

# 青藏高原热力状况异常与长江中下游地区梅雨关系的相关分析及数值试验\*

葛旭阳<sup>1)</sup> 陶立英<sup>1)</sup> 朱永祺<sup>2)</sup> 李砚华<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (上海气候中心, 上海 200030) <sup>2)</sup> (上海台风研究所, 上海 200030)

## 提 要

利用观测资料对青藏高原热力状况与长江中下游地区梅雨进行统计分析,发现两者存在一定的联系:旱、涝年青藏高原下垫面热力状况存在南北反相特征,即当青藏高原下垫面前冬南侧偏暖(冷)、北侧偏冷(暖)时,对应长江中下游地区梅雨量易偏少(多)。而且这种高原下垫面异常热力状况具有持续性,可以持续维持到夏季。在此基础上,设计了两组敏感性试验,分别改变高原下垫面热力状况,应用 NCAR RegCM2 区域气候模式进行数值模拟,模拟结果可以较好的验证上述统计事实。

关键词: 青藏高原热力状况 长江中下游地区降水 数值试验

## 引 言

大量研究表明青藏高原对大气环流的动力和热力影响是巨大的,其中高原热力作用对大气的影晌不可低估。自 20 世纪 60 年代以来,对高原理论研究的主攻方向从高原的机械动力影响转为热力影响,许多作者从多种角度研究了高原冬春热力状况与亚洲夏季风及降水的联系,章基嘉等<sup>[1]</sup>指出青藏高原春夏之交的热力异常,可通过大气低频振荡向东传播与汛期东部地区大范围降水异常产生正相关。朱乾根等<sup>[2]</sup>(1996)研究了青藏高原冬季 TBB 分布特征,进而研究了它与夏季亚澳季风异常的联系。汤懋苍<sup>[3]</sup>的研究表明,高原地温与降水存在时间滞后的相关联系。宋正山等<sup>[4]</sup>利用 ECWMF 资料揭示了青藏高原与我国东部大陆夏季降水分布特征的关系,并强调了高原的热力作用。董敏等<sup>[5]</sup>(1997)、徐明等<sup>[6]</sup>(1997)利用 GCM 研究了青藏高原积雪异常与后期天气气候的关系,结果表明其通过改变下垫面的热力性质而引起大尺度大气环流的异常。因此高原热力状况与区域天气气候间关系的研究显得尤为重要。本工作首先通过对长江中下游地区夏季降水与青藏高原热力状况间的相关分析,得出一些有意义的统计事实。另外,鉴于 NCAR RegCM2 区域气候模式能在一定程度上改善 GCM 模式的不足,可以得到更为细致的、更合乎实际的区域气候环流特征以及它的短期气候尺度的演变特征<sup>[7-8]</sup>。因此在统计分析基础上,利用 NCAR RegCM2 区域气候模式,将理想的异常地面温度加到青藏高原区

\* 本文受国家攀登 B 项目“青藏高原地气物理过程对东亚灾害性天气气候的影响研究及“九五”“短期气候预测系统”项目 96-908-05-06 资助。

1999-11-10 收到,2000-02-02 收到修改稿。

域进行敏感性试验,进一步确定青藏高原下垫面异常热力状况可能产生的降水异常的区域分布特征,这不仅可以验证上述得出的统计事实,而且可以进一步探讨青藏高原下垫面热力状况与长江中下游地区梅雨可能的物理机制。

## 1 资料

本文使用了 NCAR/ NCEP 提供的 1979~1995 年全球  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$  逐月 850 hPa 风场再分析资料,以及由中国气象局整理的全国 160 个站的降水资料。地温资料则采用美国 NCEP 处理的 1979~1995 年全球逐旬 10~200 cm 的高斯格点地温资料。

## 2 青藏高原下垫面热力状况与长江中下游地区梅雨相关分析

旱涝年份主要根据国家“九五”重中之重项目 04-03 专题所确定的长江中下游地区(南京、合肥、上海、杭州、安庆、宁波、南昌、衢县、长沙、屯溪、常德、贵溪、汉口、岳阳、宜昌、钟祥、九江 17 个台站)典型旱涝年份,考虑到所研究期间长江中下游夏季(6~8月)处于多雨背景阶段,早年偏少,在此结合文献[9]给出相应的早年(1981、1985、1988、1990年)及涝年(1980、1983、1987、1991、1993年)。进一步研究表明,该地区夏季降水主要集中于梅雨期(6~7月),而梅雨量异常年份与本文中所选年份基本一致,为此可将以上所选年份代表梅雨异常年份进行统计分析。

图 1a 为典型旱涝年份( $75^{\circ} \sim 105^{\circ} \text{E}$ ,  $26^{\circ} \sim 42^{\circ} \text{N}$ )区域内青藏高原前冬(1~3月)地温差值图(涝年减去早年,下同)。需要指出的是,由于所选样本个例有限,很难从统计角度对合成分析做严格的统计检验。由图中可知,高原西南侧地温差值为负值区,而东北侧出现正值区,即旱涝年青藏高原下垫面热力状况存在南北反相特征,分界线(等“0”值线)约为  $37^{\circ} \text{N}$ ,这与文献[2]利用 TBB 资料分析结果一致。在此,以  $37^{\circ} \text{N}$  为界,将 3000 m 以上高原分成南、北两区,分别进行区域平均,并计算了南北两侧地温梯度(南侧平均地温减去

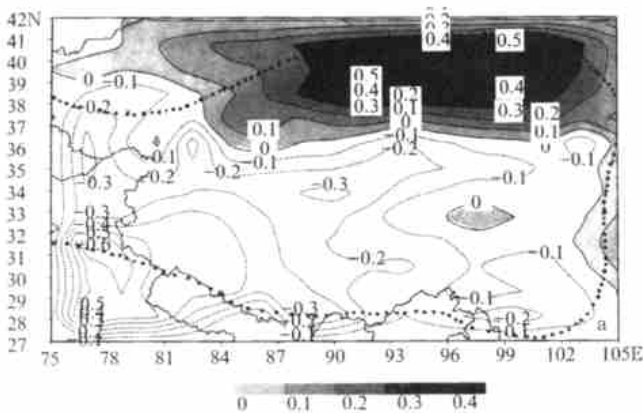


图 1a 旱涝年青藏高原前冬(1~3月)10~200 cm 地温差值图(涝年减去早年)  
(单位:  $^{\circ} \text{C}$ , 阴影区为大于 0 的区域,粗点线大致为青藏高原 3000 m 等高线)

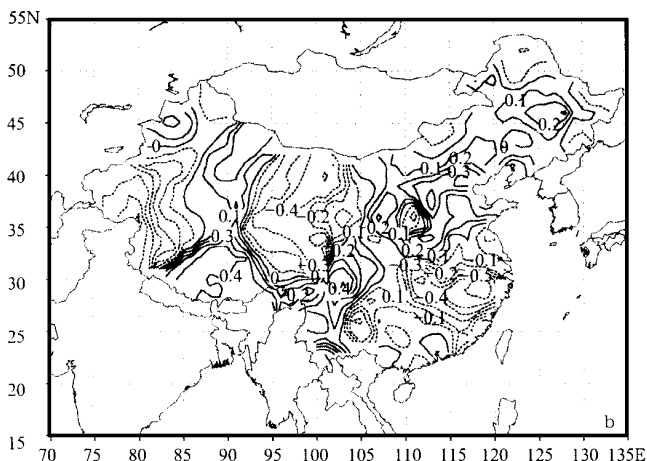


图 1b 青藏高原前冬 10~200 cm 地温南北两侧地温梯度与 7 月我国降水量的相关系数(1979~1995 年)分布图(等值线间隔为 0.1)

北侧平均地温)。同时我们就南北两侧地温梯度分别与我国 160 个站梅雨期内 6、7 月份降水进行相关普查,发现两者具有基本一致的分布特征,这里仅以 7 月的情形(图 1b)为例。由图中可知,我国华北和东北为正相关区,而长江以南地区存在大片负相关区,相关最大中心超过 -0.5(≥5%的置信度),而本文所研究的长江中下游地区基本上为负相关区控制,即两者在统计意义上具有反相关关系,这意味着当青藏高原下垫面前冬南侧偏暖(冷),北则偏冷(暖)时,对应长江中下游地区梅雨期降水易偏少(多)。进一步分析表明,高原下垫面热力状况具有持续性,图 2 为旱、涝年沿高原东侧(95°~100°E 平均)逐旬地温差值的纬度-时间剖面图。由图可知,这种反相关性在冬季最为显著,南北地温对

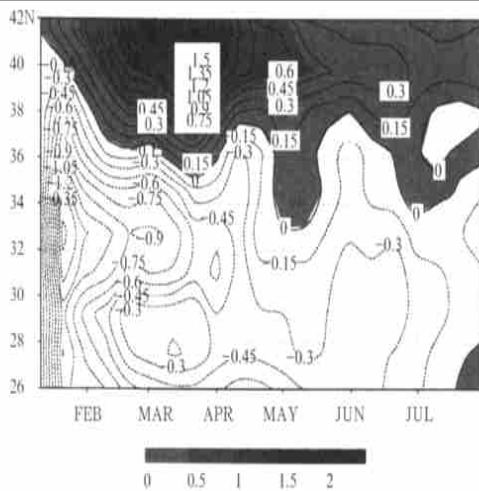


图 2 旱、涝年份青藏高原东侧(95°~100°E 平均)逐旬地温差值的纬度-时间剖面图(单位:°C)

比最大,随时间演变虽呈衰减趋势,但反相关性质仍可以持续维持到夏季。由此可见,作为抬升热源的青藏高原,其下垫面异常热力状况存在持续维持现象,这势必会对亚洲夏季风造成一定的影响。为此,分析逐年青藏高原下垫面热力情况,挑选出南冷、北暖、南暖北冷的异常年份,将这些年份夏季环流场作合成分析。环流差值结果(图略)表明,长江流域南侧为偏南气流,北侧为偏北气流,即该地区存在差值辐合带,相应降水偏多。文献[2]研究表明了高原下垫面异常热力状况与夏季亚澳地区季风间的联系,本文所得结论与其基本一致,在此不作赘述。

### 3 模式简介和试验方案

模拟采用的是由美国大气研究中心(NCAR)研制的第2代区域气候模式 RegCM2,其具有较高的分辨率和相对完备的物理过程,比全球大气环流模式能更为细致的模拟区域降水的状况<sup>[7-8]</sup>。NCAR RegCM2 区域气候模式中辐射采用 CCM2 辐射,边界层过程为 HOLTSLAG 方案。试验中采用 KUO 积云对流参数化方案。本文中模式垂直方向取 15 层,模式大气顶为 10 hPa。水平分辨率为  $150\text{ km} \times 150\text{ km}$ ,纬向和经向格点数分别为 51 和 41,中心点位于  $30^\circ\text{N}, 105^\circ\text{E}$ ,研究区域大致为  $70^\circ \sim 140^\circ\text{E}, 5^\circ \sim 50^\circ\text{N}$ ,区域内的地表类型是根据实际情况划分,并确定了与之相应的地表物理参数。

初始场和侧边界资料取自国家气象中心整理的 T106 大尺度分析资料,侧边界条件每隔 12 h 更新一次,采用指数松弛强迫法进行嵌套。海表温度由月平均观测资料内插得到。各数值模拟均从 1998 年 7 月 1 日 00:00(UTC,下同)开始,连续积分至 7 月 31 日结束,积分时间长为 300 s。

#### 3.1 方案设计

控制试验(CT):采用 1998 年 7 月份 T106 大尺度实况资料进行积分,其中高原地温初始场为 1998 年 7 月 1 日 00:00 实测值。

试验 1(T1):以  $37^\circ\text{N}$  为界,将研究区域内 3000 m 以上高原分成南北两部分,在高原南侧初始地面温度加上  $0.5\text{ }^\circ\text{C}$  的正距平,北侧则施加  $-0.5\text{ }^\circ\text{C}$  的负距平值,即反映青藏高原下垫面热力异常状况为南暖北冷的情形。

试验 2(T2):与 T1 相反,在高原南侧初始地面温度加上  $-0.5\text{ }^\circ\text{C}$  的负距平值,北侧则施加  $0.5\text{ }^\circ\text{C}$  的正距平值,即代表青藏高原下垫面热力异常状况为南冷北暖的情形。

将上述试验中模式输出物理量进行时间平均,然后作对比差值分析。

### 4 数值试验结果分析

在控制试验中,从模拟的降水场(图略)来看,我国主要强降雨带位于长江流域,其中有 2 个强降水中心,分别位于长江上游四川省、长江中下游;此外我国东北地区也存在一个强降水中心。与降水观测场比较可知,模拟的降水中心位置稍微偏南,降水强度也存在系统性偏弱现象,但 NCAR RegCM2 区域气候模式总体上能够再现降水带的分布特征,说明模式具有一定的模拟能力。为较好的评价敏感性试验,在降水场对比分析时采用相

对偏差来表示,即:

$$f_i = \frac{T_i - C_T}{T_i}$$

图 3a 为 T1(青藏高原下垫面热力异常状况为南暖北冷的情形)与 CT 的降水偏差相对百分率,从图中可以看到,主要负值区位于长江流域,最大中心超过 -30%,相应于降水偏少。环流异常是降水异常的直接原因,为此,我们重点分析敏感性试验与控制试验的环流对比结果。首先分析 850 hPa 环流差值图(图 3b)可知,沿长江流域存在一系列反气

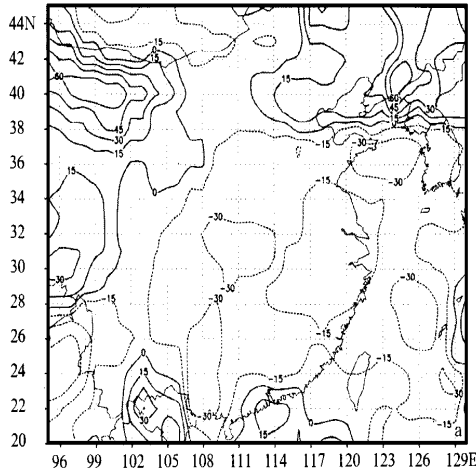


图 3a T1 与 CT 的降水偏差相对百分率(等值线间隔为 15%)

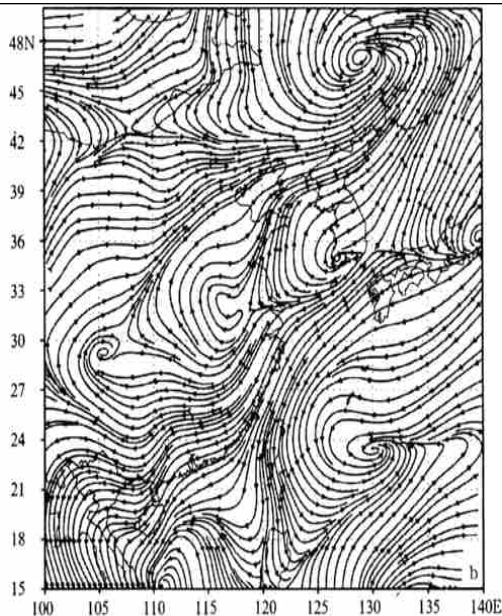


图 3b T1 与 CT 的 850 hPa 环流差值图

旋性环流(差值),其南侧为偏北差值气流,北侧为偏南差值气流,这意味着长江流域为一差值辐散带,不利于降水偏多。而我国东北地区存在一明显的气旋性差值环流,相应的有利于降水偏多。与图1b比较可知,长江流域及以南地区为负相关区,而T1试验中该地区降水出现大范围负偏差,即降水性质在总体上与统计事实基本相符。从梅雨过程的天气学分析可知,高原上不断东移的“西南涡”起了相当重要的作用,而数值试验结果表明,当青藏高原下垫面热力异常状况为南暖北冷时,该地区环流出现差值辐散带,不利于“西南涡”的发生发展,从而不利于降水增加,即从两者配置来看,大气环流与降水场是相一致的。此外,我国华北及东北大部为正值区,对应降水偏多,这表明模拟结果也反映了该地区降水与高原热力状况的统计关系。以上分析表明,当青藏高原下垫面热力异常状况为异常南暖北冷时,相应的大气环流发生改变,长江流域易出现反气旋性环流,总体上不利于长江流域梅雨季节降水增加。

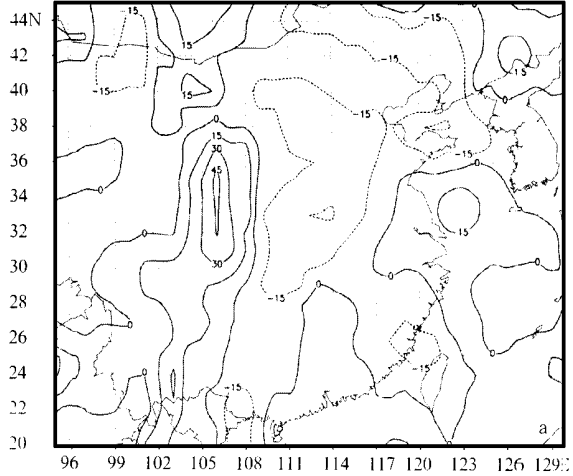


图 4a T2 与 CT 的降水偏差相对百分率

图 4a 为 T2(青藏高原下垫面热力异常状况为南冷北暖的情形)与 CT 的降水偏差相对百分率,从图中可以看到,降水分布较为复杂,高原东侧到长江三角洲地区降水差值场为“+ - +”分布,即高原东侧及长江三角洲地区出现降水正值,对应降水偏多,其间中游至华北的广大地区为负差值带,相应降水偏少。分析 850 hPa 环流差值图(图 4b)可知,高原东侧及长江三角洲地区存在气旋性差值环流,有利于降水偏多;而长江流域中游至中原一带为一强大的反气旋性差值环流,这意味着降水将偏少。从以上分析可知,大气环流与降水的配置是相当一致的。与图1b比较可知,在长江三角洲地区出现降水正偏差与统计事实基本上相符,但正偏差范围略偏小,位置也相对偏北。而我国华北大部出现负偏差,对应降水偏少,模拟结果基本上再现了该地区降水与高

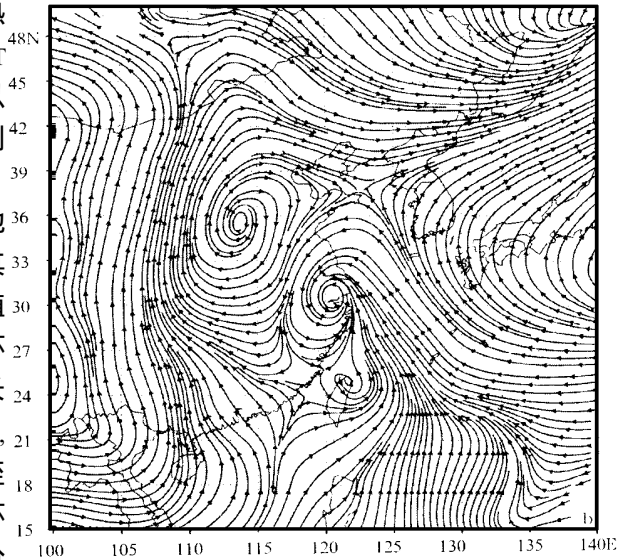


图 4b T2 与 CT 的 850 hPa 环流差值图

原热力状况的统计关系。此外,比较图 3a 与图 4a 可知,两个试验中长江中下游地区降水存在明显的差异,尤其是长江三角洲一带,两者结果基本上为相反的情况。

上面的模拟结果分析表明,青藏高原下垫面热力异常状况能够造成大气环流的异常,从而导致中国降水分布出现异常,这也说明了青藏高原下垫面异常的热力状况与长江流域降水存在一定的联系。

## 5 结 论

(1) 旱、涝年青藏高原下垫面热力状况存在南北反相特征,即当青藏高原下垫面前冬南侧偏暖(冷)、北侧则偏冷(暖)时,对应长江中下游地区夏季易偏旱(涝)。而且这种高原下垫面异常热力状况具有持续性,可以持续维持到夏季。

(2) 控制试验表明,NCAR RegCM2 区域气候模式模拟的降水中心位置稍微偏南,降水强度也存在系统性偏少现象,但 NCAR RegCM2 区域气候模式总体上能够再现降水带的分布特征,说明模式具有一定的模拟能力。

(3) T1 与控制试验的结果对比表明,当青藏高原下垫面温度为异常南暖北冷时,长江流域降水差值为负值;结合 850 hPa 环流差值图,从高原东侧沿长江流域一线,存在一系列反气旋性环流,这表明青藏高原下垫面异常的热力性质对大气环流产生影响,从而导致长江流域降水偏少。

(4) T2 与控制试验的结果表明,当高原下垫面温度出现异常的南冷北暖时,高原东侧至长江流域降水差值场为“+ - +”分布,即高原东侧及长江三角洲地区出现降水正差值,其间中游为负差值;这与 850 hPa 环流差值图相吻合,长江流域中游为差值反气旋性环流控制,而高原东侧及长江三角洲地区出现气旋性差值环流。

关于青藏高原异常情况(如积雪面积、日数等)与我国降水关系的研究甚多,但由于不同研究者使用不同台站或时段的资料,所得结果难免存在差异。目前也有不少工作利用数值模式进行模拟研究,但多数人使用的模式分辨率较低,基本上将高原作为一个整体处理,而本工作通过较为先进的区域气候模式,对高原下垫面热力状况的描述可能相对完善。从以上结果表明,数值模拟与观测事实分析是基本一致的,青藏高原下垫面热力状况与长江流域地区降水存在一定的联系,高原热力状况通过影响大气环流而导致降水分布出现差异,但其间关系是相当复杂的,这需要进一步研究。此外,青藏高原下垫面热力状况的描述是一个极为困难的研究课题,而本文以上结论仅建立在一个个例的模拟基础上,所得结论需要用更多的个例来加以验证。

致谢:本工作得到中国气象科学研究院翁永辉同志的大力帮助,在此致以谢意!

## 参 考 文 献

- 1 章基嘉,1991 年江淮暴雨期间环流异常的动力延伸试验.气象学报,1994,52(2):180~186.
- 2 朱乾根,白虎志.青藏高原冬季 TBB 特征及其与夏季亚澳季风异常的联系.见:何金海主编.亚洲季风研究的新进展.北京:气象出版社,1996.143~149.

- 3 汤懋苍. 冬季地温分布与春夏季降水相关的统计分析. 高原气象, 1986, 5(1): 40 ~ 50.
- 4 宋正山, 杨辉. 我国夏季降水和青藏高原的作用. 见: 黄荣辉主编. 灾害性气候的过程及诊断. 北京: 气象出版社, 1995. 114 ~ 119.
- 5 董敏, 余建锐. 青藏高原春季积雪对大气环流影响的模拟研究. 应用气象学报, 1997, 7(增刊): 100 ~ 109.
- 6 徐明, 朱永祺. 青藏高原冬季积雪对华东梅汛期降水影响的数值试验. 应用气象学报, 1997, 7(增刊): 110 ~ 115.
- 7 刘永强, 丁一汇, 赵宗慈. 1991年江淮特大异常降水的区域气候模拟. 见: 赵宗慈主编. 中国短期气候预测的模式研究. 北京: 气象出版社, 1995. 106 ~ 120.
- 8 万齐林. 区域气候数值模式研究及试验. 见: 赵宗慈主编. 中国短期气候预测的模式研究. 北京: 气象出版社, 1995. 121 ~ 132.
- 9 金祖辉, 村上胜人. 东亚季风区对流活动的年际变异及与江淮流域旱涝关系的研究. 见: 何金海主编. 东亚季风研究的新进展. 北京: 气象出版社, 1996. 88 ~ 98.

**STATISTIC ANALYSIS AND NUMERICAL EXPERIMENT ON  
RELATIONSHIP OF TIBETAN PLATEAU THERMAL  
CONDITION AND MEIYU IN YANGTZE  
RIVER BASIN**

Ge Xuyang<sup>1)</sup>      Tao Liying<sup>1)</sup>      Zhu Yongti<sup>2)</sup>      Li Yanhua<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (Shanghai Climate Center, Shanghai 200030)    <sup>2)</sup> (Shanghai Typhoon Institute, Shanghai 200030)

**Abstract**

Based on observation data, the correlation analysis of the Tibetan Plateau thermal condition and Meiyu in the Yangtze River Basin is conducted. The statistic results indicate that the surface thermal condition is correlated with the flood/ drought in the Yangtze River Basin. If there exists abnormally warm thermal condition over the southern Tibet, then there will be a flooding summer in the Yangtze River Basin and vice versa. Based on such results, two sensitive experiments are designed by use of the NCAR RegCM2 model, in which the ground temperature of the northern or southern Tibetan Plateau increases or decreases respectively. The experiments simulated the features very well and validated the statistic results.

**Key words:** Tibetan Plateau thermal condition    Summer rainfall    Numerical experiment