

用 TRMM 卫星微波成像仪资料遥感 地面洪涝的研究*

姚展予

(中国气象科学研究院, 北京, 100081; 北京大学物理学院大气科学系, 北京, 100871)

李万彪 高慧琳 朱元竞 赵柏林

(北京大学物理学院大气科学系, 北京, 100871)

张强

(国家气候中心, 北京, 100081)

摘要

文中阐述了用热带降雨测量卫星(TRMM)微波成像仪(TMI)监测地面洪涝灾害的能力,并利用动态聚类、土壤湿度指数、极化亮温差指数、极化亮温比指数等 4 种基于 TMI 亮温资料的方法遥感了 1998 年夏季中国江淮流域的洪涝灾害。通过与机载雷达图像、星载雷达图像以及基于地面日降雨量资料的 Z 指数方法确定的地面洪涝情况的对比,结果表明用 TMI 亮温资料监测地面洪涝灾害是可行的,遥感结果也是比较满意的。

关键词: TRMM/TMI, 遥感, 洪涝灾害。

1 引言

洪涝灾害是一种由暴雨、台风等引起的自然现象。大面积的洪涝灾害经常会造成人民生命财产的巨大损失。1998 年夏季中国大陆罕见的大洪灾共造成 3004 人死亡,直接经济损失达 1666 亿元^[1]。由于洪涝灾害面积广大,利用卫星资料监测就显示出很大的优越性。本文利用 4 种基于热带降雨测量卫星(TRMM)微波成像仪(TMI)资料的方法对 1998 年夏季中国江淮流域的洪涝灾害进行了遥感监测,并与机载雷达图像、星载雷达图像、以及基于地面日降雨量资料的 Z 指数方法确定的地面洪涝情况进行了对比。

2 资料分析

2.1 TRMM/TMI 资料

1997 年 11 月美日联合发射了热带降雨测量卫星(TRMM),此卫星为近赤道非太阳同步轨道,卫星高度约 350 km,倾角为 35°,周期为 91.3 min,平均每天运行 15.77 轨,使用寿命为 3 a,其覆盖范围为以赤道为中心南北纬 40°之内。TRMM 卫星上的微波成像仪(TMI)是由 5 个频率 9 个线性极化通道组成的被动微波辐射测量系统。TMI 天线的扫描波束轴与仪器的旋转轴成 49°角,到达地面入射角为 52.76°,扫描波束为锥面,观测的扫描角度为 130°,相对于地球表面其扫描宽度为 758.5 km。表 1 给出了 TMI 各通道的中心频率、极化状况和空间分辨率^[2]。

文中选用 1998 年 6 月 1 日至 8 月 31 日覆盖江淮流域的 TMI 资料分析 1998 年夏季该流域的洪涝灾害的遥感情况。

2.2 地面观测资料

表 1 TMI 各通道的中心频率、极化状况和空间分辨率

通道	1	2	3	4	5	6	7	8	9
中心频率(GHz)	10.65	10.65	19.35	19.35	21.3	37.0	37.0	85.5	85.5
极化(V-垂直, H-水平)	V	H	V	H	V	V	H	V	H
空间分辨率(km×km)	63×37	63×37	30×18	30×18	23×18	16×9	16×9	7×5	7×5

初稿时间: 2001 年 2 月 7 日; 修改稿时间: 2001 年 6 月 14 日。

资助课题: 国家自然科学基金项目(49794030), 中国气象局和吉林省人民政府人工影响天气联合开放实验室科学基金, 和国家重点科技攻关项目(2001BA610A-06 05)。

1998 年夏季中国长江流域和其它许多地区均发生了特大洪涝灾害。文中选用 1998 年 6 月 1 日 ~ 8 月 31 日中国 610 个大陆地区地面气象站的日降水量资料。利用降水量累积频率的概率分级方法(简称 Z 指数方法)^[3,4], 可以获得中国大陆地区地面旱涝等级和类型的日、旬、月分布。

2.3 机载雷达和星载雷达图像资料

我们用中国 L-波段合成孔径雷达(L-SAR)和加拿大雷达卫星(Radarsat)给出地面洪涝图像^[5]作为对比的图像资料。L-SAR 具有 $3\text{ m} \times 3\text{ m}$ 的空间分辨率, 可灵活机动地对洪涝进行监测。Radarsat 具有快速、大面积对洪涝灾区进行监测的优势, 其标准波束工作模式的空间分辨率为 $25\text{ m} \times 28\text{ m}$, 高分辨率波束工作模式的空间分辨率为 $(11 \sim 9)\text{ m} \times 9\text{ m}$, 其波束扫描 24 d 可覆盖全球一遍。

3 原理和方法

3.1 用 TMI 遥感地面洪涝和土壤湿度的原理

用微波窗区波段遥感下垫面可有效地排除云干扰, 具有全天候的特性。因此对于洪涝连续过程的动态监测, 微波较红外、可见光波段具有很大优势。

星载微波探测器遥感下垫面洪涝和土壤湿度的原理是基于土壤的介电常数与土壤的含水量之间的正相关关系。土壤湿度愈大, 土壤的介电常数也就愈大, 而土壤的介电常数增加导致地表比辐射率 ϵ 减小, 因此土壤湿度与地表比辐射率 ϵ 之间存在负相关关系。我们知道卫星探测的地表亮温 $T_B = T_S \cdot \epsilon$, 其中 T_S 是地表温度, 所以地表亮温 T_B 与土壤湿度或土壤的含水量之间必然是负相关关系。

根据上述原理, 可利用 TMI 测得的地表亮温来判断地面是否发生洪涝, 并进一步定量研究土壤的湿润程度。

3.2 用 TMI 遥感地面洪涝和土壤湿度的方法

3.2.1 分类法

地球表面是一个强辐射发射源, 地表比辐射率是确定地表辐射量的重要因子之一。Spencer^[6,7], Neale^[8], Grody^[9], Fiore^[10]等人曾先后提出过几个对地球表面进行分类的经验方法。本文运用基于核函数的动态聚类 K-均值方法将地表分为 5 个类别, 分别为干土壤、湿土壤、水区、层状云降水区、对流云降水区。

聚类分析是把相似的样本聚合为一个类型, 在特征空间占据一个局部区域, 每个局部区域都形成

一个聚合中心, 往往以聚合中心来代表相应类型。聚类分析避免了估计各类的概率密度的困难, 不需要预知样本, 甚至可以自动确定类型的数目。

3.2.2 土壤湿度指数法

土壤湿度指数 SWI(Soil Wetness Index) 定义为 I_{SW} :^[11~13]

$$I_{SW} = T_{B_{85H}} - T_{B_{19H}} \quad (10 \leq I_{SW} \leq 30) \quad (1)$$

I_{SW} 属经验指数, 适用于洪涝灾害和土壤湿润程度的监测。根据我们对 1998 年江淮流域的实际遥感应, 我们通常认为 I_{SW} 值愈大, 地表愈潮湿。当 I_{SW} 值在 10~30 之间变化时, 该指数从小到大分别代表干土壤、湿土壤、土壤过湿区和表层泥泞区。当 $I_{SW} > 30$ 时, 通常代表洪涝淹没区和固有水体区。若 $I_{SW} < 0$ 时, 则通常表示该区域为正在降水区。该方法简单易用, 已被 NOAA 投入实际应用, 但作为一个绝对差值, 它对地表温度有一定的依赖性。

3.2.3 极化亮温差指数法

对于 TMI, 在 10 GHz, 19 GHz 和 37 GHz 通道的极化亮温差指数 PDI(Polarization Difference Index) 可用来监测地表的洪涝灾害和土壤湿度。该指数定义为: I_{PD}

$$I_{PD_x} = T_{B_{xV}} - T_{B_{xH}}$$

$$(x \text{ 取 } 10\text{ GHz}, 19\text{ GHz}, 37\text{ GHz}) \quad (2)$$

根据我们对 1998 年江淮流域的实际遥感应, 当 $I_{PD_{10}}$ 值在 15~30 之间时代表湿土壤和表层泥泞区。当 $I_{PD_{10}} > 30$ 时, 通常代表洪涝淹没区和固有水体区。而当 $I_{PD_{10}} < 10$ 时, 则通常代表干土壤。

3.2.4 极化亮温比指数法

随着土壤水分的增加, 土壤的比辐射率减小, 极化特征加强。极化亮温比指数 PRI(Polarization Ratio Index) 就是根据这一物理特性定义为 I_{PR} :

$$I_{PR_x} = 100(T_{B_{xV}} - T_{B_{xH}}) / (T_{B_{xV}} + T_{B_{xH}}) \\ = 100(\epsilon_V - \epsilon_H) / (\epsilon_V + \epsilon_H) \quad (3)$$

式中 x 代表 TMI 的某一个通道。

根据我们对 1998 年江淮流域的实际遥感应, 当 $I_{PR_{19}}$ 值在 2~4 之间时通常代表湿土壤和表层泥泞区。当 $I_{PR_{19}} > 4$ 时, 通常代表洪涝淹没区和固有水体区。而当 $I_{PR_{19}} < 2$ 时, 则通常代表干土壤。

PRI 的一个显著特点是归一化。它消除了地表温度的影响, 便于在不同气候条件下进行比较。

3.3 Z-指数方法

Z-指数计算方法假设某时段降水量服从 P-III 型分布, 通过对降水量 X 进行正态化处理, 则可将其概率密度函数通过转换运算, 得到下式:

$$Z_i = \frac{6}{C_s} \left(\frac{C_s}{2} \varphi_i + 1 \right)^{1/3} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6} \quad (4)$$

式中, C_s 为偏态系数, φ_i 为标准变量, 均由降水量资料序列计算求得:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^3}{n\sigma^3} \quad (5)$$

$$\varphi_i = \frac{x_i - \bar{x}}{\sigma} \quad (6)$$

其中: 降水量的平均值为 $\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$, 均方根误差为

$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$ 。表 2 给出了旱涝等级和类型及相应的 Z-指数值范围。

表 2 以 Z 指数值为指标的旱涝等级和类型

Z-指数值	等级	旱涝类型
$Z > 1.96$	1	重涝
$1.44 < Z \leq 1.96$	2	中涝
$0.84 < Z \leq 1.44$	3	轻涝
$-0.84 \leq Z \leq 0.84$	4	正常
$-1.44 \leq Z < -0.84$	5	轻旱
$-1.96 \leq Z < -1.44$	6	中旱
$Z < -1.96$	7	重旱

4 监测结果和分析

1998 年夏季江淮流域共出现过 3 次主要的降雨过程, 其时间段分别为 6 月 12~27 日, 7 月 21~31 日和 8 月 1~10 日。本文重点讨论第 2 次降雨过程(7 月 21~31 日)在该地区造成的洪涝灾害。

图 1 为 1998 年 7 月 21~31 日中国陆地的降水量, 表示 10 d 中江淮流域是降水总量的高值区 (100.0~300.0 mm 或 300.0~500.0 mm)。

我们分别用上述 4 种 TMI 遥感方法对 1998 年 7 月 31 日江淮流域洪涝灾害和土壤湿润程度进行监测, 并与用地面站资料的推算结果进行了比较, 监测和比较的结果见图 2。图 2a 是用分类法确定的地表类型和正在降水的区域, 图 2b~d 分别是用 TMI 的 SWI, PDI₁₀ 和 PRI₁₉ 方法监测的洪涝灾害和土壤湿润程度结果, 图 2e 则是根据地面站日降水量资料用 Z 指数方法确定的地表旱涝等级分布, 以作为 TMI 遥感结果的对比。

在图 2b, 2c 和 2d 中, 海洋区域(图 2b 中 $I_{SW} > 60$, 图 2c 中 $I_{PD10} > 50$, 图 2d 中 $I_{PR19} > 10$) 的反演结果非常一致, 湿土壤区、表层泥泞区、洪涝区、湖泊区(图 2b 中 I_{SW} 在 15~60 之间, 图 2c 中 I_{PD10} 在 15~50 之间, 图 2d 中 I_{PR19} 在 2~10 之间) 等的反演结果彼此符合得也较好。将这 3 幅图与图 2a 比较, 可以



图 1 1998 年 7 月 21~31 日全国降水量(mm)分布图

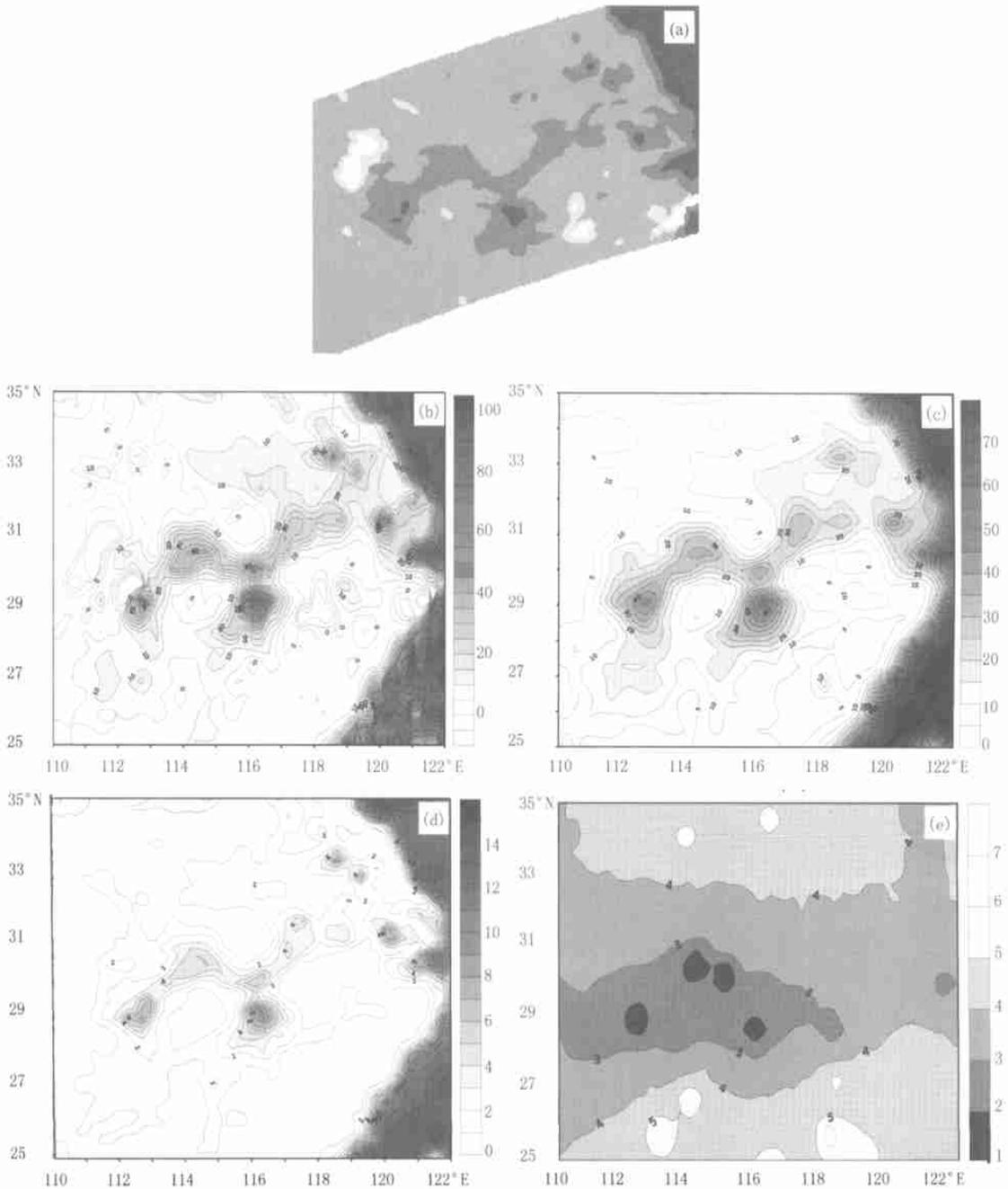


图2 1998年7月31日江淮流域洪涝灾害和土壤湿润程度的监测结果

(a. 用动态聚类法进行地表和降雨区的分类(25~35°N, 110~122°E)。5个灰度等级从黑到白分别代表湖泊或海洋等固有水体、洪涝或湿土壤区、干土壤区、层状云降水区、对流云降水区, b. 用TM1的SWI方法监测的洪涝灾害和土壤湿润程度结果, c. 用TM1的PDI₁₀方法监测的洪涝灾害和土壤湿润程度结果, d. 用TM1的PRI₁₉方法监测的洪涝灾害和土壤湿润程度结果, e. 根据地面站日降水量资料用Z-指数方法确定的地表旱涝等级分布)

看到用SWI, PDI₁₀和PRI₁₉3种方法反演的湿土壤区、表层泥泞区、洪涝区、湖泊区和海洋区与图2a中用动态聚类法的分类结果非常相似。此外,图2a中

用分类法确定的降水区(两个较白的灰度等级区域)和图2b中用SWI方法反演的结果($I_{sw} < 0$)是一致的。在图2e中,用Z-指数方法确定的一级重涝区有

四处, 它们与图 2b~ d 中用 SWI, PDI₁₀和 PRI₁₉ 3 种方法反演的洪涝区, 以及与图 2a 中用分类法确定的洪涝区都较为接近。

通过比较可看到, 图 2a~ d 中用 TMI 的 4 种方法反演的洪涝区域分布与图 2e 中用 Z 指数方法确定的旱涝等级分布存在一定的差异。其中原因之一是地面站的分布密度相对较疏, 因此在图 2e 中确定旱涝等级的等值线时会有一定的误差。我们还可以看到, 图 2a 的分类结果与图 2b 用 SWI 方法反演的精细分布结构相对更接近, 尤其是对降水区域 ($I_{SW} < 0$), 图 2c 和图 2d 无法给出降水区的分布结果。如仅考虑湿土壤区、表层泥泞区和洪涝区与图 2a 的分类结果比较, 图 2d 中用 PRI₁₉ 方法反演的精细结构则比图 2b 和图 2c 中用 SWI 方法和用 PDI₁₀ 方法反演的精细结构更接近一些。

从图 2 的监测和比较结果及其分析可知, 基于 TMI 资料的 3 种方法 (SWI, PDI₁₀和 PRI₁₉) 均可用于监测地面洪涝灾害和土壤湿润程度, 从反演洪涝和土壤湿度的精细结构来看, PRI₁₉ 方法是三者中最好的。同样, 用动态聚类法也可较好地区分出湿土壤区和洪涝区。

图 3 给出 1998 年 7 月 31 日用 TMI 的 PRI₁₉ 方法遥感洞庭湖流域的地面洪涝结果与相应的 L-SAR 图像的对比。我们可以看到, 图 3a 中 TMI 反演的洞庭湖流域的固有水体与图 3b 中 L-SAR 图像揭示的该流域的固有水体除了某些细节外几乎完全一致。图 3a 中反演的洪涝区与图 3b 中给出的洪涝区也基本一致, 只是 TMI 的反演结果比 L-SAR 图

像揭示的结果面积略大一些。由于两种图像的空间分辨率不同 (TMI/PRI₁₉ 遥感图像的空间分辨率为 $30 \text{ km} \times 18 \text{ km}$, L-SAR 图像的空间分辨率为 $3 \text{ m} \times 3 \text{ m}$), 因此用 PRI₁₉ 方法无法得到像 L-SAR 图像那样非常精细的洪涝细节, 但图 3 对比结果显示, 用 TMI 的 PRI₁₉ 方法监测大面积的地面洪涝灾害是切实可行的。

图 4 是另一个对比实例, 给出 1998 年 8 月 25 日用 TMI 的 PRI₁₉ 方法遥感鄱阳湖流域的地面洪涝结果与相应的 Radarsat 图像的对比。同样, 图 4a 中 TMI 反演的鄱阳湖流域的固有水体与图 4b 中 Radarsat 图像揭示的该流域的固有水体也是几乎完全一致。图 4a 中反演的洪涝区与图 4b 中给出的洪涝区仍然基本一致, 还是 TMI 的反演结果比 Radarsat 图像揭示的结果面积略大一些。因为两种图像的空间分辨率不同 (TMI/PRI₁₉ 遥感图像的空间分辨率为 $30 \text{ km} \times 18 \text{ km}$, Radarsat 图像的空间分辨率为 $25 \text{ m} \times 28 \text{ m}$), 故由 PRI₁₉ 方法监测的洪涝结果要比 Radarsat 给出的洪涝图像粗糙得多, 但图 4 的对比结果仍然再一次表明, 用 TMI 的 PRI₁₉ 方法监测大面积的地面洪涝灾害是基本可信的。

5 误差讨论

我们知道, 地表亮温 $T_B = T_S \cdot \varepsilon$ 。在本文的几种 TMI 的反演方法中, 未考虑地表温度 T_S 对于用 TMI 的亮温 T_B 反演地面洪涝的影响。事实上, 地表比辐射率 ε 与 TMI 的亮温 T_B 之间并非是线性相关, 这就使得直接利用 TMI 的亮温 T_B 反演

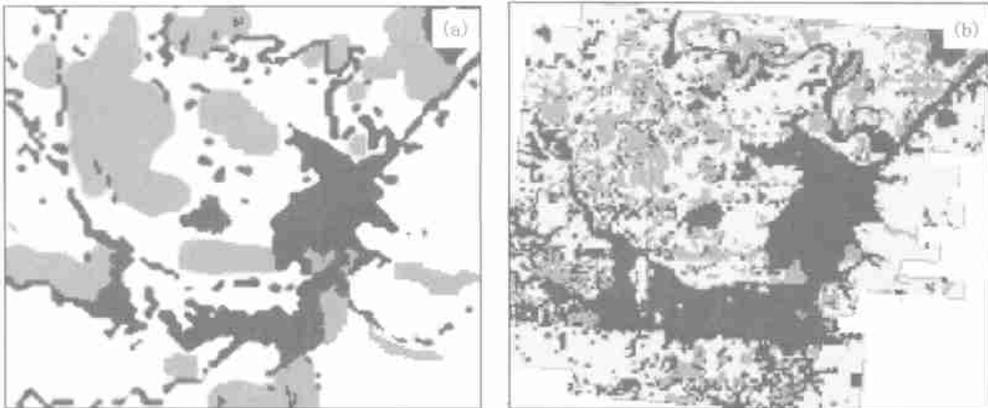


图 3 用 TMI 遥感洞庭湖流域的地面洪涝结果与相应的 L-SAR 图像的对比
(a. 用 TMI 的 PRI₁₉ 方法反演的 1998 年 7 月 31 日洞庭湖流域的地面洪涝结果. 图中 3 种灰度等级从黑到白分别代表固有水体 (黑色)、洪涝区域 (灰色)、和非洪涝区域, (白色) b. 1998 年 7 月 27~ 31 日洞庭湖流域相应的 L-SAR 图像. 图中 4 种灰度等级从黑到白分别代表固有水体 (黑色)、洪涝区域、图像扫描区域、和非图像扫描区域 (白色))

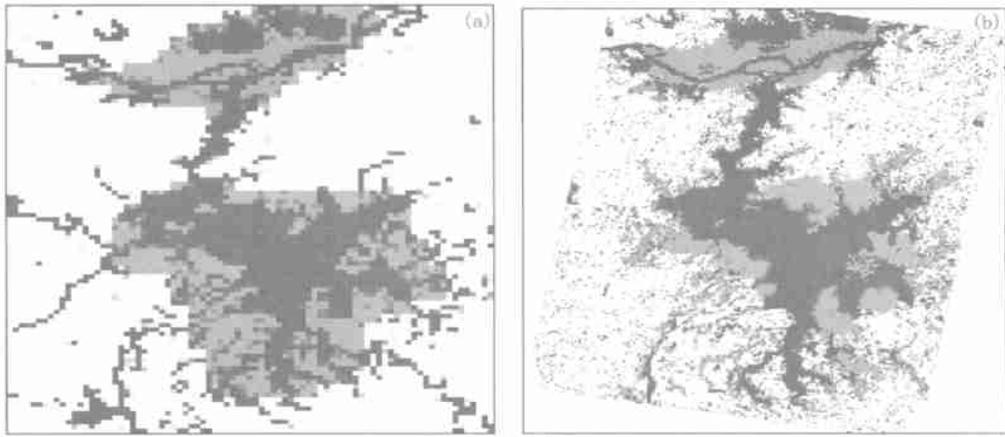


图4 用 TMI 遥感鄱阳湖流域的地面洪涝结果与相应的 Radarsat 图像的对比

(a. 用 TMI 的 $PR_{I_{19}}$ 方法反演的 1998 年 8 月 25 日鄱阳湖流域的地面洪涝结果. 图中 3 种灰度等级从黑到白分别代表固有水体(黑色)、洪涝区域(灰色)和非洪涝区域(白色), b. 1998 年 8 月 25 日鄱阳湖流域相应的 Radarsat 图. 图中 4 种灰度等级从黑到白分别代表固有水体(黑色)、洪涝区域、图像扫描区域、和非图扫描区域(白色))

地面洪涝产生一定的误差。但是在某些反演方法的应用中,我们也尽量想办法减少这种误差,例如,我们尽可能地应用 PRI 方法,因为在 PRI 方法中,地表温度 T_s 同时出现在分子和分母上,可将 T_s 约去,从而消除地表温度 T_s 的影响。

6 结 论

TMI 不同通道的亮温反应的地面洪涝和土壤湿度的信息各不相同。依靠 TMI 不同通道的亮温资料,本文提出了动态聚类法、土壤湿度指数法、极化亮温差指数法、极化亮温比指数法 4 种用于

监测地面洪涝和土壤湿度的方法,并将 4 种方法分别用于监测 1998 年夏季江淮流域的洪涝灾害和土壤湿度,并进行了互相之间的比较以及与基于地面站日降雨量资料的 Z -指数方法确定的地面旱涝情况的对比,结果表明这 4 种方法均是适用和可行的,其中极化亮温比指数法消除了地表温度的影响,可更好地反演出洪涝灾害和土壤湿度的精细结构。将 TMI 的 $PR_{I_{19}}$ 方法反演的洪涝结果分别与相应的 L-SAR 图像和 Radarsat 图像进行对比,结果显示,用 $PR_{I_{19}}$ 方法监测地面洪涝灾害是比较令人满意的。

致谢:感谢日本 NASDA 提供了 1998 年 6~ 8 月 TMI 全球观测资料。

参考文献

- 1 中国气象局国家气候中心. '98 中国大洪水与气候异常. 北京:气象出版社,1998,137pp
- 2 Kummerow C, et al. The Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM) sensor package. *J Atmos Oceanic Tech*, 1998, 15: 809~ 817
- 3 鞠笑生,杨贤为,陈丽娟等. 中国单站旱涝指标确定和区域旱涝级别划分的研究. *应用气象学报*, 1997, 8(1): 26~ 33
- 4 Kife G W. Frequency and Risk Analysis in Hydrology. Water Resour Publication. Colorado 80522, ISBN-0 918334 24 3, 1978
- 5 郭华东. 中国雷达遥感图像分析. 北京:科学出版社,1999,244pp
- 6 Spencer R W. A satellite passive 37GHz scattering base method for measuring oceanic rain rates. *J Clim Appl Meteor*, 1986, 25: 754~ 766
- 7 Spencer R W, Goodman H M, Hood R E. Rainfall retrieval over land and ocean with the SSM/I: Identification and characteristics of the scattering signal. *J Atmos Oceanic Technol*, 1989, 6: 254~ 273
- 8 Neale C M U, McFarland M J, Chang K. Land surface type classification using microwave brightness temperatures from the Special Sensor Microwave Imager. *IEEE Trans Geosci Remote Sens*, 1990, 28(5): 829~ 838
- 9 Grody N C. Classification of snow cover and rainfall using the Special Sensor Microwave Imager. *J Geophys Res*, 1991, 96: 7423~ 7435
- 10 Fiore J V, Grody N C. Classification of snow cover and precipitation using SSM/I measurements: Case studies. *Int J Remote Sens*, 1992, 13: 3349~ 3361
- 11 Achutuni R, Ladue J L, Scofield R A, et al. A soil wetness index for monitoring the Great Flood of 1993. Paper presented at the Seventh Conference on Satellite Meteorology and Oceanography. Monterey, California, 1994, 580~ 584

- 12 Achutuni R, Scofield R A, Grody N C, et al. Global monitoring of large area flooding using the DMSP SSM/I soil wetness index. Paper presented at annual meeting. Amer Meteor Soc, Atlanta Ga, 1996, 455~ 459
- 13 Achutuni R, Scofield R A. The spatial and temporal variability of the DMSP SSM/I global soil wetness index. 13th Conference on Hydrology, 1998. 188~ 189
- 14 Felde G W. The effect of soil moisture on the 37GHz microwave polarization difference index (MPDI). Int J Remote Sens. 1998, 19(6) : 1055 ~ 1078
- 15 Sippel S J, Hamilton S K, Melack J M. Determination of inundation area in the Amazon River floodplain using the SSM/I 37GHz polarization difference. Remote Sens Environ 1994, 48: 70~ 76
- 16 Lure Y M F, Grody N C, Chiou Y S P, et al. Data fusion with neural network for classification of earth surface from microwave satellite measurements. Telem Informatics, 1993, 10: 1~ 10
- 17 Schumgge T, O'Neil P E, Wang J R. Passive microwave soil moisture research. IEEE Trans Geosci Remote Sens, 1986, 24: 12~ 18
- 18 McKee T B, Doesken N J, Kleist J. Drought monitoring with multiple timescales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15~ 20 January, Dallas, TX, 1995, 233~ 236
- 19 Teng W L, Wang J R, Doraiswamy P C. Relationship between satellite microwave radiometric data, antecedent precipitation index, and regional soil moisture. Int J Remote Sens. 1993, 14(13): 2483~ 2500
- 20 Wilhite D A. Drought planning: A process for state government. Water Resource Bulletin, 1991, 27(1): 29~ 38

REMOTE SENSING OF FLOODING USING TRMM THE MICROWAVE IMAGER

Yao Zhanyu

(Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081;

Department of Atmospheric Sciences, Physics school, Peking University, Beijing 100871)

Li Wanbiao Gao Huilin Zhu Yuanjing Zhao Bolin

(Department of Atmospheric Sciences, Physics School, Peking University, Beijing 100871)

Zhang Qiang

(National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The ability of TRMM/TMI for flooding and soil wetness detection has been demonstrated in this study. On the basis of TMI measurements, four methods, the classification method, the soil wetness index (SWI) method, the polarization difference index (PDI) method, and the polarization ratio index (PRI) method, were brought out to monitor flooding and study soil wetness in the Yangtze River and the Huaihe River basins during the summer 1998. Compared the images provided by L-band Synthetic Aperture Radar (L-SAR) and Radar Satellite (Radarsat) with the figures derived from daily rainfall data based on the Z-index method, the flooding and soil wetness detection by TMI was proved to be feasible.

Key words: TRMM/TMI, Remote sensing, Flooding.