

欧亚春季雪盖异常对中国云贵高原5月降水的影响研究

宋 媛

中国民用航空西南地区交通管理局贵州分局, 贵州 贵阳

收稿日期: 2022年6月18日; 录用日期: 2022年7月15日; 发布日期: 2022年7月25日

摘 要

根据NOAA气候中心提供的雪盖数据和中國云貴高原初夏5月降水資料, 应用奇异值分解方法研究了欧亚春季雪盖异常对中国云贵高原区初夏5月降水年际变化的影响。结果表明: 影响云贵高原初夏5月降水的欧亚雪盖关键区分别位于喀拉海附近西西伯利亚区域的大陆(I区)、俄罗斯西南部至中亚地区(II区)、青藏高原东南角小部分区域(III区)。当I区~III区雪盖呈“+、-、+”的异常三极模分布时, 云贵高原初夏5月降水偏多; 反之, 云贵高原初夏5月降水将偏少。

关键词

欧亚雪盖, 云贵高原, 5月降水, 奇异值分解

The Effects of Eurasian Spring Snow Cover Anomaly on May Precipitation over Yunnan-Guizhou Plateau of China

Yuan Song

Guizhou Sub-Bureau, Southwest Air Traffic Management Bureau of CAAC, Guiyang Guizhou

Received: Jun. 18th, 2022; accepted: Jul. 15th, 2022; published: Jul. 25th, 2022

Abstract

According to the snow cover data provided by NOAA, and the precipitation over the Yunnan-Guizhou Plateau of China in May, we analyze the relationship between the precipitation over Yunnan-Guizhou Plateau of China in May and the snow cover of Eurasia in spring by using singular

value decomposition (SVD). The results of statistical diagnosis show that there are three key areas that impact the precipitation over the Yunnan-Guizhou Plateau of China, located in western Siberia area mainland near Kara Sea (I area), the southwest of Russia to the central Asia (II area), the southeast area of Tibetan Plateau (III area). When the snow cover of I area to III area abnormal tripole mode as “-, +, -”, the precipitation over the low-latitude highlands of China increases in May. On the contrary, the precipitation over the low-latitude highlands of China decreases in May.

Keywords

Eurasian Snow Cover, Yunnan-Guizhou Plateau of China, The May Precipitation, Singular Value Decomposition

Copyright © 2022 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

雪盖状况异常可以引起下垫面能量和水分的异常, 改变地表与大气之间的热量和水汽交换。进而对后期大气环流产生显著影响。因此, 雪盖成为气候系统中一个重要而活跃的组成部分并对全球范围内的气候变化产生巨大影响[1] [2] [3]。欧亚积雪在北半球雪盖中占重要位置。欧亚积雪异常及其所产生的气候效应特别是对我国气候异常的影响历来备受关注[4] [5] [6] [7] [8]。已有研究表明, 冬春季欧亚雪盖异常通过改变陆地热力状况对随后的亚洲季风及降水产生影响。冬季欧亚雪盖与江淮降水表现为反相关[9], 与华南、华北降水为正相关, 与西部、华中、东北地区降水为负相关[10]。欧亚春季雪盖与我国夏季降水的关系总体上很弱, 但西西伯利亚的春季雪盖面积与华南较小范围的春季降水表现为正相关, 而欧亚春季中高纬雪水当量与我国江南夏季降水表现为明显的反位相变化特征[11] [12]。穆松宁和周广庆研究[13]对冬季欧亚大陆北部新增雪盖面积(TFSE)与我国夏季气候异常的关系进行分析发现, 当冬季 TFSE 偏大时, 内蒙古东部和东北西部易出现凉夏, 江南地区在副高的控制下易干热; 冬季 TFSE 偏小时的情况相反。指出冬季 TFSE 可能通过影响东亚副热带急流的变化, 进而影响我国夏季气候异常。欧亚秋季雪盖异常与北半球冬季大气环流存在密切联系。

初夏 5 月是云贵高原区从干季向湿季过渡的关键时期, 正是云贵高原大部分地区大春作物栽种的关键时期。高原地区山地居多, 灌溉条件差, 大春作物的播种及移栽对 5 月雨量的多少依赖性较强, 5 月雨量的多少决定着大春作物能否在最佳节令内播种和移栽。可见, 云贵高原初夏 5 月降水多寡对当地人民生命财产及社会经济可持续发展起着至关重要的作用。因此, 对中国云贵高原区初夏 5 月降水的研究一直是该研究领域的热点和难点。

长期以来, 许多研究者对造成云贵高原初夏 5 月雨量异常的天气气候成因进行了详细分析, 大量研究指出热带太平洋海表温度异常强迫对同期云贵高原初夏 5 月降水存在显著影响。

位于中高纬度的欧亚雪盖作为气候系统中一个重要的组成部分, 对于全球和区域气候的形成及其异常的维持和发展起着非常重要的作用。然而, 以往关于冬春季欧亚雪盖异常影响我国气候变化方面的研究主要集中在我国东部地区, 欧亚雪盖异常与云贵高原初夏 5 月降水之间联系的研究相对较少, 还未获得影响云贵高原初夏 5 月降水的欧亚雪盖关键区及其相应物理过程。因此, 本文将对影响云贵高原初夏 5 月降水异常的欧亚雪盖关键区进行揭示, 为提高云贵高原地区短期气候预测能力提供一定的科学依据。

2. 数据及方法

本文采用 NOAA 气候中心提供的 1983~2019 年逐周在极射投影地图上 89×89 网格的雪盖覆盖数据。当一个网格内的每周雪盖超过 50% 覆盖率时, 则定义该格点降雪为 1, 否则记为 0, 将雪盖数据转化为 $2^\circ \times 2^\circ$ 的格点数据, 并处理成月平均雪盖面积数据; 中国云贵高原区 148 站初夏 5 月降水数据, 其中 148 测站的空间分布图见图 1, 主要包括云南省和四川、贵州、广西等部分地区。本文使用方法主要有: 奇异值分解方法(SVD)。

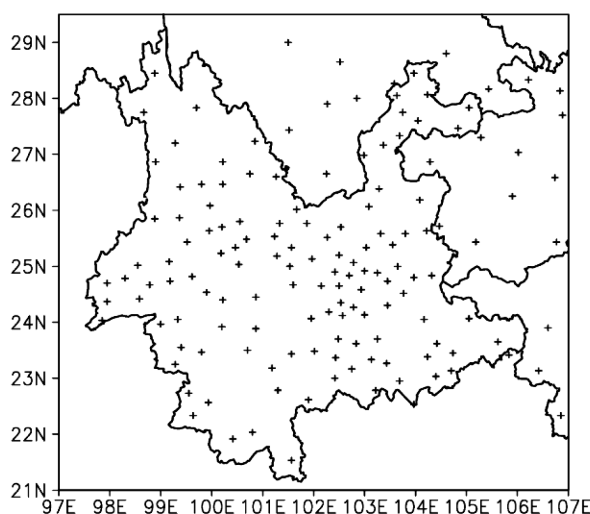


Figure 1. The distribution of stations in Yunnan-Guizhou Plateau of China
图 1. 中国云贵高原区测站分布

3. 春季欧亚雪盖与云贵高原初夏 5 月降水的关系

为获得春季欧亚雪盖异常影响云贵高原初夏 5 月降水的关键区域, 将 1983~2019 年共 37 年春季平均(3~5 月)欧亚雪盖距平场作为左场, 同期云贵高原初夏 5 月降水距平场作为右场做 SVD 分析(表 1)。

Table 1. The first to third covariance contribution of singular vectors

表 1. 奇异向量的第一对到第三对协方差贡献率

奇异向量	第一对	第二对	第三对
协方差贡献率(%)	58.5	7.7	5.7
累计协方差贡献率(%)	58.5	66.2	71.9

奇异值分解得到的第一模态解释协方差平方和为 58.5%, 基本上能够表征春季欧亚雪盖异常场与云贵高原初夏 5 月降水异常场的协同变化关系。可以通过分析第一模态的异类相关系数的空间分布来寻找它们之间存在的关系(图 2)。

从图 2(a)可以看出, 云贵高原区初夏 5 月降水场与欧亚雪盖场之间的异类相关系数除西北部的小片区域为负相关外, 其余均为一致的正相关。并且, 除云贵高原东北和西南小部分区域未通过 90% 的信度检验外, 云贵高原初夏 5 月降水场都具有显著的正相关, 云贵高原西南部分区域的相关系数甚至达到 0.8 以上。从相应的欧亚雪盖场(图 2(b))可以看出, 欧亚雪盖显著相关区的从北至南大致呈现“+、-、+”的空间分布。其中, 正相关区域主要集中在西西伯利亚地区以及青藏高原东南角小部分区域, 负相关区域

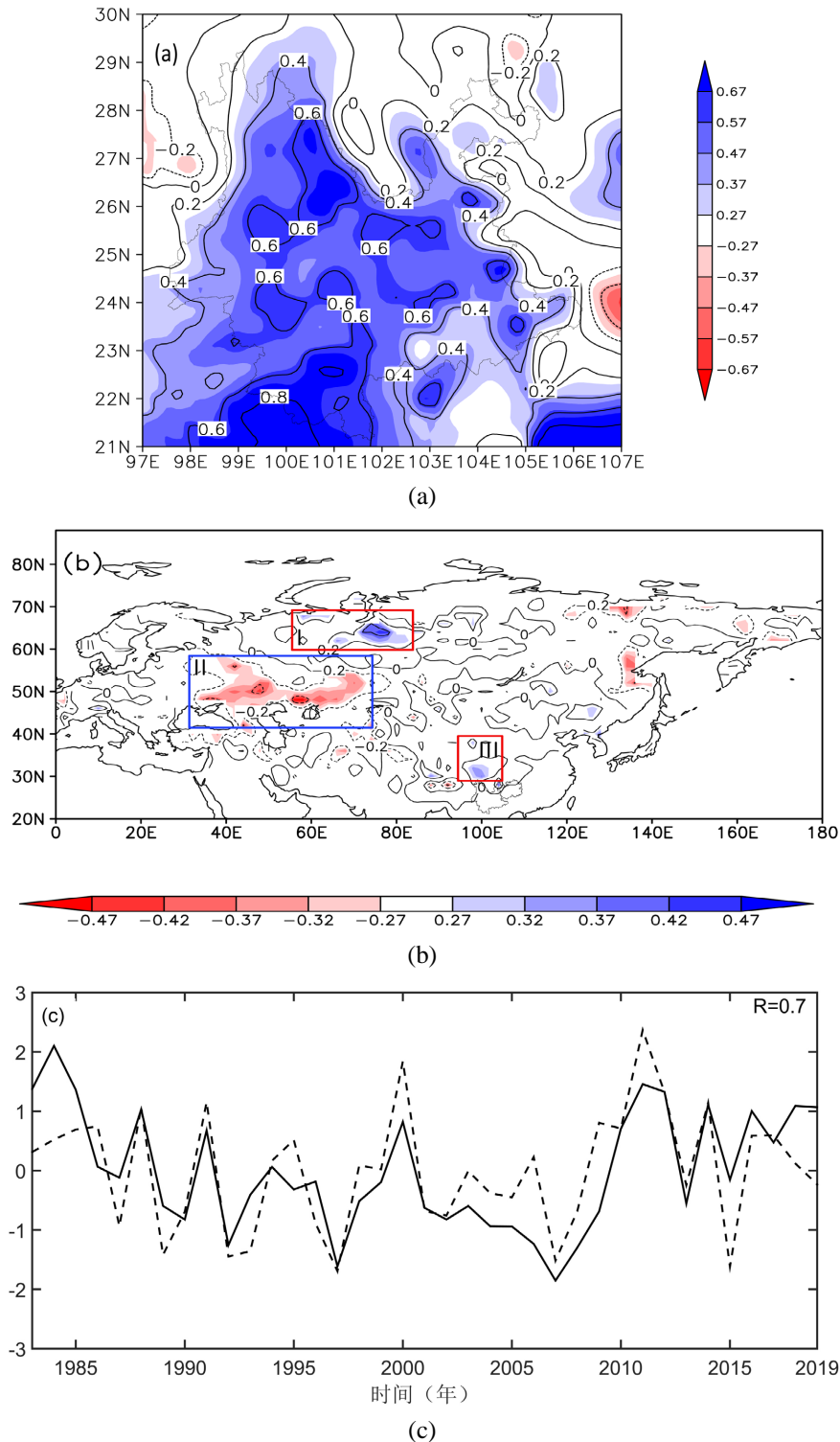


Figure 2. The heterogeneous correlation coefficient of the first mode and its time coefficient. (a) Precipitation field over Yunnan-Guizhou Plateau in May; (b) Eurasian snow cover in spring; (c) Corresponding time coefficient, the solid line is precipitation over Yunnan-Guizhou Plateau in May, and the dotted line is time coefficient of Eurasian snow cover. The shaded area in (a) and (b) indicates that more than 90% reliability test has been passed.

图 2. 第一模态的异类相关系数及其时间系数。(a) 云贵高原 5 月降水场; (b) 春季欧亚雪盖场; (c) 对应的时间系数, 实线为初夏 5 月云贵高原降水, 虚线为欧亚雪盖场时间系数。(a)、(b) 中阴影表示通过 90% 以上信度检验的区域。

相比正相关区域范围更大, 主要位于俄罗斯西南部至中亚地区, 还有小部分显著负相关区域位于中东西伯利亚地区。由于第一模态左右奇异向量对应的时间系数间的相关系数到达 0.71, 表明云贵高原初夏 5 月降水场与春季欧亚雪盖场之间存在密切相关(图 2(c))。总体来看, 当春季欧亚雪盖在东西伯利亚地区、俄罗斯西南部至中亚地区和青藏高原东南角地区呈“+、-、+”的显著相关分布时, 同期云贵高原地区初夏 5 月降水一致偏多; 反之, 当春季欧亚雪盖场异常空间分布与图 2(b)所示的空间分布相反时, 云贵高原初夏 5 月降水偏少。

SVD 分析结果表明春季欧亚雪盖影响云贵高原初夏 5 月降水的关键区主要集中在俄罗斯北部、俄罗斯南部至中亚地区和青藏高原东南角地区三个区域, 并依次定义为 I、II 和 III 区。根据欧亚雪盖与云贵高原初夏 5 月降水的异类相关系数的空间分布, 分别对春季欧亚雪盖场中 I、II 和 III 区的雪盖面积进行计算, 获得反映各关键区雪盖面积变化的指数(图 3)。

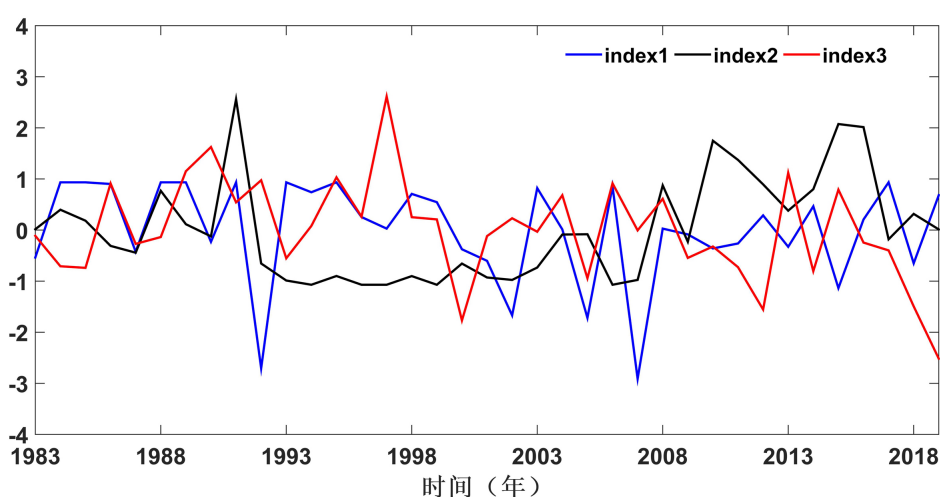
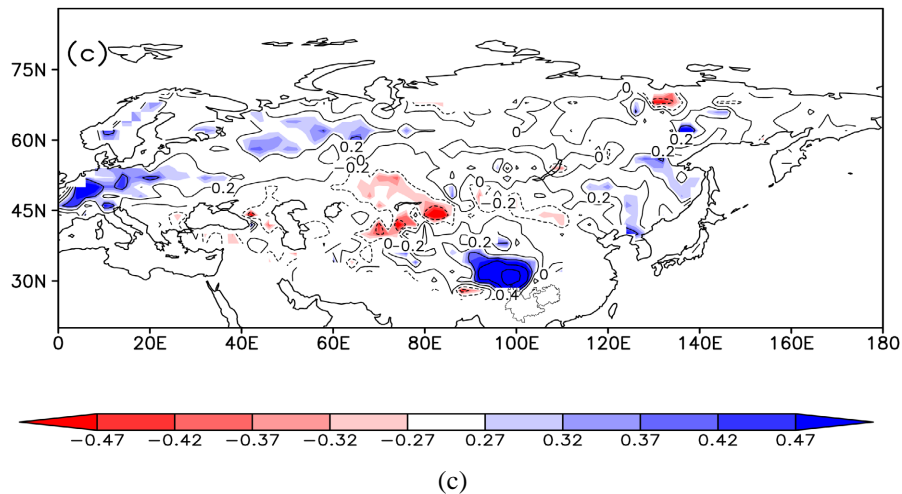
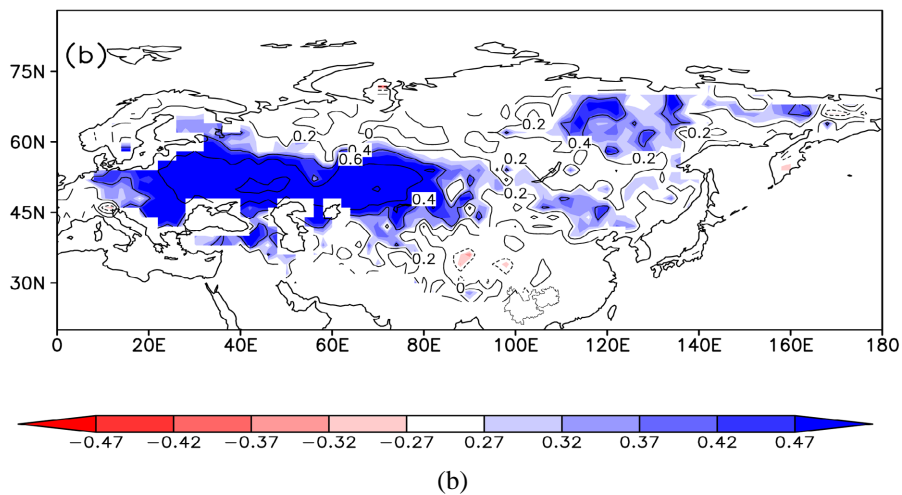
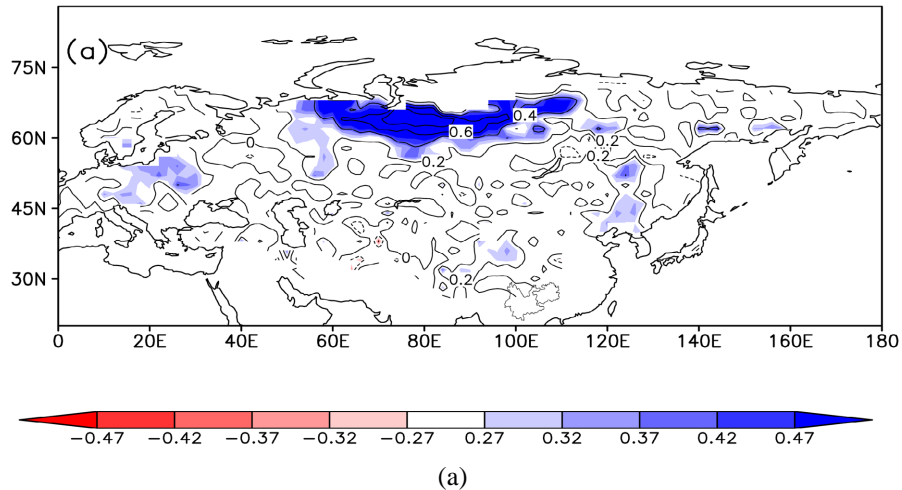


Figure 3. The standardized time series of snow cover area in each region
图 3. 标准化的各区域雪盖面积时间序列

4. 春季欧亚雪盖场、云贵高原初夏 5 月降水场与雪盖面积指数的相关系数分布

将 I、II 和 III 区的雪盖面积指数与春季欧亚雪盖场及云贵高原初夏 5 月降水场分别进行相关分析, 进一步揭示春季各关键区雪盖异常与云贵高原初夏 5 月降水的关系。其中, I 区雪盖面积指数与春季欧亚雪盖相关系数从欧亚大陆高纬度地区至低纬度地区呈现“+、-、+”的空间分布, 其分布特征与 SVD 获得的结果十分类似, 但是通过显著性检验的正相关区域主要集中在东西伯利亚地区, 这与 I 区雪盖面积指数对应的区域十分一致(图 4(a)), 此外青藏高原东南部也有显著正相关区存在, 而俄罗斯西南部至中亚地区并不存在明显的负相关区域, 表明 I 区与 III 区的雪盖变化有着密切联系, 而 I 区与 II 区的雪盖变化无显著联系。II 区雪盖面积指数与春季欧亚雪盖相关系数呈现欧亚大陆高纬度地区至低纬度地区“-、+、-”的空间分布, 其相关系数的空间分布也反映了欧亚大陆中纬度地区雪盖与高纬度和低纬度地区雪盖呈反向变化的特征。通过显著性检验的正相关区域与构造 II 区雪盖面积指数的区域一致对应, 主要位于俄罗斯西南部至中亚地区以及中东西伯利亚地区; 显著性负相关区域主要位于青藏高原东南角。同样地, I 区与 II 区的雪盖变化不存在显著联系。需要注意的是 II 区的雪盖与中东西伯利亚地区的雪盖有明显的正相关关系, 表明 II 区雪盖面积指数也能够很好的表示该地区雪盖的变化。此外, 可以看到 II 区雪盖面积指数与中东西伯利亚地区的积雪存在显著的相关关系, 表明 II 区的雪盖指数同样也可以反映远东地区积雪变化特征。(图 4(b))。III 区的雪盖面积指数与春季欧亚雪盖场相关系数空间分布与 I 区一致, 只是显著

正相关的大值区位于青藏高原东南部，其中心相关系数达到 0.6 以上(图 4(c))。可见，I、II 和 III 区的雪盖面积指数除了能够描述各自区域雪盖的变化特征以外，也可以很好的反映出 SVD 分析中欧亚春季雪盖场的空间分布特征。并且值得注意的是，I 和 II 区(欧亚中、高纬地区)的雪盖面积变化是相互独立的，III 区(青藏高原东南部)的雪盖面积变化分别与欧亚中、高纬地区的积雪变化有着密切的联系。



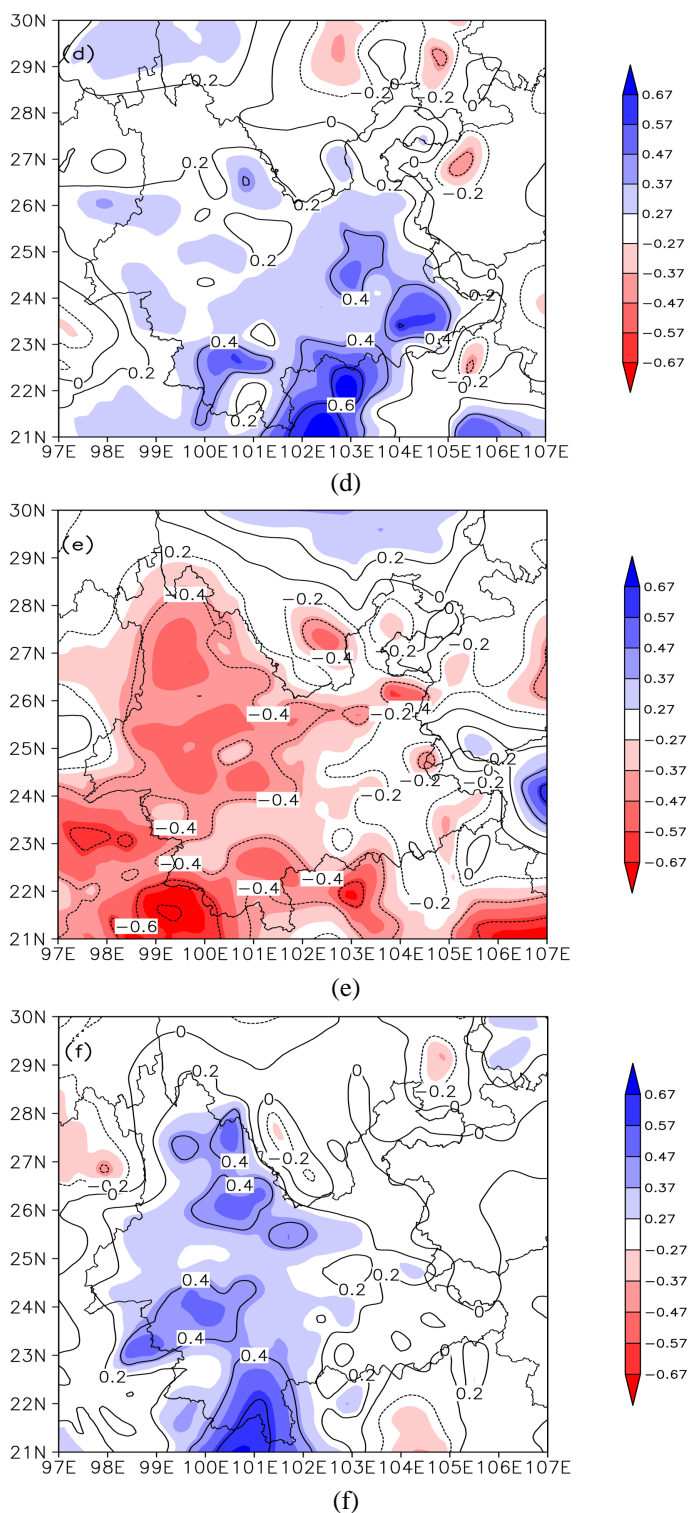


Figure 4. The correlation coefficient distribution of Eurasia Spring Snow cover field and snow cover area index (in (a) Region I, (b) Region II, (c) Region III). The correlation coefficient distribution of precipitation field of Yunnan-Guizhou Plateau in May and snow cover area index (in (d) Region I, (e) Region II, (f) Region III). The shaded area indicates that more than 90% reliability test has been passed

图 4. 欧亚春季雪盖场与雪盖面积指数的相关系数分布((a) I 区、(b) II 区、(c) III 区); 云贵高原 5 月降水场与雪盖面积指数的相关系数分布((d) I 区、(e) II 区、(f) III 区)。阴影区表示通过 90% 以上信度检验。

I、II 和 III 区雪盖面积指数与云贵高原地区初夏 5 月降水均存在较好的相关(图 4(d)~(f)), 其中 I 和 III 雪盖面积指数与低纬高原大部分地区初夏 5 月降水都具有显著的正相关关系, 负相关区域主要位于低纬高原西北、东北和东南部分区域。当 I 和 III 降雪增加, 雪盖面积增加时, 云贵高原初夏 5 月降水偏多。相比其它两个区域雪盖面积指数与降水的相关, II 雪盖面积指数与云贵高原初夏 5 月降水的相关系数通过显著性检验的区域最大, 二者相关关系最好, 并且大部分区域都具有显著的负相关关系, 正相关区域仅位于低纬高原西北、东北和东南部分区域。当 II 区降雪增加, 雪盖增大时, 云贵高原初夏 5 月降水偏少, 这与 SVD 分析结果十分一致。总之, 欧亚大陆中、高纬地区以及青藏高原东南部三个关键区域雪盖面积异常的协同作用使得西南地区的 5 月雨量发生异常变化。

5. 结论

本文通过分析影响中国云贵高原区初夏 5 月降水异常的欧亚春季雪盖关键区, 发现云贵高原初夏 5 月降水和欧亚春季雪盖具有显著的相关性。其中, 影响云贵高原初夏 5 月降水的雪盖关键区主要有 3 个: 分别位于俄罗斯北部喀拉海附近区域的大陆(I 区)、俄罗斯南部至中亚地区(II 区)、青藏高原东南角小部分地区(III 区)。当 I 区-III 区雪盖呈“+、-、+”的异常三极模分布时, 云贵高原初夏 5 月降水偏多; 反之, 云贵高原初夏 5 月降水将偏少。

将 I、II 和 III 区的雪盖面积指数与春季欧亚雪盖场及云贵高原初夏 5 月降水场分别进行相关分析。结果表明, I、II 和 III 区的雪盖面积指数除了能够描述各自区域雪盖的变化特征以外, 也可以很好的反映出 SVD 分析中欧亚春季雪盖场的空间分布特征。欧亚大陆中、高纬地区以及青藏高原东南部三个关键区域雪盖面积异常的协同作用使得西南地区的 5 月雨量发生异常变化。

参考文献

- [1] Blanford, H.F. (1884) On the Connection of Himalayan Snow All with Dry Winds and Seasons of Drought in India. *Proceedings of the Royal Society of London*, **37**, 3-22. <https://doi.org/10.1098/rspl.1884.0003>
- [2] Yasunari, T., Kitoh, A. and Tokioka, T. (1991) Local and Remote Responses to Excessive Snow Cover Mass over Eurasia Appearing in the Northern Spring and Summer Climate: A Study with the GCM. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, **69**, 473-487. https://doi.org/10.2151/jmsj1965.69.4_473
- [3] Meeh, G.A. (1994) Influence of Land Surface in the Asia Summer Monsoon: External Conditions versus Internal Feedbacks. *Journal of Climate*, **7**, 1033-1049. [https://doi.org/10.1175/1520-0442\(1994\)007%3C1033:IOTLSI%3E2.0.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0442(1994)007%3C1033:IOTLSI%3E2.0.CO;2)
- [4] 韦志刚, 罗四维, 董文杰, 等. 青藏高原积雪资料分析及其与我国夏季降水的关系[J]. 应用气象学报, 1998, 9(增刊): 39-46.
- [5] 陈乾金, 高波, 李维京, 等. 青藏高原冬季积雪异常和长江中下游主汛期旱涝及其与环流关系的研究[J]. 气象学报, 2000, 58(5): 582-595.
- [6] Liu, X.D. and Yanai, M. (2002) Influence of Eurasian Spring Snow Cover on Asian Summer Rainfall. *International Journal of Climatology*, **22**, 1075-1089. <https://doi.org/10.1002/joc.784>
- [7] 穆松宁. 冬季欧亚大陆雪盖面积变化与中国夏季气候异常的关系及其机理研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国科学院大气物理研究所, 2008.
- [8] 李震坤, 武炳义, 朱伟军. 春季欧亚积雪异常影响中国夏季降水的数值试验[J]. 气候变化研究进展, 2009, 5(4): 196-201.
- [9] 陈兴芳, 宋文玲. 冬季高原积雪和欧亚积雪对我国夏季旱涝不同影响关系的环流特征分析[J]. 大气科学, 2000, 24(5): 585-592.
- [10] Yang, S. and Xu, L.Z. (1994) Linkage between Eurasian Winter Snow Cover and Regional Chinese Summer Rainfall. *International Journal of Climatology*, **14**, 739-750. <https://doi.org/10.1002/joc.3370140704>
- [11] Wu, R.G. and Kirtman, B.P. (2007) Observed Relationship of Spring and Summer East Asian Rainfall with Winter and Spring Eurasian Snow. *Journal of Climate*, **20**, 1285-1304. <https://doi.org/10.1175/JCLI4068.1>

-
- [12] Wu, B.Y., Yang, K. and Zhang, R.H. (2009) Eurasian Snow Cover Variability and Its Association with Summer Rainfall in China. *Advances in Atmospheric Sciences*, **26**, 1-14. <https://doi.org/10.1007/s00376-009-0031-2>
- [13] 穆松宁, 周广庆. 冬季欧亚大陆北部新增雪盖面积变化与中国夏季气候异常的关系[J]. 大气科学, 2010, 34(1): 213-226.