

# 利用 FY2E 卫星降水资料对西藏地区 降水日变化特征分析

雷坤江<sup>1</sup>, 假拉<sup>2</sup>, 肖天贵<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都 610225; 2. 西藏自治区气象局气象台, 西藏 拉萨 850000)

**摘要:**为揭示西藏地区5~9月降水日变化,利用FY2E降水产品和西藏150个自动站降水资料,采取统计和谐波分析方法研究西藏地区降水日变化。结果表明:FY2E降水资料能很好地反映西藏降水量的相对强弱和大致过程;降水量依赖于短时强降水,而不是靠降水次数;降水量有明显的日变化,在当地时间傍晚前后降水量达到峰值;降水频率在一天中则有多个峰值,日变化不明显;自动站表明西藏降水也有明显的日变化,与卫星资料峰值时间误差主要是由于西藏东南地区和樟木沿线降水量远大于其他地区造成的;降水量谐波分析表明西藏地区的降水日变化非常显著;无论是降水量还降水频率,西藏全区表现出明显的夜雨特征,在日喀则东北至拉萨为西藏地区的夜雨中心。

**关键词:**大气科学;高原气象学;降水日变化;谐波分析;夜雨;FY2E逐时降水产品

**中图分类号:**P467

**文献标志码:**A

## 0 引言

大气降水作为最基本的气象要素,有显著的日变化特征,而对于夜雨,不但是降水日变化中的特殊现象,也是重要的农业气候资料。当降水经常集中在一天特定时段时,说明该时段经常出现对流活动。基于台站资料,许多学者对降水日变化进行了研究,如Liu等<sup>[1]</sup>利用1998年夏季那曲盆地14个逐时雨量计观测站资料,分析当地的降水日变化,指出降水在下午增加很快,在晚上达到峰值的结论。戴泽军等<sup>[2]</sup>利用湖南96个测站13年的逐时降水资料,分析夏季(6~8月)降水日变化特征,得出湘东南降水、降水频次峰值主要出现在午后到傍晚,其他地区一般出现在清晨。列杰班宗等<sup>[3]</sup>选取西藏地区具有代表性的5个自动站资料,分析逐时降水和降水频率在一天内各个时次的分布情况,指出除拉萨和昌都站外其余3站在午后时段有强降水出现;余忠水等<sup>[4]</sup>详细分析拉萨夏季夜雨率;段春锋<sup>[5]</sup>借助2046个经质量控制的自动气象站逐小时降水资料分析中国夏季夜雨空间分布特征。然而台站局限于区域,有时也局限于有限时段,无法对整个空间进行全面系统的描述,尤其是少站点的青藏高原和海洋地区。

随着气象卫星的推广应用,降水日变化的研究扩展到几乎没有台站分布的海洋及青藏高原西部,尤其是从水汽、云顶亮温、云量等方面来研究对流活动的日变化

特征。对于海陆之间的降水日变化,许多研究<sup>[6]</sup>得出普遍一致的结论:海洋上的对流活动主要倾向于在凌晨达到极值,陆地通常在傍晚达到最大值。国内学者利用多种卫星降水数据集,对中国降水日变化进行研究。白爱娟等<sup>[7]</sup>利用TRMM卫星3b41RT资料,对比分析青藏高原与四川盆地夏季降水日变化;张蒙蒙<sup>[8]</sup>利用美国NOAA气候预测中心生产的CMORPH降水产品,评估了该资料对中国进行降水日变化研究的适用性,金霞<sup>[9]</sup>利用国家气象信息中心(NMIC)提供的高分辨率逐时降水数据,分析东亚地区各季节的降水日变化特征。但需要指出的是,利用中国自主研发的风云卫星系列降水产品进行相关研究的几乎没有。

青藏高原是中国天气的上游区,由于高原大地形的作用,高原水热条件的变化对于中国的天气气候都具有深刻的意义,西藏地区是中国众多的河流的发源地,被称为“中国的水塔”,高原上的地质和环境条件脆弱,高原上的降水一直是气象工作者高度关注的问题。目前西藏地区拥有150个区域自动站观测站,站点的分布相对密集,但是没有站点覆盖的西北地区和东南边境的小块区域仍然没有资料,而国家卫星气象中心下发的降水产品,观测密度高、分辨率高,能改善对西藏降水分布认识。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

文中采用FY2E逐时降水产品,以FY2E静止卫星资料为主,并融合以常规地面观测资料为辅的覆盖

收稿日期:2015-04-08

基金项目:国家自然科学基金资助项目(91337215);国家重点基础研究发展计划973资助项目(2012CB417202);西藏气象局重点资助项目(XZQXT2013001,14H046)

中国及周边地区的定量雨量估计<sup>[10]</sup>。地面雨量计能准确地反映单点的降水,而卫星遥感降水能有效监测大范围空间的降水分布,所以该资料有效地利用卫星遥感降水和单点雨量计的优点,此外,所用FY2E资料时间分辨率为1 h,空间分辨率也很高,为 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 。研究中所取的资料范围比西藏区域稍大: $26^\circ\text{N} \sim 37^\circ\text{N}$ ,  $78^\circ\text{E} \sim 100^\circ\text{E}$ ,资料时段为2010~2013年西藏汛期5~9月。西藏地区150个台站分布如图1所示,时长为2011~2012年5~9月。

由于FY2E降水资料从8月末开始到9月都是在16、17、18UTC(UTC表示世界时)缺测,为便于处理,将其归为9月份,认为从8月末到9月1天只有21个时次,将19~23UTC的资料规定为16~20UTC,这样便组成了1天21个时次的序列(0~20UTC),但在分析中,按照实际的时间来分析。也既分为两部分进行单独分析,一个是5~8月,另一个是9月份。

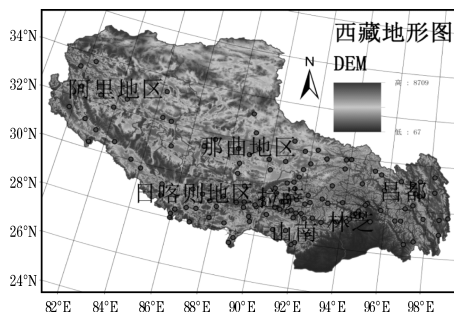


图1 西藏150个区域自动站的地理分布

## 1.2 方法

参考文献[11]将降水量日变化和降水频率日变化定义为

$$\bar{R}(x, y, t) = \sum_{d=1}^{d=n} \frac{R(x, y, t, d)}{n} \quad (1)$$

其中,  $\bar{R}(x, y, t)$  表示格点  $(x, y) - (D\_Dd\_()) \bar{R}(x, y, t) = 1\text{mm}$ ; 也即先将每个时刻的降水量和降水次数累加到一天中的24小时,然后除以有资料的天数  $n$  得到相应格点每天24小时平均降水量和降水频率序列。

对平均降水量24小时序列作谐波分析,能滤出想要的日变化波动,尤其是日变化的振幅和标准振幅,能够反映出日变化的强弱。谐波公式为

$$f(t) = C_0 + \sum_{k=1}^{N/2} C_k \sin\left(\frac{2\pi kt}{N} + \varphi_k\right) \quad (2)$$

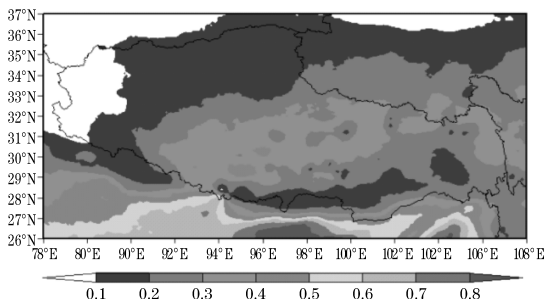
其中  $f(t)$  为原始序列采用谐波分析公式逼近得出的模拟值,  $c_0$  为序列中各项算术平均值,  $c_k$  为第  $k$  个谐波的振幅,  $c_k / \frac{C_0}{2}$  为标准振幅,  $\varphi_k$  为第  $k$  个谐波的初位相,当  $k=1$  时,  $C_1$  为日变化的振幅,  $\varphi_1$  为日变化的初位相,  $N=24$ ,  $t$  为一天的某个时次。当运行的数据是9月份

时,  $N=21$ 。

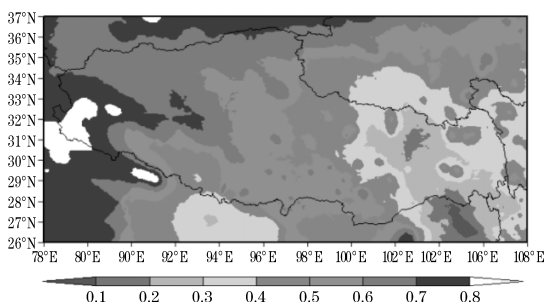
## 2 卫星观测资料在西藏地区的时空分布及初步检验

### 2.1 降水的时空分布特征

西藏雨季主要出现在夏季,降水多集中在5~9月,这段时期的降水往往占全年降水量的80%~90%<sup>[12]</sup>。图2(a)为卫星资料所反映的西藏地区5~8月平均每小时降雨量,由图所见,降水在西藏中部区域以及昌都东部最大,为0.3~0.4 mm/h,从藏中到藏西北降水是逐渐减少的,除阿里西部不足0.1 mm外,其余在0.1~0.2 mm/h,西藏东南大部分均在0.2~0.3 mm/h,南部边缘有一比较狭长的区域为0.1~0.2 mm/h。平均降水频率(图2b)的空间分布呈现出从西藏东南到西北逐渐减少的趋势,东南大部分地区平均有25%~40%的时段有降水出现,中部则有15%~25%,西北均在15%以下,阿里西南地区甚至只有5%以下的时段有降水发生。



(a) 平均每小时降水量(单位:mm/h)



(b) 降水频率(单位:%)

图2 FY2E降水资料观测的西藏5~8月平均每小时降水量和降水频率

从已有的研究结果来看,大家普遍接受的结论是:西藏降水量分布趋势由东南向西北逐渐减少的,东南平均年降水量在600~800 mm以上<sup>[13]</sup>。利用2011~2012年西藏150个区域自动站汛期期间的降水,也得出这样的结论(图7b)。可见卫星降水不能很好地反映西藏地区降水的空间分布,明显高估西藏中部和西北部的降水,东南部降水量和实况量级误差相对要小。但在分析中,如果采取降水频率分析,无疑降低对卫星

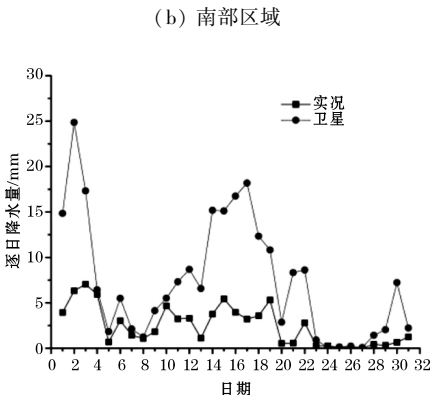
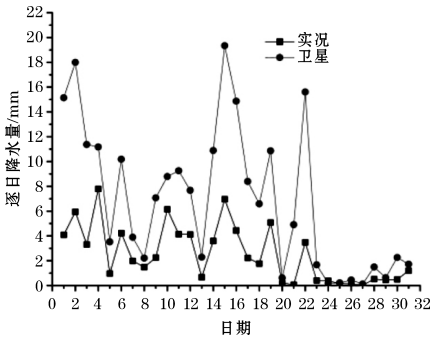
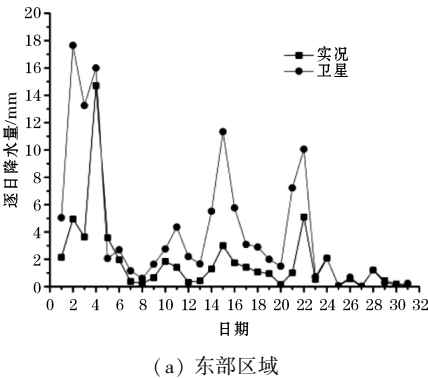
降水的准确性要求。

平均降水频率与平均降水量的空间分布不一致性,表明西藏地区的降水更依赖于降水的强度,而不是降水次数的累积,降水呈现出短时集中的特点,与西藏汛期期间多短时对流性天气有关,从这一点来看,对于西藏降水的突发性和局地性,降水量比降水频率更加值得关注。

2.2 对卫星数据的检验

国家卫星气象中心对 FY2C/FY2E 和 FY2D 降水产品做过检验,验证表明,降水累计的时间越长,误差越小,因此 1 h 降水估计结果的相对偏差要大于 50%,而 24 h 累计的降水结果相对误差小于 50%<sup>[10]</sup>。查阅文献时,发现有很多学者利用多种降水数据集在中国大陆地区展开了应用研究,但利用中国静止卫星降水产品研究天气现象与天气过程的几乎没有。文中,以 2011 年 8 月出现的降水事件作为例子,利用 150 个区域自动站的降水对 FY2E 逐时降水产品在西藏范围内进行检验。

选取西藏东部区域(93°E ~ 99°E、29°N ~ 32°N)、中部(86°E ~ 93°E、28°N ~ 32°N)和南部(86°E ~ 93°E、28°N ~ 30°N)区域内的台站降水,计算 2011 年 8 月各区域内平均逐日降水量,与此同时计算对应区域内卫星降水所有格点平均降水量,得到它们的对比图,如图 3 所示。从中可以看出卫星降水产品的估计值比台站降水大,3 个区域的两条曲线的起伏基本是一致的,也既能反映降水量的相对强弱和降水的大致过程,中部区域包含南部区域,面积为南部的两倍,可以看出中部区域的两条曲线,起伏明显没有东部和南部的,尤其是 14 ~ 19 日之间的降水,两者之间曲线的起伏变化是相反的,这是除了卫星降水数据在西藏地区的反演误差之外,还和台站在西藏地区的分布情况有关。由图 1 看出,西藏区域自动站最密集的地方是东南区域,西藏 39 个常规观测站也是在这个区域最密。说明当一个区域台站多时,卫星降水能较好的反映该区域的降水,当台站分布稀疏时,误差较大。

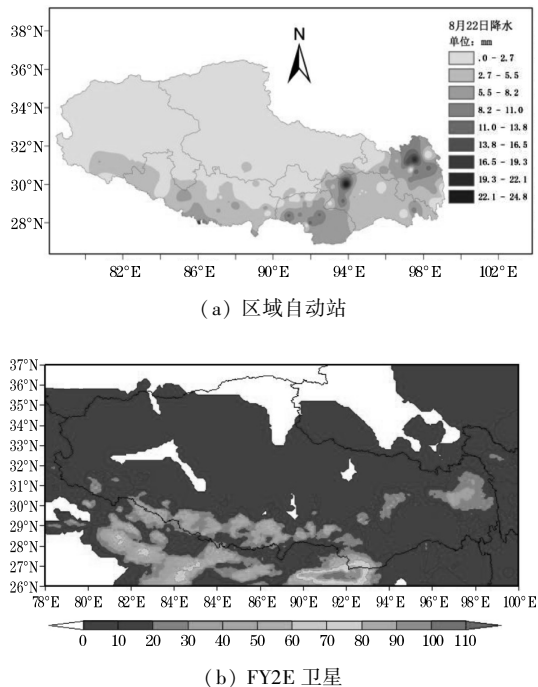


(b) 南部区域

(c) 中部区域

图 3 区域自动站和卫星观测的 2011 年 8 月西藏各个区域的平均逐日降水量

通过统计 2011 年 8 月逐时台站降水,选取其中一天中有几个时次大于 40 个台站以上的系统性降水,以及降水系统维持在 1 h 以上的个例,这里选取 22 日各时次累计为日降水,比较他们的降水量分布。如图 4 所示。



(a) 区域自动站

(b) FY2E 卫星

图 4 区域自动站和 FY2E 卫星观测的 2011 年 8 月 22 日降水量分布(单位:mm)



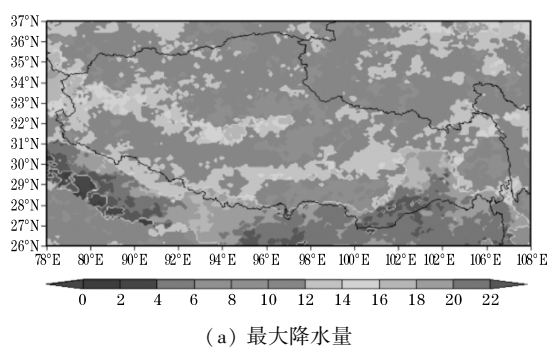
由图 4 所见,两者降水落区基本是一致的,均反映出在西藏南部、林芝北部和昌都东部有比较强的降水,实况表明在林芝北部和昌都东部的降水量在 19 ~ 25 mm 之间,卫星降水资料的量级在该区域为 20 ~ 30 mm,两者误差较小,但在南部一带的降水,卫星降水明显大于台站降水。

由以上分析可见,卫星降水资料在台站稀疏分布的地方误差相对较大,而在常规台站比较密集的西藏东南地区误差相对较小。区域平均降水表明,卫星降水资料能反映西藏地区降水量的相对强弱和降水的大致过程,也既能大致表现出西藏降水量的变化特征。

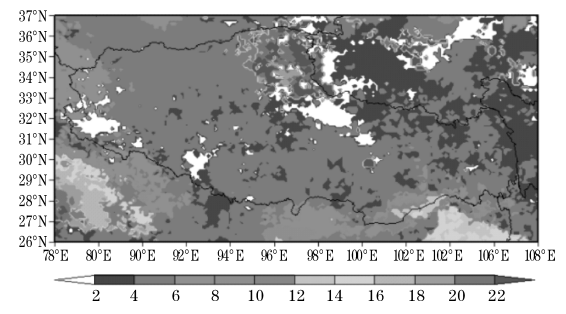
### 3 西藏地区降水量的日变化分析

#### 3.1 降水量和降水频率日变化分析

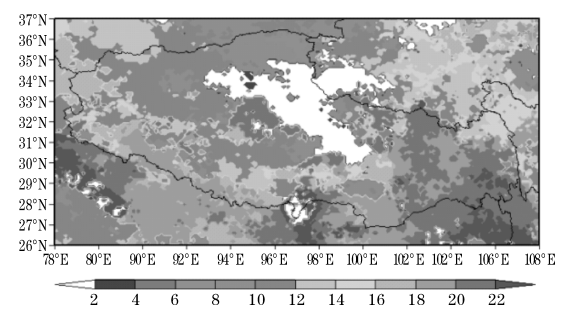
已有许多研究表明,青藏高原的降水有着明显的日变化<sup>[11,14]</sup>。利用式(1)得到的平均降水量和降水频率日循环 24 h 序列,确定出最大值和最小值出现的时间,能看出对流活动的特征,如图 5 所示。可以看出 5 ~ 8 月西藏大部分地区最大降水量(图 5a)出现在 10 ~ 14 UTC(加 8 为北京时,加 6 为当地时间,下同),在西藏境内日喀则南部边缘附近和林芝地区主要出现在 16 ~ 20 UTC,山南南部边缘和林芝南部边缘为 20 ~ 23 UTC。最大降水频率(图 5c)出现的时间在日喀则的中北部和阿里的中北部地区较为一致,出现在 10 ~ 12 UTC,而在林芝和昌都地区出现在 18 ~ 23 UTC,阿里的南部和西部以及日喀则南部边缘主要出现在 16 ~ 18 UTC,在日喀则东部和拉萨地区,主要出现在 16 ~ 22 UTC,山南北部有一片区域最大降水频率出现在 8 ~ 10 UTC,那曲地区则表现得更为复杂,在其西南最大降水频率出现在 20 ~ 22 时,西北部出现在 8 ~ 10 UTC,在中部和东南则又主要出现在 0 ~ 2 UTC,东部则又主要出现在 10 ~ 12 UTC 和 20 ~ 22 UTC。



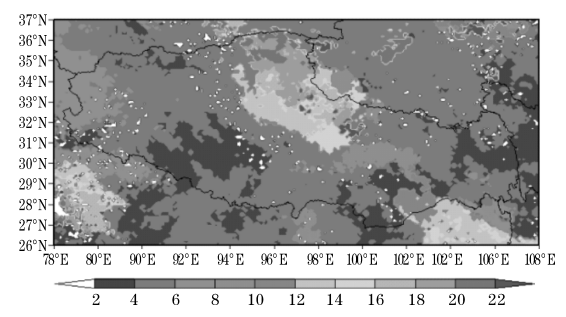
(a) 最大降水量



(b) 最大降水频率



(c) 最小降水量



(d) 最小降水频率

图 5 FY2E 降水资料观测的西藏 5 ~ 8 月逐时降水量、降水频率最大值和最小值出现的世界时

最小降水量和降水频率(图 5b 和图 5d)出现的时间可以看出,大部分地区都是在 4 ~ 6 UTC,但也有些局部小区域出现在其他时段,如最小降雨量,在阿里西南部分地区、日喀则西南部分地区以及那曲中部部分地区为 0 ~ 2 UTC,那曲最北部主要出现在 20 ~ 23 UTC,阿里西部出现在 8 ~ 10 UTC,山南南部以及紧邻的林芝西南边缘一带又出现在 10 ~ 14 UTC;最小降水频率,在拉萨东部和林芝北部,也即那曲东南边缘一带为 8 ~ 10 UTC,林芝南部边缘主要出现在 10 ~ 12 UTC,那曲中部东南至西北走向的狭长区域出现的时间为 12 ~ 16 UTC,更北部则又出现在 16 ~ 23 UTC。

以上对降水量和降水频率最大值和最小值的出现时间分析表明,西藏大部分地区降水量在北京时间 20 时前后达到峰值,而在当地时间正午(北京时间 12 ~ 14 时)时段降水量最小;降水频率序列在日变化中会出现几个不同时间段的峰值,整体上没有降水量的日变化明显;最小降水频率出现的时间与最小降水量出现

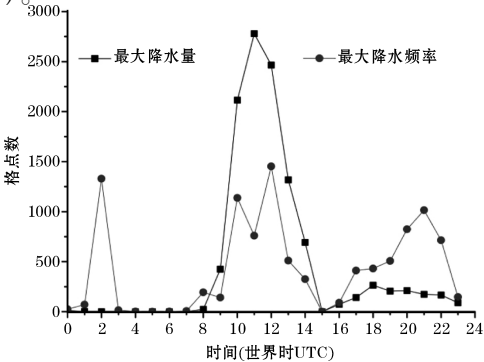
的时间在大部分地区是一致的,均显示出在西藏地区正午时段既不容易下雨,即使下了,量级也很小。为进一步说明西藏地区降水的日变化,按照表 1 把西藏分为 13 个区域,统计这些区域每个时次降水量和降水频率达到最大值的格点数。

表 1 将西藏分为 13 个区域

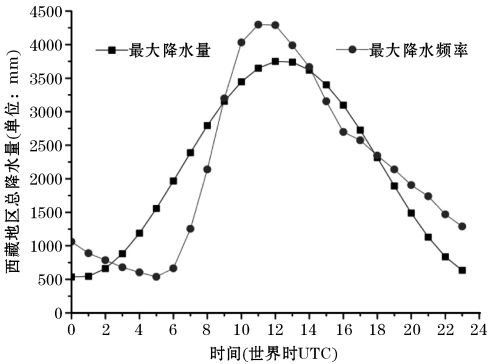
区域号	范围	区域号	范围
1	79°E ~ 85°E	2	83°E ~ 86°E
	31°N ~ 35°N		29°N ~ 31°N
3	86°E ~ 90°E	4	90°E ~ 92°E
	28°N ~ 31°N		29°N ~ 31°N
5	86°E ~ 95°E	6	86°E ~ 90°E
	31°N ~ 33°N		33°N ~ 36°N
7	84°E ~ 86°E	8	95°E ~ 99°E
	34°N ~ 36°N		30°N ~ 32°N
9	79°E ~ 85°E	10	97°E ~ 99°E
	31°N ~ 35°N		29°N ~ 30°N
11	92°E ~ 94°E	12	94°E ~ 99°E
	27°N ~ 28°N		28°N ~ 29°N
13	93°E ~ 97°E		
	29°N ~ 30°N		

格点数越多,代表的地理范围越大,从图 6(a)中可以发现,降水量在 10 ~ 13 UTC 出现格点数峰值,其次是 16 ~ 23 UTC,在其他时段格点数基本为零。降水频率则在一天中 02、08、10、12、17、21 UTC 各有一个峰值,虽然看起来比较分散,但在 10 ~ 13 UTC 时段内,格点数峰值也较为集中,刚好与降水量的峰值对应。先前分析得出西藏地区的降水依赖于短时强降水,而不是依赖于降水的次数,在这里也得到了印证。因此,相比于西藏地区的降水频率,降水量更加值得我们关注。

谐波滤波是一种有效的对数字序列进行处理的方法。计算 2010 ~ 2013 年 5 ~ 8 月每个时刻西藏地区的总雨量,并用各个时次的降水量序列做谐波日变化分析,得到 24 h 降水序列的谐波模拟值,用 24 h 降水量变化曲线来说明西藏地区降水的日变化特征,得到图 6(b)。



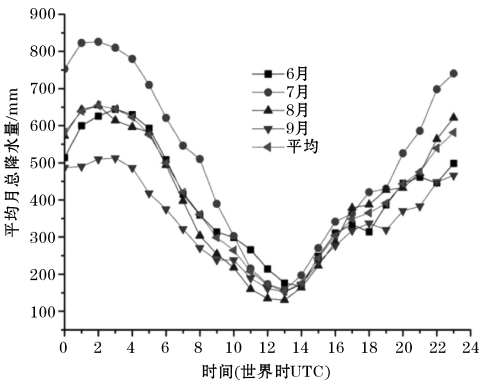
(a) 降水量和降水频率最大值出现时的格点



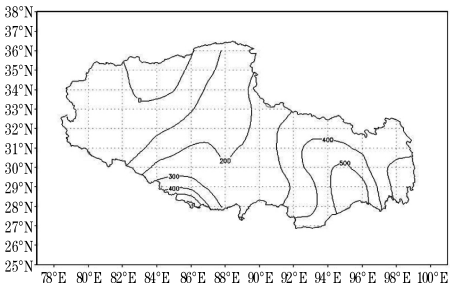
(b) 降水量日变化和谐波分析

图 6 FY2E 降水资料反映的西藏 5 ~ 8 月日变化中每个时刻降水量和降水频率最大值出现时的格点数和降水量日变化和谐波分析

由此可见,FY2E 降水资料反映了西藏地区降水的日循环过程,降水量在当地时间正午以前,降水量很小,午后开始降水量迅速增加,在傍晚前后达到最大值,峰值后降水量又逐渐减少,这样西藏大部分地区的降水完成了一个日循环。此结果与众多学者的研究是比较一致的,如 Liu 等<sup>[1]</sup>利用 1998 年夏季那曲盆地 14 个逐时雨量计观测站资料,指出降水在下午增加很快,在晚上达到峰值的结论;王天义<sup>[15]</sup>也指出西藏地区的雷暴主要发生在午后北京时间 14 ~ 22 时,在 17 ~ 20 时雷暴发生频率最高,傍晚 20 时以后迅速减少;白爱娟<sup>[11]</sup>等利用 TRMM 卫星 3B41RT 资料也得出类似的结论。



(a) 平均累计降水在一天中不同时段分布



(b) 西藏汛期期间平均年降水分布

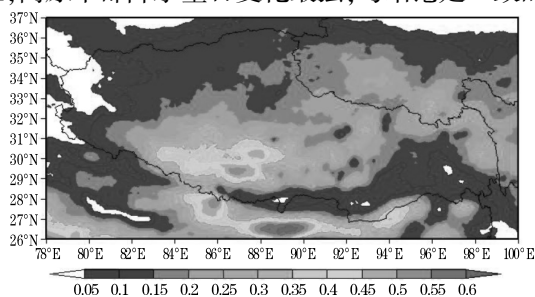
图 7 2011 ~ 2012 年西藏自动站 6 ~ 9 月平均累计降水在一天中不同时段分布情况和西藏汛期期间平均年降水分布

图 7(a) 是西藏 2011 ~ 2012 年 150 个区域自动站逐月累计降水量在一天中不同时段分布情况,可以看出白天和夜间的累计降水量呈明显的单峰型的分布,降水的峰值出现在北京时间凌晨 02 时或 03 时,降水最低时段位于北京时间 13 时。与卫星降水资料相比,最小降水量出现的时间基本是一致的,但降水峰值出现的时间相差很大。

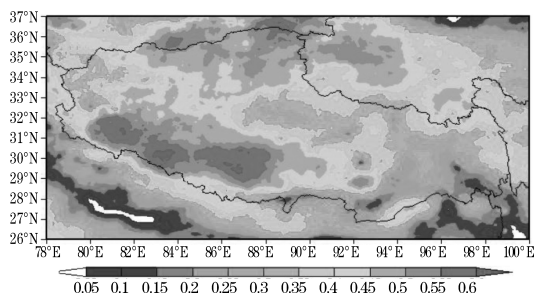
研究利用整理得到的 2011 ~ 2012 年两年汛期(5 ~ 9 月)到报率较高和数据较为连续的 150 个区域自动站的资料,得到西藏 2011 ~ 2012 汛期平均的总降水分布(图 7b),可以发现在西藏东南和南部樟木一线为降水中心,降水量级比其他地区要大至少两倍以上,再结合图 5(a),发现这两个地区最大降水量出现的时间的是在 16 ~ 20 UTC,也即北京时间 0 ~ 4 时。因此,造成卫星降水资料和区域自动站降水峰值的误差是由于西藏东南和樟木一线的降水远大于西藏其他地区造成的。

### 3.2 降水量日变化谐波分析

已有研究表明谐波分析日变化振幅与降水强度有一定关系,而标准振幅更能体现降水量日变化的强弱<sup>[11,16]</sup>。按照公式(2)计算每个格点降水量的日变化振幅和标准振幅得到图 8。振幅图与平均每小时的降水量分布图比较类似,在西藏中部以及南部一带最大,阿里西部地区的最小,有所区别的是西藏西北地区的振幅要比东南部分地区的大;谐波分析的标准振幅显示在西藏地区日变化是非常显著的,尤其在南部和北部,其次是东南地区。阿里西部地区由于降水量非常小,谐波分析出的标准振幅有局限性。早在 20 世纪 90 年代,杨伟思等<sup>[14]</sup>分析青藏高原地区各个气象要素和环流场的日变化时就发现它们均有很强的日变化;同时白爱娟<sup>[11]</sup>也指出在高原地区夏季降水量具有显著的日变化特征,高原中部降水量日变化最强;与结论是一致的。



(a) 降水量日变化谐波分析的振幅(单位:mm/h)



(b) 标准振幅

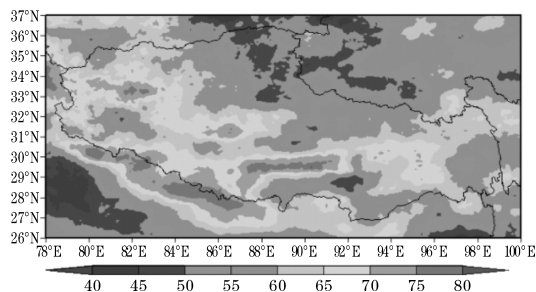
图 8 FY2E 降水资料观测的西藏地区 5 ~ 8 月降水量日变化谐波分析的振幅和标准振幅

### 3.3 夜雨特征

夜雨不但是降水日变化中的特殊现象,也是重要的农业气候资料,尤其像西藏地区年降水量最大的东南区域都不足 900 mm,但蒸发量却在西藏全区达到 1400 ~ 2600 mm<sup>[17]</sup>,可见西藏地区的夜雨是很重要的。所谓夜雨率是指北京时间每日 20 时至翌日 08 时之间的降水。从图 6(a) 中统计卫星资料 12 ~ 23 UTC 之间格点数峰值,可以看出西藏有 76.9 % 的地区最大降水量峰值出现在夜间,最大降水频率也有 71.1 %;同理由图 6(b) 可知西藏地区的降水量有 69.1 % 是在夜间降下,区域自动站也表明西藏汛期期间 65.81 % 的降水量集中在夜间。

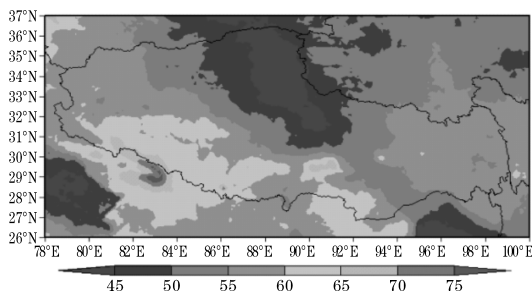
更细致地,利用卫星降水资料得到西藏各个地区夜间降水量所占百分比(图 9a)可以看出,除那曲北部和山南小部分地区不足 50 % 外,那曲大部分地区在 55 % ~ 60 % 之间,而在西藏其他更广大地区夜雨量占到了 60 % 以上,与张核真等<sup>[18]</sup>表明西藏大部分地区夜雨率都在 60 % 以上的结论非常一致。从日喀则至拉萨地区一狭长区域、日喀则南部边缘以及阿里中部为西藏地区夜雨中心,占到 75 % 以上,这是由于这些地区处于宽阔的河谷地区。余忠水等<sup>[4]</sup>的研究也表明在日喀则东部至拉萨市一带夜雨达到 75 % 以上,而且还指出西藏另外一个夜雨中心可能在喜马拉雅山南麓(如普兰、聂拉木等),也与文中结论非常的一致。

之前的许多研究,都用夜间降水量所占的百分比来表示夜雨率,而用夜间降水频率进行研究的比较少。如图 9(b),西藏除那曲北部有夜间降水频率百分比低于 50 % 外,其他均在 50 % 以上,在西藏东部和南部以及阿里地区均在 55 % 以上,夜雨频率中心与夜雨率基本一样,均为拉萨地区、日喀则西南边缘和阿里东南边缘区域,达到了 65 % 以上。总的来说,夜间降水频率百分比要比夜间降水量百分比要低一些,再一次的说明西藏地区夜间的降水主要是依赖降水强度的大小,而不是降雨次数的多少,这点与先前分析的结论是一致的。



(a) 夜间降水量所占百分比(单位:%)





(b) 夜间降水频率所占百分比(单位:%)

图9 FY2E降水资料观测的西藏5~8月夜间降水量所占百分比和夜间降水频率所占百分比

## 4 西藏地区9月份降水日变化分析

由于从8月末到9月份缺少16~18 UTC的资料,规定这个月1天只有21个小时,将19~23 UTC的时间向前移动为16~20 UTC,运用同样的分析方法,对西藏地区9月份的降水进行分析。平均每小时降水量表明在西藏全区比5~8月要小很多,降水主要集中在中东部,降水大值区范围比5~8月的小了很多,西藏西北和阿里地区的降水在0.1 mm/h以下,中东部大部分在0.2~0.3 mm/h,东南部分地区在0.1~0.2 mm/h和0.2~0.3 mm/h之间,在西藏南部与5~8月的一样有一个少雨带,在0.1 mm/h以下。平均降水量频率与5~8月一样,都是从东南往西北逐渐减少的,东南地区仍然有30%~40%的时段发生降水,中部主要是15%~25%,西北地区要比5~8月的低一些,为10%以下。平均每小时降水量与5~8月的有较大的变化,除去缺少3个时次卫星降水的影响,也是由于西藏地区的降水在西藏东南开始很早,结束也比较迟,而西北雨季开始较晚,结束也比较早造成的。平均每小时降水频率与5~8月的变化较小,仅仅能看出西藏西北和西部地区的降水频率变小了。

9月份最大降水量出现的时间,主要是12~14 UTC,也即北京时间21 h左右达到降水量的峰值,与5~8月的相比,峰值时间有推迟了的现象,西藏地区的降水受地形和热力因子影响比较大,因此这可能是由于太阳辐射的季节性差异造成的。在西藏东南区域、阿里西部以及南部边缘的降水峰值发生在19~23 UTC。最大降水频率与5~8月一样呈现出它的复杂性,很多地区都是在10~14 UTC,这段时间刚好与最大降水量出现的时间对应,在西藏东部、日喀则东部、日喀则西南及那曲西南区域出现在18~23 UTC,在那曲地区和拉萨北部区域,出现的时间则在0~4 UTC和6~10 UTC。

最小降水量和降水频率出现的时间在大部分地区

与5~8月的一样,主要是出现在4~6 UTC,从那曲北部到山南北部一个呈西北东南走向的狭长区域,最小降水量主要出现0~2 UTC,一些局部小区域为23 UTC,而最小降水频率在这个区域主要出现在15 UTC,局部一些小区域也出现在0~2 UTC。

由9月份格点数峰值和谐波分析日变化图(图略)可以看出,降水量在当地时间正午以前,几乎没有降水,午后开始降水量迅速增加,在傍晚前后达到最大值,峰值后到午夜,降水量又迅速减少,降水频率在一天中有多个峰值,日变化没有降水量的明显,降水量依赖于短时强降水,而不是降水的次数。与5~8月的结论一致。

9月降水量日变化振幅和标准振幅数值与5~8月的相差不大,说明9月份的降水量也是有非常显著的日变化。虽然9月份少了16~18 UTC的降水数据,但西藏大部分夜间降水量所占百分比都在50%以上,在阿里西部地区、日喀则至拉萨为夜雨中心;夜间降水频率所占百分比在西藏境内南部一带和昌都部分地区达到了50%以上外,在其他地区尤其是北部均在50%以下。

## 6 结论

在对比FY2E逐时降水资料和西藏150个区域自动站的基础上,说明FY2E资料在西藏地区具有可用性,并用此资料分析了西藏5~9月降水的日变化特征,主要结论如下:

(1)FY2E降水资料高估了西藏中部和西北部的降水,但区域平均逐日降水量和个例分析表明卫星资料能很好地反映西藏地区降水量的相对强弱和大致过程。

(2)西藏地区的降水依赖降水的强度,而不是靠降水次数的累积。

(3)西藏地区的降水量有明显的日变化,在当地时间正午以前,降水量很少,午后开始降水量迅速增加,在傍晚前后达到最大值,峰值后降水量又开始逐渐变小。降水频率的日变化没有降水量的日变化明显。

(4)西藏区域自动站降水量出现的峰值时间与卫星降水资料不一致,主要是由于西藏东南和南部樟木沿线降水量远大于其他地区的降水量造成的。

(5)降水量谐波分析的振幅和标准振幅表明西藏地区的降水有很显著的日变化特征,尤其在西藏南部和北部。

(6)无论是降水频率或者降水量,西藏全区都表现出明显的夜雨特征,两者均显示出日喀则至拉萨一带为西藏地区夜雨中心。

## 参考文献:

- [1] 刘黎平,冯锦明,楚荣忠,等. 青藏高原季风期降水的日变化(英文)[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2002, (2): 365-378.
- [2] 戴泽军,宇如聪,陈昊明. 湖南夏季降水日变化特征[J]. *高原气象*, 2009, (6): 1463-1470.
- [3] 列杰班宗,罗布,王伟. 西藏地区气象自动站夏季逐时降水资料特征分析[J]. *高原山地气象研究*, 2012, (2): 77-80.
- [4] 余忠水,康世昌,蒋建莹. 青藏高原夏季夜雨率空间分布及其变化特征[J]. *山地学报*, 2011, 05: 627-632.
- [5] 段春锋,曹雯,缪启龙,等. 中国夏季夜雨的空间分布特征[J]. *自然资源学报*, 2013, (11): 1935-1944.
- [6] Yang G Y, Slingo J J. The diurnal cycle in the tropics *Monthly Weather Review*, 2001, 129: 784-801.
- [7] 白爱娟,刘晓东,刘长海. 青藏高原与四川盆地夏季降水日变化的对比分析[J]. *高原气象*, 2011, (4): 852-859.
- [8] 张蒙蒙,江志红. 我国高分辨率降水融合资料的适用性评估[J]. *气候与环境研究*, 2013, (4): 461-471.
- [9] 金霞. 四川盆地降水日变化特征分析及成因研究[D]. 北京:中国气象科学研究院, 2013.
- [10] 杨军. 气象卫星及其应用[M]. 北京:气象出版社, 2012: 380-381, 383-384.
- [11] 白爱娟,刘长海,刘晓东. TRMM 多卫星降水分析资料揭示的青藏高原及其周边地区夏季降水日变化[J]. *地球物理学报*, 2008, (3): 704-714.
- [12] 李国平. 青藏高原动力气象学[M]. 北京:气象出版社, 2007: 16-17.
- [13] 杜军,马玉才. 西藏高原降水变化趋势的气候分析[J]. *地理学报*, 2004, (3): 375-382.
- [14] 杨伟愚,叶笃正,吴国雄. 夏季青藏高原气象学若干问题的研究[J]. *中国科学(B 辑化学生命科学地学)*, 1990, (10): 1100-1111.
- [15] 王天义,朱克云,张杰,等. 2010~2011 年西藏雷暴的雷达回波统计特征分析[J]. *成都信息工程学院学报*, 2013, (3): 267-273.
- [16] Roy S S, Balling R C. Analysis of diurnal patterns in winter precipitation across the conterminous United States [J]. *Monthly Weather Review*, 2005, 133: 707-711.
- [17] 李景玉,张志果,徐宗学,等. 影响西藏地区蒸发皿蒸发量的主要气象因素分析[J]. *亚热带资源与环境学报*, 2009, (4): 20-29.
- [18] 张核真,唐小萍,普布卓玛. 近 46 年西藏高原昼夜降水变化趋势[J]. *气象科技*, 2010, (2): 205-208+283.

## The Characteristics of Diurnal Variations of Precipitation Analysis in Tibet Accord to FY2E Precipitation

LEI Kun-jiang<sup>1</sup>, JIA La<sup>2</sup>, XIAO Tian-gui<sup>1</sup>

(1. College of Atomospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. Meteorological Observatory of Tibet Autonomous Region, Lasa 850000, China)

**Abstract:** To reveal the rainfall diurnal variation in the Tibetan area from May to September, according to FY2E hourly precipitation products and 150 Tibet regional automatic stations, adopt to study the diurnal precipitation in Tibet. The results showed that: FY2E precipitation data can well reflect the relative strength of Tibet area rainfall and general process. Precipitation depend on the short-time strong rainfall, rather than the precipitation frequency. The precipitation show Tibetan areas ha obvious diurnal variation, around the local time about in the evening before and after the ainfall peak. The precipitation frequency ha more than one peak in a day and its diurnal is not obvious. The regional automatic stations also show that precipitation ha obvious diurnal variation in Tibet, The error of peak time mainly due to the precipitation in south-east and south Tibet is greater than in other regions. The harmonic analysis show remarkable daily variability in Tibet's precipitation. Both precipitation and precipitation frequency show significant night-rain, the Xigaze to northeast Lhasa in Tibet the night-rain center.

**Key words:** atmospheric sciences; plateau meteorology; diurnal variation; analysis of harmonic wave; night-rain; FY2E hourly precipitation products