。

## 参考文献

- 陈桂亚, Derek Clarke. 2006. 气候变化对嘉陵江流域水资源量的影响分析. 水资源研究, 27(1): 25-30.
- 陈双, 王迎春, 张文龙, 等. 2011. 复杂地形下雷暴增强过程的个例研究. 气象, 37(7): 802-813.
- 丁青兰, 王令, 卜素芬. 2009. 北京局地降水中地形和边界层辐合线的作用. 气象科技, 37(2): 152-155.
- 丁仁海, 周后福. 2010. 九华山区下垫面对局地降水的影响分析. 气象, 36(3): 47-53.
- 杜川利, 刘晓东. 2009. 中国区域陆地水资源数值模拟分析. 气象, 35(8): 49-60.
- 范广洲, 吕世华. 1999. 地形对华北地区夏季降水影响的数值模拟研究. 高原气象, 18(4): 659-667.
- 黄玉霞, 王宝鉴, 王鹏祥. 2006. 青海高原夏季降水异常及其水汽输送特征分析. 气象, 32(1): 18-23.
- 刘艳华, 李铁林, 马鑫鑫, 等. 2011. 河南省空中水汽资源的来源、分布及收支. 气象与环境科学, 34(1): 42-48.
- 王丽娟, 查良松. 2010. 郑州市50年来的气候变化及城市化对其贡献率. 安徽: 安徽师范大学.
- 徐国强, 胡欣, 苏华. 1999. 太行山地形对"96.8"暴雨影响的数值试验研究. 气象, 25(7): 3-7.
- 杨帆, 赵庆云, 张武. 2012. 甘南高原气候变化及对水资源的影响. 干旱气象, 30(3): 404-409.
- 张楠, 王霄, 程家合. 2011. 华中地区空中水汽资源的输送和收支研究. 气象与环境科学, 34(2): 25-29.
- 张夏琨, 郭品文, 张书余, 等. 2012. 甘肃南部主汛期强降水日数变化特征及其可能原因. 气象, 38(4): 490-494.
- 张迎新, 姚学祥, 侯瑞钦, 等. 2011. 2009年秋季冀中南暴雪过程的地形作用分析. 气象, 37(7): 857-862.
- 张志刚, 秦翔, 何立富, 等. 2011. 2007年5—6月珠峰北坡不同高度气象要素特征分析. 气象, 37(8): 977-983.
- 周兵, 王晓敏, 刘秋峰, 等. 2012. 2011年7月七大江河流域气候特点及降水异常成因分析. 气象, 38(5): 608-614.
- 朱乾根, 林锦瑞, 寿绍文, 等. 2000. 天气学原理与方法(第三版). 北京: 气象出版社, 336-340.