

肖艳林,池再香,夏阳,等.云贵高原中部倒春寒特征及其极端类型大气环境场分析[J].沙漠与绿洲气象,2024,18(2):124-132.

doi:10.12057/j.issn.1002-0799.2024.02.016

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



云贵高原中部倒春寒特征及其极端类型 大气环境场分析

肖艳林¹,池再香^{2*},夏阳¹,严锐¹,孙翔¹,毛春旭¹,陈金梅¹

(1.六盘水市气象局,贵州 六盘水 553000;2.贵州省山地环境气候研究所,贵州 贵阳 550002)

摘要:利用1981—2021年云贵高原中部45个气象观测站逐日平均气温资料,以及NCEP 2.5°×2.5°再分析日资料,采用倒春寒指数计算、分级以及合成分析等方法,分析云贵高原中部倒春寒天气年际、年代际变化特征,并确定特重级倒春寒年和无倒春寒年为倒春寒极端类型年,对比分析其环流特征,以期找出其预报指标。结果表明:(1)1981—2021年云贵高原中部区域年度倒春寒标准化指数总体呈下降趋势,且在1998年前后具有一个明显的突变($\alpha=0.01$)。特重级和重级倒春寒年基本发生在20世纪80年代和90年代,进入21世纪后,以轻级倒春寒年和无倒春寒年为主。(2)在特重级倒春寒年,500 hPa极涡偏强,亚洲中高纬呈现出西高东低的异常环流型,有利于东亚地区环流径向度加大,同时50°N以南温度基本呈负距平分布,表明冷空气活动异常活跃,从而造成地面云贵准静止锋偏强。与此同时,700 hPa云贵高原受异常气旋式环流东侧的偏东气流控制,与华北异常反气旋式环流底部的偏东气流在云贵高原上空辐合,将南海和东海的水汽向云贵高原上空输送,从而有利于低温和降水天气的形成。在无倒春寒年,上述形势相反。(3)在特重级倒春寒年,前期夏季、秋季、冬季和同期春季中东太平洋海温均表现为东部型厄尔尼诺;而在无倒春寒年,均表现为中部型厄尔尼诺。

关键词:倒春寒标准化指数;极端类型;云贵准静止锋;环流;海温

中图分类号:P458.12

文献标识码:A

文章编号:1002-0799(2024)02-0124-09

倒春寒是指出现在春季,由冬季风向夏季风过渡的天气回暖过程中,因冷空气的侵入而使气温明显降低,形成“前春暖、后春寒”的特点,对作物造成危害的一种低温冻害天气现象。A.C Moon等^[1]指出,气候条件是限制农业生产最重要的因素之一,而春季气温的变化能够对农作物生长发育产生重要影响^[2]。

倒春寒天气的出现常常会导致水稻大面积烂秧、红心猕猴桃果树坐果率低等问题,影响作物高产,是对春季农业生产危害最严重的低温气象灾害之一^[3-5]。

据悉,国内专家们对倒春寒的天气气候特征及其与大气环流的关系已做出一些研究。李勇等^[6]研究指出,贵州省倒春寒强度在20世纪90年代最强,20世纪80年代次强,2000—2007年最弱。徐玮平等^[7]对山东春季极端低温与前冬北大西洋海温的关系进行研究表明,前冬北大西洋海温“三极子”模态与春季极端低温事件发生的频率呈显著正相关,同时中国南方春季的低温冷害与极涡的位置变化、强度变化、欧亚大陆的寒潮等冷空气活动,以及季风的强弱有着密切联系^[8-9]。云贵准静止锋是影响云贵地区气温变化的重要天气系统,当冷空气活动频繁时,云

收稿日期:2022-03-25;修回日期:2023-04-17

基金项目:六盘水市科技计划项目(52020-2021-NK-03);中国气象局预报员专项项目(CMAYBY2016-066);贵州省气象局科研业务登记项目([2020]06-19号)

作者简介:肖艳林(1989—),女(彝族),工程师,主要从事天气预报与研究。E-mail:1542280456@qq.com

通信作者:池再香(1964—),女(侗族),正高级工程师,主要从事气候变化及其影响研究。E-mail:qxsf_850@163.com

贵准静止锋偏强,这是导致云贵高原地区气温异常偏低的重要原因^[10-11],当强冷高压南移入海后减弱,静止锋锋后的东风回流消失,静止锋减弱消失,强倒春寒天气也相应结束。袁淑杰等^[12]提出,局地地形是影响贵州高原月平均日最低气温的重要因子,其月平均日最低气温的纬向分布特征不明显,这与地形变化有较好的一致性,月平均日最低气温随着海拔高度的增加而减小。此外,学者们对贵州倒春寒的气候预测也做出了一些研究,尤红等^[11]指出,准确判断高低空系统演变对冷平流的输送及其平流的强度、性质的影响,对倒春寒影响区域的预报和强度的预报具有重要意义。武文辉等^[13]提出倒春寒短期气候预测的5个预测信号,分别为上年5—6月北太平洋西北部海温偏低、上年7—8月500 hPa低纬Ⅶ区高度偏高、上年9月印缅低槽指数偏高、上年7—11月北美东岸大槽南段指数偏高、上年11—12月北美副高面积指数偏高,则对应下年有倒春寒天气出现。

李勇等^[9]和张云瑾等^[14]的研究指出,云贵高原是倒春寒天气的多发地,而贵州西部高海拔地区是重级以上倒春寒发生的高值区,20世纪70年代、80年代频繁出现的倒春寒天气对农业造成了重大损失。然而处于乌蒙山脉的云贵高原中部,目前尚未开展倒春寒天气年际、年代际,以及异常年环流背景的研究,张加云等^[15-16]指出,云南较重倒春寒天气均出现在云南中东部地区,这是否意味着云贵高原中部,即贵州西部—云南东部的倒春寒天气趋于严重呢?云贵高原中部的倒春寒气候特征又是怎样的呢?造成云贵高原中部倒春寒天气发生及其强度的不同又是哪些天气系统呢?鉴于此,本文通过对近41 a云贵高原中部倒春寒天气的分析,找出云贵高原中部倒春寒年际、年代际,以及异常年大气环流预报因子,以期对倒春寒短期气候预测提供参考依据,其研究成果对农业生产防灾减灾具有重要的现实意义。

1 资料和方法

1.1 资料来源

云贵高原中部包括云南东部的20个市县和贵州西部的25个市县,地理位置为102°42′~106°44′E、24°19′~28°40′N,研究区域气象站分布见图1,文中所涉及的地图是基于中华人民共和国自然资源部地图技术审查中心标准地图服务系统下载的审图号为GS(2019)3266号的标准地图制作,底图无修改。

1981—2021年的3月21日—4月30日云贵高

原中部的45个气象观测站逐日平均气温资料(来源于贵州省气象信息中心和云南省气象信息中心)。利用NCEP 2.5°×2.5°再分析日资料(包括位势高度场、风场、温度场、涡度场、假相当位温场及海温场),对特重级倒春寒年和无倒春寒年的大气环境场及海温变化进行分析。

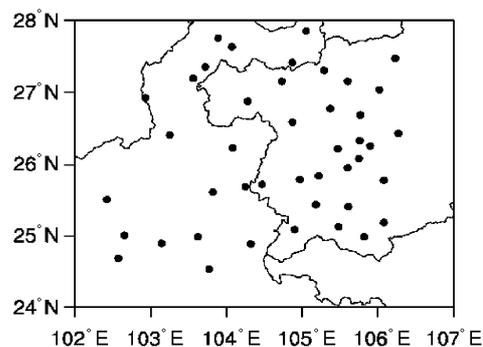


图1 云贵高原中部45个气象观测站点空间分布

1.2 研究方法

1.2.1 倒春寒指数

根据贵州短期气候预测技术^[17]中倒春寒定义:每年3月21日—4月30日,连续3 d或3 d以上出现日平均气温 ≤ 10.0 °C的时段(其中第4 d开始,允许有间隔1 d的日平均气温 ≤ 10.5 °C),定为倒春寒天气过程。

运用许炳南等^[18]计算单站年度倒春寒标准化指数公式:

$$K_i = \left(\frac{N_i}{10} - \frac{T_i}{10} + \frac{H_i}{20} \right)_{\text{标准化}} \quad (1)$$

式中: K_i 为当年的单站年度倒春寒标准化指数; i 为年份; N_i 为当年最长倒春寒过程的持续天数,单位为d; T_i 为当年3月21日—4月30日任意滑动10 d平均气温距平的最低值,单位为°C;等式右边第一项分母10为取最长倒春寒过程持续天数标准的下限值; H_i 为当年倒春寒总日数,单位为天;等式右边第三项分母20为取当年倒春寒总日数标准下限值的两倍。对计算得到的指数进行标准化,最终得到单站年度倒春寒标准化指数 K_i 。

对云贵高原中部45个单站年度倒春寒标准化指数 K_i 进行计算,得到区域年度倒春寒标准化指数 Z_i ,其计算公式:

$$Z_i = \frac{1}{45} \sum_{i=1}^{45} K_i \quad (2)$$

1.2.2 倒春寒指数分级

根据不同等级区域年度倒春寒标准化指数的临

界值确定每年的倒春寒等级,各级标准分别定义为:特重级 $>1.0\sigma$ (σ 为区域年度倒春寒标准差),重级 $0.25\sigma \sim 1.0\sigma$,中级 $-0.25\sigma \sim 0.25\sigma$,轻级 $-1.0\sigma \sim -0.25\sigma$,无倒春寒 $\leq -1.0\sigma$,即区域年度倒春寒标准化指数大于 1.0σ 的年份为特重级倒春寒年(表1)。

表1 区域年度倒春寒指数标准差进行分级的倒春寒强度等级临界值

倒春寒事件等级	区域年度倒春寒标准化指数范围
无	$Z_i \leq -1.0\sigma$
轻级	$-1.0\sigma < Z_i \leq -0.25\sigma$
中级	$-0.25\sigma < Z_i \leq 0.25\sigma$
重级	$0.25\sigma < Z_i \leq 1.0\sigma$
特重级	$1.0\sigma < Z_i$

2 云贵高原中部倒春寒年(代)际变化特征

由1981—2021年云贵高原中部的区域年度倒春寒标准化指数年际变化(图2a)可知,近41a,云贵高原中部区域年度倒春寒标准化指数总体呈减弱的趋势,1996年最大(2.26),2018年最小(-1.67)。1981—1996年标准化指数振幅较大,且总体指数偏高,倒春寒偏重;1997年开始,标准化指数逐步下降,2003年降至-1.63;2003—2021年,标准化指数(除2007、2011年外)基本在0.5以下,且2003、2015、2017、2018、2019、2021年标准化指数均低于-1.0。由图2a可知,1998—1999年前后其标准化指数具有明显的由高值向低值转变的过程,1981—1998、1999—2021年标准化指数平均值分别为0.73、-0.57。由此可知,1998—1999年区域年度倒春寒标准化指数具有明显的突变,即1998年及以前云贵高原中部倒春寒明显偏重,而1998以后明显减轻。

由1981—2021年云贵高原中部区域年度倒春

寒标准化指数10a滑动t检验(图2b)可知,1996—2000年云贵高原中部区域年度倒春寒标准化指数具有十分明显的突变,以1998年突变最为显著,并通过99%的可信度t检验,1998年之前为明显的上升趋势,1998年之后为明显的减弱趋势,与上述区域年度倒春寒标准化指数突变结论一致。

3 倒春寒极端类型对比分析

3.1 倒春寒强度分析

利用公式(1)、(2),并结合表1,对云贵高原中部1981—2021年区域年度倒春寒强度进行分级,得到不同年份的区域年度倒春寒强度等级(表2)。由表可知,云贵高原中部出现特重级倒春寒年共有8a,主要发生在20世纪90年代;重级倒春寒年共有4a,主要发生在20世纪80年代;中级倒春寒年共有10a,以20世纪80年代和90年代为主;轻级倒春寒年共有13a,以21世纪初为主;无倒春寒年共有6a,主要出现在21世纪。由此可知,近41年来,云贵高原中部特重级倒春寒年和重级倒春寒年基本发生在20世纪80年代和90年代,进入21世纪后,以轻级倒春寒年和无倒春寒年为主。这与张世轩等^[19]指出的全球气候增暖背景下,90年代末期以后,中国大部分地区春季明显增暖的结论一致。

表2 基于区域年度倒春寒标准化指数的倒春寒事件强度分级情况

倒春寒事件等级	发生年份/年
无	2003, 2015, 2017, 2018, 2019, 2021
轻级	1981, 1999, 2000, 2001, 2002, 2006, 2008, 2010, 2012, 2013, 2014, 2016, 2020
中级	1984, 1985, 1986, 1987, 1990, 1995, 1998, 2004, 2005, 2009
重级	1988, 1989, 1993, 2007
特重级	1982, 1983, 1991, 1992, 1994, 1996, 1997, 2011

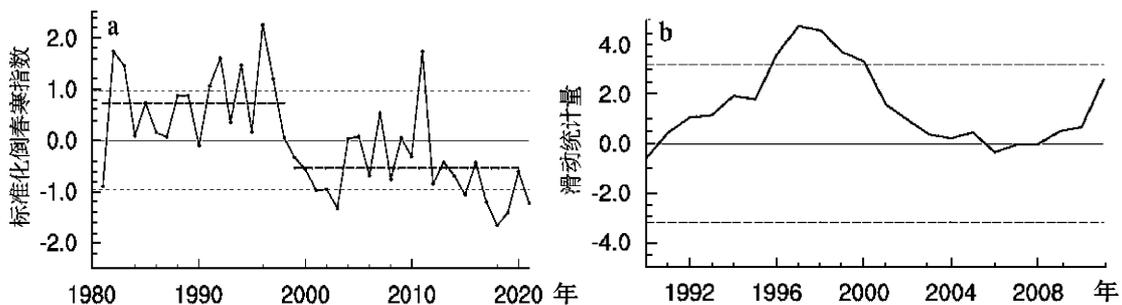


图2 1981—2021年云贵高原中部区域年度倒春寒标准化指数年际变化(a,点折线为标准化倒春寒指数,分段的粗虚线分别为1981—1998、1999—2021年的标准化倒春寒指数平均值)及其10a滑动t检验(b,虚线外表示通过0.01的显著性检验)

3.2 倒春寒极端类型大气环流形势对比分析

把特重级倒春寒年和无倒春寒年定为倒春寒极端类型年,为寻找倒春寒极端类型年大气环境场差异,探索其预报指标,对两种极端类型倒春寒年不同层次的水平环流和垂直环流等进行对比分析。需要说明的是,文中的所有异常(距平)均指3月21日—4月30日平均的环流与气候态的偏差,而气候态是指同时段的多年平均值(1981—2021年)。

3.2.1 500 hPa 位势高度场分析

由特重级倒春寒年500 hPa位势高度合成及其距平的空间分布显示(图3a),北半球极涡中心强度为5 100 gpm,极涡中心强度偏强,且偏向于西半球,同时极涡以北有一个低于-40 gpm的位势高度负距平中心,利于极涡向北发展。西西伯利亚为位势高度正距平区,表明西西伯利亚地区高值系统活跃,而中国东部存在东亚大槽,鄂霍次克海至西北太平洋一带为位势高度负距平的区域,表明鄂霍次克海至西北太平洋一带低值系统活跃,东亚地区环流径向度加大,有利于冷空气南下,导致云贵高原中部特重级倒春寒天气发生。

由无倒春寒年500 hPa位势高度场及距平分布显示(图3b),北半球极涡中心强度为5 200 gpm,极涡中心强度偏弱,西西伯利亚为位势高度负距平区域,欧亚大陆其余地区中高纬度均受位势高度正距平影响,贝加尔湖为较强位势高度正距平中心,中心值达40 gpm,表明亚洲中高纬度高压系统活跃,不利于冷空气南下。

综上所述,特重级倒春寒年500 hPa极涡偏强、西西伯利亚有位势高度正距平中心,鄂霍次克海至西北太平洋一带为位势高度负距平,有利于冷空气自北向南输送;无倒春寒年500 hPa极涡偏弱、西西伯利亚为位势高度负距平中心,且亚洲中高纬度几乎均受位势高度正距平的控制,高压系统活跃,不利于冷空气南下。

3.2.2 500 hPa 温度场分析

500 hPa温度场上,在特重级倒春寒年(图4a),极区及高纬度基本受温度正距平控制,正距平中心(1.0℃)位于新地岛以西,表明极涡位置偏东偏南,冷空气容易分裂南下,在40°N以南主要为温度负距平影响,中国西部地区冷空气活跃,从而导致低温天气的持续。此外,鄂霍次克海及以东的西北太平洋有较强的温度负距平区和温度槽存在,有利于低槽的发展,从而导致冷空气从槽后南下,有利于云贵高原中部特重级倒春寒天气的发生。

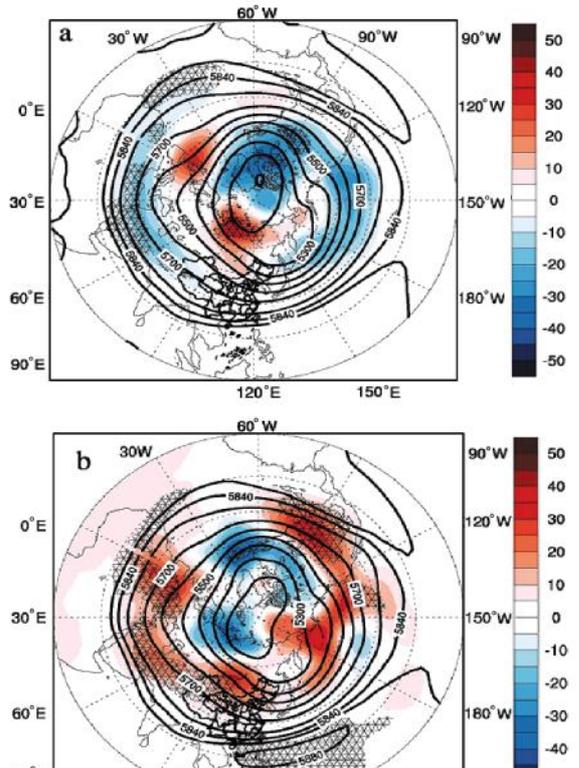


图3 特重级倒春寒年(a)和无倒春寒年(b)500 hPa位势高度合成(等值线,单位:gpm)及其距平(阴影,单位:gpm)的空间分布(斜杠区域表示距平通过0.05的显著性*t*检验)

在无倒春寒年(图4b),新地岛及以西、印度东北部及青藏高原南部边缘、非洲中部受较弱温度负距平影响,其余地区均受温度正距平控制,且地中海、里海、贝加尔湖及以东地区均为强温度正距平控制。由此可知,在无倒春寒年,亚洲中高纬度地区,高值系统活跃,温度偏高,使得极地冷空气难以南下,不利于云贵高原中部出现倒春寒天气。

3.2.3 700 hPa 风场及水平涡度分析

由于风场能够反映出地表和大气之间的水汽输送、大气环流和热量传递^[20],因此,风场的异常分布同样会对大气温度异常带来影响。为进一步分析中低层大气环流形势与云贵高原中部倒春寒天气的联系,结合云贵高原中部的海拔大多在1 800~3 500 m,下文对700 hPa风场及其水平涡度进行分析。

由特重级倒春寒年700 hPa风场合成及其水平涡度的空间分布(图5a)可知,在青藏高原东南部存在明显的异常气旋式环流中心(标红C为中心),而华北地区存在异常反气旋式环流(标蓝A为中心),同时存在明显的负涡度异常中心,此时云贵高原受异常气旋式环流东侧和反气旋式环流底后部的偏东

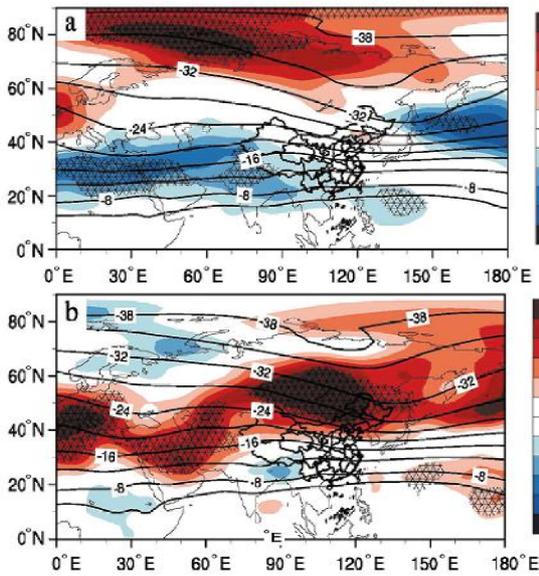


图4 特重级倒春寒年(a)和无倒春寒年(b)500 hPa温度场合成(等值线)及其距平(阴影)的空间分布(斜杠区域表示距平通过0.05的显著性*t*检验)

气流控制,从而将南海和东海的水汽源源不断的向云贵高原上空输送,两支气流在云贵高原上空产生辐合,造成云贵高原中部地区持续阴雨天气异常偏多,从而发生特重级倒春寒天气。

在无倒春寒年(图5b),700 hPa风场和水平涡度场在中高纬度的分布形势与特重级倒春寒年(图5a)相似,主要不同之处在于,无倒春寒年,中国北方地区存在的反气旋式环流(标蓝A为中心)更加强盛,其范围和强度远远超过特重级倒春寒,控制了整个青藏高原和云贵高原北部边缘,且环流中心存在更加强烈的负涡度异常,而云贵高原上空表现为强盛反气旋式环流底部的异常偏东风,且孟湾地区的负异常涡度中心有所偏南,造成孟湾和南海地区的水汽难以向云贵高原中部输送,不利于云贵高原中部阴雨天气的形成,最终导致倒春寒天气异常偏少。

3.2.4 假相当位温及纬向环流特征

在特重级倒春寒年(图6a),云贵高原中部以东地区的对流层低层存在318K的假相当位温低值中心,假相当位温负距平中心值超过了-4 K,表明云贵高原中东部假相当位温较常年显著偏低,而云贵高原中部以西地区的假相当位温较高,最大值超过了328 K,假相当位温正距平中心仅为2 K左右,表明云贵高原西部假相当位温较常年偏高,云贵之间的假相当位温梯度大,表明云贵高原上空锋区较强,准静止锋异常活跃。同时,云贵高原中东部上空受异

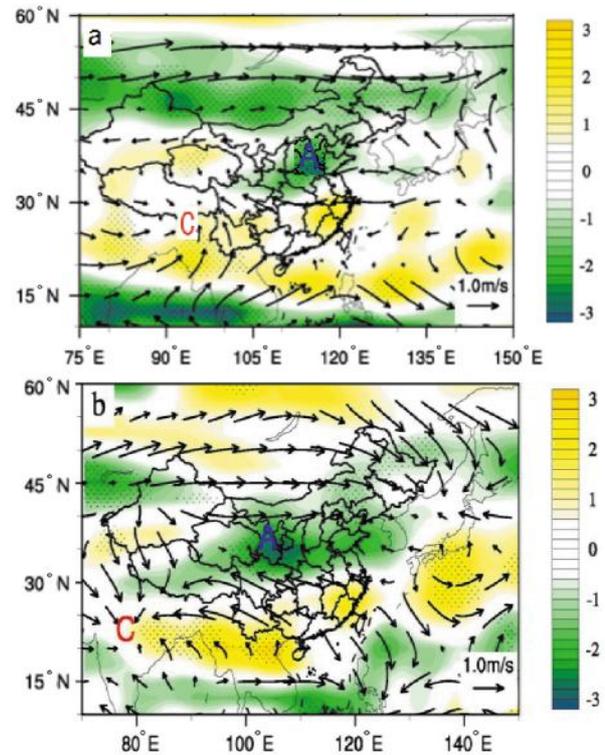


图5 特重级倒春寒年(a)和无倒春寒年(b)700 hPa风场合成(箭头,单位:m/s,A表示反气旋环流中心,C表示气旋式环流中心)及其水平涡度(阴影,单位: s^{-1})的空间分布(斜杠区域表示距平通过0.05的显著性*t*检验)

常反气旋式环流圈的影响,其中心位于贵州东部600 hPa附近,在其影响下,云贵高原中部近地面有较强的上升运动,从而有利于阴雨天气的发生。

而在无倒春寒年(图6b),云贵高原大部地区为假相当位温的正距平,其中心值为4 K,表明云贵高原中东部假相当位温均较常年偏高,高原西部假相当位温为324~328 K,东部假相当位温为326 K,表明云贵之间的假相当位温梯度较特重级倒春寒年偏小,准静止锋区偏弱。与此同时,云贵高原大部850~300 hPa受明显的反气旋式环流异常控制,云贵高原中部为此反气旋式环流异常的下沉气流控制,气温偏高,不利于倒春寒天气的发生。

综上所述,特重级倒春寒年的3月下旬—4月,云贵高原准静止锋锋区偏强,且中低层有明显的上升运动,有利于阴雨天气的发生。而无倒春寒年,云贵高原准静止锋锋区偏弱,且中低层为下沉运动,有利于温度的升高。

4 前期和同期海温分析

沈爱华等^[21]研究指出,12月一次年1月NIN03

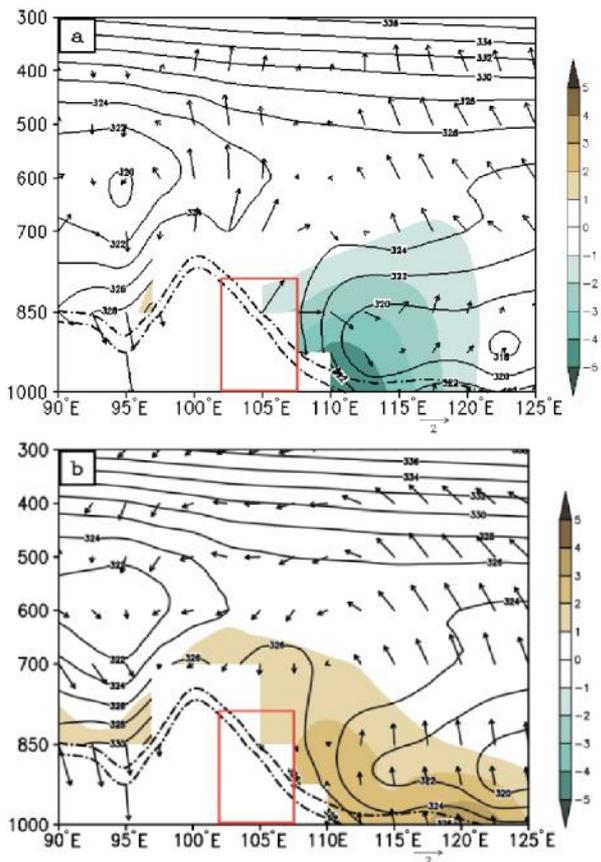


图6 特重级倒春寒年(a)和无倒春寒年(b)假相当位温(等值线,单位:K)沿 25°~29°N 平均合成及其距平(阴影)和纬向环流(箭头,单位:m/s)的垂直剖面(双虚线表示地形,红线框为云贵高原中部)

区海温高低变化对西南地区春季气温变化具有良好的预测指示性,它们之间存在着密切的正相关关系。为寻找倒春寒极端类型年的预报指标,分别对特重级倒春寒年和无倒春寒年的前期及同期海温做合成分析。

在特重级倒春寒年,前期夏季(图 7a)、前期秋季(图 7c)、前期冬季(图 7e)及同期春季(图 7g)太平洋东部地区均为海温正异常,其正距平中心均大于 0.5 °C;前期夏季(图 7a)、前期秋季(图 7c)海温正异常中心范围为 120°W 至南美西岸,前期冬季(图 7e)海温正异常中心西伸至 180°W 附近,同期春季(图 7g)海温正异常中心与前期冬季(图 7e)一致。Xu K 等^[22]分别通过对春季开始和夏季开始的厄尔尼诺事件观察,发现海温异常的热中心分别位于东太平洋和中太平洋。根据其热中心异常的位置,把厄尔尼诺事件划分为中部型厄尔尼诺事件和东部型厄尔尼诺事件。故得出,特重级倒春寒年,前期夏季、前期秋季、前期冬季、同期春季均为东部型厄尔尼诺现象,从前期秋季到前期冬季,太平洋东部温度正异常强烈发展,强盛的温度正异常持续到同期春季。因此,太平洋东部海温正异常变化对特重级倒春寒年的预报具有较好的指示作用。

由无倒春寒年前期(图 7b、7d、7f)和同期海温距平(图 7h)看出,太平洋中部均受温度正异常影响,主要集中在赤道附近,南美沿岸的海域上为温度

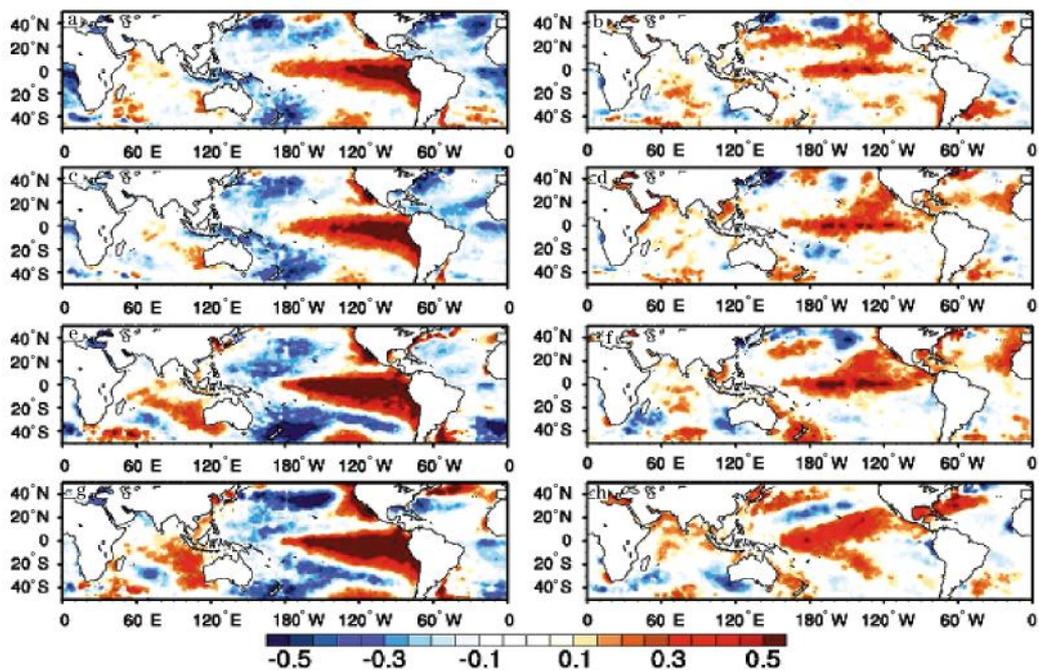


图7 特重级倒春寒年(a,c,e,g)和无倒春寒年(b,d,f,h)发生前期(a,b为夏季;c,d:秋季;e,f为冬季)和同期(g,h为春季)海温距平(阴影,单位:°C)合成

负异常影响。但前期夏季(图7b)太平洋中部温度正距平较弱,其距平中心值为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$;前期秋季(图7d)、冬季(图7f)的温度正距平范围扩大($180^{\circ}\text{E}, 100^{\circ}\text{W}$),其距平中心值为 $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以上;同期春季(图7h),海温正距平中心强度减弱为 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。由此可知,无倒春寒年,前期夏季、秋季、冬季和同期春季均为中部型厄尔尼诺现象,前期夏季、秋季、冬季温度正异常持续发展,但在同期春季赤道太平洋中部温度正距平纬向范围扩大,中心值减弱,并且在南美沿岸开始有温度负距平发展,表现出有东部型拉尼娜的迹象。因此,太平洋中部海温正距平由弱—强—弱的变化对无倒春寒年的预报具有指示意义。

5 结论与讨论

通过对1981—2021年云贵高原中部区域年度倒春寒标准化指数进行分析,得出其总体呈下降趋势,且在1996—2000年具有十分明显的突变($\alpha=0.01$),以1998年的突变最为显著,1998年之前为明显的上升趋势,1998年之后为明显的减弱趋势。特重级倒春寒年、重级倒春寒年基本发生在20世纪80年代、90年代,而轻级倒春寒年和无倒春寒年主要出现在21世纪。

为探索极端类型年份倒春寒天气的预报指标,对特重级及无倒春寒年份大气环流进行分析,发现两种极端类型年份大气环流具有明显的差异,甚至出现一些相反的特征。可以通过预报场的环流特征来对倒春寒天气过程进行预报。

(1)500 hPa位势高度上,特重级倒春寒年,西西伯利亚附近有较强的位势高度正距平。无倒春寒年,西西伯利亚附近为位势高度负距平。西西伯利亚地区高值系统活跃是发生特重级倒春寒的主要环境因子。

(2)500 hPa温度场上,特重级倒春寒年, 40°N 以南主要为温度负距平影响,中国西部地区冷空气活跃,从而导致低温天气的持续。在无倒春寒年,亚洲中高纬度地区存在大范围温度正距平,表明亚洲中高纬度温度偏高,高值系统活跃,使极地冷空气难以南下,从而不利于云贵高原中部出现倒春寒天气。

(3)700 hPa上,特重级倒春寒年,云贵高原受青藏高原异常气旋式环流东侧的偏东气流控制,有利于将南海和东海的水汽源源不断的向云贵高原上空输送,而云贵高原受华北异常反气旋式环流底部的偏东气流影响,两支气流在云贵高原上空产生辐合,造成云贵高原中部持续性阴雨天气异常偏多;云

贵高原中部存在较明显的准静止锋区,其近地面有较强的上升运动,有利于阴雨天气的产生。无倒春寒年,中国北方地区存在强盛的反气旋式环流中心,云贵高原上空受反气旋式环流底部的异常偏东气流的控制,且孟湾异常负涡度中心有所偏南,造成孟湾和南海的水汽难以向云贵高原中部输送,且云贵高原中部准静止锋区较弱,云贵高原中部为此反气旋式环流异常的下沉气流控制,气温偏高,不利于倒春寒天气的发生。

(4)海温场上,特重级倒春寒年,前期夏季、秋季、冬季与同期春季均为东部型厄尔尼诺现象,且前期秋季至前期冬季,东部型厄尔尼诺现象强烈发展,一直持续至同期春季,太平洋东部海温正异常变化对特重级倒春寒年的预报具有较好的指示作用;无倒春寒年,前期夏季、秋季、冬季及同期春季均为中部型厄尔尼诺现象,前期夏季至冬季中部型厄尔尼诺逐步发展,但在同期春季南美沿岸温度负距平发展,太平洋中部海温正距平由弱—强—弱的变化对无倒春寒年的预报具有指示意义。

1981—2021年云贵高原中部区域年度倒春寒标准化指数总体表现出减弱的趋势,且在1998年前后出现明显的突变,1998年后呈现出明显减弱的趋势,这是否意味着全球气候变暖背景下倒春寒呈减弱趋势,这有待进一步的研究。通过对海温距平的合成分析,特重级倒春寒年,前期夏季、秋季、冬季及同期春季海温分布均为东部型厄尔尼诺现象,且呈现出逐步增强的趋势;无倒春寒年的前期夏季、秋季、冬季和同期春季均为中部型厄尔尼诺现象,不同种类的厄尔尼诺事件之间可能有着深刻的内在联系^[23],当厄尔尼诺强度变化、两类型厄尔尼诺现象相互转化时,又出现哪种强度的倒春寒天气?在今后的天气气候预测预报工作中将作进一步的研究。

参考文献:

- [1] A C Moon, L Ercolil, Mariottim, et al. Climate change in Italy indicated by agrometeorological indices over 122 years [J]. Agricultural and Forest Meteorology, 2002, 111(1): 13–27.
- [2] 李海花, 张云惠, 张萌, 等. 2018年春季中天山北坡两场强降雪分析[J]. 沙漠与绿洲气象, 2020, 14(3): 28–35.
- [3] 池再香, 龙先菊, 杨桂兰, 等. 黔东南州生态气候条件对两优527超级稻产量的影响[J]. 中国农业气象, 2009, 30(2): 219–222.
- [4] 池再香, 罗培富, 孙翔, 等. 低温天气过程对贵州西部红心猕猴桃坐果率的影响调查[J]. 中国农业气象, 2020, 41(12): 807–813.

- [5] HUANG Tianfu, CHI Zaixiang, TIAN Yue, et al. The effect of low temperature and high temperature on flowering and pollination of red cartridge kiwifruit in western Guizhou in early spring of 2021 [J]. *Meteorological and Environmental Research*. 2021, 12(3): 89-93.
- [6] 李勇, 杨晓光, 代妹玮, 等. 气候变化背景下贵州省倒春寒灾害时空演变特征[J]. *应用生态学报*, 2010, 21(8): 2099-2108.
- [7] 徐玮平, 孟祥新, 顾伟宗, 等. 山东春季极端低温与前冬北大西洋海温的关系[J]. *干旱气象*, 2022, 40(2): 202-211.
- [8] 张恒德, 高守亭, 刘毅. 极涡研究进展[J]. *高原气象*, 2008, 27(2): 452-461.
- [9] 范兰, 吕昌河, 杨彪, 等. 近 15 a 中国气温变化趋势分析[J]. *沙漠与绿洲气象*, 2014, 8(5): 34-38.
- [10] 段旭, 严华生, 董谢琼. 云南 8 月气温与春季气温场的典型相关分析[J]. *高原气象*, 1999, 18(2): 192-198.
- [11] 尤红, 周泓, 白学文, 等. 2011 年 3 月云南连续两次强倒春寒天气过程对比分析[J]. *暴雨灾害*, 2013, 32(2): 167-175.
- [12] 袁淑杰, 谷晓平, 廖启龙, 等. 贵州高原复杂地形下月平均日最低气温分布式模拟研究[J]. *高原气象*, 2010, 29(2): 384-391.
- [13] 武文辉, 许炳南. 贵州倒春寒短期气候预测信号和预测模型研究[J]. *贵州气象*, 2002, 26(2): 11-13.
- [14] 张云瑾, 戴卫帮, 程建刚. 云南省倒春寒灾害性天气的研究[J]. *云南地理环境研究*, 2007, 19(3): 15-17.
- [15] 张加云, 吉文娟, 刘芴今. 2011 年 3 月云南倒春寒过程及其对烤烟影响评估 [J]. *云南地理环境研究*, 2012, 24(1): 25-29.
- [16] 尤红, 曹中和, 郭文华, 等. 昆明静止锋下的云南强倒春寒天气分析[J]. *气象*, 2006, 32(3): 56-62.
- [17] 李玉柱, 许炳南. 贵州短期气候预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 2001: 4-5.
- [18] 徐炳南. 贵州气候灾害的划分标准[J]. *贵州气象*, 1999, 23(3): 42-47.
- [19] 张世轩, 张璐, 孙树鹏, 等. 全球变暖情况下中国季节的变化[J]. *高原气象*, 2011, 30(3): 659-667.
- [20] KOUSARI M R, AHANI H. An investigation of near surface wind speed trends in arid and semiarid regions of Iran [J]. *Theoretical Applied Climatology*. 2013, 114(1): 153-168.
- [21] 沈爱华, 任广成, 徐明, 等. 中国西南地区春季异常冷暖气候的相关分析及统计预测[J]. *高原气象*, 2009, 28(2): 425-432.
- [22] XU K, ZHU C W, HE J H. Linkage between the dominant modes in Pacific subsurface ocean temperature and the two type ENSO events [J]. *Chinese Science Bulletin*. 2012, 57(26): 3491-3496.
- [23] 周一博, 方明强. 对厄尔尼诺事件分类结果不一致原因的初步分析[J]. *中国海洋大报*, 2018, 48(8): 152-162.

Characteristics of Late Spring Cold and Atmospheric Environment with Extreme Types in the Central of Yunnan–Guizhou Plateau

XIAO Yanlin¹, CHI Zaixiang², XIA Yang¹, YAN Rui¹, SUN Xiang¹, MAO Chunxu¹, CHEN Jinmei¹

1.Meteorological Bureau of Liupanshui Prefecture, Liupanshui 553000, China;

2.Guizhou Institute of Mountainous Environment and Climate, Guiyang 550002, China)

Abstract Based on the data of 45 conventional daily average temperature data, and reanalysis data ($2.5^\circ \times 2.5^\circ$) in the central of Yunnan–Guizhou Plateau from 1981 to 2021, using the calculation and classification of late spring cold index, composite analysis and so on, we analyzed the interannual and interdecadal variation characteristics of cold late spring in the central Yunnan–Guizhou Plateau, selected the extremely heavy grade and non–grade late of spring cold years as extreme types, then made contrastive analysis of the circulation characteristics. In order to explore forecast indicators Results showed, (1) the regional annual standardization index of late Spring cold in the central of Yunnan–Guizhou Plateau showed a downward trend from 1981 to 2021, and it had a very obvious mutation of late spring cold index in the central of Yunnan–Guizhou Plateau around 1998 ($\alpha=0.01$). The extremely heavy grade and heavy grade of late spring cold years basically occurred in the 1980s and 1990s. The light grade and no grade late spring cold years were mainly occurred in the 21st. (2) The polar vortex was above–normal on 500 hPa in extremely heavy grade years. It presented that an abnormal circulation pattern with high in the west and low in the east. It was helpful for increasing the circulation radial degree in East Asia. The temperature in the south of 50°N was basically negative anomaly distribution, indicating that the cold air activity was extremely active, resulting in a strong quasi–static front on the ground. At the same time, it was controlled by the easterly airflow at the east side of the anomalous cyclonic circulation on Yunnan–Guizhou Plateau at 700 hPa, and it converged with the easterly airflow at the bottom of the anomalous anti–cyclonic circulation in North China over the Yunnan–Guizhou Plateau, it was helpful for transferring water vapor from the South China Sea and the East China Sea to the Yunnan–Guizhou Plateau, thus facilitating the formation of low temperature and precipitation weather. While in the year of non–grade late spring cold years, the above situation was opposite. (3) It was all the eastern type of El Nino phenomenon in the early summer, autumn, winter and the same period of spring in the extremely heavy grade late spring cold year, while it was all the central type of El Nino phenomenon in the early summer, autumn, winter and the same period of spring in the non–grade late spring cold year.

Key words standardized index of late spring cold; extreme type; Yunnan–Guizhou quasi–stationary front; circulation; sea surface temperature