

# 植被对云南气候要素影响的敏感性试验

何 华<sup>1</sup> 肖子牛<sup>2</sup> 陶 云<sup>3</sup> 赵梅珠<sup>1</sup>

1 云南省气象台, 昆明 650034

2 云南省气象局, 昆明 650034

3 云南省气候中心, 昆明 650034

**摘 要** 利用 MM5 模式对云南两个具有代表性的强降水过程进行高分辨率模拟, 通过下垫面植被的敏感性试验, 考察云南气候要素(降水、温度、湿度、风等)对下垫面植被状况的敏感性, 从而达到了解自然环境及人类活动在云南天气、气候及气候变化中的作用与影响, 以期提高对未来天气、气候变化、环境变化及其对人类社会发展的预测和评估能力。试验结果表明, 下垫面植被状况的改变对云南气候要素值的影响非常明显, 这种影响一般在近地面至 700 hPa 之间; 下垫面植被覆盖率的锐减, 使云南降水范围、降水量、空气湿度急剧减小, 温度、风力、蒸发能力、干旱指数迅速增大, 加剧了云南的干旱化和沙漠化, 最终将导致云南的天气气候和环境生态系统偏离本来的平衡状态和演变过程。但下垫面植被状况的改变对降水中心、冷(暖)中心、干(湿)中心位置影响不大。

**关键词** 植被 气候要素 敏感性试验

**文章编号** 1006-9585 (2007) 01-0087-13

**中图分类号** P461

**文献标识码** A

## Sensitivity Experiment for Effect of Vegetative Distribution on Climatic Elements in Yunnan Province

HE Hua<sup>1</sup>, XIAO Zi-Niu<sup>2</sup>, TAO Yun<sup>3</sup>, and ZHAO Mei-Zhu<sup>1</sup>

1 *Meteorological Observatory of Yunnan Province, Kunming* 650034

2 *Yunnan Meteorological Bureau, Kunming* 650034

3 *Yunnan Climate Center, Kunming* 650034

**Abstract** A high sensitivity experiment of two typical heavy rainfall of Yunnan Province is made by MM5 model. By sensitivity experiment of vegetative distribution, the sensitivity of Yunnan's climatic elements was analysed. The effect and influence of natural environment and human activities on Yunnan's weather and climate and Yunnan's climatic change was found out, which can be expected to improve predictive and evaluating ability on climatic change, environment change and its influence on human society. The results indicate that the change of vegetative distribution has marked effect on Yunnan's climatic elements and it mainly influence from surface to 700 hPa. If the vegetative distribution is obviously decreasing, so that the rainfall area, precipitation and air humidity will be sharply decreasing and temperature, wind force, evaporation power and drought index will rapidly increasing in Yunnan province. The evolvement of drought and desert in Yunnan province will be worse and worse so that Yunnan's climate system and environment-ecosystem will depart from the inward balance state and their evolvement course. However the change of vegetative distribution has little effect on the center position of rainfall, warm and cold center position

**收稿日期** 2005-11-16 收到, 2006-10-16 收到修定稿

**资助项目** 国家重点基础研究发展规划项目 2003CB41510103 和云南省基金重点项目 2003D0014Z

**作者简介** 何华, 女, 1961 出生, 高级工程师, 主要从事天气及气候研究。E-mail: yn\_hehua@126.com

and dry and wet center position in Yunnan province.

**Key words** vegetative, climatic elements, sensitivity experiment

## 1 引言

植被是指覆盖在地球表面的各种植物群体<sup>[1]</sup>,如森林、灌丛、草原、荒漠等的总称。下垫面作为地圈的重要组成部分,对大气系统产生重要影响。大量研究表明,不同下垫面状况的地气相互作用会对天气、气候和环境变化产生重大影响;在天气、气候数值诊断中发现这种影响非常明显。我国科学家使用不同的气候模式对森林植被影响气候变化的机制、植被气候效应、植被覆被变化对区域性气候以及大气环流的影响等进行大量研究<sup>[2~9]</sup>,指出,植被影响气候是通过它的物理、生理特性改变地—气间的物质和能量交换而实现的。气候特征是决定植被分布的主要因素之一;而植被的存在又在一定程度上影响着区域乃至全球气候的变化。植被可以改变周围环境,而周围环境的改变又促使植被发生变化等。钱永甫等<sup>[10]</sup>试验结果表明,青藏高原下垫面特性的改变对高原低层大气有明显影响,而对上层大气则影响较小。陈万隆等<sup>[11]</sup>试验结果表明,有、无植被对暴雨强度和落区影响较大。国外的试验结果表明<sup>[1]</sup>,如果南美洲 30°S 以南的森林被草地代替,降水将减少 15% 以上;对扎伊尔一个较小地区的模拟试验也表明,平均降水将减少 30% 以上;而亚马逊河流域的森林被砍伐殆尽,南美洲的地面温度将大大增加,降水将有很大变化,亚马逊河流域降水将减少 70%;类似于非洲萨赫勒半干旱地区的水平,委内瑞拉和巴西东北部的降水也急剧减少,以至于不能再维持雨林,这里的森林将不可能恢复。众多数值模拟试验结果表明,下垫面物理性质和陆面物理过程对天气、气候的影响较为显著,而且这种影响存在明显的地区差异。

近年来,气候模式模拟已成为定量研究气候及其变化的主要方法,多用于研究各种因子在不同时间尺度气候变化中所起的作用,预测人类活动对气候的可能影响,及在一定条件下

气候变化的可能趋势,为气候预报提供依据,其主要优越性就是能够对多种不同尺度之间的相互作用进行更好的模拟<sup>[12]</sup>。但气候模式中尚存在着许多亟待解决的问题,如气候模式的分辨率有待进一步提高;对支配气候系统的所有物理过程的理解有待进一步加深;对物理过程的参数化方案有待进一步完善等。而这些问题在中尺度天气模式中已有很好的研究和表征。如今的中尺度天气模式已发展得相当先进,模式的主要特点有:系统灵活易变,且有多重嵌套功能,可用实时输入资料,采用张弛逼近方法的四维资料同化系统,并发展有伴随模式,有流体静力和非流体静力 2 种动力学框架,采用地形垂直坐标,有多种先进的物理参数化方案可供选择;其输出产品丰富、模拟精度较高,已成为天气预报中的重要工具,同时也是研究天气过程的主要方法。鉴于上述模式原因及气候的含义是“平均天气”,气候的特殊性必然是天气特性的反映等原因。本文选用相同气候背景条件下,常见的影响系统造成云南全省性强降水的两次过程作为试验个例,用 MM5 模式对这两次强降水过程进行高分辨率模拟;通过人为的改变地表植被类型,使下垫面状况发生极端变化,从个例中定量的考察云南基本气候要素(降水、温度、湿度、风等)对下垫面植被的敏感性;从而达到了解自然环境及人类活动在云南天气、气候及气候变化中的作用与影响,利用自然环境的变化来预测云南未来天气、气候变化的趋势,以期提高对未来环境变化及其对人类社会发展的预测和评估能力。

## 2 云南自然环境概况及研究意义

云南既地处低纬高原又位于青藏高原东南侧的纵向岭谷区,西临孟加拉湾,东望南海,受东亚季风和南亚季风的双重影响,是全国唯一受台风和孟加拉湾风暴影响的区域。特殊的海陆分布、奇异的地形和独特下垫面状况铸就了云南特殊的立体气候背景。总的地势特征(见图 1)是北高南

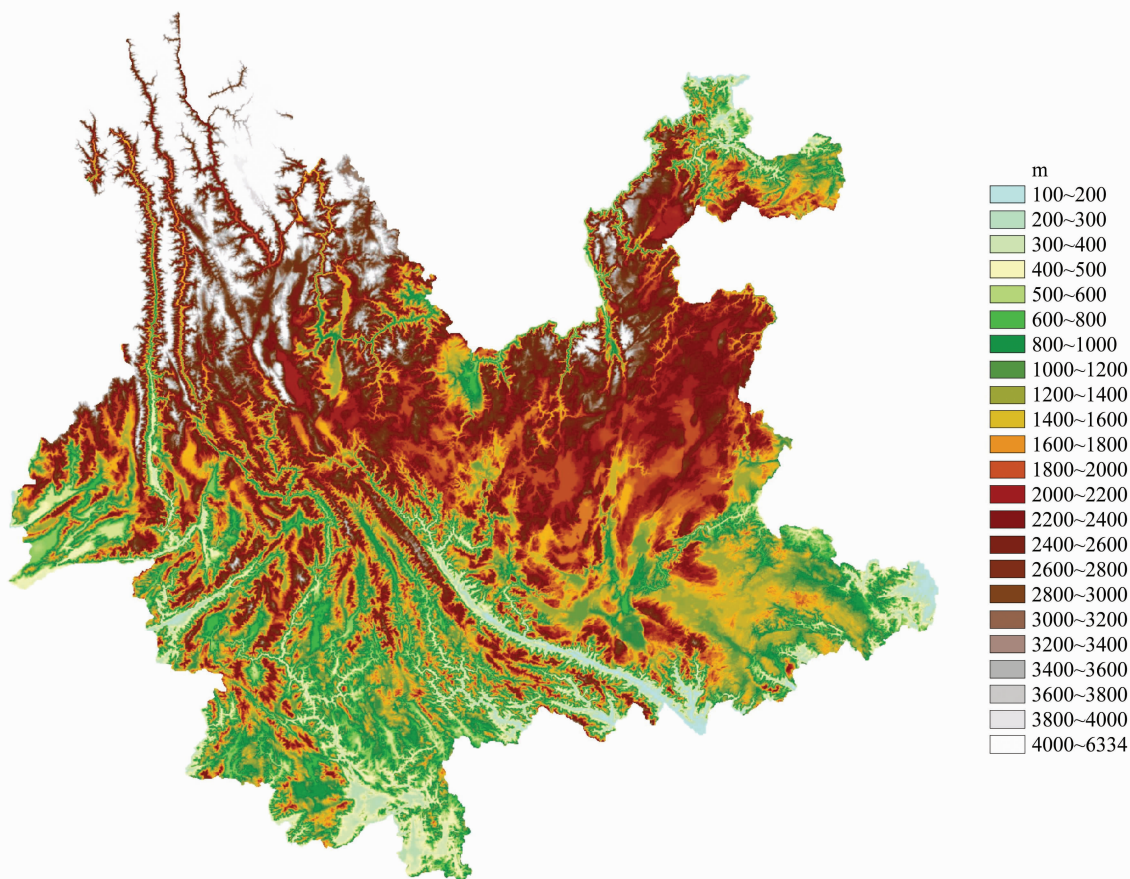


图 1 云南地形图

Fig. 1 The topographic map of Yunnan Province

低，大致由西北向东南呈阶梯状递降，全省地势大致划分为 3 个梯层，地势高差十分悬殊（高度差 $\geq 6\ 600\text{ m}$ ），坡降达 8‰（即平均距离每公里高度下降 8 m 左右），斜面之陡为全国罕见。高山大河平行排列，自西向东由高黎贡山、怒山、云岭、无量山、哀牢山等大的纵向山脉与怒江、澜沧江、金沙江、李仙江、元江等大水系形成相间排列，各河流强烈下切形成幽深的峡谷（高差 $\geq 3\ 000\text{ m}$ ），山脉北密南疏，由北往南，山脉高度逐渐降低，山脉及水系间距拉大，成帚状分散，构成了全球独一无二的纵向山系河谷景观。这种独特的下垫面条件<sup>[13]</sup>，对流经云南的东亚季风和南亚季风同时起着东西向的阻隔和南北向的通道作用，相应地，其天气、气候和河川径流变化也表现出受这种阻隔和通道作用下的一些显著特征。云南气候兼具低纬气候、季风气候、高原气候。其特点是，干湿季分明、四季温差小、垂直变异显著；具有山下

鸟语花香，山腰气候温和，山上寒冷刺骨，十里不同天，一山分四季的情景；往往一座山就形成若干个气候带，以及半干旱、半湿润、湿润等气候类型。云南境内热量及水资源的地域分布差异十分显著，呈现出从南到北逐渐减少的分布趋势。随纬度及海拔高度的增高，年平均气温急剧下降，南北之间差异显著，纬度相差约 9 个纬度，年平均气温相差 18℃ 以上，相当于从海南岛—长春纬度差距 20 多度，距离数千公里范围的气候差异，与同纬度其他地方比，实属罕见。总的来看云南大部地区热量及水资源较为丰富。

由于云南拥有多样性的气候类型；因此其生物多种多样，植被类型复杂多样，植被种类十分丰富，分布着从寒带、温带、亚热带、热带的植物种类。全省主要植被类型可分为热带雨林<sup>[14]</sup>、季雨林、亚热带常绿阔叶林、高山寒温带针叶林四大类。据初步统计，中国约有高等植物 26 000

种, 云南就有 15 000 多种, 低等植物不可胜数, 是中国植物种类最多的省份, 而且许多植物种类为其独有; 野生动物之多堪称全国之冠, 仅兽类就有 250 多种, 鸟类 766 种, 昆虫 10 000 多种。有 37 种国家一类保护动物, 占全国的 38%, 有 42 种国家二类保护动物, 占全国的 46%。这些动物中, 不少属于稀有珍贵动物。享有“绿色云南”、“动植物王国”等美誉。由于植被各种类型的形成和发展变化与其生态环境密切相联, 受许多自然和非自然因素影响, 前者受温度、水分、土壤、地形及一些突发性的自然灾害(气候灾害、火山活动、太阳黑子爆发等), 后者如人为开垦、森林滥伐、草原过度放牧、人为森林草原火灾等, 也包括人类活动导致向大气排放大量温室气体对植被产生的巨大影响。自然植被类型的形成、分布与迁移演变在很大程度上受制于气候。在荒漠化已成为困扰当今世界各国政府、科学界的一大环境问题及气候变化已成为全球变化研究的核心问题和重要内容之际, 研究下垫面特性的改变对具有“动植物王国”之称的云南天气、气候的影响是一项极具现实意义的工作。通过下垫面植被与云南气候要素变化的研究, 可以进一步了解人类活动在云南天气、气候变化中所起的作用与影响, 以及气候变化对云南自然生态系统的影响后果。可以采取适应与减缓的措施, 从而提高对未来环境变化及其对人类社会影响发展的预测和评估能力。

### 3 资料、个例选择及其环流背景场

本文使用的资料数据有: 1) 云南省 1971~2003 年平均降水量、气温、蒸发量观测数据; 2) 2003 年 7 月 20~21 日 08 时(北京时, 下同)、20 时及 2003 年 7 月 25~26 日 08 时、20 时地面和高空常规观测资料; 3) 2003 年 7 月 20 日 08 时及 2003 年 7 月 25 日 08 时 T213 分析场数据。

为使所选个例更具代表性, 本文选取 2003 年 7 月 21 日的低涡切变强降水过程(简称低涡过程)和 2003 年 7 月 26 日的西行台风强降水过程(简称台风过程), 它们的气候背景完全相同, 前者的影响系统为西风带系统后者为热带系统。

低涡过程: 2003 年 7 月 20 日 20 时至 21

日 20 时在 700 hPa 低涡切变及 500 hPa 低槽的共同影响下, 云南出现了一次全省性的强降水过程, 产生强降水的主要时段在 20 日 23 时~21 日 05 时的 6 h 内, 因此环流分析(控制试验与敏感性试验的对比检验)主要以 2003 年 7 月 20 日 20 时为主。

台风过程: 2003 年 7 月 25 日 20 时至 26 日 20 时, 受 2003 年 7 号台风减弱成的热带低气压影响, 云南出现了一次全省性的强降水天气过程, 为西行台风爬上低纬高原影响云南较强的一次。环流分析主要以 2003 年 7 月 25 日 20 时为主。

## 4 模式及试验方案设计

### 4.1 模式

采用美国 PSU/NCAR 的 MM5V3.6 模式, 水平网格距取 15 km, 中心经纬度为(25°N, 102°E), 即昆明附近, 水平格点数 158×122, 垂直分层 22 层, 依次为地面、1 000、975、950、925、900、850、800、750、700、650、600、550、500、450、400、350、300、250、200、150、100 hPa。模式顶层为 100 hPa, 积分步长 50 s, 积分长度 48 h, 每 3 h 输出一次结果。模式物理过程配置为: Dudhia 显示降水; Grell 积云对流参数化方案; 行星边界层参数 IBLTYP=5, MRF 方案, 多层土壤温度模式参数 ISOIL=1; 显式云-气-地辐射方案。

### 4.2 控制试验方案

MM5 控制试验的初始场资料采用 2003 年 7 月 20 日 08 时及 2003 年 7 月 25 日 08 时的 T213 分析场和地面、高空常规观测资料, 模式使用原有的与实际较为接近的地形及植被分类方案: VEGTYPE=1, 24 类资料, 预报时效 48 h, 即从 7 月 20 日 08 时至 22 日 08 时及 7 月 25 日 08 时至 27 日 08 时, 预报要素为降水、温度、湿度、风等。

### 4.3 敏感性试验方案

将控制试验中的植被分类方案变成无植被的沙地, 使下垫面状况发生极端变化, 其余参数、初始条件、预报时效、预报要素等与控制试验相同。通过对比有无植被试验结果, 考察下垫面植

被对云南的降水强度、降水区域、温度、湿度、风的影响。

## 5 实况与控制试验的对比检验

### 5.1 降水

由低涡过程的实况降水(图 2a)与模拟降水(图 2b),不难看出,MM5 模式不仅成功的模拟出位于滇中附近的强降水落区、降水强度以及强降水雨带轴线走向(呈东西走向),同时还模拟出位于滇西的强降水中心,尽管模拟的强降水雨带、强降水中心位置比实况略偏北,降水强度略偏弱,但就整个降水过程而言,MM5 模式较好地描述了这次强降水过程。

由台风过程的实况降水(图 2d)及模拟降水(图 2e)可见,模拟降水量在范围和强度上与实况较相似,误差较小,MM5 模式比较成功地模拟出云南 2003 年 7 月 26 日这次强降水过程的降水落区、强降水中心位置,也就是说,模拟结果成功地描述了这次强降水过程。

### 5.2 温度、湿度、风场

笔者曾在“地形对滇中低涡暴雨影响的敏感性试验”<sup>[15]</sup>及“低纬高原上一次西行台风维持机制和数值模拟”<sup>[16]</sup>中通过实况与控制试验的对比分析,证明 MM5 模式对这两次强降水过程(低涡过程、台风过程)的主要影响系统、降水、温度、湿度有较好的预报能力。为本文进一步利用模拟结果进行深入研究,提供了可靠的依据。因此本文不再对这两次过程的温度、湿度、风场进行对比检验。

## 6 下垫面植被敏感性试验结果分析

本文在控制试验对 2003 年 7 月 21 日的低涡强降水过程及 2003 年 7 月 26 日的西行台风强降水过程模拟效果较好的基础上<sup>[15,16]</sup>,通过对比有无植被试验结果,考察下垫面植被对云南的降水强度、降水区域、温度、湿度、风的影响。由于云南地处低纬高原,全省 90% 的台站的海拔高度在 1 000 m 以上,所以本文选 800 hPa 高度层作为云南的近地面层,700 hPa 为对流层低层,500 hPa 为对流层中层。

### 6.1 水平方向

#### 6.1.1 植被对降水的影响

低涡过程:由图 2b 可见,正常植被状态下,云南中部即 25~27°N 之间有一轴线呈东西向,雨量 $\geq 20$  mm 的强降水雨带,雨带上有一个强降水中心,一个位于昆明北部,中心强度为 50 mm,另一个位于昆明西部的楚雄附近,中心强度为 30 mm,再一个位于滇西的大理附近,中心强度为 30 mm。由图 2c 可见,当下垫面状况为沙地时(简称敏感性试验,下同),在云南中部即 26°N 附近有一雨量 $\geq 10$  mm 的中雨雨带,雨带轴线呈东西走向,强降水中心位于昆明北部,强度为 30 mm。与控制试验(图 2b)比较,当云南下垫面由植被茂密、土壤湿润变为沙地时,强降水中心位置少变,但雨区范围缩小,强降水雨带由 $\geq 20$  mm 减弱为 10 mm(减弱 50%),昆明北部的强降水中心由 50 mm 减弱为 30 mm(减弱 40%),楚雄及大理附近的强降水中心均由 30 mm 减弱为 15 mm(减弱 50%)。

台风过程:由图 2e 可知,正常植被状态下,云南东部为一雨量 $\geq 20$  mm 的强降水区, $\geq 50$  mm 强降水中心分别位于滇中南部(23.5~25°N, 103~104°E,下同)及滇东北,滇西北(丽江附近)为一 30 mm 的强降水区。当下垫面状况为沙地时(图 2f),云南东部地区为 $\geq 5$  mm 小雨区, $\geq 25$  mm 强降水区一个位于滇东南,中心强度为 30 mm,另一个位于滇中的南部地区,中心强度为 30 mm,再一个位于滇东北,中心强度为 40 mm。与控制试验(图 2e)比较,当云南下垫面由植被茂密、土壤湿润变为沙地时,雨区范围缩小,强降水雨带由 $\geq 20$  mm 减弱为 5 mm(减弱 75%);降水强度,滇中南部由 50 mm 减弱为 30 mm(减弱 40%),滇西北由 30 mm 减弱为 5 mm(减弱 80%),滇东北由 50 mm 减弱为 40 mm(减弱 20%)。

试验结果表明,下垫面植被状况对云南短期强降水过程影响显著,这种影响存在明显的地区差异;主要表现在降水范围和降水强度随下垫面植被覆盖率的下降而减小,当下垫面植被覆盖率为零(即为沙地)时,降水强度将减弱 20%~80%。这是由于植被特别是森林的存在,表面吸收的能量增加,表面粗糙度也增加,可以促进大气中能

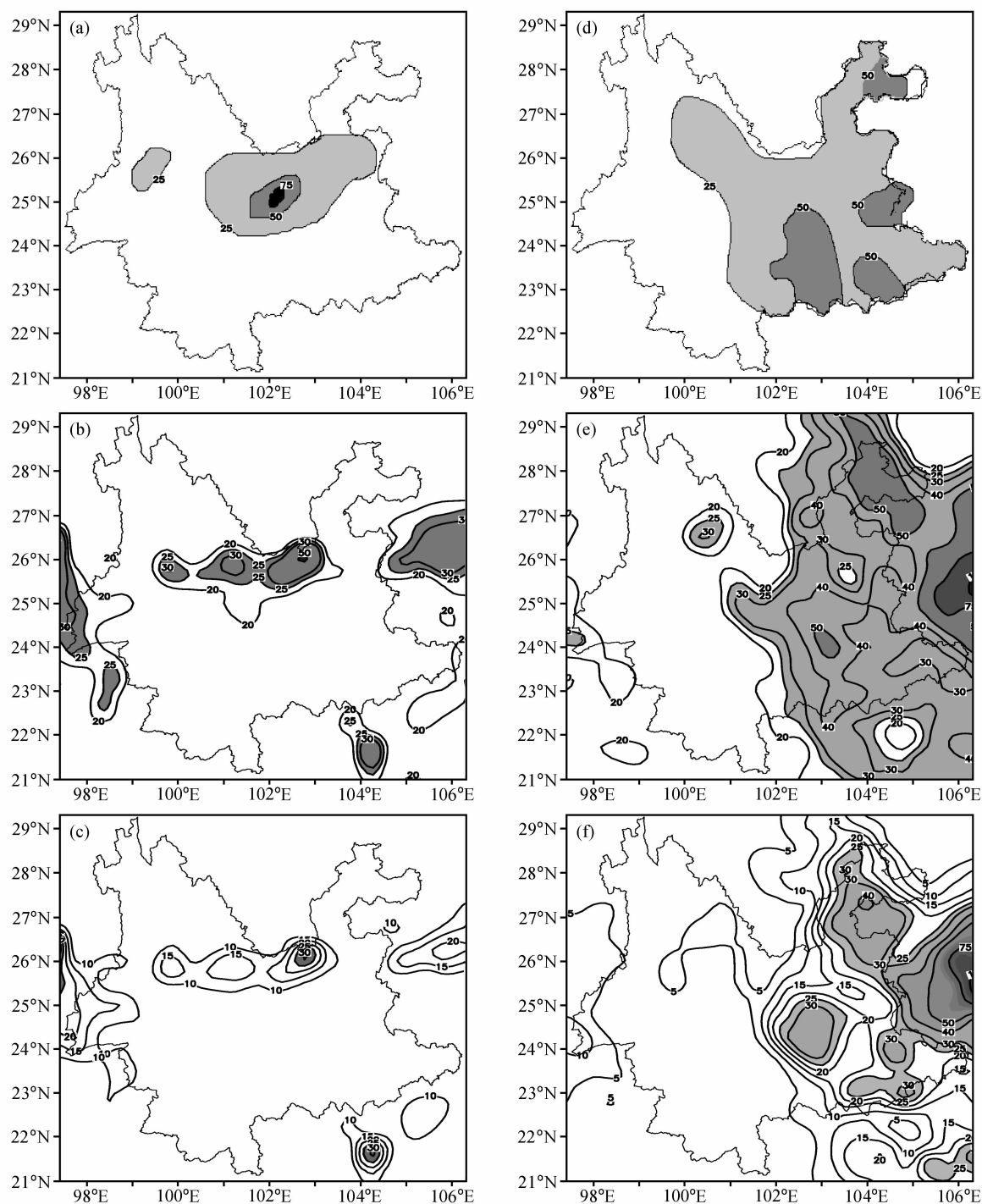


图2 2003年7月20日20时~21日20时及2003年7月25日20时~26日20时云南雨量分布:(a)低涡过程实况降水;(b)低涡过程控制试验降水;(c)低涡过程下垫面植被为沙地时降水;(d)台风过程实况降水;(e)台风过程控制试验降水;(f)台风过程下垫面植被为沙地时降水(单位:mm,阴影区雨量 $\geq 25$  mm)

Fig. 2 Yunnan rainfall distribution at 2000 LST on 20—21 July 2003 and at 2000 LST on 25—26 July 2003: (a) the observed rainfall of low eddy process; (b) the control test rainfall of low eddy process; (c) the rainfall of low eddy process when the underlying surface vegetation was sand surface; (d) the observed rainfall of typhoon process; (e) the control test rainfall of typhoon process; (f) the rainfall of typhoon process when the underlying surface vegetation was sand surface (units: mm, shaded  $\geq 25$  mm)

够产生降水的对流活动和其他动力活动所致。

#### 6.1.2 植被对温度的影响

近地层 (800 hPa): 由低涡、台风过程控制试验 (图 3a、c)、敏感性试验 (图略) 温度分布图可见, 两过程中, 控制试验与植被为沙地时的等温线走向、冷暖中心位置、温度梯度大值区 (温度变化剧烈区) 较相似。但数值差异较明显, 这种差异由图 3b、d 可见, 下垫面植被为沙地时, 温度一般增高  $2^{\circ}\text{C}$  左右; 其中低涡过程最大增幅为  $3.6^{\circ}\text{C}$ , 台风过程为  $8^{\circ}\text{C}$ 。

试验结果表明, 下垫面植被状况的改变对云南近地层温度及温度梯度影响较大; 主要表现在温度和温度梯度是随下垫面植被覆盖率减小而增

大; 当下垫面植被为沙地时, 近地层温度高于正常植被状态的  $2^{\circ}\text{C}$  左右。这是由于森林林冠能大量吸收太阳入射辐射, 用以促进光合作用和蒸腾作用, 使其本身温度增高不多, 林下地表在白天因林冠的阻挡, 透入太阳辐射不多, 气温不会急剧升高, 夜间因有林冠的保护, 有效辐射不强, 因而气温不易降低所致。但下垫面植被状况对冷、暖中心位置、梯度大值区位置影响不显著。

#### 6.1.3 植被对湿度的影响

近地层: 由低涡、台风过程控制试验 (图 4a、c)、敏感性试验 (图略) 湿度分布图可见, 两过程中, 控制试验与敏感性试验的等混合比湿线走向、干湿中心位置较相似。但数值有差异, 这种

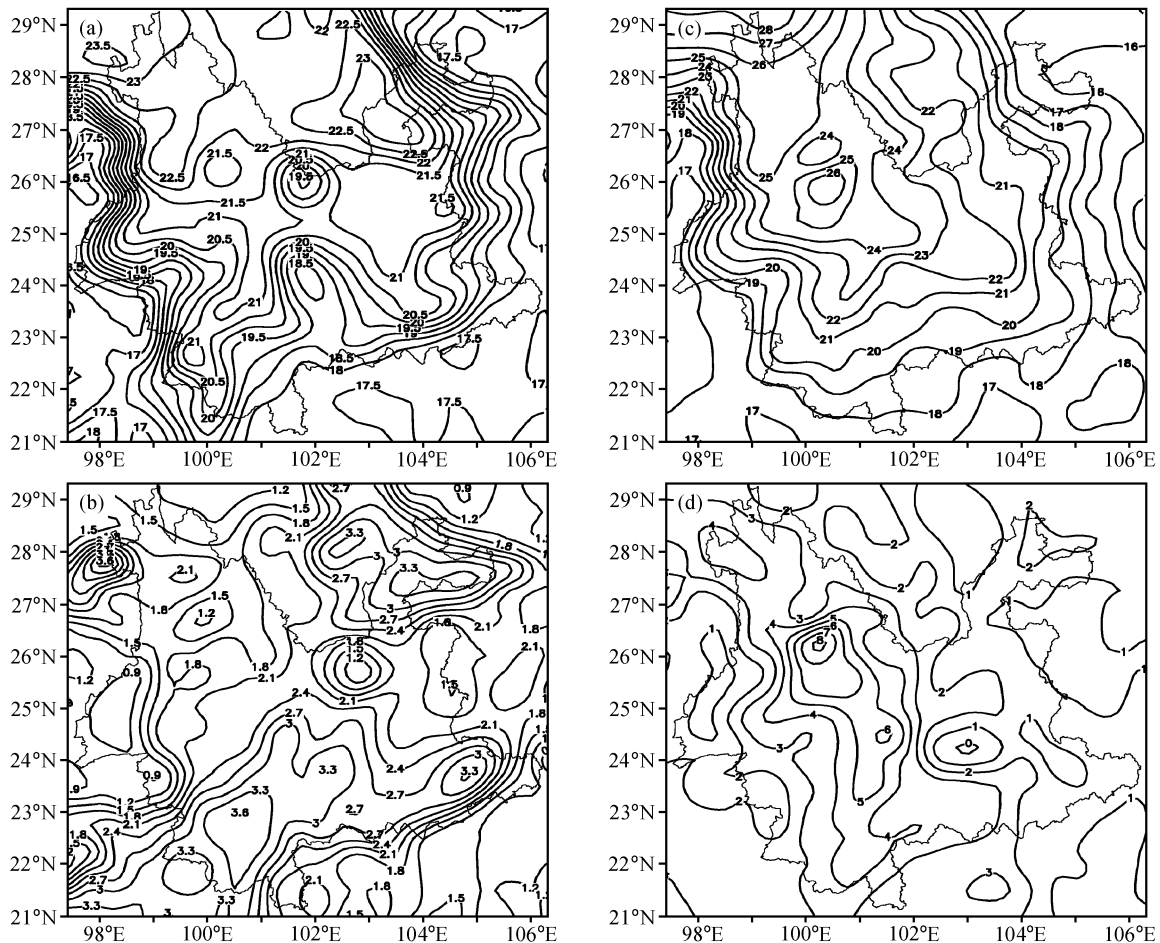


图3 2003年7月20日20时及2003年7月25日20时云南800 hPa温度及温度差值:(a)低涡过程控制试验温度;(b)低涡过程敏感性试验与控制试验的温度差值;(c)台风过程控制试验温度;(d)台风过程敏感性试验与控制试验的温度差值(单位: $^{\circ}\text{C}$ )

Fig. 3 Yunnan 800 hPa temperature and temperature difference at 2000 LST on 20 July 2003 and at 2000 LST on 25 July 2003; (a) the control test temperature of low eddy process; (b) temperature difference of sensitivity experiment and control test of low eddy process; (c) the control test temperature of typhoon process; (d) temperature difference of sensitivity experiment and control test of typhoon process (units:  $^{\circ}\text{C}$ )

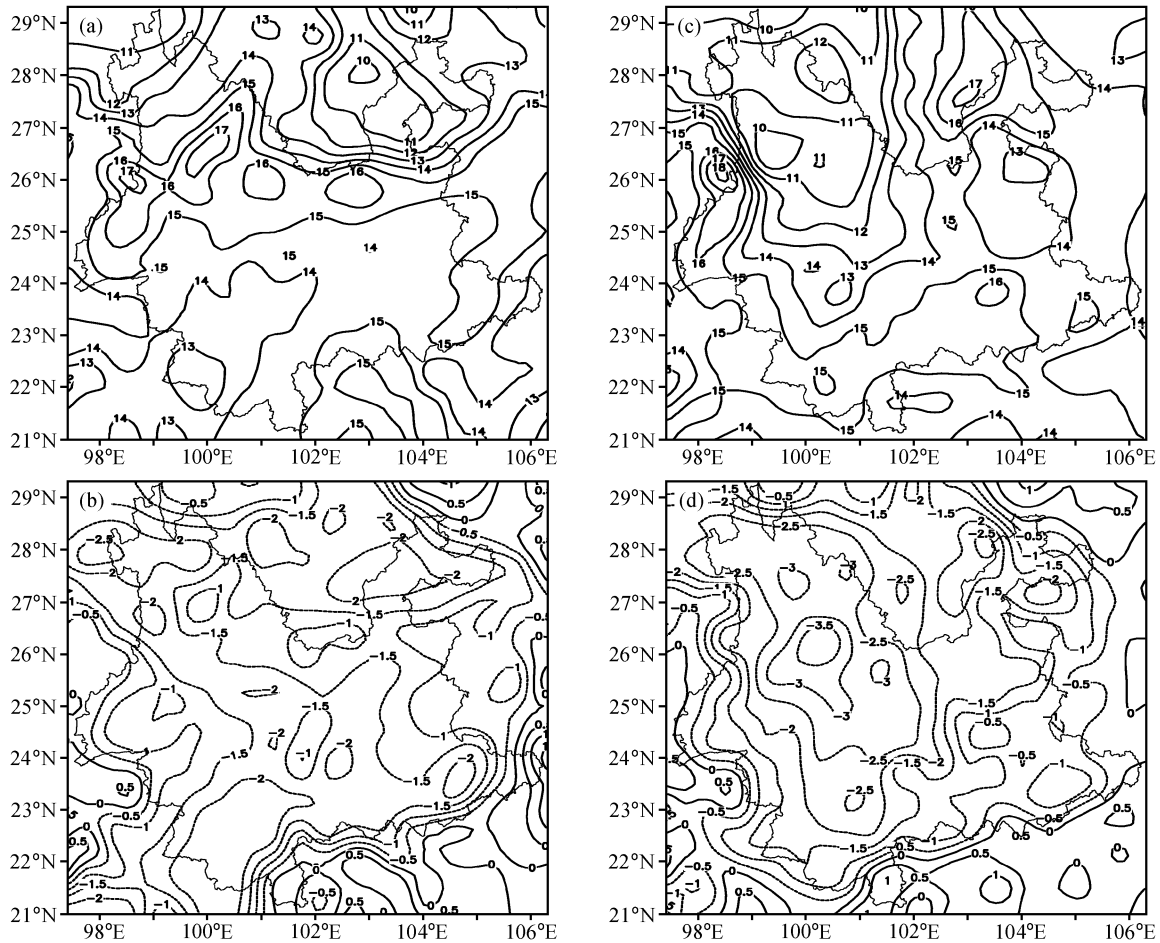


图4 2003年7月20日20时及2003年7月25日20时云南800 hPa混合比湿及混合比湿差值:(a)低涡过程控制试验混合比湿;(b)低涡过程敏感性试验与控制试验的混合比湿差值;(c)台风过程控制试验混合比湿;(d)台风过程敏感性试验与控制试验的混合比湿差值(单位: $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

Fig. 4 Yunnan 800 hPa mix specific humidity and mix specific humidity difference at 2000 LST on 20 July 2003 and at 2000 LST on 25 July 2003; (a) the control test mix specific humidity of low eddy process; (b) mix specific humidity difference of sensitivity experiment and control test of low eddy process; (c) the control test mix specific humidity of typhoon process; (d) mix specific humidity difference of sensitivity experiment and control test of typhoon process (units:  $\text{g} \cdot \text{kg}^{-1}$ )

差异由图4b、d可见,由于水汽是从水面或下垫面上蒸发并经过乱流再扩散至空中的,因而有较强蒸发的水面或潮湿的下垫面就成为大气的水汽源地;所以当云南下垫面状况由植被茂密、土壤湿润变为沙地时,近地层湿度明显下降,混合比湿一般下降 $1 \sim 3 \text{ g} \cdot \text{kg}^{-1}$ 左右。

试验结果表明,下垫面特性的改变对云南近地层湿度影响较大,而对于干、湿中心位置影响不显著。湿度是随下垫面植被覆盖率的减小而减小。这是由于森林树冠每次可截留 $3 \sim 10 \text{ mm}$ 左右的降水<sup>[11]</sup>,林下的疏松腐殖质及枯枝落叶层可以蓄水,减少降雨后的地表径流量,使雨水缓缓渗透

入土壤中,使土壤湿度增大,可供蒸发的水分增多,再加上森林的蒸腾作用,导致森林中绝对湿度和相对湿度比林外裸地为大所致。

#### 6.1.4 植被对对流场的影响

近地层:正常植被状态下,当风经过林地或林带时,部分进入林内,受树木枝叶的阻挡以及气流本身的冲击摩擦,风速减小;另一部分沿林缘攀升,由于林冠起伏不平,使湍流增强,消耗掉部分能量,风速随之减小。由低涡过程(图5a、b、c)及台风过程(图5d、e、f)可见,当下垫面植被为沙地时,由于气流受树木枝叶的阻挡、气流本身的冲击摩擦以及林冠产生的湍流均为零,

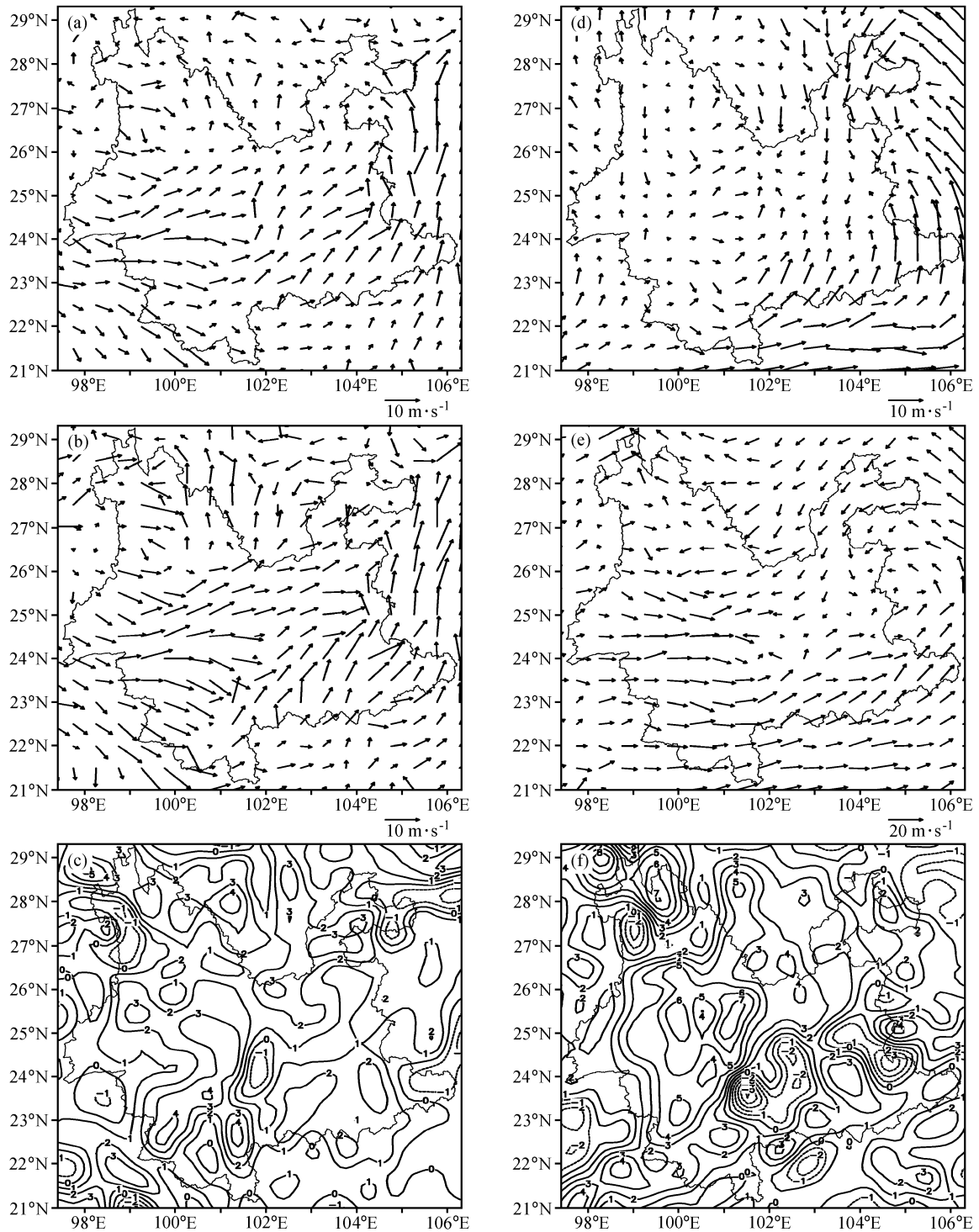


图5 2003年7月20日20时及2003年7月25日20时云南800 hPa风矢量及全风速差值：(a) 低涡过程控制试验风矢量；(b) 低涡过程下垫面植被为沙地时风矢量；(c) 低涡过程敏感性试验与控制试验的全风速差；(d) 台风过程控制试验风矢量；(e) 台风过程下垫面植被为沙地时风矢量；(f) 台风过程敏感性试验与控制试验的全风速差（单位： $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ ）

Fig. 5 Yunnan 800 hPa wind vector and wind difference at 2000 LST on 20 July 2003 and at 2000 LST on 25 July 2003; (a) the control test wind vector of low eddy process; (b) wind vector of low eddy process when the underlying surface vegetation was sand surface; (c) wind difference of sensitivity experiment and control test of low eddy process; (d) the control test wind vector of typhoon process; (e) wind vector of typhoon process when the underlying surface vegetation was sand surface; (f) wind difference of sensitivity experiment and control test of typhoon process (units:  $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ )

气流在移动过程中能量消耗较小,与正常植被状态相比试验区内风向略有改变(图 5 a、b、d、e);风速普遍增大  $2\sim 3\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ (图 5c、f);其中低涡过程最大增幅为  $4\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,台风过程为  $7\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ 。同时由图 5c、f 可见,云南境内大部地区下垫面为沙地时风速均比正常植被的大(即图 5c、f 中的正值区),但是在高黎贡山与怒山及无量山与哀牢山构成的纵向岭谷区内却出现下垫面为沙地时的风速比正常植被状态下的风速小的情形(图 5c、f 中的负值区),这一现象也许与特殊的地理环境有关,有待于作进一步的研究。

6.2 垂直方向

植被对温度的影响:由低涡、台风过程的控制试验、敏感性试验温度沿  $25^{\circ}\text{N}$  的经度-垂直剖面图(图略)可见,  $900\sim 700\text{ hPa}$  两过程各自的控制试验与敏感性试验的温度分布相似,各冷暖中心位置对应较好,但数值有差异。这种差异由图 6a、d 可见,  $700\text{ hPa}$  以下各层沙地状态下的温度比正常植被的高  $2\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;而且单位高度上温度下降速度也比正常植被的快即温度变化较剧烈,见表 1;温度增高最显著的高度位于  $800\text{ hPa}$  附近,  $700\sim 650\text{ hPa}$  是温度变化的缓冲带,  $650\text{ hPa}$  以上各层温度变化较小。

植被对湿度的影响:由低涡、台风过程的控制试验、敏感性试验混合比湿沿  $25^{\circ}\text{N}$  的经度-垂直剖面图(图略)可见,  $900\sim 700\text{ hPa}$  两过程各自的控制试验与敏感性试验的湿度分布相似,各层干、湿中心位置对应较好,但数值有差异。这

种差异由图 6b、e 可见,  $700\text{ hPa}$  以下各层沙地状态下的湿度比正常植被的低  $2\sim 7\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$ ;而且单位高度上湿度下降速度也较正常植被的慢(见表 1);越靠近低层湿度减小越明显。  $700\sim 650\text{ hPa}$  是湿度变化的缓冲带。  $650\text{ hPa}$  以上各层湿度变化趋小。

植被对风场的影响:由低涡、台风过程的控制试验、敏感性试验风矢量沿  $25^{\circ}\text{N}$  的经度-垂直剖面图(图略)可见,下垫面特性的改变对试验区内风速影响较明显,这种影响由图 6c、f 可见,沙地状态下  $700\text{ hPa}$  以下各层的风速比正常植被的大  $1\sim 5\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ,  $700\sim 650\text{ hPa}$  为风速由增大到减小的过渡带。

通过上述气候要素对下垫面植被的敏感性试验可知,下垫面特性的改变,对云南对流层低层大气状况有明显影响,而对对流层中层以上大气影响较小。虽说两个过程的气候要素对下垫面植被状况的敏感程度有一些差别,但其共同点是下垫面植被可使云南对流层低层( $700\text{ hPa}$  及以下层)的温度变化趋于缓和,增加空气湿度、增大降水范围和降水量,加速水分循环,减小风速等。同时试验进一步证明了下垫面植被具有较强的防风固沙、防止土地沙漠化的功能。

7 结论及讨论

从本文敏感性试验结果可知,下垫面植被状况的改变对云南基本气候要素的影响非常显著。这种影响主要集中在近地面至  $700\text{ hPa}$  之间,表现在:

(1) 降水范围及降水量随下垫面植被覆盖率的减小而减小,当下垫面植被覆盖率为零(即为沙地)时,降水强度将减弱  $20\%\sim 80\%$ 。

(2) 水平温度和温度梯度值随下垫面植被覆盖率的减小而增大;当下垫面植被为沙地时,近地层温度将上升  $2\text{ }^{\circ}\text{C}$  左右,对流层低层温度变化趋于剧烈。

(3) 空气中水汽含量随下垫面植被覆盖率的减小而减小;当下垫面植被为沙地时,近地层湿度明显下降,混合比湿下降  $1\sim 3\text{ g}\cdot\text{kg}^{-1}$  左右;垂直方向上湿度下降速度是随下垫面植被覆盖率的减小而变慢。

表 1 98~105°E 温度、湿度沿 25°N 的经度-垂直剖面上 900~700 hPa 温度、湿度差

Table 1 The 900 — 700 hPa temperature and humidity difference from 98°E to 105°E on zonal-vertical cross-section along 25°N

| 试验方案     | 低涡                          |                                        | 台风                          |                                        |
|----------|-----------------------------|----------------------------------------|-----------------------------|----------------------------------------|
|          | $\Delta t/^{\circ}\text{C}$ | $\Delta q/\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ | $\Delta t/^{\circ}\text{C}$ | $\Delta q/\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ |
| 控制试验     | 28—13=15                    | 20—13=7                                | 30—13=17                    | 18—13=5                                |
| 下垫面植被为沙地 | 30—13=17                    | 15—13=2                                | 32—14=18                    | 14—11=3                                |

注:  $\Delta t$  为  $900\sim 700\text{ hPa}$  温度差,  $\Delta q$  为  $900\sim 700\text{ hPa}$  比湿差

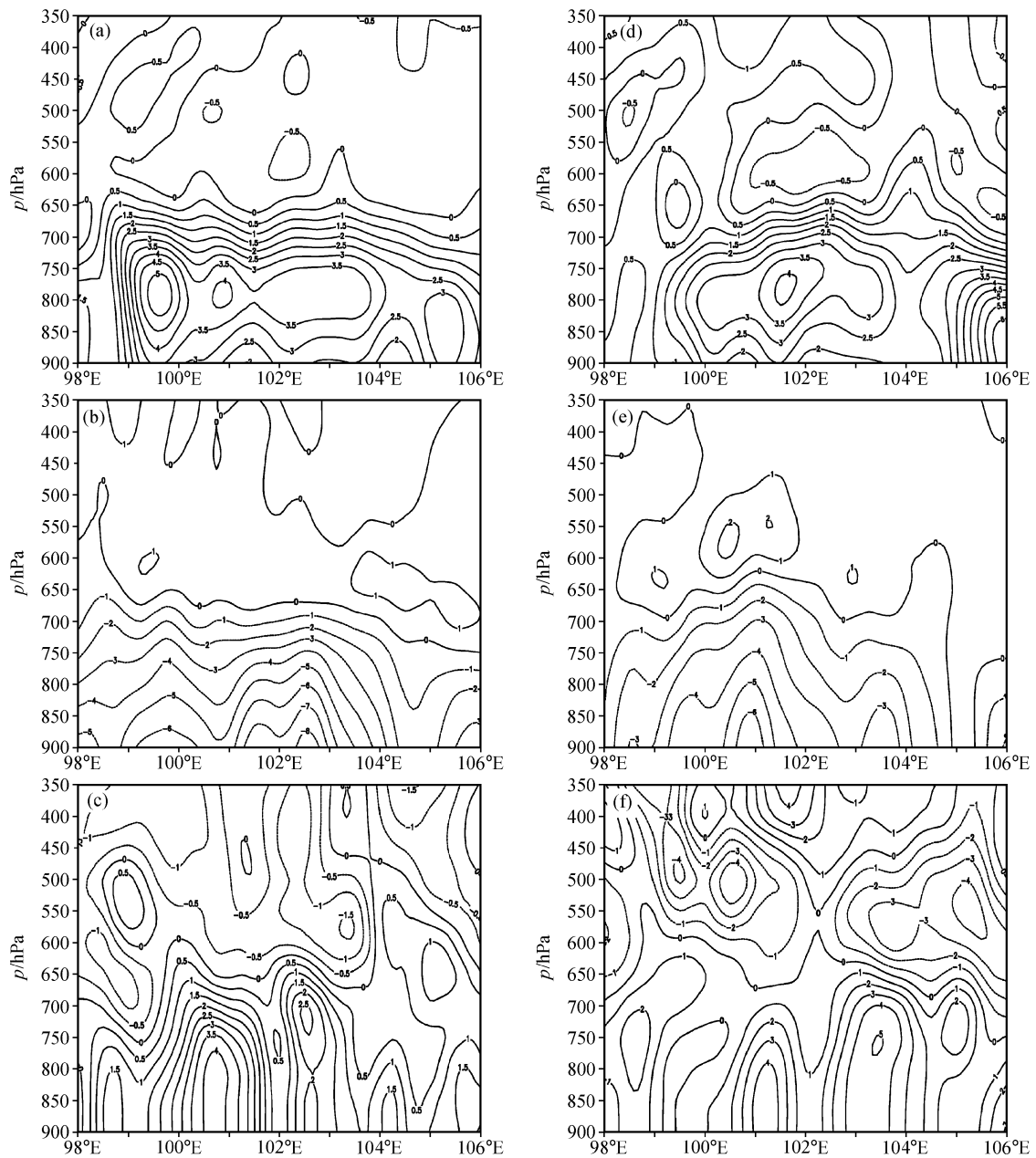


图6 云南境内2003年7月20日20时及2003年7月25日20时敏感性试验与控制试验的温度、湿度、全风速差值沿25°N的经度—垂直剖面：(a)低涡过程温度差值(单位： $^{\circ}C$ )；(b)低涡过程湿度差值(单位： $g \cdot kg^{-1}$ )；(c)低涡过程全风速差值(单位： $m \cdot s^{-1}$ )；(d)台风过程温度差值(单位： $^{\circ}C$ )；(e)台风过程湿度差值(单位： $g \cdot kg^{-1}$ )；(f)台风过程全风速差值(单位： $m \cdot s^{-1}$ )

Fig. 6 Zonal-vertical cross-section of temperature, humidity and wind difference between sensitivity test and control test at 2000 LST on 20 July 2003 and at 2000 LST on 25 July 2003 along 25°N: (a) temperature difference of low eddy process (units:  $^{\circ}C$ ); (b) humidity difference of low eddy process (units:  $g \cdot kg^{-1}$ ); (c) wind difference of low eddy process (units:  $m \cdot s^{-1}$ ); (d) temperature difference of typhoon process (units:  $^{\circ}C$ ); (e) humidity difference of typhoon process (units:  $g \cdot kg^{-1}$ ); (f) wind difference of typhoon process (units:  $m \cdot s^{-1}$ )

(4) 下垫面植被对近地层流场的影响主要表现在风速的改变上，风速随下垫面植被覆盖率的减小而增大，当下垫面植被为沙地时，风速普遍

增大2~3  $m \cdot s^{-1}$ 。但下垫面植被状况的改变对降水中心位置、冷、暖中心位置、干、湿中心位置影响不明显。

从地理环境对气候所产生的影响来看,海、陆和地形的影响都是对较大范围气候而言的。对中、小范围的气候,无论在垂直方向上或水平方向上的变化则远远超过大范围气候所表现出的情况,这种显著差异是不同下垫面特性和中、小地形对气候的影响所造成的。

由 1971~2003 年云南年平均气温、降水量、干旱指数分布图(图略)可知,云南境内温度、降水的空间分布极不均匀差异较大,气温在 5.4~23.8℃ 之间,雨量在 572.4~2 660.5 mm 之间,全省 20% 的地区属于湿润地带,2% 的地区属于半干旱地带,78% 的地区属于半湿润地带。由这两次强降水过程中,气候要素随下垫面植被状况的改变而变化的情形可知,当下垫面植被覆盖率减少时,云南气候变化的情景是:降水量减少、降水面积减小、气温升高、空气湿度减小、风速增大等。由于蒸发能力与当地的太阳辐射、温度、湿度、风速等有密切关系;那么降水减少、气温升高、空气湿度减小、风速增大将导致蒸发能力增强,干旱指数增大(蒸发能力与年降水量之比);那么云南 78% 的半湿润地带可能变为半干旱或干旱地带,2% 的半干旱地带就有可能变为干旱地带。由于干旱,地表自然生态环境系统失去了水分的协调功能,使地表植被覆盖率进一步降低,加剧云南的干旱化进程。同时由于植被消失,植被蒸腾耗热量变为 0,而由于植被消失,地表裸露,土壤水分可以直接与大气进行交换,因此地表蒸发耗热增加明显,不利于土壤湿度的保持,可能会导致土壤湿度下降,荒漠化加剧。可见,下垫面植被状况的改变对云南自然生态系统有较大影响,反过来自然生态系统的变化又加剧气候的变化,最终使云南气候和环境生态系统偏离本来的平衡状态和演变过程;“绿色云南”将不复存在。严重威胁人类的生存与发展。

本文的结论、观点是通过云南两次具有代表性的强降水过程中,主要气候要素对下垫面植被的敏感性试验结果得出的,有一定的科学价值和社会意义,值得在以后的工作中进一步研究、完善和检验。

## 参考文献 (References)

- [1] 李爱贞,刘厚凤,张桂芹. 气候系统变化与人类活动. 北京,气象出版社,2003. 61~87  
Li Aizhen, Liu Houfeng, Zhang Guiqin. *Climate System Change and Human Being Activity* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2003. 61~87
- [2] 范广州,程国栋. 影响青藏高原植被生理过程与大 CO<sub>2</sub> 浓度及气候变化的相互作用. 大气科学, 2002, 26 (4): 508~518.  
Fan Guangzhou, Chen Guodong. Interactions between physiological process of the Tibetan Plateau vegetation and CO<sub>2</sub> concentration and climate change. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 2002, 26 (4): 508~518
- [3] 许中旗,王立军,刘文忠,等. 森林植被影响气候变化的机制. 河北果林研究, 2005, 20 (1): 13~19  
Xu Zhongqi, Wang Lijun, Liu Wenzhong, et al. Mechanism of Forest Vegetation on Climate. *Hebei Journal of Forestry and Orchard Research* (in Chinese), 20 (1): 13~19
- [4] 孙睿,刘昌明,朱启疆. 黄河流域植被覆盖度动态变化与降水的关系. 地理学报, 2001, 56 (6): 667~672  
Sun Rui, Liu Changming, Zhu Qijiang. Relationship between the fractional vegetation cover change and rainfall in the Yellow River basin. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2001, 56 (6): 667~672
- [5] 吕世华,陈玉春. 西北植被覆盖对我国区域气候变化影响的数值模拟. 高原气象, 1999, 18 (3): 416~424  
Lü Shihua, Chen Yuchun. The influence of northwest China afforestation on regional climate in China. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1999, 18 (3): 416~424
- [6] 周锁铨,陈万隆. 青藏高原植被下垫面对东亚大气环流影响的数值模拟. 南京气象学院学报, 1995, 18 (4): 536~542  
Zhou Suoquan, Chen Wanlong. Numerical experiments with effect of Tibetan vegetation on east Asian atmospheric circulations. *Journal of Nanjing Institute of Meteorology* (in Chinese), 1995, 18 (4): 536~542
- [7] 胡隐樵,孙淑芬,郑元润,等. 稀疏植被下垫面与大气相互作用研究进展. 高原气象, 2004, 23 (3): 281~296  
Hu Yinqiao, Sun Shufen, Zheng Yuanrun, Zhang Qiang, et al. Review of study on interaction between underlying surface with sparse vegetation and atmosphere. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2004, 23 (3): 281~296
- [8] 李娟,王业桂. 复杂陆面模式与中期数值天气预报模式的耦合. 气候与环境研究, 2005, 10 (3): 649~657  
Li Juan, Wang Yegui. Experiment of coupling of common

- land model to a global spectrum atmospheric model for the mid-range numerical weather prediction. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (3): 649~657
- [9] 刘少锋, 林朝晖. 通用陆面模式 CLM 在东亚不同典型下垫面的验证试验. *气候与环境研究*, 2005, **10** (3): 684~699
- Liu Shaofeng, Lin Zhaohui. Validation of common land model using field experiment data over typical land cover types in East Asia. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2005, **10** (3): 684~699
- [10] 钱永甫, 沈金妹. 青藏高原地表特征对短期数值预报效果的影响. *气象科学*, 1990, **10** (2): 129~138
- Qian Yongfu, Shen Jinmei. Effects of Tibetan Plateau on short-range numerical weather prediction. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 1990, **10** (2): 129~138
- [11] 陈万隆, 王革丽, 周锁铨. 植被分布对青藏高原东侧暴雨过程影响的数值模拟. *高原气象*, 1997, **16** (2): 146~173
- Chen Wanlong, Wang Geli, Zhou Suoquan. Numerical modeling for effect of vegetative distribution on heavy rain processes occurred in east side of QingHai-XiZang Plateau. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 1997, **16** (2): 146~173
- [12] 魏和林, 符淙斌, 王维强. 区域气候模式侧边界的处理对东亚夏季风降水模拟的影响. *大气科学*, 1998, **22** (5): 779~790
- Wei Helin, Fu Congbin, Wang Wei-Chyung. The effect lateral boundary treatment of regional climate model on the East Asian summer monsoon rainfall simulation. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1998, **22** (5): 779~790
- [13] 尤卫红, 何大明, 段长春. 云南纵向岭谷地区气候变化对河流径流量的影响. *地理学报*, 2005, **60** (1): 95~105
- You Weihong, He Daming, Duan Changchun. Climate change of the Longitudinal Range-Gorge in Yunnan and its influence on the River Flow. *Acta Geographica Sinica* (in Chinese), 2005, **60** (1): 95~105
- [14] 王宇. 云南省农业气候资源及区划. 北京: 气象出版社, 1990. 28~54
- Wang Yu. *Agriculture Climate Resources and Division* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1990. 28~54
- [15] 何华, 肖子牛, 陶云, 等. 地形对滇中低涡暴雨影响的敏感性试验. *气象*, 2005, **31** (增刊): 3~7
- He Hua, Xiao Ziniu, Tao Yun, et al. Sensitivity experiment of topography effect on heavy rainfall by low eddy in central Yunnan province. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2005, **31** (Suppl.): 3~7
- [16] 何华, 肖子牛, 陶云, 等. 低纬高原上一次西行台风维持机制和数值模拟. *气象*, 2005, **31** (增刊): 14~19
- He Hua, Xiao Ziniu, Tao Yun, et al. Maintenance mechanism and numerical simulation of a westward typhoon in low-latitude plateau. *Meteorological Monthly* (in Chinese), 2005, **31** (Suppl.): 14~19