

文章编号：1004-4965 (2003) 01-0067-06

前汛期福建地区 GMS-5 红外云图的亮温度 与地面雨强的关系研究

林长城¹，张长安¹，林忠敏²，林祥明¹，
谢怡芳³，郑淑贞¹

(1. 福建省气象科学研究所，福建 福州 350001；2. 福建省气象台，福建 福州 350001；
3. 福建省气象局科教处，福建 福州 350001)

摘 要：利用 1998 年和 1999 年前汛期 GMS-5 红外云图探讨亮温度与地面雨强关系。结果表明：地面雨强随着亮温度降低，降水强度逐渐加大，出现强降水的几率增多；在低温区利用多点采样法确定雨量站上空的亮温度值优于单点；前汛期福建地区强降水亮温度阈值选为-46。

关 键 词：前汛期；GMS-5；亮温度；雨强

中图分类号：P426.62

文献标识码：A

1 引 言

近年的前汛期暴雨研究，GMS 系列卫星的红外云图越来越受到重视，并广泛应用于暴雨过程分析和定量估计降水研究领域。利用卫星云图资料定量估计降水量的研究工作一直是国内外气象工作者探索的重要研究课题。Scofield R A (1987 年) 在对流性强降水估计方法的研究中运用静止气象卫星的红外云图、可见光云图资料，再结合 2 张相邻的云图上云的特征变化进行降水估计^[1]；Gilberto 等 (1998 年) 曾在美国利用 GOES-8 红外云图的亮温度资料与同步观测的雷达所反演出的降水作为“真值”，建立亮温度与降水强度的关系用于估计降水^[2]；夏浣清等 (1983 年) 利用红外云图资料中对流云团的亮温度等级及其所占的面积大小与地面 3 小时雨量建立关系来估计降水^[3]。众所周知，云体发生发展、成熟消亡都可以通过对其亮温度和对应地面雨量的变化进行描述。我们试图选择云体的亮温度来探讨和确定福建地区上空产生强降水的云体发展条件。严格地说不同地区、不同时期云体的亮温度与降水的关系是十分复杂的，正

收稿日期：2001-04-03；修订日期：2002-05-12

基金项目：福建省气象局 1998 年科研项目资助

作者简介：林长城 (1958-)，男，福建人，高级工程师，学士，主要从事大气探测和大气物理研究。

地分析和利用红外云图资料研究亮温度与降水的关系至关重要。同时在利用亮温度定量估计雨量方面,许多研究人员发现存在不确定性,这是否与亮温度的采样方法有关?仅用某一瞬间观测到云体上某一点的亮温度值来反映其地面 1 小时雨量的变化情况是否合适?值得我们进一步认真研究。另外对于产生强降水是否存在一个亮温度阈值范围,也是人们普遍关心的问题。以下亮温度用 T_{bb} 表示。

为此,本文选取 1998 年和 1999 年 4~6 月收集的 GMS-5 红外云图逐小时资料和本省 68 个台站对应观测的地面雨强资料,用 2 种采样方法(单点和 9 点的平均求值)对云体的亮温度进行取值,并与对应的地面雨强进行比较分析,来探讨前汛期期间在福建地区上空云体亮温度与地面雨强的关系。最后通过计算出现强降水的亮温度累计频率分布,确定强降水的亮温度阈值,为强降水的预报工作提供帮助。

2 资料收集与处理

1998 年和 1999 年的 4~6 月共收集 GMS-5 红外云图资料 2182 份,分辨率为 $0.05^\circ \times 0.05^\circ$ 。为直观起见,根据 GMS-5 提供的红外通道灰度与温度的关系,把所观测的云顶灰度等级换算成亮温度,直接反映云体的变化情况。其亮温度的变化范围在 $-81.5 \sim 30.2$ 之间,每 1 分为一个等级,共分 111 个等级,其中 $T_{bb} < -80$ 和 $T_{bb} > 30$ 各分为一个等级。同时对个别亮温度资料因信号噪声引起的奇异点作相应订正。为探讨是否因采样范围的不同而造成亮温度与地面雨强关系的变化,我们在亮温度采样上用单点和 9 点平均的求值方法进行比较。具体方法如下:

单点: $T_{bb1} = T(i, j)$

9 点: $T_{bb9} = [T(i-1, j-1) + T(i-1, j) + T(i-1, j+1) + T(i, j-1) + T(i, j) + T(i, j+1) + T(i+1, j-1) + T(i+1, j) + T(i+1, j+1)] / 9$

其中 T_{bb1} 、 T_{bb9} 分别为单点和 9 点采样的亮温度平均求值结果, $T(i, j)$ 为某雨量站 (i, j) 上空的亮温度或地面温度值。

地面雨强资料取自雨量观测站的逐小时雨量观测结果,2 年 6 个月共收集到 148376 个有效资料,其中包括降水和无降水的情况。对于某个时段的云图资料,采用其正点后 1 小时内的地面雨量资料与之对应。

为寻找亮温度与地面雨强之间的关系,根据降水等级的分类法^[1]把地面雨强 (R) 划分为以下 5 个降水等级:无雨 ($R=0$ mm/h),小雨 ($0 < R \leq 2.5$ mm/h),中雨 ($2.5 < R \leq 7.9$ mm/h),大雨 ($8 \leq R \leq 15.9$ mm/h),暴雨 ($R \geq 16$ mm/h),其中 $R \geq 8$ mm/h 以上的等级降水我们定义为强降水。 \bar{R} 为平均雨强 (mm/h)。

3 统计分析与结果

3.1 亮温度与地面雨强的关系

首先假定任何等级的亮温度都具备降水的可能，通过对在 1998 年和 1999 年 4~6 月里收集到的 147735 对（全部样本）亮温度与地面雨强的资料，按亮温度等级逐级求其对应地面雨强平均值的方法进行分析，得出前汛期福建地区的亮温度与地面雨强的关系曲线（图 1 中的细实线，称为 A 线）。另外把对应地面有出现降水的亮温度与地面雨强资料（26835 对，降水样本）按同样方法进行分析，得到另一条关系曲线（图 1 中的粗实线，称为 B 线）。

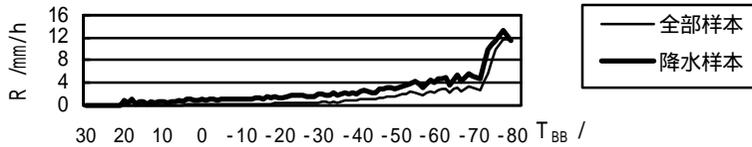


图 1 亮温度和地面雨强的关系（单点）

从图 1 中可以看出，在 A 线里，当亮温度在 0 以上时，对应地面的平均雨强值几乎为零，随着亮温度降低，曲线开始出现缓慢抬升。平均雨强值从 -30 处的 0.6 mm/h 缓慢增加到 -73 处的 4.2 mm/h。当亮温度降到 -73 以下时，地面雨强随亮温度的降低明显地迅速增大，如在 -78 处平均雨强达到 11.7 mm/h。图 1 中的 A、B 两条曲线虽有相同的变化趋势，但 B 线上每一点的地面雨强平均值均比 A 线的大 1 倍左右（特别是在亮温度大于 -40 区域内），但随着亮温度的降低这种差异逐渐缩小。亮温度降到 -78 时，B 线对应的地面雨强值为 13.3 mm/h，仅比 A 线高出 1.6 mm，说明云体的亮温度越低，对应地面的降水机会相对增多，2 种样本在这个温度区间的降水事件趋于接近，所以两者雨强平均值之间的差距就越小。

上述结果与文献 [2] 所表明的云顶灰度与地面雨强的关系曲线有相同之处，可见亮温度与地面雨强之间确实存在一定关系。但图 1 中的两条曲线的变化趋势也使我们看出，云体亮温度与地面雨强之间关系并非呈线性分布。利用红外云图的亮温度资料定量估计降水时，最好把亮温度的高、低值区分开，分段进行估算。否则可能得到错误的结果。

3.2 不同采样方法下亮温度与地面雨强的关系

图 2 和图 3 分别是全部样本和降水样本资料在 2 种采样方法下地面雨强随亮温度变化的关系曲线。从这两图不难看出：当亮温度在 -70 以上时，2 种采样方法所得的关系曲线基本处于胶着状态；而当亮温度低于 -72 时，单点与 9 点相比有着明显的差别，如在亮温度为 -78 处，2 种采样法对应地面雨强平均值分别为：11.7、19.3 mm/h（全部样本）和 13.3、19.3 mm/h（降水样本）。我们看到采用 9 点取样对于全部样本和降水样本而言，两者的平均雨强值基本相同，这是因为当亮温度在 -78 时，降水几率可高达 95%，全部样本和降水样本的样本数基本相同，所以计算出的平均雨强值也理应相同。而单点采样法的 2 种平均雨强值相差较大，因为云体的亮温度低于 -72 时，多数云体已处于发展成熟阶段，并伴有强中心出现，且其强中心的范围相对其周围的云系显得小得多。故推论出：在亮温度处于低值区时，采用 9 点采样法因考虑到云体移动的

因素,可能比单点采样法较为客观准确。而单点采样常常会因强中心位置的移动出现漏测,反映出来的亮温度与地面降水的变化情况相差甚远。

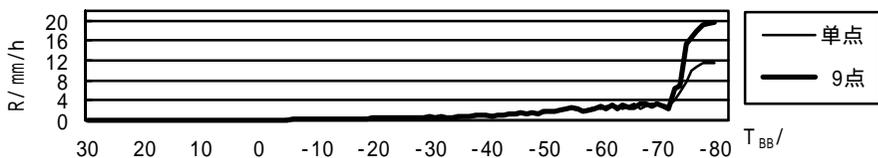


图2 2种采样法下亮温度与雨强的关系(全部样本)

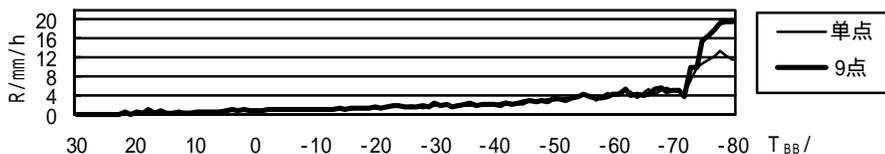


图3 2种采法下亮温度与雨强的关系(降水样本)

3.3 亮温度下的降水几率

在分析中发现亮温度与地面雨强的关系是复杂的,并非亮温度越低就意味着一定有降水发生。因为当云体从发展成熟走向消亡阶段时,其云体的亮温度较低,但此时其降水能力已经减弱。说明当云体处于不同发展阶段时,即使云体前后的亮温度值相当,但其降水能力相差很大。所以应对某个等级亮温度下对应地面各种降水等级的出现几率进行分析。

图4是在单点采样情况下,各种等级降水强度随着云体亮温度变化其出现几率的统计结果。从图可看出:当亮温度在 -30 以上时大雨出现的机会低于 1% ,几乎可忽略不计,暴雨在亮温度为 -40 以上时同样如此。而亮温度在 -40 以上时出现无降水的机会占将近 60% 的比例。当亮温度从 -40 降至 -70 时,对应地面降水的强度主要以小雨为主,出现几率在 $30\% \sim 33\%$ 之间;其次为中雨,出现几率从 7.9% 增至 18% 左右;而大雨和暴雨的出现机会分别从 2% 上升到 8.7% 和 1% 上升到 7.2% 。说明中雨、大雨和暴雨的出现机会都随着亮温度的降低而逐渐增大。当云体的亮温度低于 -72 时,地面雨强出现大雨和暴雨的机会成倍增加。如在 -78 处中雨出现几率为 37% ,大雨在 -76 处出现几率为 40.9% ,而暴雨在 -79 处出现几率达 33% 。

结合单点采样和9点采样(图略)的结果我们可以看出:2种采样下的各降水等级随亮温度的变化趋势基本相同,不同的只是当亮温度降低到 -72 以下时,二者之间有所差异。说明对于亮温度较低的云体由于采样方法的不同,对其所得的亮温度的平均值有较大影响。这是因为当云体的亮温度较低时,对应云体内部常有强对流中心出现,而且多数已处于发展成熟阶段,加上其尺度小和移动等因素的影响,单点采样往往不如多点采样更能准确反映云体当时亮温度的实际情况。

3.4 强降水的亮温度阈值

在分析GMS-5红外云图资料时常常会看到,在一片低云云系里局部有小的对流单体

存在,并随着时间的推移发生发展,这种对流单体其亮温度随之降低,尺度明显增大,这时对应的地面上会有强降水发生。通常把亮温度的高低用来衡量云体是否处于发展阶段的指标,把某一等级的亮温度作为云体是否可能出现强降水的判别标准,即所谓产生强降水的亮温度阈值。确定亮温度阈值是相当有意义的工作。对此,我们把 2 年 4~6 月中出现强降水的亮温度资料挑选出来,按亮温度计算其累积频率分布 $F(T_{BB})$,将 $F(T_{BB})$ 等于 50% 所对应的亮温度值,认定为产生强降水的亮温度阈值。因为当亮温度降到此温度时,结合图 1 的结果,云体出现强降水的几率将明显增加。

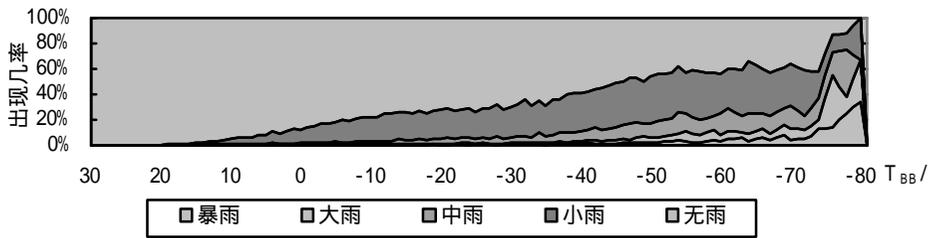


图 4 各降水等级随云顶温度变化的出现几率(单点)

图 5 为 2 种采样方法下强降水亮温度累积频率分布 $F(T_{BB})$ 随亮温度变化的关系曲线。从图中可以看出:2 种采样法下的分布曲线基本吻合,且二者的亮温度阈值分别为 -46 和 -45,说明在确定亮温度阈值时基本不受采样方法的影响,故把福建地区前汛期强降水的亮温度阈值选为 -46。

以往的研究^[3]表明,4~6 月在福建地区上空的云体云顶平均温度呈逐月下降趋势,所以有必要进一步对这 3 个月内各自产生强降水的亮温度阈值进行分析。图 6 是 4~6 月在单点采样法下各月强降水亮温度的累积频率分布 $F(T_{BB})$ 随亮温度变化的关系曲线。从图中可以看出:三个月的亮温度阈值相差明显,与这个时期福建地区上空云体的平均亮温度变化趋势基本相同,呈逐月下降,其中 4 月为 -39,5 月为 -49,6 月为 -53。所以在利用红外云图资料关注某个时期的强降水事件时,不同时期选择合适的亮温度阈值是十分必要的。

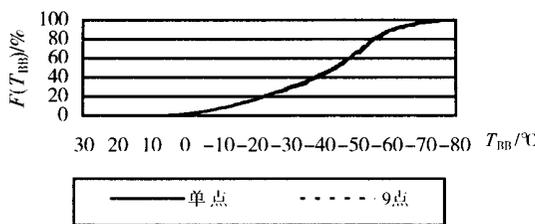


图 5 2 种采样法下强降水云顶温度累积频率分布

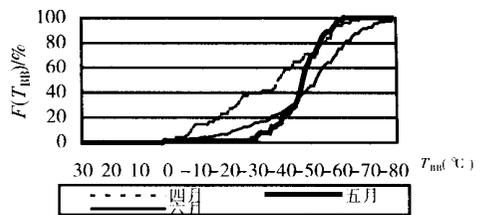


图 6 4~6 月强降水云顶温度累积频率分布

4 结 论

(1) GMS-5 红外云图的云体亮温度与地面雨强之间存在着一定的关系,地面雨强随着亮温度降低,不仅降水强度增大,而且大雨和暴雨出现机会也逐渐增多。特别是当

云体亮温度降低到 -72 以下时,对应地面雨强的增幅将相当明显。

(2) 对于亮温度较高的云体不同采样方法对其取值影响不大,但对发展到成熟阶段的云体,多点采样法的结果优于单点采样,尤其在今后的定量估计降水方面更应当考虑到这方面问题。

(3) 前汛期福建地区易产生强降水的云体之红外云图亮温度阈值为 -46 。按月份划分的话,4月为 -39 ,5月为 -49 ,6月为 -53 。

参 考 文 献:

- [1] SCOFIELD R A. The ENSDIS operational convective precipitation technique[J]. *Mon Wea Rev*, 1987, 115: 1773-1792.
- [2] GILBERTO A V, RODERRICK A S, MENZEL W P. The operational GOES infrared rainfall estimation technique[J]. *Bull AMS*, 1998, 1883-1898.
- [3] 夏浣清,陶遐龄,林长城. 用增强显示红外云图测梅雨锋强降水的探讨[J]. *气象*, 1983, 18-21.
- [4] 朱炳海,王鹏飞,束家鑫. 气象学词典[M]. 上海:上海辞书出版社,1985.
- [5] 卢乃锰,吴蓉璋. 强对流降水云图的云图特征分析[J]. *应用气象学报*, 1997, 8: 269-275.
- [6] 林长城,夏浣清. 福建省古田人工降水试验区自然云雨特征的卫星云图分析[J], *应用气象学报*, 1992, 3: 314-320.

THE RELATIONSHIP BETWEEN RAINFALL INTENSITY AND CLOUD TOP TEMPERATURE IN GMS-5 IR CLOUD IMAGE IN FUJIAN PROVINCE DURING THE FIRST RAINY SEASON

LIN Chang-cheng¹, ZHANG Chang-an¹, LIN Zhong-min²,
LIN Xiang-ming¹, XIE Yi-fang³, ZHENG Shu-zhen¹

- (1. Meteorology Research Institute of Fujian Province, Fuzhou 350001, China;
2. Fujian meteorological Observatory, Fuzhou 350001, China;
3. Fujian Meteorological Bureau, Fuzhou 350001, China)

Abstract: The relationship between rainfall intensity and cloud top temperature is discussed by using GMS-5 IR image in 1998~1999 during the first rainy season. The results indicate that the rainfall intensity and frequency of heavy-rain raises when cloud top temperature decreases. Below -72 the values of cloud top temperature with multiple points method is better than that with single point method. We choose -46 as the threshold of cloud top temperature in heavy-rain in Fujian province during the first rainy season.

Key words: first rainy season; GMS-5; cloud top temperature; rainfall intensity