

文章编号: 2096-1618(2022)03-0318-07

三江源冬季降雪时空特征及成因分析

毕瑞君, 程志刚

(成都信息工程大学大气科学学院 高原大气与环境四川省重点实验室, 四川 成都 610225)

摘要:为研究三江源冬季降雪时空分布特征及形成机制,基于美国国家环境预测中心和美国国家大气研究中心提供的大气环流再分析资料及国家气候中心提供的 1987–2016 年三江源 18 个国家站逐日降水、平均温度资料,通过 EOF 分析、小波分析、合成分析等方法对三江源冬季降雪进行研究,发现北极涛动、东亚冬季风、南支槽对三江源冬季降雪有影响。研究表明,三江源冬季降雪空间分布表现为“东强西弱”的特征,冬季降雪整体呈减弱趋势;多雪年冷暖气流在三江源地区相汇,少雪年三江源地区被偏北气流控制;当北极涛动为正(负)位相、东亚冬季风减弱(增强)、南支槽加深(减弱)都有(不)利于三江源降雪增加。

关键词:大气科学;气候变化;三江源;冬季降雪;时空特征;环流背景

中图分类号:P467

文献标志码:A

doi:10.16836/j.cnki.jcui.2022.03.012

0 引言

降雪是冬季降水的主要形式,在高纬度、高海拔地区易形成积雪。积雪具有高反照率、低热导率的特点,对气候变化有重要的指示意义,在全球能量平衡和水分循环有着重要的作用^[1-2]。积雪作为冰冻圈中最敏感的要素,其变化对中国经济建设和人们生产生活影响更广泛和直接^[3]。近几十年来,大量学者对中国不同区域降雪和积雪演变特征、形成机理等开展了研究。李培基^[4]指出雪储量的波动是全球海气异常的结果,多雪季节的出现与厄尔尼诺–南方涛动的出现同步,而雪储量的正、负距平时期则分别对应中国农田受旱面积两个明显的高低值时期。梁潇云等^[5]指出春冬季的雪灾是青藏高原东部牧区重要的灾害天气,北脊南槽型、乌山脊型、阶梯槽型、国境槽型是造成高原东部牧区降雪的四类主要环流型。马林等^[6]详细分析了青藏高原东部牧区 1967–1996 年冬季发生的成灾性降雪天气过程后发现,北冰洋低压槽、贝加尔湖低压、东亚大槽和南支槽等欧亚大型天气系统活动对高原冬季降雪天气形势形成具有显著影响。周倩等^[7]对 2008 年 10 月青藏高原东部地区区域暴雪过程进行分析,结果表明:此次区域暴雪过程属于西太平洋副热带高压型,来自孟加拉湾的热带风暴登陆北上为暴雪提供了充沛的水汽。

三江源位于青藏高原东部,是黄河、长江、澜沧江的发源地,也是世界高海拔区生物多样性最丰富最集中的地区,有“中华水塔”和“高原生物基因库”之

称^[8-9]。侯文菊等^[10]用气候诊断方法分析了该地区冬季积雪温度、降水的基本特征,研究表明 20 世纪 60–90 年代冬季三江源地区中雪、大雪及雪灾出现的站次呈增加趋势。王玉娟等^[11]分析了冬半年降水及极端降雪指数的时空变化特征,认为三江源地区冬半年降水呈显著增加趋势,极端降雪阈值为 2.6~7.8 mm,频数为 1.6~3.8 d,呈现自西北向东南增大(多)的特征。孟宪红等^[12]指出三江源近 60 a 南部积雪日数呈显著增加趋势,黄河源区整体上呈现积雪初日推迟、终日提前、积雪期缩短和积雪日数减少趋势。而唐红玉等^[13]研究表明近 50 a 来三江源地区年降水量、降水日数均呈减少趋势,其减少幅度分别达 6.73 mm/10 a、2.7 d/10 a。由此可见,前人对三江源地区降水演变特征、积雪时空分布等开展了大量研究,但对于冬季降雪的大气环流背景及成因分析研究较少。鉴于此,本文以台站观测资料为基础,重点关注三江源冬季降雪时空演变特征及特征年份的环流背景差异,探讨降雪形成原因及其初步机理,以期加深对三江源冬季降雪的认识。

1 资料与方法

研究区域位于青海省南部 31°39'N~36°12'N, 89°45'E~102°23'E,海拔 3500~4800 m。采用资料为国家气候中心提供的 18 个三江源地区气象台站(图 1)1987–2016 年逐日降水和平均气温资料以及由美国国家环境中心(NCEP)、美国国家大气研究中心(NCAR)提供的分辨率为 2.5°×2.5°大气环流再分析资料。冬季指前一年的 12 月至当年的 2 月,分析时段

$$P_{\varsigma} = f \times P$$

为探讨三江源冬季降雪的时空变化特征,用经验正交函数方法(EOF)对1987-2016年三江源地区18个国家站冬季降雪量距平场进行分析。第一模态的方差贡献率为48.15%,第二模态方差贡献率为10.44%,第一模态和第二模态的累计方差贡献率达到了58.59%,占总方差的一半以上,基本上可以反应出三江源冬季降雪空间变化的主要特征。由图5(a)可见,三江源冬季降雪的第一模态的空间分布型表现出整体一致的异常分布特征,以东部尤为显著,其对应的时间系数图5(c)具有一定的年代际变化特征,近30 a表现出下降的趋势,与三江源冬季降雪的下降趋势关系较好,在2008年整体一致偏多的特征最显著,2010年整体一致偏少的特征最为显著。由图5(b)可见第二模态的空间分布型表现出“东西反相”的异常分布特征,三江源主体西部以负位相为主,东部以正位相为主,其

对应的时间系数图 5 (d) 表现出更多的年际变化特征, 同样表现出减小的趋势, 说明这种“东西反相”变化的

经向对比特征在减弱, 但并不显著。

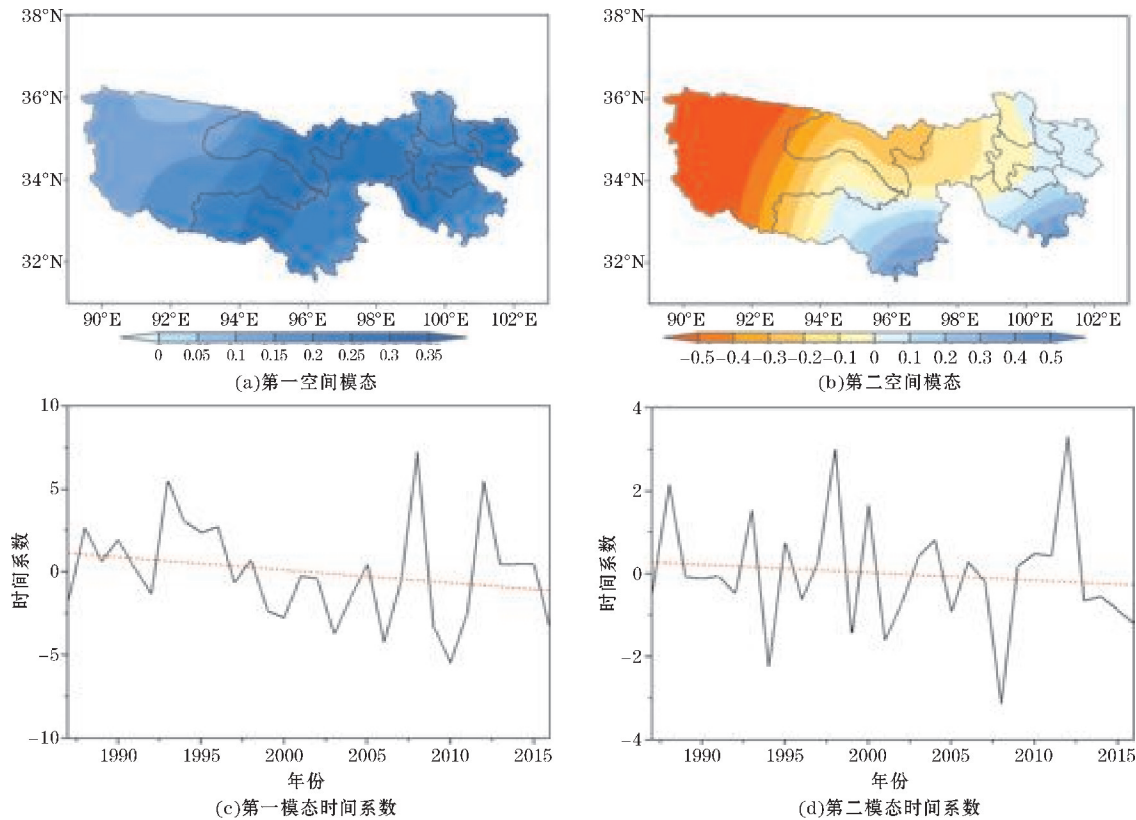


图 5 三江源冬季降雪 EOF 特征

3 三江源多、少雪年环流背景

3.1 500 hPa 风场合成分析

从三江源地区冬季多雪年 500 hPa 风场距平分布 (图 6a) 可以看出, 中亚存在异常的气旋性环流, 将阿拉伯海和印度洋的暖湿气流输送到高原南侧, 沿着青藏高原南侧暖湿气流进入三江源地区, 同时西太平洋副热带高压将东南暖湿气流输送到三江源地区。青藏高原上有一明显的高原低涡存在, 三江源地区位于高

原低涡前部, 低涡前部的上升运动有利于三江源降雪的发生及维持。而在高纬地区, 存在异常的反气旋性环流, 引导高纬冷空气向南输送, 冷暖气流在三江源地区相汇, 三江源地区形成明显的气旋性切变, 导致三江源地区多雪年降雪异常。图 6 (b) 是三江源地区冬季少雪年 500 hPa 风场分布特征, 中亚异常的气旋性环流较少雪年弱且位置偏北, 阿拉伯海和印度洋的暖湿气流难以输送到三江源地区。贝加尔湖附近有异常的气旋性环流, 将北方的冷空气带到三江源, 三江源地区整体被偏北气流控制, 冷暖气流在三江源南部汇合, 使三江源地区少雪年降雪偏少。

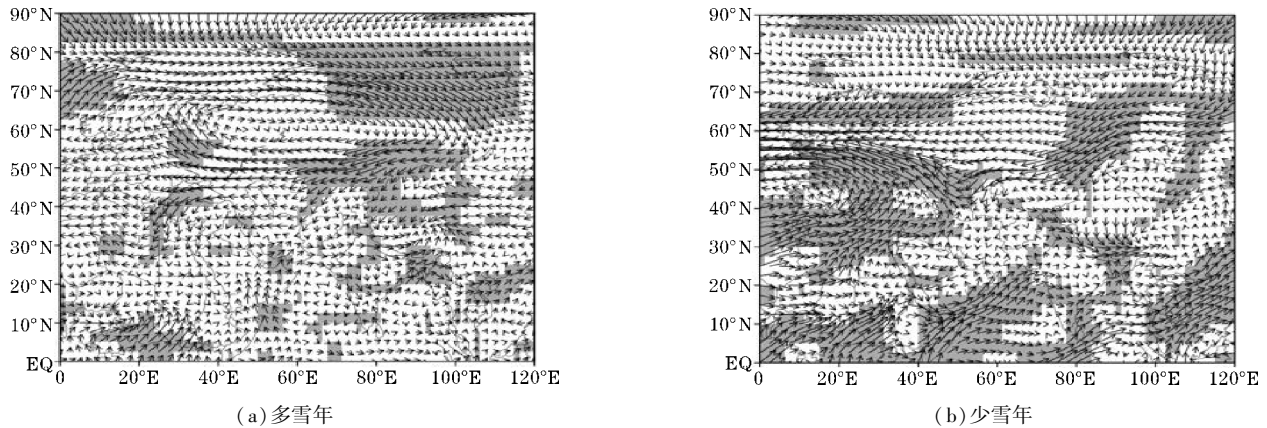
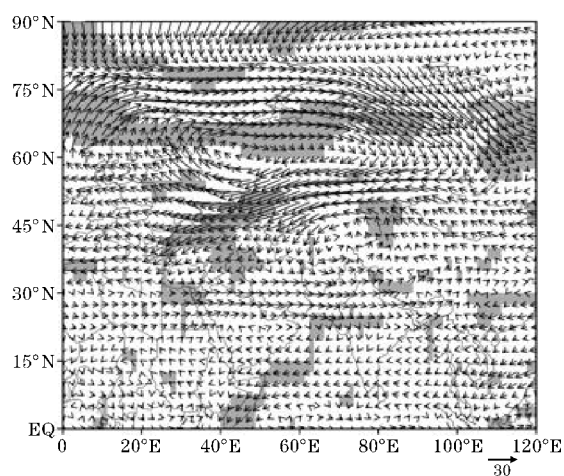


图 6 500 hPa 风场距平合成特征

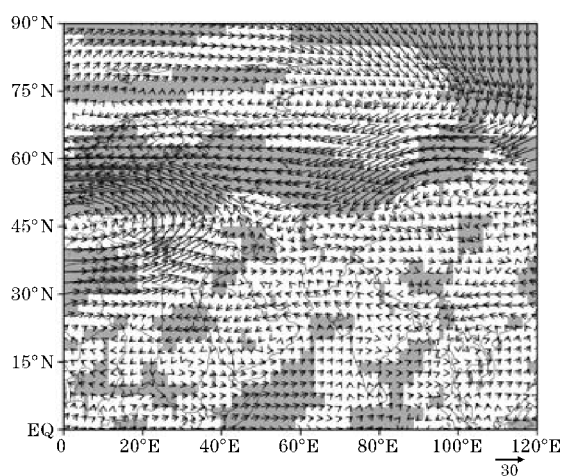
3.2 水汽通量合成分析

多雪年水汽通量距平合成分析显示(图7a),乌拉尔山地区为异常的反气旋环流,中亚上空有异常的气旋性环流,将阿拉伯海上水汽向东输送到三江源地区,印度洋和孟加拉湾水汽向北输送,从高原南面进入三江源,东边有太平洋的水汽向三江源输送,使水汽在三江源堆积,为三江源降雪提供了充足的水汽条件。图

7(b)是少雪年水汽通量距平合成,乌拉尔山有异常的反气旋环流,贝加尔湖有异常的气旋性环流,将北方少量的水汽向三江源输送。地中海上空存在异常的气旋性环流,将水汽向东输送到三江源北部,东部西太平洋将水汽输送到三江源南部,但南边印度洋、孟加拉湾水汽很难到达三江源地区,在三江源地区也没有明显的水汽堆积存在,不利于三江源降雪发生。



(a)多雪年



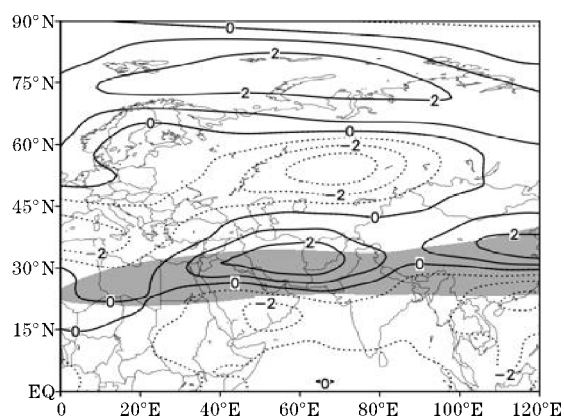
(b)少雪年

图7 垂直积分(300~1000 hPa)水汽通量距平合成特征

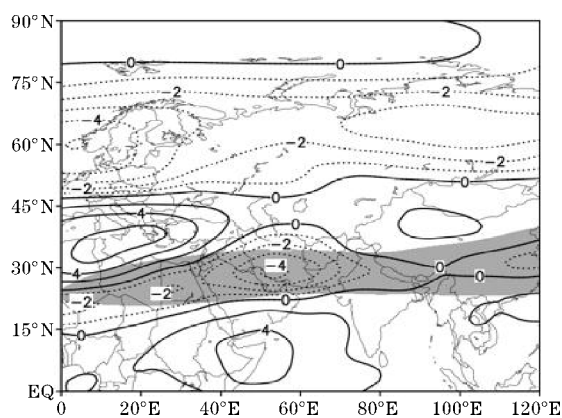
3.3 200 hPa 纬向风合成分析

在多雪年(图8a),200 hPa 纬向风在极地和在中纬度地区表现为正距平,而中高纬和低纬地区则为负距

平。少雪年(图8b),200 hPa 纬向风在极地及高纬地区表现为显著的负异常,在中纬度地区呈现“北正南负”的异常分布特征,低纬地区为显著的正距平。



(a)多雪年



(b)少雪年

图8 200 hPa 纬向风距平合成特征

4 三江源多、少雪年成因初探

为探讨三江源多、少雪年形成原因,进一步分析了500 hPa高度场、北极涛动、东亚冬季风、南支槽与降雪相关关系。500 hPa高度场距平合成分析显示,多雪年(图9a),北极地区为负距平,欧亚大陆中高纬地区为显著的正距平,乌拉尔山位于正距平中心,中亚地区呈现负异常,中低纬地区的阿拉伯海、印度洋、孟加拉湾到青藏高原南侧为高度场负距平;少雪年(图9b),北极地

区、欧亚中高纬地区、阿拉伯海、印度洋、孟加拉湾等为正距平,地中海附近及东亚地区是显著的负距平,其中乌拉尔是正距平大值区,向东至贝加尔湖距平减小,中亚上空是正异常的大值区。500 hPa高度场与三江源冬季降雪相关分析表明(图10a),在极地地区、中亚地区、低纬地区,500 hPa高度场与三江源冬季降雪呈负相关,当这些地区500 hPa高度场降低时,三江源地区的降雪增加。反之亦然。而在地中海附近以及东亚地区,500 hPa高度场与三江源冬季降雪呈现出正相关,即该区域500 hPa高度场升高时三江源地区降雪增加,反之

亦然。图 10(b) 是 500 hPa 高度场与北极涛动相关分析, 在极地和中低纬地区为显著负相关, 地中海附近以及东亚地区为显著正相关。当北极涛动是正位相时, 东亚地区 500 hPa 位势高度升高, 有利于三江源冬季降雪。当北极涛动是负位相时, 东亚地区 500 hPa 位势高度降低, 三江源冬季降雪减少。图 11(a) 给出了东亚大槽位置指数与三江源冬季降雪的相关性, 两者相关系数为 0.38, 通过了 95% 的显著性检验。反映出当东亚大槽偏东时, 东亚冬季风减弱, 东亚中高纬地区为纬向气流, 冷空气路径偏东, 有利于三江源地区降雪。当东亚大槽偏西时, 东亚冬季风增强, 东亚中高纬地区以经向环流为

主, 冷空气路径偏西, 不利于三江源地区冬季降雪。图 11(b) 表征了印缅槽强度指数与三江源冬季降雪相关性, 两者相关系数为 -0.34, 通过了 95% 的显著性检验。印缅槽强度指数越强代表南支槽越弱, 反之, 印缅槽强度指数越弱代表南支槽越强。在多雪年南支槽活动区域内, 500 hPa 高度场位势高度较平均年份偏低, 因此多雪年南支槽加深, 可以将印度洋、孟加拉湾更多的水汽向三江源地区输送, 导致了三江源冬季降雪的偏多。在少雪年南支槽活动区域内, 500 hPa 高度场位势高度较平均年份偏高, 因此多雪年南支槽减弱, 导致印度洋、孟加拉湾水汽难以到达三江源地区, 三江源降雪偏少。

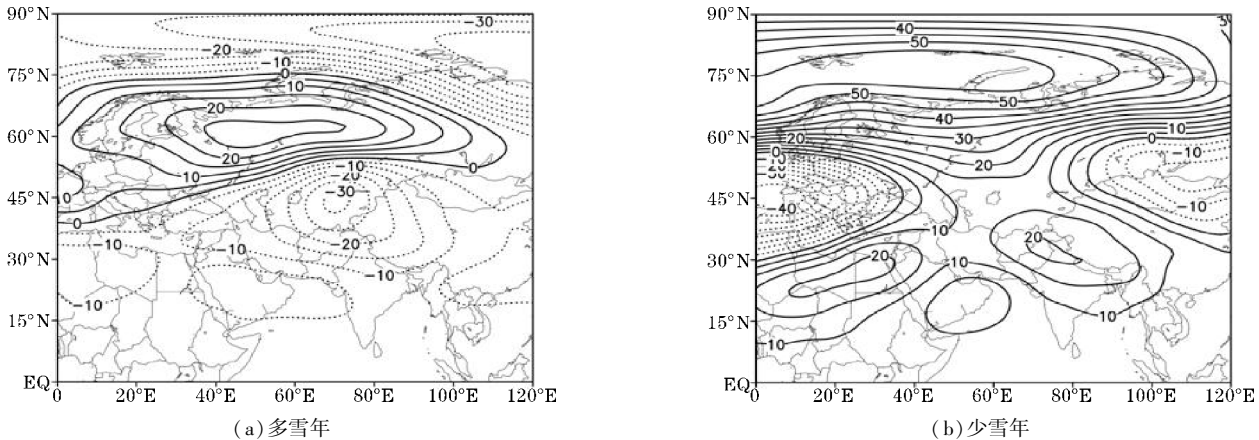


图9 500 hPa 高度场距平合成特征

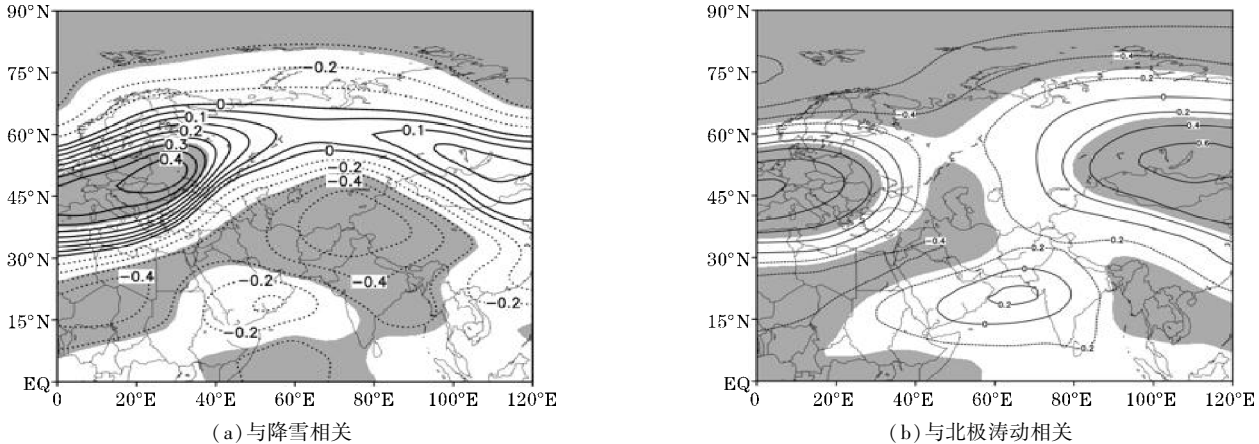
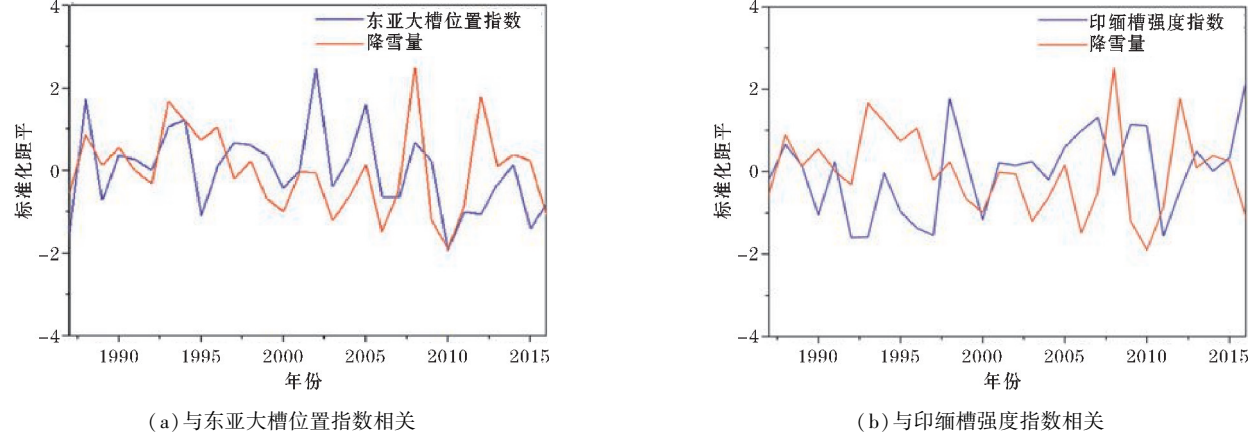


图10 500 hPa 高度场与降雪、北极涛动相关



(a) 与东亚大槽位置指数相关 (b) 与印缅槽强度指数相关

图11 冬季降雪量与东亚大槽位置指数、印缅槽强度指数相关

5 结论与讨论

为分析三江源地区降雪时空演变特征,探讨其成因,以台站观测数据为基础,结合再分析资料,探讨了1987–2016年三江源地区冬季降雪特征、环流背景及形成机理,得出如下结论:

(1)1987–2016三江源地区冬季降雪表现为“东强西弱”的特征,最大值位于东南部的久治,最小值位于西部的沱沱河;三江源冬季降雪整体呈下降趋势,最大值出现在2008年,最小值出现在2010年。

(2)三江源冬季降雪的第一模态的空间分布型表现出整体一致的异常分布特征,以东部尤为显著,其对应的时间系数具有一定的年代际变化特征,近30 a表现出下降的趋势,与三江源冬季降雪的下降趋势关系较好,在2008年整体一致偏多的特征最显著,2010年整体一致偏少的特征最显著。第二模态的空间分布型表现出“东西反相”的异常分布特征,三江源主体西部以负位相为主,东部以正位相为主,其对应的时间系数表现出更多的年际变化特征,同样表现出减小的趋势,说明这种“东西反相”变化的经向对比特征在减弱,但并不显著。

(3)500 hPa风场合成分析显示,多雪年冷暖气流在三江源地区相汇,而少雪年,三江源地区被偏北气流控制,冷暖气流在三江源南部相汇;水汽通量合成分析表明,多雪年有来自印度洋的水汽输送到三江源地区,并且在三江源地区有水汽辐合,而在少雪年几乎没有来自南方的水汽输送到三江源地区。在多雪年200 hPa纬向风在极地和低纬度地区表现为正距平,而中高纬和低纬地区则为负距平。在少雪年200 hPa纬向风在极地和低纬地区表现为显著的负异常,在中纬度地区呈现出“北正南负”的异常分布特征,低纬地区为显著的正距平。

(4)分析造成三江源多、少雪年的成因,发现北极涛动、东亚冬季风、南支槽对三江源降雪多少有影响。当北极涛动为正位相、东亚冬季风减弱、南支槽加深都有利于三江源地区降雪增加。当北极涛动为负位相、东亚冬季风加强、南支槽减弱都不利于三江源地区降雪。

参考文献:

- [1] 丁永建, 效存德. 冰冻圈变化及其影响研究的主要科学问题概论[J]. 地球科学进展, 2013, 28(10): 1067–1076.
- [2] 秦大河, 周波涛, 效存德. 冰冻圈变化及其对中国气候的影响[J]. 气象学报, 2014, 72(5): 869–879.
- [3] 秦大河, 效存德, 丁永建, 等. 国际冰冻圈研究动态和我国冰冻圈研究的现状与展望[J]. 应用气象学报, 2006(6): 649–656.
- [4] 李培基. 中国季节积雪资源的初步评价[J]. 地理学报, 1988(2): 108–119.
- [5] 梁潇云, 钱正安, 李万元. 青藏高原东部牧区雪灾的环流型及水汽场分析[J]. 高原气象, 2002(4): 359–367.
- [6] 马林, 李锡福, 张青梅, 等. 青藏高原东部牧区冬季雪灾天气的形成及其预报[J]. 高原气象, 2001(3): 325–331.
- [7] 周倩, 程一帆, 周甘霖, 等. 2008年10月青藏高原东部一次区域暴雪过程及气候背景分析[J]. 高原气象, 2011, 30(1): 22–29.
- [8] 董锁成, 周长进, 王海英. “三江源”地区主要生态环境问题与对策[J]. 自然资源学报, 2002(6): 713–720.
- [9] 王堃, 洪绂曾, 宗锦耀. “三江源”地区草地资源现状及持续利用途径[J]. 草地学报, 2005(S1): 28–31.
- [10] 侯文菊, 铁顺富, 张世珍. “三江源”地区冬季积雪及气温降水的变化特征[J]. 青海科技, 2010, 17(1): 60–66.
- [11] 王玉娟, 刘晓燕, 白爱娟, 等. 1961–2017年三江源地区极端降雪指数变化特征分析[J]. 气象与环境学报, 2018, 34(6): 108–115.
- [12] 孟宪红, 陈昊, 李照国, 等. 三江源区气候变化及其环境影响研究综述[J]. 高原气象, 2020, 39(6): 1133–1143.
- [13] 唐红玉, 杨小丹, 王希娟, 等. 三江源地区近50年降水变化分析[J]. 高原气象, 2007(1): 47–54.
- [14] Wen L, Naqabhata N, Shihua L, et al. Impact of Rain Snow Threshold Temperature on Snow Depth Simulation in Land Surface and Regional Atmospheric Models[J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2013, 30(5): 1449–1460.
- [15] 王澄海, 李燕, 王艺. 北半球大气环流及其冬季风的年代际变化对青藏高原冬季降雪的影响

[J]. 气候与环境研究,2015,20(4):421-432.

雪年土壤冻融过程及其水热分布对比分析

[16] 边晴云,吕世华,文莉娟,等. 黄河源区不同降

[J]. 干旱区研究,2017,34(4):906-911.

The Snowfall Characteristics and Cause of Formation in Winter of
Three-River Headwaters Region

BI Ruijun, CHENG Zhigang

(College of Atmospheric Sciences/Plateau Atmosphere and Environment Key Laboratory of Sichuan Province , Chengdu University of In-
formation Technology , Chengdu 610225 , China)

Abstract: In order to study the temporal and spatial distribution characteristics and formation mechanism of winter snowfall in the Three-River Headwaters Region, this paper is based on the atmospheric circulation reanalysis data, provided by NCEP and NCAR, and the daily precipitation and temperature data of 18 national stations in Three-River Headwaters Region from 1987 to 2016, provided by the National Climate Center. Through EOF analysis, wavelet analysis, synthesis analysis and other methods, we study the winter snowfall of Three-River Headwaters Region, and we find Arctic Oscillation, East Asian Winter Monsoon and trough in the South Branch have influence for winter snowfall of Three-River Headwaters Region. The results show that the spatial distribution of winter snowfall in Three-River Headwaters Region is strong in the east and weak in the west, and the overall winter snowfall shows a weakening trend. Cold and warm air flow converges in the Three-River Headwaters Region in snowy years, it is controlled by northerly airflow in the year of less snow. When the Arctic oscillation is in a positive phase, the East Asian Winter Monsoon weakens and Trough in the South Branch deepens, the snowfall of Three-River Headwaters Region will increase. When the Arctic oscillation is in negative phase, the East Asian Winter Monsoon strengthens and Trough in the South Branch weakens, it is not conducive to snowfall in Three-River Headwaters Region.

Keywords: atmospheric science; climate change; Three-River Headwaters Region; snowfall in winter; spatiotemporal characteristics; circulation background