

近30年青藏高原降雪量的时空变化特征研究

郑 铎, 孙嘉敏, 施红霞

成都信息工程大学大气科学学院, 四川 成都

收稿日期: 2021年10月26日; 录用日期: 2021年11月22日; 发布日期: 2021年11月29日

摘 要

本文基于青藏高原(下称高原) 86个气象台站的1986至2016年的气温、降水、湿度、气压等日资料, 运用湿球温度阈值法从降水中分离出降雪, 进一步对近30年高原降雪量的时空变化特征进行了分析。结果表明: 1) 高原降雪量呈现出双峰型的特征, 分别出现在春季3月和秋季10月。从季节上看, 降雪量表现为春季最大, 夏季最小; 2) 高原的降雪量存在显著的空间分布差异性。多雪区集中在唐古拉山东段、喜马拉雅山南部、巴颜喀拉山、川西高原西北部及青藏高原的东南部; 少雪区主要在柴达木盆地、川西高原东部和藏南谷地; 3) 从空间趋势来看, 高原大部分地区降雪量都呈现出减少的趋势, 尤其在春季, 降雪量减少的强度和范围都要大于秋、冬两季; 4) 从年际变化来看, 高原降雪呈现出减少的趋势, 其中春季降雪减少最快, 速率达 $-0.52 \text{ mm}/10\text{a}$, 冬、秋两季次之。总的来看, 近30年来高原大部分地区降雪都呈现出减少的趋势, 且在春季减少最为明显, 这可能与高原春季显著的增温有关。

关键词

青藏高原, 湿球温度阈值法, 降雪量

Study on the Temporal and Spatial Characteristics of Snowfall Amount over the Tibetan Plateau in the Recent 30 Years

Hua Zheng, Jiamin Sun, Hongxia Shi

School of Atmospheric Sciences, Chengdu University of Information Technology, Chengdu Sichuan

Received: Oct. 26th, 2021; accepted: Nov. 22nd, 2021; published: Nov. 29th, 2021

Abstract

Based on the daily datasets of temperature, precipitation, pressure, humidity during 1986~2016 from 86 meteorological stations on the Tibetan Plateau (TP), the daily snowfall data is isolated from precipitation using the wet bulb temperature threshold method, and further, the temporal and spatial variation characteristics of snowfall amount over the TP over the past 30 years are analyzed. The results show that: 1) Snowfall amount over the TP has two peaks, which occur in March in spring and October in autumn, and the snowfall amount has a maximum in spring and a minimum in summer; 2) The spatial distribution of snowfall amount over the TP varies significantly. Snowfall is mainly concentrated in the eastern part of the Tanggula Mountains, the southern Himalayas, the BaYanKaLa Mountains, the northwestern Sichuan Plateau and the southeastern part of the TP, while there is less snowfall in the Tsaidam Basin, the eastern part of the Sichuan Plateau and the southern valley of Tibet; 3) From the spatial distribution, snowfall amount displays a decreasing trend in most parts of TP, especially in spring, the strength and range of snowfall amount with decreasing trend is larger than that in autumn and winter; 4) The annual variation shows that snowfall amount explains a declined trend, which is most obvious in spring, the rate is about -0.52 mm/10a. In general, there is a decreasing trend in most regions of TP in the recent 30 years, especially in spring, which is mainly related to the significant warming in spring over the TP.

Keywords

Tibetan Plateau, Wet Sphere Temperature Threshold Method, Snowfall Amount

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

青藏高原(下称高原)平均海拔 4000 m 以上, 被称为第三极, 素有“世界屋脊”之称。高原是全球气候变化最敏感的区域, 被称为是气候变化的启动区[1], 且对全球气候变化的反馈也具有一定的“前瞻性”[2]。高原特殊的地理环境和气候条件, 使得高原成为北半球积雪覆盖范围最广的区域, 最大积雪覆盖率可达高原面积的 79% [3]。由于积雪较高的反射率和较低的传导率, 使得积雪对全球辐射平衡、能量平衡有着重要的作用[4], 而高原积雪得以存在和维持的主要物质基础是降雪。降雪的变化不仅会影响到地气间的能量交换和水循环, 还会影响到高原当地及周边地区水资源及径流量的变化[5], 与人们的生产和生活息息相关。因此, 在气候变暖的背景下, 作为北半球中纬度地区海拔最高且积雪覆盖最大的地区, 高原也发生着显著而又独特的变化[6]。高原降雪对气候变化的响应倍受国内外科学家的关注。

降雪作为固态降水最重要的组成部分, 是寒冷季节山区主要的水文过程。由于对温度和降水较高的敏感性, 降雪被认为是气候变化的指示器。Deng *et al.* [7]运用 71 个台站研究高原降雪的变化, 认为高原降雪的空间差异性较大, 高原东部和东北部降雪减少, 而在高原中心和西部高海拔的地区降雪是增加的, 从季节变化来看, 冬季降雪是增加的, 而夏季降雪是减少的。孙秀忠等[8]研究表明青藏高原降雪呈少-多-少的变化特征, 20 世纪 60 年代是少雪时期, 70 年代到 90 年代是多雪时期, 1998 年开始降雪明显减少。蒋文轩[9]的研究发现 1971~2011 年冬季高原降雪呈现处以 30°N 为界存在南北反相的变化趋势即

北部降雪有所增加而南部减少的空间分布特征。Wang *et al.* [10]的研究表明 1961~2013 年高原降雪量呈现出减少的趋势，而且降雪量的倾向率随海拔的升高而降低。柳媛普等[11]基于 CMIP5 的模式结果研究表明在过去 155 年(1850~2004)高原降雪量呈现波动略有减少的趋势。Shi and Wang [12]基于 CMIP5 多模式集合的结果表明高原降雪也呈现出减少的趋势，而且 5 月份以前雪水当量的减少和降雪量的减少是有关的。可见，在气候变暖的背景下，高原降雪已呈现出显著的响应。

由于高原大部分气象台站都分布在东南部，西部台站较少。因此本研究在选取台站数较多，序列时间段较长的基础上对高原地区的降雪的时空变化特征进行了深入研究。这将对降雪对气候响应研究的有益补充，也会在水资源利用和管理方面可提供一定的科学依据。

2. 资料与方法

本文所采用的资料来自于中国气象局国家气象信息中心资料室整编的逐日气温、气压、湿度、降水等日资料集。由于高原独特的地理环境和气候条件，高原台站分布不均匀，大多数台站建立时间多在上世纪五十到七十年代，个别台站还存在站址迁移的现象，再加上部分站点存在某些月份或年份缺测等客观因素，为了保证数据的连续性及有效性，最终筛选了 86 的气象台站(图 1)的数据进行研究。资料选取时段为 1986 年 9 月到 2016 年 8 月共计 30 年。根据青藏高原积雪季节变化的情况，定义积雪年是从前一年的九月到次年的八月。本文采用温度阈值法[6]从降水中分离出降雪。

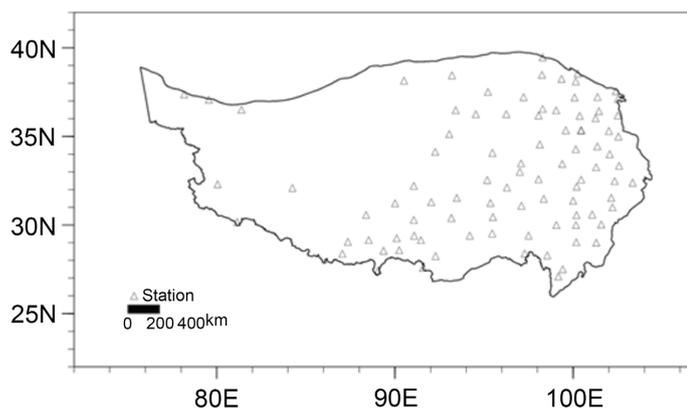


Figure 1. The distribution of stations over the Tibetan Plateau
图 1. 青藏高原气象台站分布

3. 青藏高原降水的时空变化特征

在全球变暖的背景下，高原也经历了显著的增温[13]。温度的变化会改变降水的空间格局。图 2 给出了近 30 年来高原降水的年变化(图 2(a))，可以看出，高原上的降水主要集中在五月到九月之间，尤其在夏季，雨季与干季较为分明。从空间分布上来看，图 2(b)表明高原多年平均降水量分布呈现了明显的空间差异性。自雅鲁藏布江河谷向西北逐渐递减，横断山脉雅鲁藏布江下游地区降水最多，而柴达木盆地西北部降水最少。图 2(c)进一步表明近 30 年来高原大部分地区降水量呈增加的趋势，主要在藏北高原以及青海的西南部降水量呈现增多的趋势，而在高原的东南部降水则是减少的。

4. 青藏高原降雪量的时空变化特征

图 3 给出了近 30 年来高原多年平均的降雪量的年变化。可以看出，从秋季开始，随着气温的逐渐降低，降雪量逐渐增加，在 10 月份出现峰值，另一峰值出现在次年 3 月份，也就是说，高原降雪量峰值发

生在冬夏环流季节转换的季节，这主要是大气环流系统所决定的。在冬季，由于高原是冷源，由单一的冷气团控制，温度低，水汽少，故降雪量相对较少。而在春季和秋季最易发生降雪，这是由于当地面平均气温在 0℃ 附近而又高于 0℃ 时最易发生降雪。

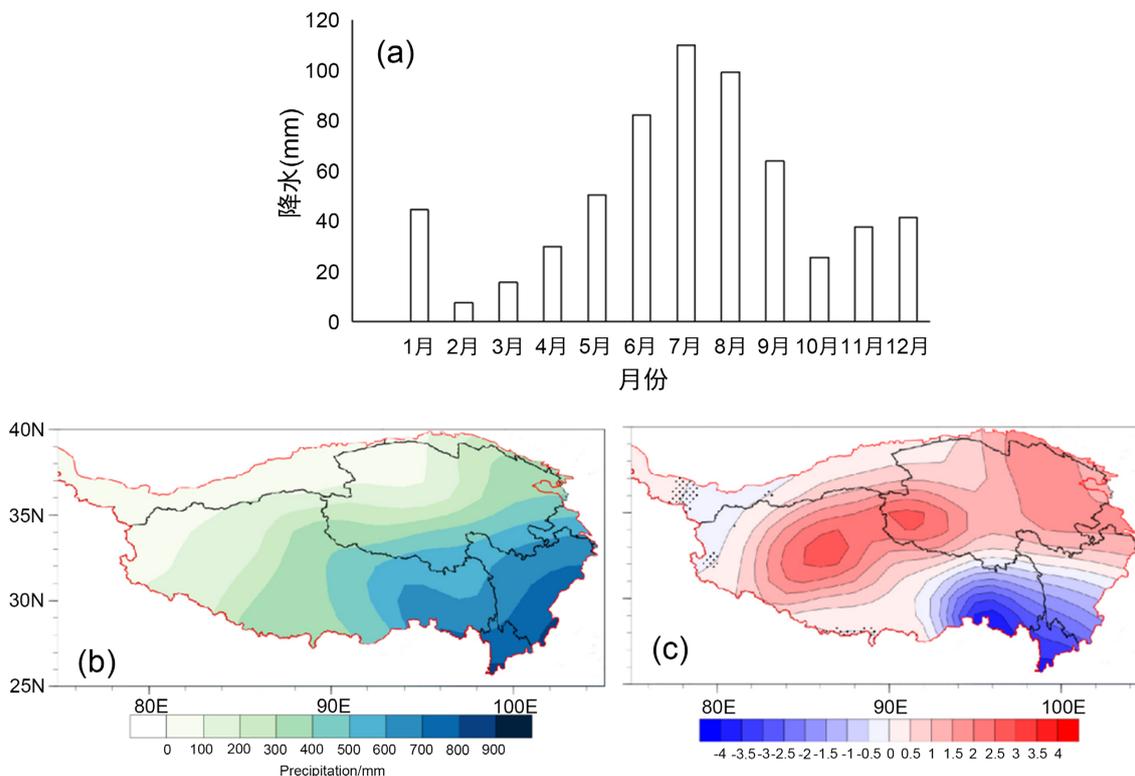


Figure 2. The interannual variation of precipitation (a) and the spatial distribution of annual mean precipitation (b) and linear trend (c) over the Tibetan Plateau in the recent 30 years

图 2. 近 30 年来青藏高原降水的年变化(a)、多年平均降水量(b)及线性趋势(c)的空间分布

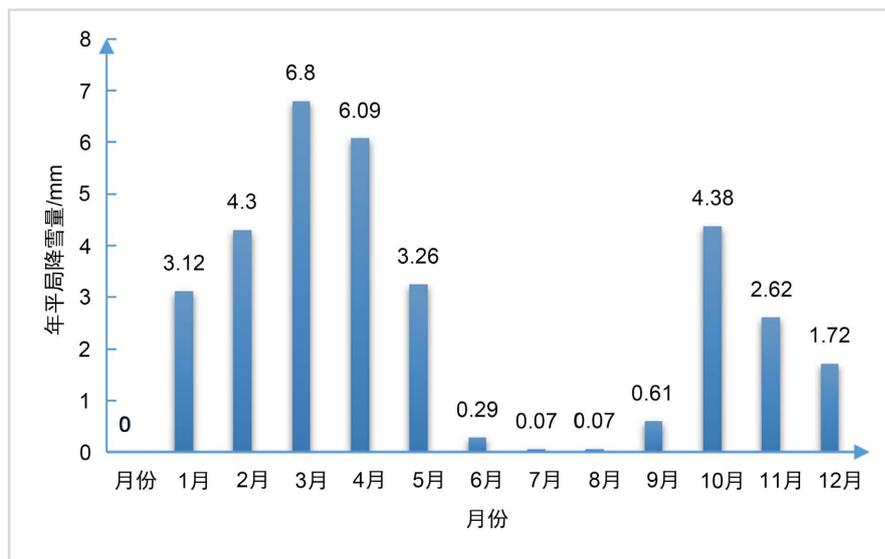


Figure 3. The interannual variation of annual mean snowfall amount over the Tibetan Plateau in the recent 30 years

图 3. 近 30 a 青藏高原多年平均的降雪量的年变化

图4给出了近30 a高原降雪的空间分布。可以看出高原降雪的空间分布存在较大的差异性,降雪主要集中在高原西部、高原南麓以及东部的高海拔地区。具体来看,多雪区集中在唐古拉山东段、喜马拉雅山南部、巴颜喀拉山、川西高原西北部及青藏高原的东南部;少雪区主要在柴达木盆地、川西高原东部和藏南谷地,这与胡豪然等[14]的研究结果较为一致。从季节变化来看,秋季降雪主要集中在唐古拉山东段、巴颜喀拉山及川西高原的西北部,表现出中间多、周边少的特征。冬季降雪呈现出由东南向西北递减的特征,大值中心集中在喜马拉雅山西段和帕米尔高原。和秋季、冬季降雪量相比,春季降雪显著增加,降雪集中在高原的中东部和东北部,而夏季降雪较少,在高原中部地区有少量的降雪。

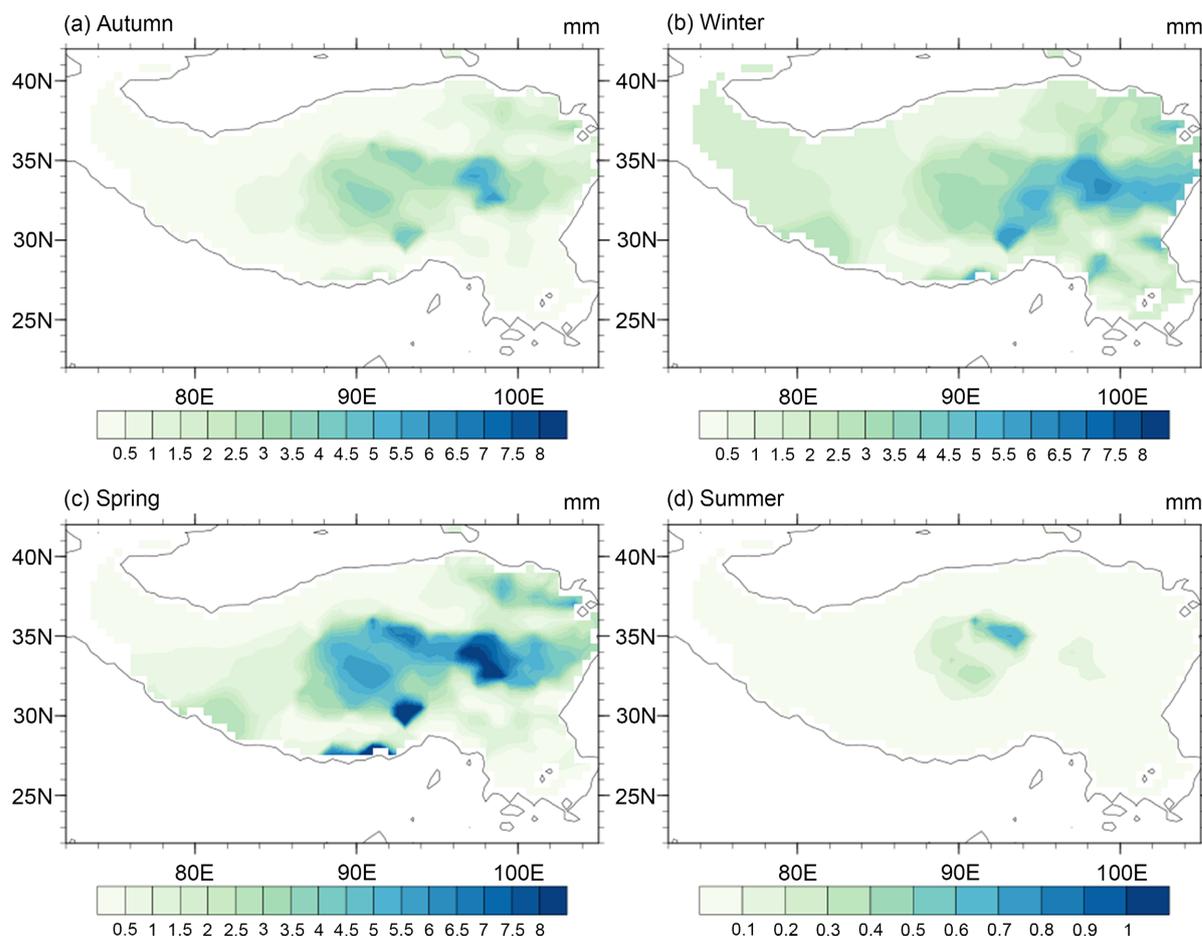


Figure 4. The spatial distribution of snowfall amount over the Tibetan Plateau in the recent 30 years

图4. 近30 a青藏高原降雪量的空间分布

图5给出了近30 a高原降雪的空间趋势分布。可以看出高原降雪量的空间趋势分布存在显著的差异性。秋季在川西高原西北部、唐古拉山、横断山脉以及喜马拉雅山南部降雪量呈现减少的趋势,而在念青唐古拉山、柴达木盆地处降雪量随着时间的推移在增加;冬季高原大部分地区降雪量在减少,但是西藏的西南部冬季降雪略有增加;春季在藏北高原与冈底斯山脉的广阔区域降雪量是增加的,而柴达木盆地、川西高原西北部以及高原西南部降雪量在减少,而且春季降雪增加或减少的强度比秋、冬季强,范围比秋、冬季大;夏季高原整个区域降雪量偏少,降雪量随时间变化不大,绝大部分地区的降雪量随时间而减少,仅有高原中部地区的降雪量有所增加。总的来说,近30 a高原大部分地区的降雪呈现减少的趋势,这可能与高原的显著的升温有关。

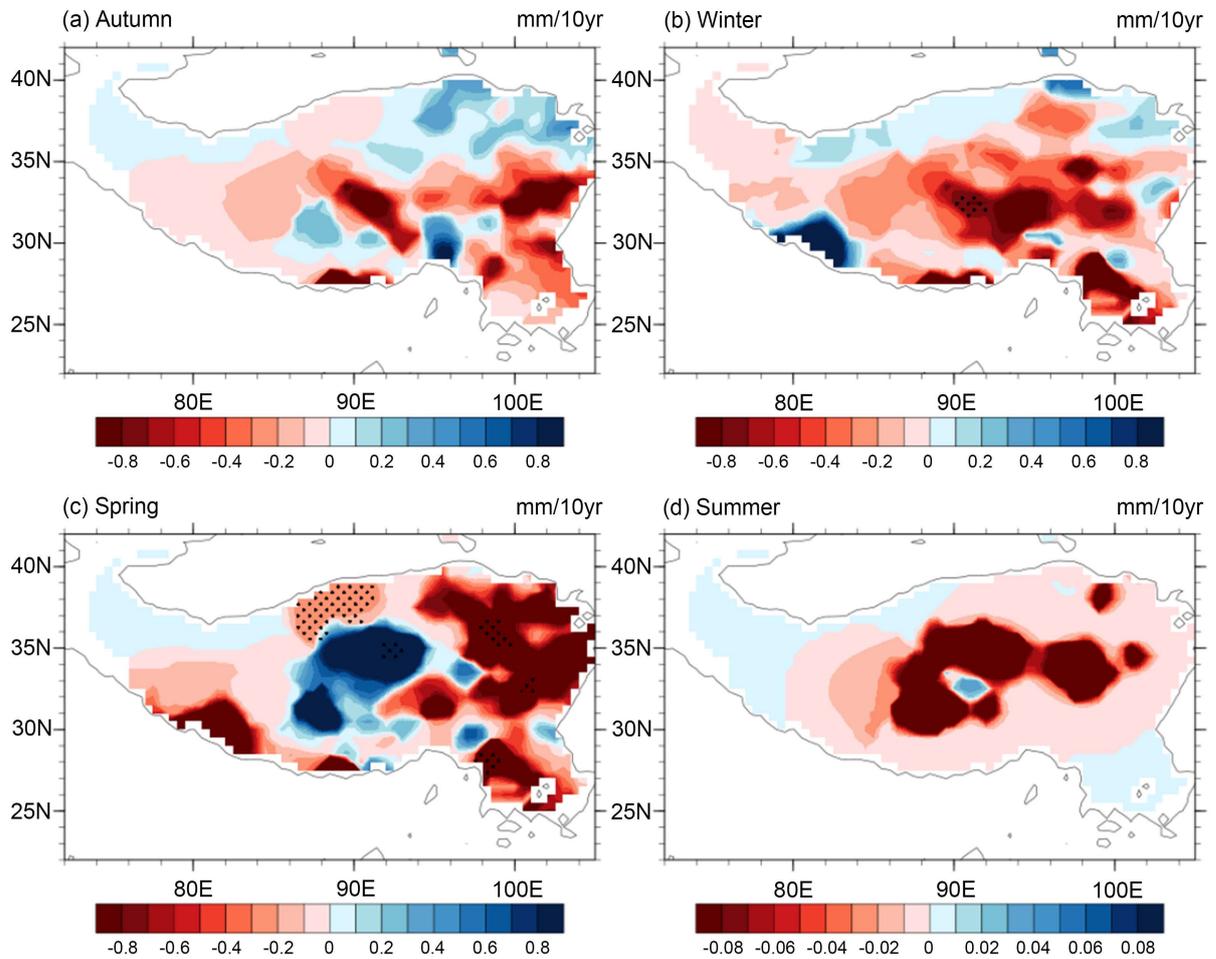
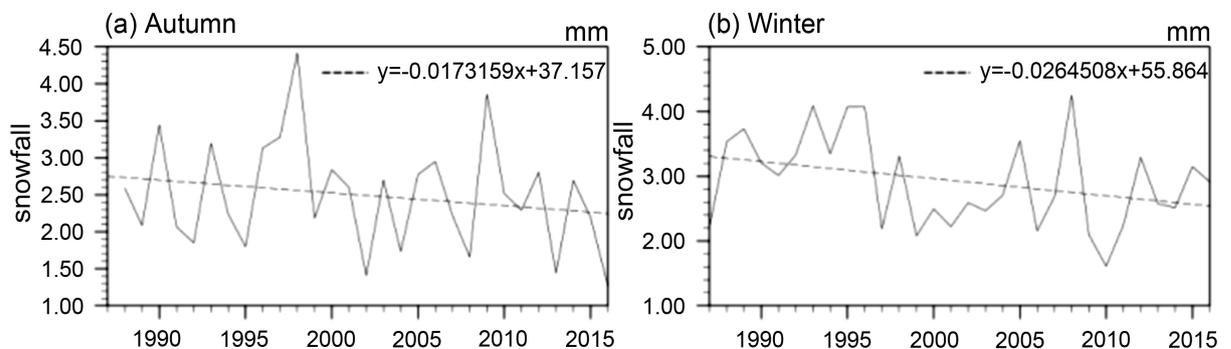


Figure 5. The spatial distribution of trend of snowfall amount over the Tibetan Plateau in the recent 30 years
图 5. 近 30 a 青藏高原降雪量的空间趋势分布

图 6 进一步给出了高原降雪的年际变化。可以看出，秋季高原降雪量基本介于 1.5~3.5 mm 之间，在 1998 年以前呈现出持续而显著的上升趋势，1998 年以后降雪量开始急剧下降；整体上近 30 a 高原秋季降雪量呈现出减少的趋势，速率达到 $-0.17 \text{ mm}/10\text{a}$ ；冬季降雪量介于 2~4 mm 之间，与秋季降雪量相当，但冬季降雪量下降的趋势要强于秋季，以 $-0.26 \text{ mm}/10\text{a}$ 的速度在减少；春季降雪量介于 4~6.5 mm 之间，近 30 a 春季降雪量以 $-0.52 \text{ mm}/10\text{a}$ 的速度在减少，降低的速率约是冬季的两倍。夏季因本身降雪量少，因此变化也较弱。总的来看，近 30 a 高原降雪都呈现出降低的趋势，春季减少最快。



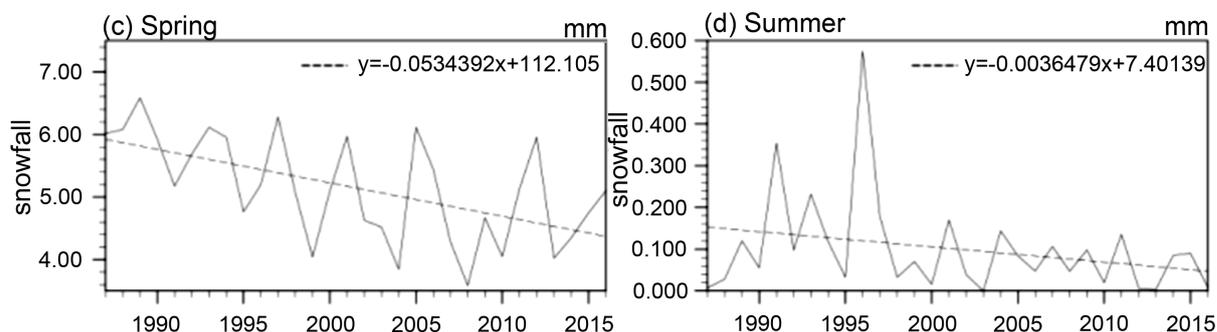


Figure 6. The annual variation of snowfall amount over the Tibetan Plateau in the recent 30 years

图 6. 近 30 a 青藏高原降雪量的年际变化

5. 结论

本文基于台站观测的气温、降水、气压及湿度的日资料，运用湿球温度阈值法从降水中分离出降雪，进一步研究了高原降雪量的时空变化特征。得出以下主要结论：

1) 从年变化来看，近 30 年来高原降雪量呈现出双峰值的特征，峰值分别出现在春季 3 月和秋季 10 月，其中春季的峰值要大于秋季的峰值。从季节变化上看，降雪量和降雪日数均表现为春季最大，夏季最小。

2) 从空间分布来看，高原的降雪量空间分布差异性明显。多雪区集中在唐古拉山东段、喜马拉雅山南部、巴颜喀拉山、川西高原西北部及青藏高原的东南部；少雪区主要在柴达木盆地、川西高原东部和藏南谷地。

3) 从空间趋势分布来看，高原秋、冬、春三个季节高原大部分地区降雪都呈现出减少的趋势，而且春季高原降雪减少的强度和范围比秋、冬两季大。春季降雪也存在增加区域，主要集中在藏北高原与冈底斯山脉的广阔区域。夏季降雪存在较弱的变化趋势。

4) 从年际变化来看，高原四季降雪量都呈现出减少的趋势，其中以春季减少最为明显，可能是由于春季高原较为显著的增温，使得高原降水更多的是以降水的形式发生。春季降雪量的减少将会影响到高原周边地区对水资源的利用、农业灌溉等，从而对人们的生产和生活产生一定的影响

参考文献

- [1] 冯松, 汤懋苍, 王冬梅. 青藏高原是我国气候变化启动区的新证据[J]. 科学通报, 1998, 43(6): 633-636.
- [2] 汤懋苍, 许曼春. 祁连山区的气候变化[J]. 高原气象, 1984, 3(4): 21-33.
- [3] 李栋梁, 王春学. 积雪分布及其对中国气候影响的研究进展[J]. 大气科学学报, 2011, 34(5): 627-636.
- [4] Blanford, H.F. (1884) On the Connexion of the Himalaya Snowfall with Dry Winds and Seasons of Drought in India. *Proceedings of the Royal Society*, **37**, 3-22. <https://doi.org/10.1098/rspl.1884.0003>
- [5] Immerzeel, W.W., Van Beek, L.P.H. and Bierkens, M.F.P. (2010) Climate Change Will Affect the Asian Water Towers. *Science*, **328**, 1382-1385. <https://doi.org/10.1126/science.1183188>
- [6] 段安民, 肖志祥, 吴国雄. 1979-2014 年全球变暖背景下青藏高原气候变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2016, 12(5): 374-381.
- [7] Deng, H.J., Pepin, N.C. and Chen, Y.N. (2017) Changes of Snowfall under Warming in the Tibetan Plateau. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, **122**, 7323-7341. <https://doi.org/10.1002/2017JD026524>
- [8] 孙秀忠, 罗勇, 张霞, 等. 近 46 年来我国降雪变化特征分析[J]. 高原气象, 2010, 29(6): 1594-1601.
- [9] 蒋文轩, 假拉, 肖天贵, 等. 1971-2010 年青藏高原冬季降雪气候变化及空间分布[J]. 冰川冻土, 2016, 38(5): 1211-1218.
- [10] Wang, J., Zhang, M.J. and Wang, S.J. (2016) Decrease in Snowfall/Rainfall Ratio in the Tibetan Plateau from 1961 to

2013. *Journal of Geographical Sciences*, **26**, 1277-1288. <https://doi.org/10.1007/s11442-016-1326-8>
- [11] 柳媛普, 李锁锁, 吕世华, 等. 基于 CMIP5 的东亚地区降雪量变化特征分析[J]. 冰川冻土, 2014, 36(6): 1345-1352.
- [12] Shi, H.X. and Wang, C.H. (2015) Projected 21st Century Changes in Snow Water Equivalent over Northern Hemisphere Landmasses from the CMIP5 Model Ensemble. *The Cryosphere*, **9**, 1943-1953. <https://doi.org/10.5194/tc-9-1943-2015>
- [13] 林振耀, 赵昕奕. 青藏高原气温降水变化的空间特征[J]. 中国科学: D 辑, 1996, 26(4): 354-358.
- [14] 胡豪然, 梁玲. 近 50 年青藏高原东部降雪的时空演变[J]. 地理学报, 2014, 69(7): 1002-1012.