

卫星遥感地表植被及其在华南暴雨中尺度数值模拟中的应用试验*

王鹏云¹⁾ 肖乾广²⁾ 林永辉¹⁾ 肖 岚²⁾

¹⁾(中国气象科学研究院,北京100081) ²⁾(国家卫星气象中心,北京100081)

提 要

将我国植被资料和 NCAR 资料分别用于非静力平衡中尺度模式 MM5,对 1998 年 5 月 23~24 日华南暴雨进行数值模拟试验,比较其对降水量和动力热力场预报的影响,结果表明,当网格格距为 45 km 时,二者差别很小,当网格格距减小到 5~15 km,预报降水量最大值增加了 12%~14%,更接近观测值,同时对低层大气热力动力结构也有一定影响。

关键词:地表植被 中尺度数值模拟 暴雨

引 言

中尺度天气系统既可由大尺度内部不稳定激发生成,也可由下垫面热力或机械强迫作用而生成,或者二者相互作用即由大尺度内部不稳定激发生成的中尺度系统受下垫面热力或地形强迫作用而进一步加强。后者在实际大气中更为常见,且造成局地极大灾害。因此在中尺度数值模拟和预报中,初值场和地形、地表植被资料的分析对中尺度系统的模拟和预报效果都具有重要的作用^[1]。

初值场分析包括由全球模式提供的初估场和初始时刻实测资料的客观分析。目前研究的重点放在对卫星遥感、雷达探测等非常规观测资料的三维或四维资料同化分析上,其目的在于使初值场中含有尽可能多和准确的中尺度信息。地形,主要是地形高度,对局地天气发展的影响已有许多研究,目前多数中尺度模式中包含实际地形资料,根据模式分辨率使用相应精度的地形资料,如 1°、30′、10′、5′ 或更细的资料,即可反映地形的抬升等动力影响。在研究一些特殊的边界层过程时还要考虑下垫面坡度、走向对辐射等热力过程的影响。地表植被则既有对边界层动力过程的影响如与地表植被类型相应的地表粗糙度对动量通量系数的影响,也有对热力过程的影响,如地表反照率、发射率、热惯量、热容量对热量通量的影响,此外地表的干湿状况还直接影响到大气水循环过程。地表植被变化对局地气候变化的影响已有许多研究(如 Dickinson, 1988; Shukla 等, 1990)^[2,3],最近还看到地表植被及物理参数对中期天气数值预报影响的研究^[4]。但关于在中尺度数值模拟中的作用的研究还很少。

* 资助项目:国家攀登专项 95-专-03、国家自然科学基金项目 49735180、国家重点基础研究发展规划项目“中国暴雨” G1998040907。

2000-01-18 收到,2000-03-17 收到修改稿。

1998年在华南地区完成的“海峡两岸及邻近地区暴雨试验”期间,利用 NOAA 卫星资料反演取得了我国卫星遥感地表特征分类及物理参数的详细资料,使我们有可能对地表特征在中尺度模式中的作用进行实际试验和比较。

1 卫星遥感地表植被分类及物理参数

国外自 20 世纪 80 年代开始利用气象卫星资料进行植被分区研究,如 Norwine 等^[5]探讨了利用气象卫星进行植被分类及制图的可能性;Townshed 等^[6]利用低分辨率气象卫星数据进行南美洲植被分区研究;在撒哈拉计划中,多国科学家利用气象卫星植被指数开展了非洲植被分区研究^[7];法国也进行了气象卫星全国植被分区工作^[8]。我国从 90 年代起开展这项工作,盛永伟等^[9]用 1990 年归一化植被指数(NDVI)数据得到我国陆域 18 类植被分类图。

PSU/NCAR 中尺度模式 MM5 中的地表植被资料将地表植被分成 13 类,尽管其空间分辨率已细到 10',但因其分类考虑重点为北美的全球植被分布,因而对美国国土以外的某局部地区来说,其分类就显得很粗,这将在图 3 中给以说明,各类地表特征所对应的物理参数也只是区分了夏、冬二季节的气候平均(表 1)^[10]。

表 1 NCAR 地表植被分类及物理参数

地表植被分类	类型	反照率(%)		土壤湿度(%)		发射率(%)		粗糙度(cm)		热惯量(cal·cm ⁻² ·K ⁻¹ ·s ^{-1/2})	
		夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬	夏	冬
1	城区	18	18	5	10	88	88	50	50	0.03	0.03
2	农耕地	17	23	30	60	92	92	15	5	0.04	0.04
3	草原	19	23	15	30	92	92	12	10	0.03	0.04
4	阔叶林	16	17	30	60	93	93	50	50	0.04	0.05
5	针叶林	12	12	30	60	95	95	50	50	0.04	0.05
6	混交林和湿地	14	14	35	70	95	95	40	40	0.05	0.06
7	水体	8	8	100	100	98	98	0.0001	0.0001	0.06	0.06
8	沼泽地	14	14	50	75	95	95	20	20	0.06	0.06
9	沙漠	25	25	2	5	85	85	10	10	0.02	0.02
10	冻土带	15	70	50	90	92	92	10	10	0.05	0.05
11	永冻冰	55	70	95	95	95	95	5	5	0.05	0.05
12	热带或亚热带森林	12	12	50	50	95	95	50	50	0.03	0.03
13	热带或亚热带草原	20	20	15	15	92	92	15	15	0.03	0.03

注:1 cal = 4.184 J(下同)

我国地域广阔,植被类型复杂,为在中尺度数值模式中充分体现地表特征的影响,笔者根据我国及邻近地区植被分布状况重新划分了 13 类,用 1997~1998 年 NOAA 极轨卫星 NDVI 数据反演得到地域范围经度 74°~135.44°E,纬度 12°~56.88°N,分辨率经、纬度 0.08°的地表植被分类资料(图 1)。同时用 1998 年 5~6 月的卫星资料估算出各类地表植被的物理参数(以下简称 NSMC 资料),见表 2。表中各物理量计算方法如下:

表 2 NSMC 地表植被分类及物理参数(1998 年)

地表植被分类	类 型	反照率(%)		土壤湿度(%)		发射率(%)		粗糙度(cm)		热惯量(cal·cm ⁻² ·K ⁻¹ ·s ^{-1/2})	
		5月	6月	5月	6月	5月	6月	5月	6月	5月	6月
1	戈壁、沙漠	25	25	3	2	84	86	9	10	0.02	0.02
2	农耕区	18	16	65	70	91	92	14	15	0.03	0.04
3	北方草甸草原	17	15	70	65	92	91	12	11	0.03	0.03
4	永久冻土	58	60	95	95	95	95	5	5	0.05	0.05
5	亚热带常绿灌木	15	15	70	75	94	94	40	40	0.03	0.03
6	热带雨林	12	13	85	80	95	95	50	50	0.05	0.05
7	水体	8	8	100	100	98	98	0.0001	0.0001	0.06	0.06
8	干草原	19	18	46	55	91	92	11	12	0.03	0.03
9	阔叶林	16	17	70	75	90	95	60	65	0.04	0.04
10	针叶林	13	12	50	60	95	95	50	50	0.04	0.05
11	高寒荒漠	27	26	15	18	90	90	15	15	0.03	0.03
12	沙地	22	22	6	7	88	88	12	12	0.03	0.03
13	针阔混交林	13	14	65	70	94	95	55	60	0.03	0.03

①反照率 模式中的反照率是全波段的反照率,即从可见光到近红外波段。而 NOAA 极轨气象卫星的波段为可见光波段 $0.58 \sim 0.68 \mu\text{m}$ 和近红外波段 $0.725 \sim 1.1 \mu\text{m}$,没有覆盖全波段。为了获取全波段的反照率,用 NOAA 卫星甚高分辨辐射计资料(AVHRR),将两个波段的测值与全波段测值拟合,得到全波段反照率 A , $A = aA_{ch1} + bA_{ch2} + c$,其中 A_{ch1} 、 A_{ch2} 分别为 AVHRR 第 1、2 通道反照率^[11]。

②表层土壤湿度 表层(指不大于 10 cm 土层)土壤湿度是遥感领域最困难的课题。目前使用两种方法获得^[12,13]:

(i) 日校差法: $S_m = a - b(T_d - T_n)$

其中 S_m 为土壤湿度, T_d 为白天地表最高温度, T_n 为夜间地表最低温度, a 、 b 为拟合系数。

(ii) 能量平衡法: $S_m = a - bH/E$

其中 H 为一天的显热通量均值, E 为蒸散热量。由于这两个参量很难获得,我们使用日校差法。

③发射率 发射率 ε 的计算也非常困难,我们采用植被指数法^[12],即: $\varepsilon = a + bI$,其中, I 为 NDVI 等于 $(A_{ch2} - A_{ch1}) / (A_{ch2} + A_{ch1})$, a 、 b 为拟合系数。

④粗糙度 粗糙度 h 各家计算有量级之差^[12,14],我们采用 NDVI 计算: $h = aI + b$,其中 a 、 b 为拟合系数。

⑤热惯量 热惯量 P 用公式 $P = B(1 - A) / \Delta T$ 计算,其中 A 为反照率, ΔT 为日温差 ($T_d - T_n$), B 为常数^[15]。

2 非静力平衡中尺度数值模式及模拟试验个例

中尺度模式为美国 PSU/NCAR 非静力平衡中尺度数值模式 MM5(V2)^[10]。初始场用国家气象中心全球模式 T106 分析场格点资料,用 16 点复合相关双抛物拟合法插值到

模式的正方形网格点上,构成初估场,再引入实际地面及高空观测资料对初估场进行订正。侧边界用时变出入流方案。用张弛逼近法将模式预报场向间隔 12 h 客观分析的大尺度场逼近。

模式网格用 3 层套网格,最外层 A 格距 45 km,水平格点数 61×61 ;第 2 层 B 格距 15 km,水平格点数 61×61 ;最内层 C 格距 5 km,水平格点数 73×73 。网格中心点最外层取在 $114^{\circ}\text{E}, 25^{\circ}\text{N}$;第 2 层 $113.1^{\circ}\text{E}, 24.2^{\circ}\text{N}$,最内层 $111.9^{\circ}\text{E}, 22.5^{\circ}\text{N}$ (见图 2)。

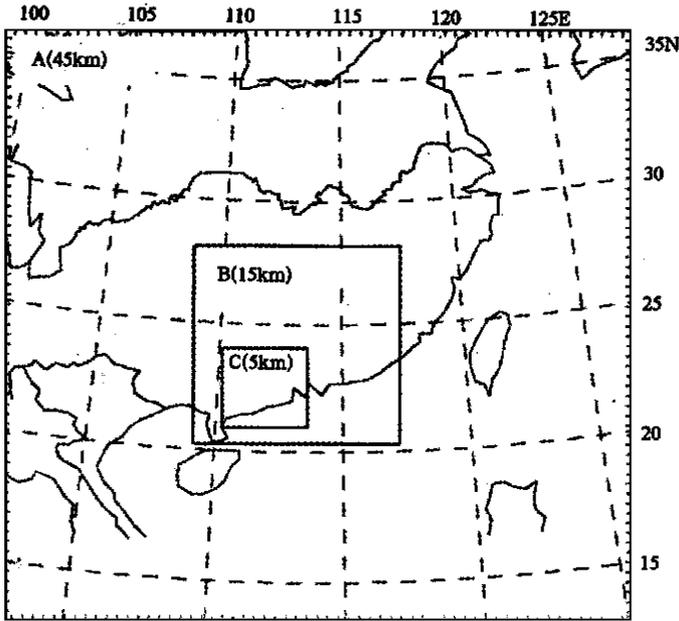


图 2 模拟网格范围设定

地形资料用精度为经纬度 $10'$ 的实际格点地形资料。地表植被资料用美国 NCAR 的 $10'$ 精度资料(以下简称 NCAR 资料)和本文第 1 部分所述资料(NSMC 资料)作比较。

比较 NCAR 和 NSMC 地表植被分类资料在 3 个网格范围格点上的分布可见,NSMC 资料在我国大陆及邻近地区陆地上的分布更细致,例如,在图 3a 给出的 NCAR 资料在格距 15 km 网格 B 陆上植被分布只有松柏树、热带亚热带林和少量的热带亚热带草原,而在图 3b 中 NSMC 给出的分布中有农耕区、亚热带灌木、阔叶林、针叶林、针阔混合林等多种植被,经与我国近 3 年的百万分之一土地利用图比较校验,反演所得植被分布在秦岭、淮河以北完全一致;南方基本一致(南方植被复杂,存在混合系统),因而更好地反映了我国大陆上植被分布状况。

以 1998 年 5 月 23 ~ 24 日华南暴雨过程作为模拟试验个例。这次暴雨过程由一次强冷空气南下而产生,冷锋 23 日进入广东,在冷锋南下过程中,在珠江口以西和沿海形成强对流云团。在 23 日 08:00 卫星红外云图上可见该冷锋带云系和在珠江以西正在发展的对流云团,23 日 14 ~ 24 日 02:00 该对流云团占据着珠江口以西地区,到 24 日 08:00 以后南移入海(图略)。伴随冷锋南下和对流云团的发展,23 日 08:00 到 24 日 08:00,广东

中部产生暴雨,西江流域、珠江三角洲地区及阳江市共 14 站出现暴雨以上降水,其中珠江口以西沿海地区出现了大暴雨,四会站的日雨量达 233.7 mm。模拟网域基本覆盖了这次暴雨范围。

3 试验结果

(1) 24 h 降水量预报

用 Reiser 霰/ Kain-Fritsch 积云参数化方案使用 NCAR 地表特征资料模拟的 3 个网格区域上的 24 h 降水量与实况比较,模拟降水范围略偏西,3 个网域预报的最大降水中心分别为 135 mm, 162 mm 和 172 mm。细网格模拟不但较好地预报了最大降水量,且表现出与实况相似的、更细致的多中心中尺度结构。

与之相比较,用 NSMC 地表植被资料模拟预报的降水范围和位置差别不大。最大降水中心分别为 133 mm, 183 mm 和 197 mm。可见,地表植被的差异对格距为 45 km 的粗网格基本没什么影响,对格距为 15 km 和 5 km 的中、细网格,最大中心降水量分别增加 13% 和 15%。图 4 给出二者在 3 个网域中预报的降水量差值。

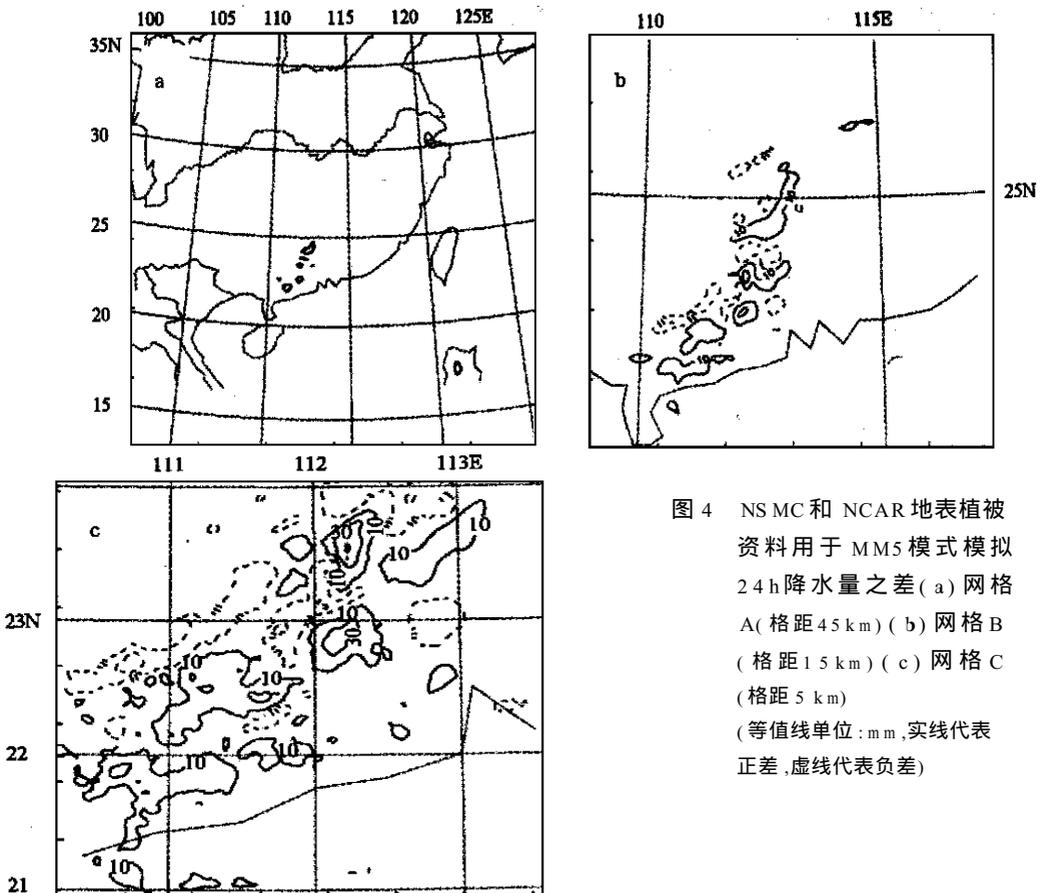


图 4 NSMC 和 NCAR 地表植被资料用于 MM5 模式模拟 24 h 降水量之差 (a) 网格 A (格距 45 km) (b) 网格 B (格距 15 km) (c) 网格 C (格距 5 km) (等值线单位: mm, 实线代表正差, 虚线代表负差)

由于降水量模拟预报与模式中所选用的云物理参数化方案和次网格尺度积云对流参数化方案有一定关系,所以我们采用了几种参数化方案分别对用 NCAR 和 NSMC 植被资料的使用效果加以比较。

表 3 给出了在 5 种降水参数化方案试验中分别用 NCAR 资料和 NSMC 资料模拟试验所得的最大降水中心雨量比较。表中 WARM 表示不考虑冰相的暖云方案; MIX 表示 Reisner 混合冰相方案; RESG 表示 Reisner 霰方案; GODG 表示 Goddard 霰方案; KF 表示 Kain-Fritsch 次网格尺度积云对流参数化方案; GR 表示 Grell 次网格尺度积云对流参数化方案。

表 3 在各种降水参数化方案中使用 NCAR 和 NSMC 植被资料所得到最大降水中心雨量比较 mm

模拟试验	降水参数化方案	植被资料	格距(km)		
			45	15	5
EXP1 A	WARM - KF	NCAR	130	159	171
EXP1 B	WARM - KF	NSMC	131	170	183
EXP2 A	MIX - KF	NCAR	125	142	147
EXP2 B	MIX - KF	NSMC	124	170	184
EXP3 A	RESG - KF	NCAR	135	162	172
EXP3 B	RESG - KF	NSMC	133	183	197
EXP4 A	GODG - KF	NCAR	167	220	239
EXP4 B	GODG - KF	NSMC	169	256	281
EXP5 A	MIX - GR	NCAR	129	156	162
EXP5 B	MIX - GR	NSMC	127	161	173

由表 3 可见:用 NSMC 植被资料模拟的最大降水量与用 NCAR 植被资料比较,对所有降水参数化方案,其差异当格距为 45 km 时不足 1%,当格距减小到 15~5 km 时差别变得明显,用 NSMC 资料模拟的最大降水量均比用 NCAR 资料的大:格距 15 km,差 3%~20%,平均 12%;格距 5 km,差 7%~25%,平均 14%。考虑到模式预报降水量一般来说比实况要小,如本次过程在四会站的 24 h 降水量为 233 mm,而模拟的 24 h 降水量除 Goddard 霰方案 15 km 和 5 km 格距接近或超过此值外,其余各种试验模拟的降水量均比此值低,因而,与用 NCAR 植被资料比较,用 NSMC 资料细网格模拟中尺度降水量得到明显改进。

地表植被特性直接影响下垫面水汽通量及由下垫面蒸发进入大气的潜热通量,前者可表达为 $E_s = \rho_a C_{\theta} C_u M (q_{vs}(T_g) - q_{va}) V$, 其中 M 为土壤湿度,因而土壤湿度对模拟结果是一个敏感因子^[10]。比较图 3 和图 4 可见,用二种植被资料模拟降水差异较大的地区:用 NCAR 资料给出的地表植被为针叶林和亚热带树木,其土壤湿度为 30%~50% (见表 1); 而 NSMC 植被资料显示的该地区以农耕地和亚热带常绿灌木为主及少量的针叶林,其土壤湿度分别为 65%,70% 和 50% (见表 2),因而比前者高,结果模拟的降水也较大。

(2) 动力学结构

由于本次降水过程与冷锋南下有关,因而我们用可代表锋面强度和发展的锋生函数考察地表植被对动力学结构的影响。

考虑水平流场的变形和辐合作用,锋生函数 $F^{[16]}$ 为

$$F = \frac{d}{dt} |\nabla \theta| = \frac{|\nabla \theta|}{2} \text{def } r \cos 2\beta - \frac{|\nabla \theta|}{2} D$$

其中

$$\text{def } r = \left[|u_x - v_y|^2 + |v_x + u_y|^2 \right]^{1/2}$$

式中, θ 为位温, β 为变形轴与等位温线的夹角; 下标 x, y 分别代表 u, v 对 x, y 的偏微分; D 为水平辐散。

锋生特征在冷锋前后最为明显, 格距 45 km 的粗网格和 15 km 的中网格能包含冷锋的范围, 格距 5 km 的细网格不足以反映冷锋的狭长特征, 因而这里只对粗、中网格的试验结果作图比较。

用二种地表植被资料 EXP3A 3B 模拟预报的 23 日 20:00 (积分 12 h) 的锋生函数比较, 对格距 45 km 的粗网格, 结果差别不大。对格距 15 km 的中网格, 用 NSMC 资料的锋生强度比 NCAR 资料的强。图 5 为格距 15 km 下分别用 NCAR 和 NSMC 资料预报的 950 hPa 等压面上锋生函数。在沿冷锋走向的狭长的锋生带上有一些中尺度的大值区, 地表植被资料对这些大值具有明显的反映: 用 NCAR 资料模拟的大值为 $125 \times 10^{-10} \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 和 $109 \times 10^{-10} \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$; 在同样位置上用 NSMC 资料模拟的数值分别为 $179 \times 10^{-10} \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ 和 $193 \times 10^{-10} \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$, 后者比前者高 36% 和 77%。

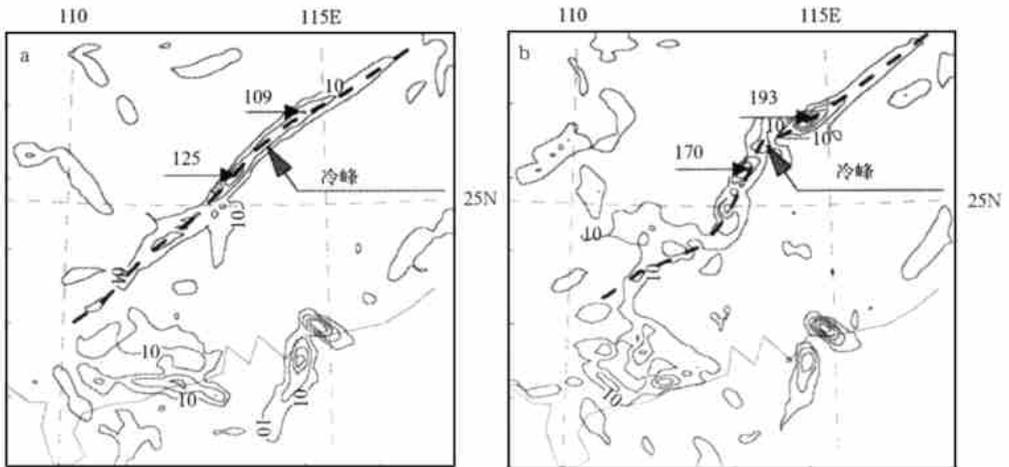


图 5 模拟网格 B (格距 15 km) 1998 年 5 月 23 日 20:00 (积分 12 h) 950 hPa 等压面上锋生函数

(a) NCAR 地表植被资料 (b) NSMC 地表植被资料 (等值线单位: $10^{-10} \text{K} \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$)

地表植被对上述锋生函数的影响主要反映在粗糙度上。比较图 3 和图 5 可见, 用二种植被资料模拟锋生函数差异较大的地区, 用 NCAR 资料给出的地表植被为单一的亚热带树木, 地面粗糙度比较均匀; 用 NSMC 资料给出的地表植被为针叶林、亚热带灌木和农作物混合区, 地面粗糙度不均匀, 变化范围在 14 ~ 50 cm, 这样可能造成风速在水平方向的切变, 因而导致近地面层风场变形和辐合而加强锋生。

(3) 热力学结构

以相当位温和地面温度为代表考察地表植被对热力学结构的影响。

图 6 给出在 3 个网格范围用二种地表植被资料模拟预报的 950 hPa 等压面相当位温

差。格距 15 km 的最大差值 9 K,在(110°E, 26°N)位置;在相同位置之处格距 45 km 的差值为 6 K;格距 5 km 的最大差值 9 K,在(111.3°E, 22.5°N)位置;而在相同位置之处格距 15 km 的差值为 6 K。因此,由于地表植被资料引起的低层相当位温差随网格格距减小而增大。植被对地面温度的影响也有类似的结果(图略)。

地表植被对边界层热量的影响因子较多,如反照率、发射率、热惯量、土壤湿度等,因而相对于对降水和动力锋生的影响不是那么显著和直截了当。

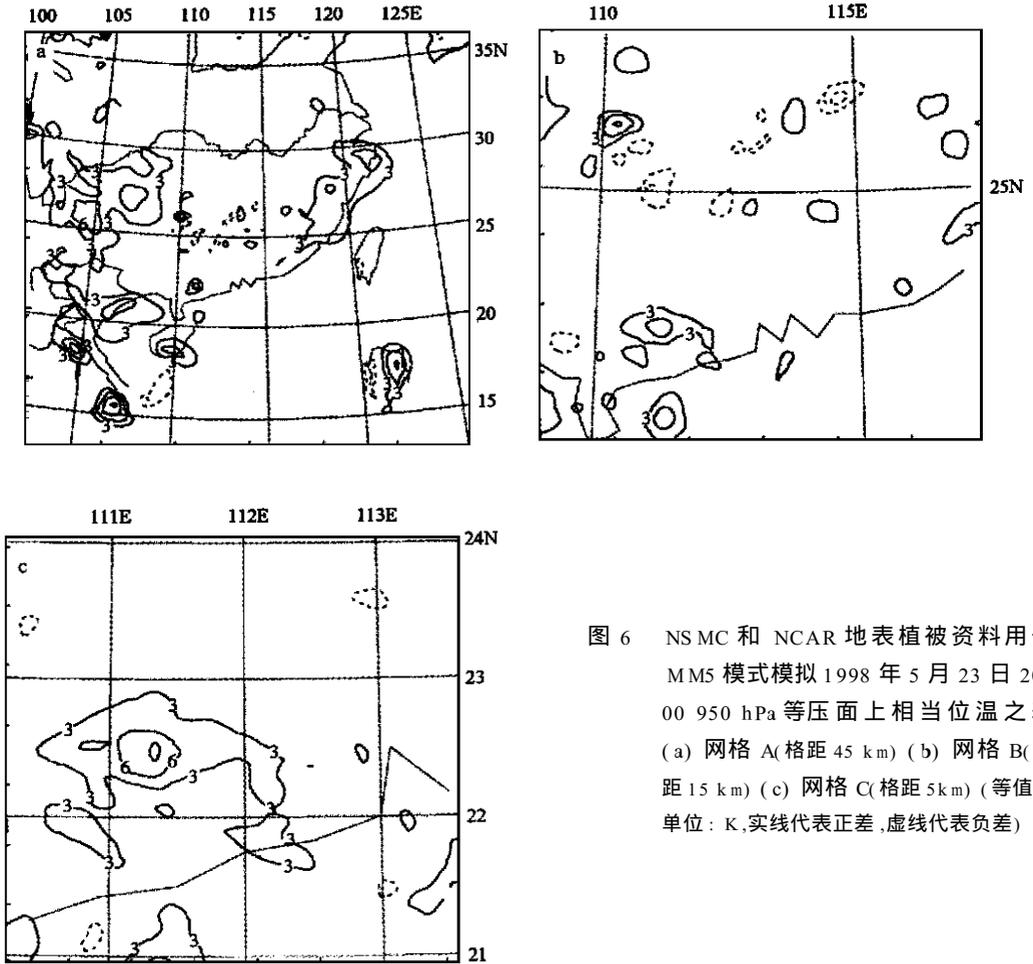


图 6 NSMC 和 NCAR 地表植被资料用于 MMS 模式模拟 1998 年 5 月 23 日 20:00 950 hPa 等压面上相当位温之差 (a) 网格 A(格距 45 km) (b) 网格 B(格距 15 km) (c) 网格 C(格距 5km) (等值线单位: K,实线代表正差,虚线代表负差)

4 小 结

在 1998 年“海峡两岸及邻近地区暴雨试验”期间利用卫星遥感反演得到的 0.08° (4.8′) 精度的我国地表植被分布及相关物理参数比美国 NCAR 的 10′ 精度资料更好地反映了东亚及我国大陆地表特征。将我国和 NCAR 地表植被资料用于非静力平衡中尺度数值模式 MM5,对 1998 年 5 月 23~24 日华南暴雨模拟试验表明,当网格距为 45 km 时,二者差别很小,但当格距减小到 5~15 km,预报的最大降水量有 12%~14% 的差别。对

低层大气的动力热力结构也有一定影响。可见地表特征的细化和准确对改进暴雨中尺度模拟预报都是重要的。

对各类地表植被物理参数的确定相当困难。从本文模拟试验比较看我们反演的地表植被分布及物理参数对暴雨中尺度模拟预报有所改进,但尚需对不同天气过程和地域进行试验,以进一步检验和修正这些物理参数。

致谢:周秀骥院士、许健民院士对本工作给予了热情关怀和指导。

参 考 文 献

- 1 李毓芳,安塞斯 R A.次天气尺度和中尺度预报中的初值问题.气象学报,1984,42:499~504.
- 2 Dickinson R F. Modelling tropical deforestation: A study of GCM land surface parameterizations. *Q. J. R. Met. Soc.*, 1988,114:439~462.
- 3 Shukla J, et al. Amazon deforestation and climate change. *Science*, 1990, 247:1322~1325.
- 4 季月安,皇甫雪官.地表参数对 T106 模式预报的影响.应用气象学报,2000,11:65~70.
- 5 Norwine J, Greegor D H. Vegetation classification based on advanced very high resolution radiometer (AVHRR) satellite imagery. *Remote Sensing of Environment*, 1993, 13:69~87.
- 6 Townshed J R G, Justice C O, Kalb V. Characterization and classification of South American land and cover types using satellite data. *Int J of Remote Sensing*, 1987, 7:1395~1416.
- 7 Tucker C J, Townshed J R G, Goff T E. African land cover classification using satellite data. *Science*, 1985, 227:369~375.
- 8 Derrien M. Vegetation distribution with NOAA/AVHRR. Proceedings of 6th AVHRR data user's meeting, 1993, 101~108.
- 9 盛永伟,陈维英,肖乾广,等.利用气象卫星植被指数进行我国植被的宏观分类.科学通报,1995,40:68~71.
- 10 Grell G A. A description of the fifth generation Penn State/NCAR mesoscale model (MM5). NCAR/TN-398+STR NCAR technical note, 1994, 138.
- 11 Roozkrans J N. The monitoring of desertification processes in SPAIN using NOAA AVHRR data. Proceedings of 6th AVHRR data user's meeting, Belgirate, Italy, 29 June - 2 July, 1993.
- 12 肖乾广,陈维英,李靖,等.气象卫星监测干旱灾害的方法研究.中国气象局气象服务与气候司编.气象卫星遥感技术为农业服务应用研讨会文集.北京:气象出版社,1996.
- 13 Dabrowska-Zielinska K, et al. NOAA AVHRR applied for monitoring of soil water condition. Proceedings of 6th AVHRR data user's meeting, Belgirate, Italy, 29 June - 2 July, 1993.
- 14 李国平,段延杨,史有瑜.青藏高原地面拖曳系数的变化特征.中日亚洲季风机制合作研究论文集.北京:气象出版社,1998.3.
- 15 隋洪智.热惯量方法监测土壤水分.遥感动态研究.北京:科学出版社,1990.
- 16 Ogura Y, Portis D. Structure of the cold front observed in SESAME-AVE III and its comparison with the Hoskins-Bretherton frontogenesis model. *J. Atmos. Sci.*, 1982, 39:2773~2792.

**LAND VEGETATION RETRIVING FROM SATELLITE REMOTE SENSING
AND APPLICATION TEST IN MESOSCALE SIMULATION FOR
HEAVY RAINFALL OF SOUTH CHINA**

Wang Pengyun Lin Yonghui

(*Chinese Academy of Meteorological Sciences, Beijing 100081*)

Xiao Qianguang Xiao Lan

(*National Satellite Meteorological Center, Beijing 100081*)

Abstract

The Land vegetation data set retrieved from NOAA satellite remote sensing data in the HUAMEX project during May and June 1998 is applied in the PSU/ NCAR mesoscale model (MM5) to simulate a heavy rainfall case during 23 - 24 May 1998 and compared with the NCAR land-use data set. Results show that with our land vegetation data, the simulated 24 h accumulated rainfall increased about 12 % - 14 % for a grid spacing of 5 - 15 km comparing with NCAR data. The dynamic and thermodynamic structures at the low levels are also affected. For larger grid spacing (45 km), the effects were not obvious.

Key words: Land vegetation Mesoscale simulation Heavy rain