

云南春夏连旱气候变化趋势及致灾成因分析^{*1}

彭贵芬¹, 赵尔旭², 周国莲¹

(1. 云南省气象台, 云南 昆明 650034; 2. 云南省气象科技服务中心, 云南 昆明 650034)

摘要:通过构建能同时考虑全省受旱范围(面积)和不同等级干旱强度的区域干旱指数,用异常指数划分出云南中、重和特旱年份,利用 NCEP/NCAR 再分析资料,采用 morlet 小波研究了云南春夏连旱强度指数的变化趋势,并对比分析了云南春夏连旱重灾年与多年平均 200 hPa 与 500 hPa 环流场的差异. 结果表明:云南春夏连续致灾干旱的平均出现频率是:特旱 20 a 一遇,重旱以上 10 a 一遇,中旱以上 5 a 一遇;目前云南可能处于这样的历史位置,要么是不出现春夏连旱,如果出现,则将是特旱灾害;500 hPa 高纬度为纬向环流控制,青藏高压明显偏弱,孟加拉湾低槽没有出现或明显偏弱,20°N 以南地区为正距平区控制,无冷暖气流在云南交汇,200 hPa 青藏高原上为 -5 gpm 的强负距平区,中南半岛北部处于 -5 gpm 距平区,形不成中心在中南半岛北部的高层辐散、低层辐合上升的垂直环流,使云南不能出现解除干旱的有效降水天气过程,东西风季节转换较常年偏晚 16 d 左右,导致了云南春夏连续致灾干旱的发生.

关键词:云南;春夏连旱;气候变化;致灾成因;分析

中图分类号:P 426.616 **文献标识码:**A **文章编号:**0258-7971(2010)04-0443-06

干旱灾害是影响云南经济最重的自然灾害. 云南干湿季分明,1 年中雨季(5~10 月)集中了全年降水量的 85% 左右,而干季(11 月~次年 4 月)的降水总量仅占全年的 15% 左右. 4~6 月上旬是云南干季向雨季的转换期,如果出现干旱就说明云南出现了春夏连续干旱. 这个时期是否出现干旱、干旱的严重程度与云南大春的收成密切相关,而大春收成的好坏决定着全年粮食收成的好坏. 这个时期又与工农业生产用水和人民群众生活用水密切相关,因此春夏连旱是云南灾害研究的重点,也是决策部门、相关单位和广大群众关注的焦点. 如 2005 年云南出现的有气象记录以来最为严重的春夏连旱,共造成农业经济损失 53 亿元、工业经济损失约 80 亿元.

2001 年黄仪方等^[1]进行了云南 5 月旱涝天气气候成因及预测模型的研究,云南的科技工作者开展了夏季风异常对云南 2005 年初夏干旱的影响研究^[2],并在 5 月雨量与海温、孟加拉湾季风活动、热

带海温异常及亚洲季风变化、前期大气环流的关系研究方面做了大量的工作^[3-6],曹杰等^[7]研究了 5 月强降水天气与亚洲季风变化的关系,张云瑾,王梓进行了 ENSO 事件对云南夏季降水影响的研究^[8],这些研究工作大量集中在与初夏干旱关系密切的 5 月雨量和强降雨的研究上,说明这个时段干旱对云南影响的严重性和开展研究的重要性. 另外,近年来还有一些研究集中在云南降水气候变化及与旱涝关系方面^[9-13]. 但由于春夏连续干旱是从 4 月到 6 月上旬的持续性干旱,这种干旱会对云南省经济、社会产生重大影响. 因此,在 5 月雨量及旱涝研究的基础上,还需进一步开展对春夏连旱的气候演变特征和致旱成因的分析研究,为春夏连旱的监测预测提供思路,为防御和减轻此类重大干旱灾害造成的损失提供依据.

1 云南春夏连旱的气候演变特征

1.1 云南省综合干旱强度指数的构造 干旱是指

* 收稿日期:2009-12-16

基金项目:国家自然科学基金资助项目(40675056);中国气象局兰州干旱气象研究所干旱气象科学研究基金资助项目(IAM200906).

作者简介:彭贵芬(1955-),女,云南人,正研高级工程师,主要从事气象灾害研究. E-mail: gfpeng0725@163.com.

因久晴无雨或少雨、土壤缺水、空气干燥而造成农作物枯死、人畜饮水不足等的灾害现象. 为了进行春夏连旱气候演变特征的分析研究, 我们以 Thornthwaite 最大蒸散量作为需水量, 求降水量与需水量之差与需水量的比例, 与有效降水指数相结合构造了一个针对低纬高原云南固定地点的综合干旱指数^[14], 在点综合干旱指数的基础上又构造了一个区域综合干旱强度指数, 用来研究云南干旱的年度变化、出现周期和气候变化趋势. 以 dr_{si} 代表单站受旱面积, G_{area} 代表全省土地面积, 全省干旱强度指数 DR_{ii} 按下式计算:

$$DR_{ii} = \left(\sum_{i=1}^m \frac{a_j dr_{si}(i)}{G_{area}} \right) \times 100\%, \quad (1)$$

式中 m 为受旱县数, j 取值为 1, 2, 3, 4, a_j 为受旱各县的干旱强度系数, 取值为 0.5, 1, 1.25, 1.5, 分别对应轻旱、中旱、重旱、特旱. 这个指数在考虑全省受旱土地面积占全省总面积比例的同时, 还考虑了省内不同等级干旱的强度.

1.2 全省春夏连旱年份的确定 对于异常天气气候事件, 可采用距平与标准差的比值作为异常指数来定量指示其强度. 异常指数 K_i 的计算公式为:

$$K_i = \frac{(X_i - X)}{S}, \quad (2)$$

式中, X_i 为某年(季、月或时段)值, X 为多年平均值, S 为标准差(是各数据偏离平均数的距离的平均数). 当 K_i 的绝对值大于等于 2 说明某年距平均值已为标准差的 2 倍或以上时, 意味着当年值偏离平均值十分突出, 因此通常将 $|K_i| \geq 2$ 视为出现异常^[15-16], 同理当 K_i 的绝对值在 1.5 ~ 2 之间时说明某年距平均值已为标准差的 1.5 ~ 2 倍之间, 意味着当年值偏离平均值较为突出, 因此可将 K_i 的绝对值在 1.5 ~ 2 之间时视为接近异常, 而当 K_i 的绝对值在 1 ~ 1.5 之间时代表某年距平均值已为标准差的 1 ~ 1.5, 也意味着当年值与平均值偏差较大. 且 K_i 为 +1 以上, 代表偏重(强、高、多), K_i 为 -1 以下代表偏轻(弱、低、少), K_i 的绝对值在 0.1 ~ 1 之间代表当年值在正常范围. 用(1)式计算出云南 1959 ~ 2005 年 4 ~ 6 月上旬逐年综合干旱强度指数后, 用(2)式计算各年的异常强度指数, 得到云南省春夏连旱异常数据系列(见图 1). 根据异常指数的定义, 将指数值 ≥ 2 的年份视为特旱年, 云南自 1959 年以来出现过 3 a(1963, 1969 和 2005 年), 出现频率为 6%, 2005 年的春夏连旱最严重; 指数值在 1.5

~ 2 之间的年份视为重旱年, 研究时段内出现过 2 a(1979, 1992 年) 出现频率为 4%, 指数值在 1 ~ 1.5 之间的年份视为中旱年, 研究时段内出现过 4 a(1977, 1987, 1988 和 1997 年), 出现频率为 9%, 如果把中旱以上年份看作是干旱致灾年的话, 研究时段内共出现过 9 a 春夏连旱灾害, 出现频率为 19%, 也就是平均有 5 a 一遇的致灾春夏连旱出现.

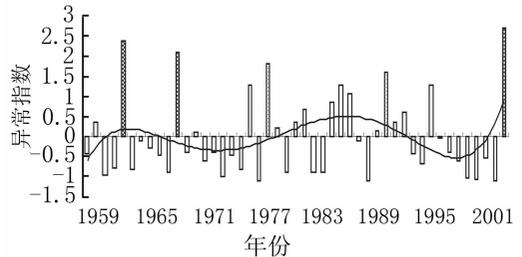


图 1 云南春夏连旱异常指数年际变化图

Fig. 1 Annual variation of abnormal index of Spring - Summer consecutive drought in Yunnan

1.3 春夏连旱的年际变化 采用 morlet 小波对云南省 1959 年至 2005 年共 47 a 的春夏连旱综合干旱指数系列进行小波分析(图 2), 从图中可看出, 云南省近 47 a 来旱涝变化的周期主要有 4, 7, 12 a. 从 12 a 的长周期来看, 云南省逐渐从湿润年转为了干旱年, 从 10 a 以下的短周期来看, 云南省已进入以干旱为主的周期中. 从图 1 可见, 特旱年前都有 4 ~ 6 a 不等的无旱年, 说明连续无旱年之后, 出现特大干旱的可能性大. 从图 1 和图 2 还可见, 这 47 a 中, 大致可分为 3 个时段. 1959 ~ 1976 年, 云南省处于春夏连旱少现期, 但这个时期大多无旱, 但有旱就为特大干旱; 1977 ~ 1991 年, 云南省处于干

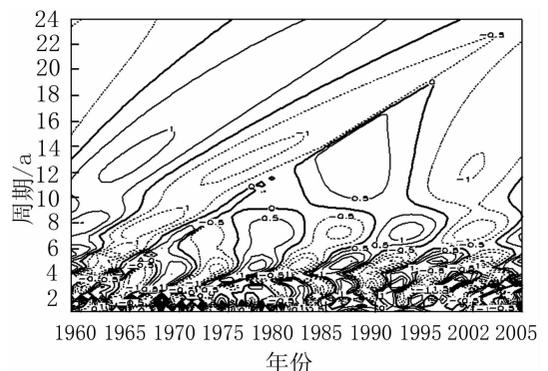


图 2 1959 ~ 2005 年干旱指数的 morlet 小波分析

Fig. 2 Morlet wavelet analysis on drought index from 1959 to 2005

旱多现期,16 a 里有 6 a 出现了中等以上强度的干旱(为 3~4 a 一遇),干旱强度均在中至重度之间,未出现过特旱;1993~2004 年云南省处于春夏连旱少现期,其间只有 1 a 出现中旱,2005 年云南出现了 1959 年以来最严重的春夏连旱,之后的 4 a (2006,2007,2008,2009 年)均未出现过中等以上强度的春夏连旱,从年际变化趋势来看,目前云南可能处于这样的历史位置,要么是不出现春夏连旱,如果出现,则将是特旱灾害。

2 春夏连旱成因分析

2.1 云南春夏连旱致灾年的大气环流特征

一般年份,云南雨季开始期在 5 月 20 日左右,大部分地区在 5 月完成干季向雨季的转换.为了分析春夏连旱重灾年的大气环流特征,我们利用 NCEP/NCAR 再分析资料,对 5 月 500,200 hPa 多年平均高度场与重度以上春夏连旱的 1963,1969,1979,1992,2005 年(共 5 a)平均高度距平场进行对比分析.

2.1.1 重灾年 500 hPa 环流特征

从 5 月 500 hPa 欧亚平均高度场上可见(图 3),高纬度为两脊一槽、中低纬为两槽一脊的环流形势,且高纬度和中低纬度的槽脊大致呈反位向配置,高纬度 $10^{\circ}\sim 100^{\circ}\text{E}$ 之间为宽广的脊前西北气流控制,不断引导冷空气向东南方输送.这时青藏高原脊明显加强,脊前西北气流较为明显,高纬度来的冷空气到达中纬度地区后顺着青藏高原脊前的西北气流南下到低纬度地区的云南,而低纬地区干季维持在 25°N 以南的高压环流分裂为一些高压单体,印度高压与

副热带高压之间形成了一个较为明显的孟加拉湾低槽,槽前的西南暖湿气流往云南输送,在 90°E 附近青藏高脊与孟加拉湾低槽呈反位向配置,高原脊前的西北气流与孟湾槽前的西南暖湿气流在云南上空交汇,形成有利于降雨天气出现的形势,致使云南进入雨季.

干旱重灾年 5 月 500 hPa 高度距平场上(图 4),高纬度地区正常年的脊区为强负距平区,槽区为正距平区,说明与正常年相比大气环流的经向度大为减弱,整个高纬度地区为较平直的纬向环流控制,引导冷空气南下到中纬度地区的西北气流减弱,导致高纬度地区的冷空气向南输送的分量减弱;高纬度低区中心位于俄罗斯东部的强负距平中心,说明东亚大槽位置偏北,东北冷涡偏北偏东,冷空气活动位置较往年明显偏北偏东.此时整个青藏高原地区为一强负距平区控制,说明青藏高压明显偏弱,高压脊东侧引导冷空气南下影响云南的西北气流偏东偏北;孟加拉湾为 5 gpm 的正距平中心,说明孟加拉湾低压槽未出现或明显偏弱,这样的环流配置使得冷暖气流不能在云南交汇,不利于降水天气的出现.另外,从印度半岛到南海的整个 20°N 以南地区均为正距平区控制,说明整个低纬热带地区仍受一个宽广的高压带控制,抑制了热带地区对流活动的发展,使暖湿气流不能到达云南.这种异常的大气环流形势使热带对流的发展继续受到抑制,向云南输送水汽的通道也被阻隔,冷暖空气不能在云南交汇,从而导致云南春夏连续致灾干旱的发生.

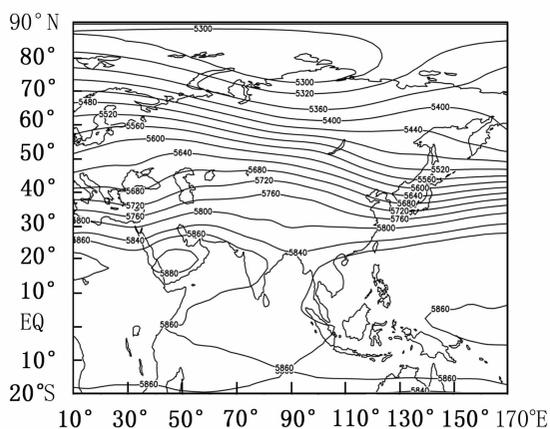


图 3 5 月 500 hPa 平均高度场

Fig. 3 500 hPa mean height field in May

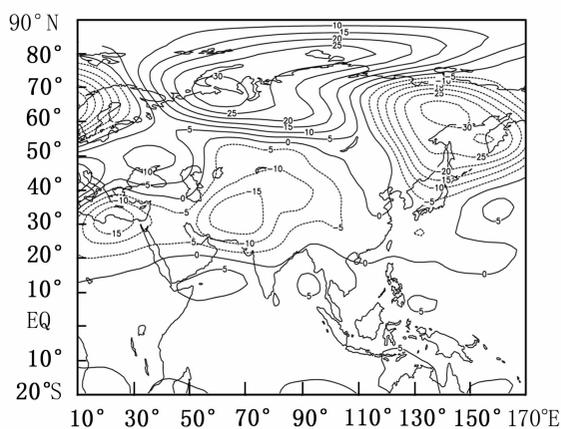


图 4 云南春夏连旱重灾年 5 月 500 hPa 高度距平场

Fig. 4 500 hPa height anomaly fields of Spring - Summer consecutive drought in Yunnan in May

2.1.2 重灾年 200 hPa 环流特征 5 月 200 hPa 平均环流场与 500 hPa 环流形势在中高纬度大致相同,只是槽、脊的位置稍后倾.但在低纬度地区 200 hPa 与 500 hPa 环流差异较明显,500 hPa 上明显的孟加拉湾低槽在 200 hPa 上不存在,整个印度半岛到中南半岛均为高压脊区,高压脊线在中南半岛上,说明南亚高压 5 月已移到 $80^{\circ} \sim 120^{\circ}E$,高压中心位于中南半岛北部(图 5),高层高压中心对应的强烈辐散区在低层孟加拉湾低压槽前区域(中南半岛到云南)的上空,形成高层气流强烈辐散低层气流辐合抬升、有利于强降水的垂直环流,为处于低纬度地区的云南出现大雨和雨季开始创造了条件.

干旱重灾年 5 月 200 hPa 高度距平场(图 6)高纬度的正、负距平中心位置与 500 hPa 大至相同,但青藏高原上的负距平区域范围更大,强度更强,其中心强度达到了 -50 gpm ,比 500 hPa 的负距平中心(-15 gpm)偏强了 35 gpm ,而且 0 gpm 线向南伸展到了孟加拉湾中部,中南半岛北部处于 -5 gpm 距平区,说明南亚高压迟迟未向西北移到青藏高原,不能形成中心在中南半岛北部的高层辐散气流,加之此时低层中南半岛北部处于脊区,不能形成高层辐散、低层辐合上升的垂直环流,使云南雨季推迟开始.

2.2 云南春夏连旱致灾年季风异常特征 云南干季向雨季的转换是大气环流由冬季型向夏季型转变的结果,大气环流的转变使原来控制云南的干冷气流转变为暖湿气流,暖湿气流给云南带来了充沛的水汽,导致云南干季向雨季的转变,从风场上来

看低纬高原地区的雨季是伴随着南支西风的北撤和东北气流的建立、冬季风向夏季风的转变而开始的.但当高空流场的季节转换发生异常时,云南干季向雨季的转换就会出现异常,从而造成云南春夏连旱.由于高空西风急流轴通常出现在 200 hPa 附近,用 200 hPa 风场来研究季风的异常较为妥当,因此我们利用 NCEP/NCAR 再分析资料,将云南春夏连旱重灾年与多年平均 200 hPa 高度场逐日平均纬向风随时间、纬度的变化作对比分析研究.

图 7a 为 30 a(1971 ~ 2000 年 3 月 1 日 ~ 5 月 31 日) $80^{\circ} \sim 100^{\circ}E$ 逐日平均纬向风的时间纬度变化图.可以看出,在平均状况下,孟加拉湾地区的西风层在 3 ~ 4 月是很稳定的,东西风交界基本是在 $10^{\circ}N$ 左右,位于 $28^{\circ}N$ 附近地区的西风急流中心风速约 $40 \sim 45 \text{ m/s}$.这支西风急流中心强度 4 月下旬开始减弱,维持在 $25 \sim 30 \text{ m/s}$ 之间,位置逐渐北抬至 $30^{\circ} \sim 40^{\circ}N$ 之间,并趋于稳定. $10^{\circ}N$ 以南的东风层 5 月上旬末至中旬初开始增强至 10 m/s 以上,并同时加强北抬,东风层稳定建立,季节转换基本完成.而出现重度以上春夏连旱的 1963, 1969, 1979, 1992, 2005 年(共 5 a)的合成分析逐日平均纬向风随时间、纬度的变化则有明显差异.由图 7b 可见,重旱年低纬度东风层明显偏南,东西风交界的 0 线在 3 ~ 4 月基本位于 $8^{\circ}N$ 以南,比平均场偏南了 2° .西风急流轴位于 26° 附近,也比正常年偏南了约 2° ,4 月下旬初西风急流开始减弱,但减弱的趋势并没有维持,到 5 月中旬西风急流中心强度又达 30 m/s 以上.虽然 4 月中旬以前出现了几次

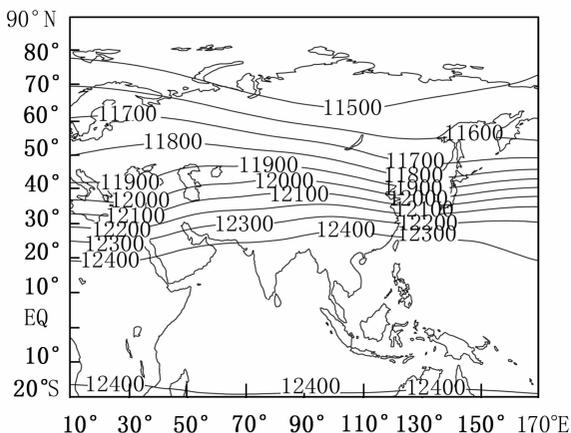


图 5 5 月 200 hPa 平均高度场

Fig. 5 200 hPa mean height field in May

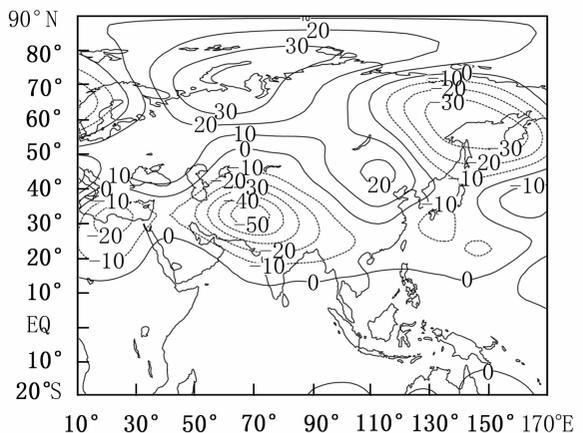


图 6 云南春夏连旱重灾年 5 月 200 hPa 高度距平场

Fig. 6 200 hPa height anomaly fields of Spring - Summer consecutive drought in Yunnan in May

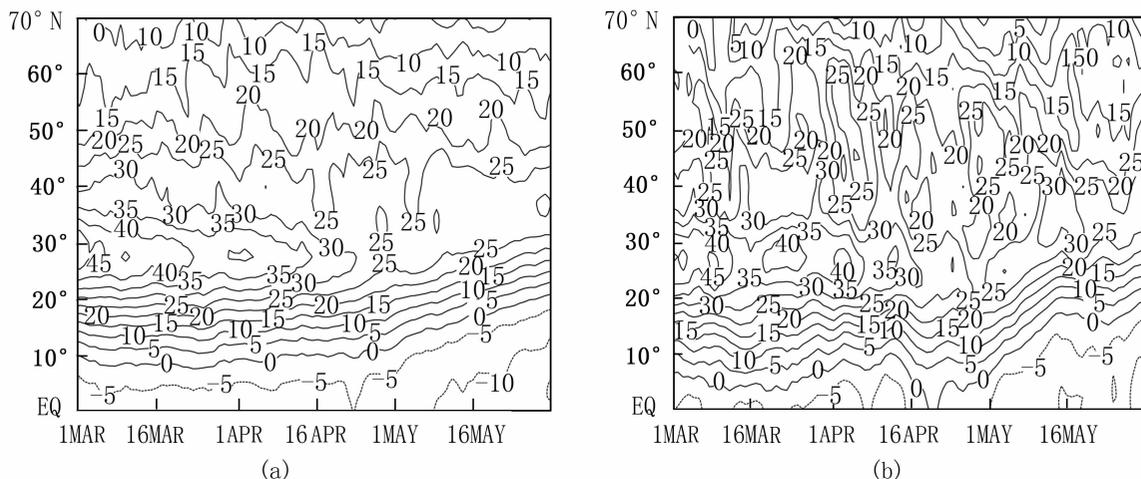


图7 200 hPa 逐日平均纬向风多年平均(a)和云南春夏连旱重灾年(b)80°~100°E 纬度时间剖面图

Fig. 7 200 hPa multi-year daily mean zonal wind (a) and disastrous years of Spring-Summer consecutive drought in Yunnan; (b) 80°—100° E lat. time cross section

较弱的东风,但均基本位于5°N以南,并很快消失,4月中旬末到下旬初出现了明显的东风中断现象,直至5月初才出现5 m/s的东风,10 m/s以上的强东风气流一直到5月底才稳定出现,比多年平均偏晚了将近16 d左右.由以上分析可见,云南春夏连旱年200 hPa东风层偏弱,东西风交界0线明显偏南,东西风季节转换较常年明显偏晚.由此可见,冬季风向夏季风的异常转换是导致云南春夏连续干旱的重要原因.

3 结论

(1) 云南春夏连续干旱的平均出现频率是:特旱20 a一遇,重旱以上10 a一遇,中旱以上5 a一遇;

(2) 云南省春夏连旱存在4,7 a和12 a周期,云南省1959~1976年处于春夏连旱少现期,1977~1992年处于多现期,1993~2004年云南省处于春夏连旱少现期;4~6 a不等的无旱年后,出现特大干旱的可能性大,2005年云南出现了1959年以来最严重的春夏连旱,之后已连续4 a未出现过中等以上强度的春夏连旱,从年际变化趋势来看,目前云南可能处于这样的历史位置,要么是不出现春夏连旱,如果出现,则将是特旱灾害;

(4) 5月500 hPa高纬度为较平直的纬向环流控制,引导冷空气南下到中纬度地区的西北气流偏弱,青藏高压明显偏弱,高压脊东侧引导冷空气南下影响云南的西北气流偏东偏北;孟加拉湾低槽没

有出现或明显偏弱,从印度半岛到南海的整个20°N以南地区,均为正距平区控制,无冷暖气流在云南交汇,从而导致云南春夏连续致灾干旱的发生;

(5) 5月200 hPa青藏高原上为-50 gpm的强负距平区,0 gpm线向南伸展到了孟加拉流中部,中南半岛北部处于-5 gpm距平区,南亚高压迟迟未西北移到达青藏高原,不能形成中心在中南半岛北部的高层辐散、低层辐合上升的垂直环流,使云南不能出现解除干旱的有效降水天气过程;

(6) 200 hPa东风层偏弱,东西风交界0线明显偏南,东西风季节转换较常年偏晚16 d左右是云南出现春夏连续致灾干旱的主要原因.

参考文献:

- [1] 黄仪方,李艳,严小冬,等.云南5月旱涝的天气气候成因及预测模式[J].云南大学学报:自然科学版,2001,23(5):336-340.
- [2] 刘瑜,赵尔旭,孙丹,等.东南亚地区夏季风异常对云南2005年初夏干旱的影响[J].气象,2006,32(6):91-96.
- [3] 郑建萌,朱红梅,曹杰.云南5月雨量与全球海温的关系分析研究[J].云南大学学报:自然科学版,2007,29(2):160-166.
- [4] 晏红明,肖子牛,王灵.孟加拉湾季风活动与云南5月降雨量[J].高原气象,2003,22(6):624-630.
- [5] 晏红明,杞明辉,肖子牛.云南5月雨量与热带海温异常及亚洲季风变化的关系[J].应用气象学报,2001,21(3):368-375.

- [6] 琚建华,李绚丽. 云南初夏降水与前期大气环流的关系[J]. 高原气象,1999,18(1):63-70.
- [7] 曹杰,陶云,段旭. 云南5月强降水天气与亚洲季风变化的关系[J]. 云南大学学报:自然科学版,2002,24(5):361-365.
- [8] 张云瑾,王梓. ENSO事件对云南夏季降水的影响及其中印度季风环流的作用[J]. 云南大学学报:自然科学版,2008,30(S1):324-329.
- [9] 陶云,何群. 云南降水量时空分布特征对气候变暖的响应[J]. 云南大学学报:自然科学版,2008,30(6):587-595.
- [10] 赵付竹,张春花,郝丽清. 澜沧江跨境径流对气候变化的敏感性分析[J]. 云南大学学报:自然科学版,2008,30(S2):329-333.
- [11] 叶长青,甘淑,李运刚. 红河流域降水量的时空变异特征[J]. 云南大学学报:自然科学版,2008,30(1):329-333.
- [12] 赵宁坤,孙俊奎,尤卫红,等. 云南省雨季降水量变化的区域特征分析[J]. 云南大学学报:自然科学版,2009,31(6):592-599.
- [13] 周国莲,晏红明. 云南近40年降水量的时空分布特征[J]. 云南大学学报:自然科学版,2007,29(1):55-61,66.
- [14] 彭贵芬,赵尔旭,周国莲. 低纬高原春夏连旱气候变化趋势及致灾成因分析[J]. 云南大学学报:自然科学版,2010,32(3):308-313.
- [15] 张继权,李宁. 主要气象灾害风险评价与管理的数量化方法及其应用[C]. 北京师范大学出版社,2007:310-311.

Analysis on trend and causes of Spring – Summer consecutive drought in Yunnan province

PENG Gui-feng¹, ZHAO Er-xu², ZHOU Guo-lian¹

(1. Meteorological Observatory of Yunnan Province, Kunming 650034, China;

2. Meteorological Science & Technology Service Center of Yunnan, Kunming 650034, China)

Abstract: By constitution of Regional Drought Index concerning drought – hit area in the whole province and different levels of drought intensity, we have used Abnormal Index to divide years into moderate, heavy and super drought ones. Based on NCEP/NCAR reanalyzing data, we have used morlet wavelet to investigate the trends of Intensity Index of Spring – Summer consecutive drought in Yunnan Province, as well as to compare and analyze the difference in 200 hPa and 500hPa circulation between the disastrous years of Spring – Summer consecutive drought and multi – year’s average value. The results show that average frequency of Spring – Summer consecutive drought causing disasters in Yunnan Province is: Super drought happens once in 20 years, heavy once in 10 years, and moderate once in 5 years. At present, Yunnan may be in such a historical position, either there is no Spring – Summer consecutive drought, or will be a super drought disaster. The 500 hPa high latitudes is controlled in zonal circulation, and Qinghai – Tibet high – pressure is obviously weak, and the bay of Bengal low trough does not appear or obviously weak. The south area of 20°N is controlled by positive anomaly zone, and has not convergence of cold and warm air in Yunnan. The 200 hPa Qinghai – Tibet Plateau is in – 50 gpm strong negative anomaly zone, and the north part of Indo – China Peninsula is in – 5 gpm anomaly zone. These situations can not form the vertical circulation with a center in the northern part of Indo – China Peninsula and the upper – level divergence as well as the low – level divergence rising, which means that there is not an effective precipitation process to relieve the drought. In addition, the east – west monsoon transition is later about 16d than usual, which bring on the Spring – Summer catastrophic consecutive drought in Yunnan province.

Key words: Yunnan province; Spring – Summer consecutive drought; climatic change; disaster – causing factors; analysis