

DOI:10. 7522/j. issn. 1000-0240. 2017. 0084

GAO Rong, WEI Zhigang, ZHONG Hailing. Relationship between land surface characteristics in the Tibetan Plateau and summer precipitation in China[J]. Journal of Glaciology and Geocryology, 2017, 39(4): 741 – 747. [高荣, 韦志刚, 钟海玲. 青藏高原陆表特征与中国夏季降水的关系研究[J]. 冰川冻土, 2017, 39(4): 741 – 747.]

青藏高原陆表特征与中国夏季降水的关系研究

高 荣¹, 韦志刚², 钟海玲¹

(1. 国家气候中心 中国气象局气候研究开放实验室, 北京 100081; 2. 北京师范大学 地理科学学部
地表过程与资源生态国家重点实验室, 北京 100875)

摘 要: 利用青藏高原 72 个站逐日积雪、冻土观测资料, AVHRR 归一化植被指数(NDVI)和全国 550 个站逐日降水资料, 分析了青藏高原陆表特征与中国夏季降水的关系。结果表明, 我国夏季降水在华北和东北南部, 长江中下游和华南地区降水空间一致性较好, 相邻站点间降水变化趋势近似。华南、长江中下游和淮河降水呈增加趋势, 其中长江中下游每 10 年增加 37 mm, 但华北降水呈减少趋势。华南、长江中下游和华北对高原积雪、冻土和植被的变化均较为敏感, 而淮河仅对高原植被变化较为敏感。利用高原积雪、冻土和植被建立了代表高原地表特征的变化序列, 其对长江中下游、淮河、华北夏季降水均有较好指示意义, 与夏季降水的相关系数由南到北表现为“负-正-负”的分布特征。最后, 提出一种高原陆表状况影响中国夏季降水的概念模型: 高原冬春积雪偏多(少)、冬季冻土偏厚(薄)、春季植被偏多(少)会使得夏季高原地区土壤湿度偏大(小), 高原地表感热偏弱(强), 从而使得南亚高压和西太副高偏弱(强), 南海季风偏弱(强), 长江流域降水偏多(少), 华南和华北地区降水偏少(多)。

关键词: 青藏高原; 积雪; 冻土; 植被; 夏季降水

中图分类号: P461⁺. 7 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-0240(2017)04-0741-07

0 引言

青藏高原平均海拔高度约 4 000 m, 耸立于对流层中部, 其热力作用对我国气候有重要影响, 是我国气候的启动区^[1]、驱动器和放大器。全球变暖在青藏高原地区尤为突出, 对高原地气系统间的热量和水汽交换产生明显影响, 而且这种影响过程直接作用于中层大气, 这就使得这种影响更加有效, 进而对中国、东亚乃至全球的气候变化可能产生重要影响^[2]。青藏高原热源变化会对东亚大气环流产生影响, 进而影响我国中东部地区降水, 赵平等^[3]研究认为青藏高原春季热源对于随后的夏季江淮地区、华南地区和华北地区的降水有比较好的指示意义, 而高原夏季热源与同期长江流域降水存在着明显的正相关。

青藏高原地形地貌复杂, 包含常绿雨林、荒漠草原、高山冰雪带等, 自然带垂直差异显著, 地表状况对高原地气系统间的热量和水汽交换影响明显^[4]。积雪、季节冻土和植被作为高原地表状况的重要因子, 其对高原地表热源有重要影响, 进而影响我国中东部地区降水, 近年来许多研究已经证明这一点。陈烈庭等^[5]选用青藏高原 9 个地面气象站积雪日数资料, 研究指出高原冬春多(少)雪年, 来年夏 5、6 月份华南降水偏多(少)。韦志刚^[6]利用中国西部台站积雪及 SMMR 微波遥感资料研究指出, 中国西部冬春积雪对我国汛期降水的影响平均为负相关趋势。其他许多研究人员通过资料分析或者数值模拟也证明了高原积雪对我国夏季降水有重要的影响^[7-13]。王澄海等^[14-15]通过资料分析和数值模拟研究了高原冻土对我国夏季降水的影响。

收稿日期: 2016-12-20; 修订日期: 2017-05-22

基金项目: 国家重点研发计划专项(2016YFA0602104)资助

作者简介: 高荣(1977 -), 男, 重庆垫江人, 高级工程师, 2006 年在中国科学院大气物理研究所获博士学位, 从事青藏高原陆气相互作用、区域气候模拟和极端事件监测评估等研究。E-mail: gaor@cma.gov.cn.

Gao 等^[16]分析了高原解冻早晚对中国夏季降水的影响。周婷等^[17]研究发现高原植被与地表温度有明显相关关系。李登宣等^[18]发现青藏高原不同地区、不同深度层春季土壤湿度的变化,对中国东部地区的夏季降水具有显著影响。范广洲等^[19-20]研究表明,高原冬季和春季 NDVI 与夏季长江流域降水呈负相关,华南和华北降水呈正相关关系。华维等^[21]研究表明,高原西部感热与植被正相关显著,东部潜热与植被正相关显著,高原植被与我国东部夏季降水的相关系数由南到北呈“正-负-正”分布,高原植被是影响中国夏季降水的重要因子。

但这些研究都只着眼于单个因子的影响,虽然笔者前期曾综合分析过积雪和季节冻土的影响,但还是没有综合考虑整个陆地表面整体是如何影响我国夏季降水的。本文利用青藏高原积雪、冻土和植被的变化序列,分析了青藏高原陆表变化特征对中国夏季降水的影响,其结果可用于短期气候预报业务中。

1 资料和方法

本文利用青藏高原上 72 个气象台站(图 1)的逐日积雪深度资料,利用韦志刚等^[6]建立的青藏高原冬春(上年 10 月至当年 5 月)积雪序列的方法建立了青藏高原冬春积雪变化序列,利用文献[22]中青藏高原 20 个气象站的冬季逐日冻结深度资料建立了青藏高原季节冻土变化序列。植被指数利用 AVHRR 0.5°×0.5°逐月 NDVI 数据插值到高原 72 个气象台站,建立了高原春季空间平均植被变化序列。为了研究积雪、冻土和植被与中国夏季降水的关系,还用到了夏季(6-8 月份)全国 550 个站的降水资料。积雪深度、冻结深度和降水资料均由国

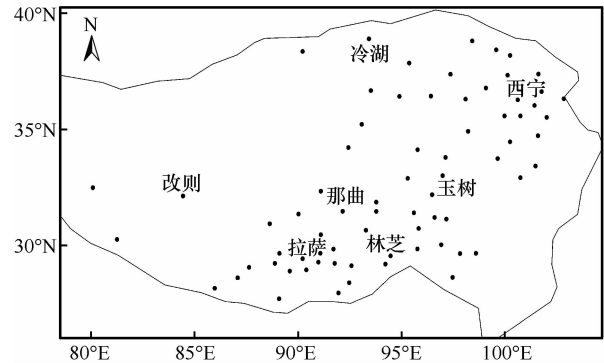


图 1 青藏高原气象站点分布
Fig. 1 The distribution of meteorological stations in the Tibetan Plateau

家气象信息中心提供, AVHRR NDVI 数据由波斯顿大学地球科学系气候与植被研究小组提供^[23]。

2 中国夏季降水的分型

计算 1965-2004 年中国 550 个台站之间夏季降水量的同时相关系数,可以得到任意一个台站与所有 550 个站之间的相关系数,统计各站相关系数达到 95% 信度站点个数。图 2 为中国 550 个站间夏季降水相关系数通过 95% 信度检验站数分布。由图可知,我国西部大部分地区与周围站点相关较好的站点个数在 40 以下,而东部地区除淮河流域和东南沿海外基本上都在 50 以上,其中华北大部、东北南部及内蒙古大部,江南中西部、华南中西部均在 60 以上。根据中国降水雨带的变化,6 月中旬主雨带逐渐由华南移动到长江中下游地区,7 月上旬再北跳到华北,因此长江中下游夏季降水与华南地区的变化是不同的,因此分别在华北、淮河流域、长江中下游、华南选取夏季降水与周围站点相关较高的 6 个代表站(表 1),用其平均值建立了 4 个区域夏季降水变化序列(图 3)。分别用华北、淮河流域、长江中下游、华南的夏季降水序列与全国 550 站夏季降水求相关系数(图略),可以发现他们与周围站点相关性都很好,均能通过 95% 的信度检验,能够代表周围区域夏季降水的变化。由图 3 可知,华南夏季降水平均值在 650 mm 左右,有弱增加趋势;长江中下游夏季降水平均值约 560 mm,增加趋势明显,平均每 10 年增加 37 mm;淮河流域夏季降水平均值约 410 mm,增加也较为明显,每 10 年约 20 mm;华北夏季降水平均值约 270 mm,有弱减少趋势。

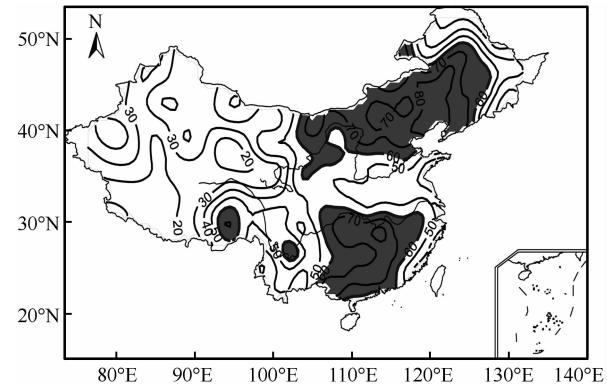


图 2 中国 550 站间夏季降水量相关系数通过 95% 信度检验站数分布
Fig. 2 The distribution of amount of stations, whose correlation coefficient of summer precipitation have passed 95% confidence level, among China's 550 stations

表 1 华北、淮河流域、长江中下游、华南夏季降水代表站
Table 1 The summer precipitation representative stations of North China, Huaihe River basin, the middle and lower reaches of Yangtze River, South China

华北	淮河流域	长江中下游	华南
白城(95)	孟津(61)	重庆(74)	柳州(80)
开鲁(105)	商州(53)	巴东(75)	南宁(88)
赤峰(103)	南阳(47)	桑植(85)	信宜(76)
北京(103)	阜阳(47)	岳阳(82)	韶关(89)
大同(70)	蚌埠(48)	黄石(84)	河源(87)
包头(74)	驻马店(49)	景德镇(91)	连州(82)

注：括号中数字为本站与其他站夏季降水相关系数通过 95% 信度检验的站数。

3 高原陆表特征变化序列的构建

将 AVHRR NDVI 值(1982 – 2000 年)被插值到青藏高原气象站点, 然后做空间平均得到高原春季 NDVI 的年际变化序列, 加上前期建立的高原积雪和季节性冻土变化序列, 用三者 1982 – 2000 年序列来拟合华北、淮河流域、长江中下游、华南 4 个区域的降水变化, 由于它们对夏季降水的影响有非线性作用, 因此拟合时均考虑了其平方项变化。高原积雪、季节性冻土和植被能够很好的拟合 4 个区域夏季降水的变化, 复相关系数分别为 0.590 2、0.655 6、0.701 1、0.576 7(表2)。分析

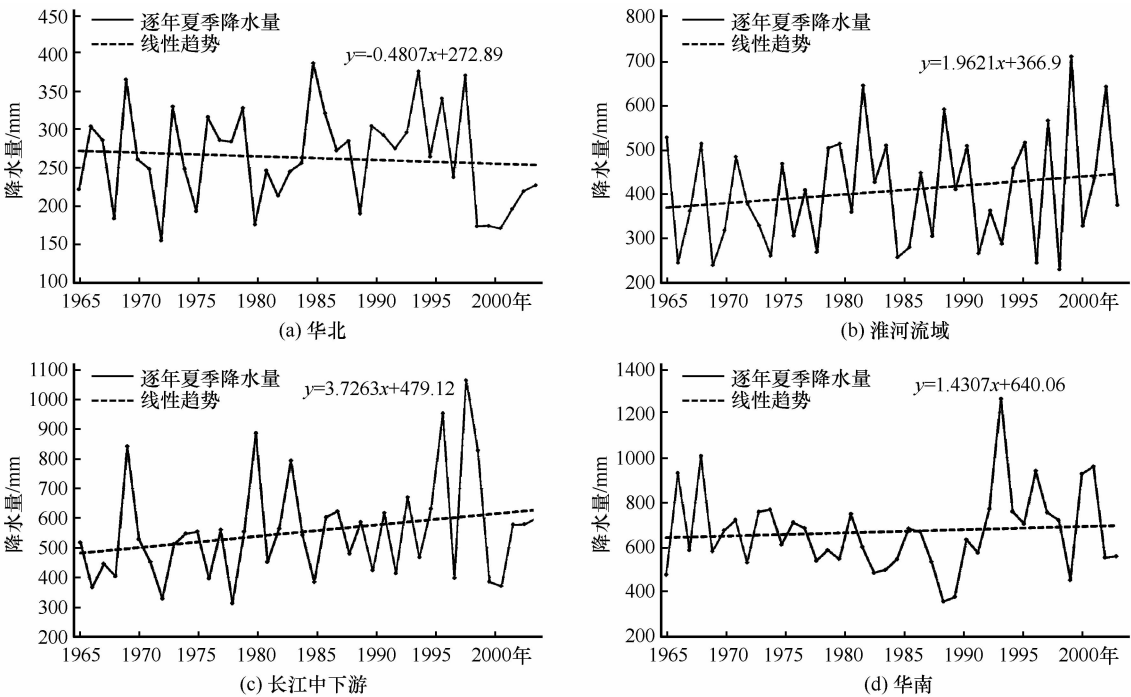


图 3 华北、淮河流域、长江中下游、华南夏季区域降水量变化

Fig. 3 Annual variations of summer precipitation of North China (a), Huaihe River basin (b), the middle and lower reaches of Yangtze River (c) and South China (d) (the dashed line standing for linear trend)

偏相关系数可以发现, 华南、长江中下游和华北对高原积雪、冻土和植被的变化均较为敏感, 而淮河仅对高原植被变化较为敏感, 因此这里选用长江中下游的拟合系数(表 3)进行简化来建立高原陆表特征变化序列(图 4)。拟合公式为

$$Y_{sfv} = 1 \times sn - 0.75 \times sn^2 + 1 \times fr - 0.35 \times fr^2 + 1 \times veg - 2 \times veg^2 \tag{1}$$

式中: Y_{sfv} 为高原陆表特征综合变化序列; sn 为高原积雪综合变化序列; fr 为高原季节冻土去掉 1987 年前后均值变化的变化序列; veg 为高原植被变化

序列。由上式得到高原陆表综合序列变化, 发现其变化趋势不太明显, 在 20 世纪 80 年代后有一个微弱的减少。

利用高原陆表特征综合变化序列与华南、长江中下游、淮河流域、华北四个区域降水求相关可以发现, 长江中下游、淮河流域、华北三个区域的相关系数均能通过 95% 信度检验。表明高原陆表特征能较好地反映长江中下游、淮河流域、华北降水的变化, 不能较好地反应华南地区降水(表 4)。

表2 高原陆表状况与4个区域夏季降水的相关系数

Table 2 The correlation coefficients between land surface conditions in the Tibetan Plateau and summer precipitations in four regions

区 域	复相关系数	偏相关系数					
		积雪	冻土	植被	积雪二次方	冻土二次方	植被二次方
华北	0.576 7	0.727 1	0.739 0	0.638 6	0.719 4	0.692 8	0.179 7
淮河流域	0.701 1	0.164 5	0.065 1	0.912 4	0.170 9	0.193 6	0.946 3
长江中下游	0.655 6	0.938 7	0.423 4	0.271 2	0.939 9	0.217 9	0.687 5
华南	0.590 2	0.884 0	0.026 0	0.828 7	0.879 6	0.606 0	0.770 7

表3 高原陆表状况与4个区域夏季降水的拟合系数

Table 3 The fitting coefficients between land surface conditions in Tibetan Plateau and summer precipitations in four regions

区域	拟合系数					
	积雪	冻土	植被	积雪二次方	冻土二次方	植被二次方
华北	-0.865 1	0.896 0	0.677 9	0.675 4	-0.526 9	-0.092 5
淮河流域	-0.118 9	0.046 5	1.589 4	0.098 7	0.094 5	-1.294 6
长江中下游	2.055 5	0.352 9	0.212 7	-1.658 6	-0.113 2	-0.443 2
华南	1.526 2	0.021 0	-1.195 2	-1.191 4	-0.412 9	0.605 4

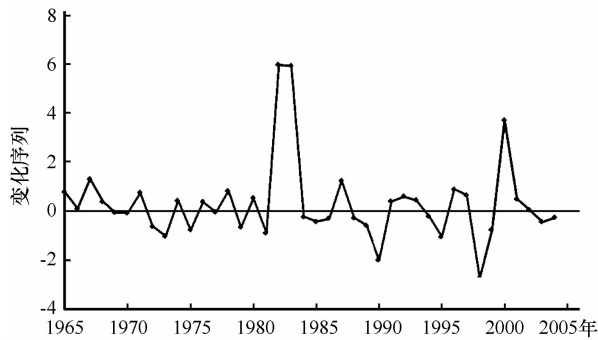


图4 高原陆表特征变化序列

Fig. 4 The change sequence of land surface characteristics in the Tibetan Plateau

表4 高原陆表特征变化序列与4个区域夏季降水的相关系数

Table 4 The correlation coefficient between change sequence of land surface characteristics in the Tibetan Plateau and summer precipitations in four regions

区域	华北	淮河流域	长江中下游	华南
相关系数	0.438 2	-0.583 3	-0.455 3	-0.054 2

4 高原陆表特征变化与夏季降水的关系

计算高原陆表特征与全国550个站夏季降水的相关系数可以发现，高原陆表状况能够较好地预测中国夏季降水的分布，长江流域有较好的正相关性，华南地区、西南南部、华北、西北北部、东北等地为负相关，通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验的区域主要

在长江中游和辽宁中部(图5，阴影区域为通过 $\alpha=0.05$ 显著性检验的部分)。这表明，当高原陆表特征参数为正时，高原地区夏季感热偏弱，会引起长江流域降水增加，华南和华北降水减少；而当高原地区陆表特征参数为负时，高原地区夏季感热偏强，长江流域降水减少，华南和华北降水增加，这与过去的研究结果一致^[3,6]。

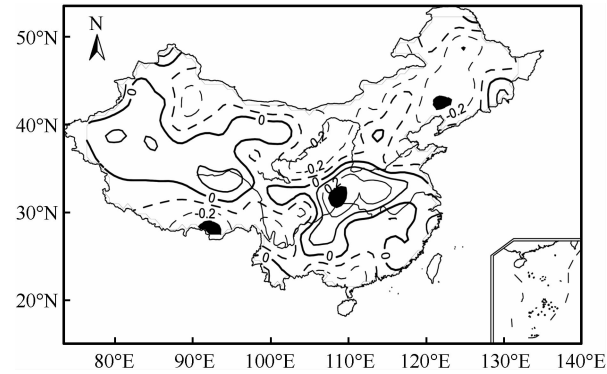


图5 高原陆表特征变化序列与中国夏季降水的相关系数分布

Fig. 5 The distribution of correlation coefficient between change sequence of land surface characteristics in the Tibetan Plateau and summer precipitation in China

5 结论

过去的研究中发现，当高原积雪达到一定厚度时，积雪对土壤具有保温作用，在同等温度下积雪较厚时冻土厚度反而更薄，但仅在部分高原积雪较

厚区域的个别时段存在这种现象^[24]。Wang 等^[25]研究发现,高原不同地区积雪的异常状况其气候效应也有差异。由于本文是将高原积雪、冻土和植被作为一个整体来讨论高原地表对我国夏季降水的影响,因此积雪、冻土和植被个体区域差异带来的影响笔者认为相对较小,对本文结果影响不大。

通过分析可得如下结论:

(1) 我国夏季降水在华北和东北南部,长江中下游和华南地区降水空间一致性较好,相邻站点间降水变化趋势近似。华南、长江中下游和淮河降水呈增加趋势,其中长江中下游每 10 年增加 37 mm,但华北降水呈减少趋势。

(2) 华南、长江中下游和华北对高原积雪、冻土和植被的变化均较为敏感,而淮河仅对高原植被变化较为敏感。利用高原积雪、冻土和植被建立了代表高原地表特征的变化序列,其对长江中下游、淮河流域、华北夏季降水均有较好指示意义,与夏季降水的相关系数分布由南到北表现为“负-正-负”的分布特征。

(3) 提出一种高原陆表状况影响中国夏季降水的概念模型(图 6)。高原冬春积雪偏多(少)、冬季冻土偏厚(薄)、春季植被偏多(少)会使得夏季高原地区土壤湿度偏大(小),高原地表感热偏弱(强),从而使得南亚高压和西太副高偏弱(强),南

海季风偏弱(强),长江流域降水偏多(少),华南和华北地区降水偏少(多)。

参考文献 (References):

[1] Feng Song, Tang Maochang, Wang Dongmei. New evidence for the Qinghai-Xizang (Tibet) Plateau as a pilot region of climatic fluctuation in China [J]. Chinese Science Bulletin, 1998, 43 (20): 1745 - 1749. [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明[J]. 科学通报, 1998, 43 (6): 633 - 636.]

[2] Li Peiji. Response of Tibetan snow cover to global warming [J]. Acta Geographica Sinica, 1996, 51 (3): 260 - 265. [李培基. 青藏高原积雪对全球变暖的响应[J]. 地理学报, 1996, 51 (3): 260 - 265.]

[3] Zhao Ping, Chen Longxun. Climatic features of atmospheric heat source/sink over the Qinghai-Xizang Plateau in 35 years and its relation to rainfall in China [J]. Science in China: Series D, 2001, 44 (9): 858 - 864. [赵平, 陈隆勋. 35 年来青藏高原大气热源气候特征及其与中国降水的关系[J]. 中国科学: D 辑, 2001, 31 (4): 327 - 332.]

[4] Li Guoping. Dynamic meteorology of Tibetan Plateau [M]. Beijing: China Meteorological Press, 2002: 152 - 224. [李国平. 青藏高原动力气象学[M]. 北京: 气象出版社, 2002: 152 - 224.]

[5] Chen Lieting, Yan Zhixin. The influence of the winter-spring snows over the Qinghai-Tibetan Plateau on atmospheric circle and the flood rain fall in South China [C]// The middle-long forecasting on hydrometeorology: 1. Beijing: Water Resource and Electric Power Press, 1979: 185 - 194. [陈烈庭, 阎志新. 青藏高原冬春积雪对大气环流和我国南方汛期降水的影响[C]// 中长期水文气象预报文集: 1. 北京: 水利电力出版社, 1979: 185 - 194.]

[6] Wei Zhigang. The large scale variation and impact of land surface in western China on summer precipitation [D]. Beijing: Graduate University of Chinese Academy of Sciences, 2003: 61 - 118. [韦志刚. 我国西部大尺度陆面状况的变化及其对我国夏季降水的影响[D]. 北京: 中国科学院研究生院, 2003: 61 - 118.]

[7] Chen Lieting, Wu Renguang. Interannual and decadal variations of the snow cover over Qinghai-Xizang Plateau and their relationship to summer monsoon rainfall in China [J]. Advances in Atmospheric Sciences, 2000, 17 (1): 18 - 30.

[8] Liu Huaqiang, Sun Zhaobo, Zhu Weijun. Interdecadal relation between snow cover over the Tibetan Plateau and Asian monsoon circulation [J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2003, 26 (6): 733 - 739. [刘华强, 孙志渤, 朱伟军. 青藏高原积雪与亚洲季风环流年代际变化的关系[J]. 南京气象学院学报, 2003, 26 (6): 733 - 739.]

[9] Zhang Yongsheng, Li Tim, Wang Bin. Decadal change of the spring snow depth over the Tibetan Plateau; the associated circulation and influence on the east summer monsoon [J]. Journal of Climate, 2004, 17 (14): 2780 - 2793.

[10] Peng Jingbei, Chen Lieting, Zhang Qingyun. Multi-scale variations of snow cover over QXP and tropical pacific SST and their influences on summer rainfall in China [J]. Plateau Meteorology, 2005, 24 (3): 366 - 377. [彭京备, 陈烈庭, 张庆云. 青藏高原异常雪盖和 ENSO 的多尺度变化及其与中国夏季降水的关系[J]. 高原气象, 2005, 24 (3): 366 - 377.]

[11] Wang Yetang, He Yong, Hou Shugui. Recent progress in research

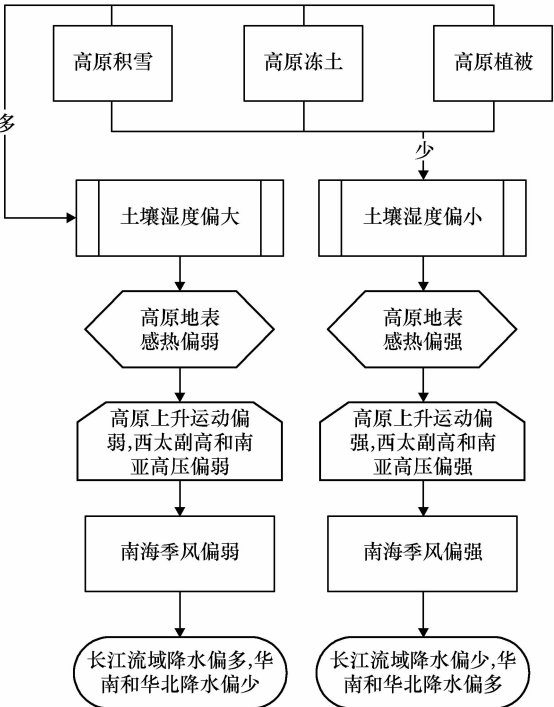


图 6 高原陆表状况影响中国夏季降水的概念模型
Fig. 6 A conceptual model of Tibetan Plateau surface conditions affecting summer precipitation in China

- ches of the impact of winter and spring snow cover on the Asian summer monsoon precipitation in the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2008, 30(3): 452–460. [王叶堂, 何勇, 侯书贵. 青藏高原冬春季积雪对亚洲夏季风降水影响的研究[J]. 冰川冻土, 2008, 30(3): 452–460.]
- [12] Qian Yongfu, Zhang Yan, Zheng Yiqun. Impacts of the Tibetan Plateau snow anomaly in winter and spring on precipitation in China in spring and summer[J]. *Journal of Arid Meteorology*, 2003, 21(3): 1–7. [钱永甫, 张艳, 郑益群. 青藏高原冬春季积雪异常对中国春夏季降水的影响[J]. 干旱气象, 2003, 21(3): 1–7.]
- [13] Zhu Yuxiang, Ding Yihui, Liu Haiwen. Simulation of the influence of winter snow depth over the Tibetan Plateau on summer rainfall in China[J]. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences*, 2009, 33(5): 903–915. [朱玉祥, 丁一汇, 刘海文. 青藏高原冬季积雪影响我国夏季降水的模拟研究[J]. 大气科学, 2009, 33(5): 903–915.]
- [14] Wang Chenghai, Dong Wenjie, Wei Zhigang. Study on relationship between the frozen-thaw process in Qinghai-Xizang Plateau and circulation in East Asia[J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2003, 46(3): 309–315. [王澄海, 董文杰, 韦志刚. 青藏高原季节冻融过程与东亚大气环流的研究[J]. 地球物理学报, 2003, 46(3): 309–315.]
- [15] Wang Chenghai. The research of relations between frozen-thawing process in Tibetan Plateau and East Asian atmospheric circulation and summer rainfall in China[D]. Lanzhou: Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, 2002: 95–126. [王澄海. 青藏高原冻融过程与东亚大气环流及中国夏季降水关系研究[D]. 兰州: 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所, 2002: 95–126.]
- [16] Gao Rong, Wei Zhigang, Dong Wenjie, et al. Impact of the anomalous thawing in the Tibetan Plateau on summer precipitation in China and its mechanism[J]. *Advances in Atmospheric Sciences*, 2005, 22(2): 238–245.
- [17] Zhou Ting, Zhang Yinsheng, Gao Haifeng, et al. Relationship between vegetation index and ground surface temperature on the Tibetan Plateau alpine grassland[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2015, 37(1): 58–69. [周婷, 张寅生, 高海峰, 等. 青藏高原高寒草地植被指数变化与地表温度的相互关系[J]. 冰川冻土, 2015, 37(1): 58–69.]
- [18] Li Dengxuan, Wang Chenghai. The relation between soil moisture over the Tibetan Plateau in spring and summer precipitation in the eastern China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2016, 38(1): 89–99. [李登宣, 王澄海. 青藏高原春季土壤湿度与中国东部夏季降水之间的关系[J]. 冰川冻土, 2016, 38(1): 89–99.]
- [19] Fan Guangzhou, Zhou Dingwen, Liu Yaqin, et al. The relationship between NDVI change of winter in Tibetan Plateau and the summer precipitation in China[J]. *Progress in Natural Science*, 2007, 17(12): 1657–1664. [范广洲, 周定文, 刘雅勤, 等. 青藏高原冬季 NDVI 变化与我国夏季降水的关系[J]. 自然科学进展, 2007, 17(12): 1657–1664.]
- [20] Fan Guangzhou, Zhou Dingwen, Huang Ronghui, et al. The relationship between summer rainfall over China and spring NDVI variability in Tibetan Plateau[J]. *Journal of Applied Meteorological Science*, 2009, 20(4): 492–496. [范广洲, 周定文, 黄荣辉, 等. 我国夏季降水与青藏高原春季 NDVI 的关系[J]. 应用气象学报, 2009, 20(4): 492–496.]
- [21] Hua Wei, Fan Guangzhou, Zhou Dingwen, et al. Preliminary analysis on the relationships between Tibetan Plateau NDVI change and its surface heat source and precipitation of China[J]. *Science in China Series D: Earth Sciences*, 2008, 51(5): 677–685. [华维, 范广洲, 周定文, 等. 青藏高原植被变化与地表热源及中国降水关系的初步分析[J]. 中国科学: D 辑, 2008, 38(6): 732–740.]
- [22] Gao Rong, Zhong Hailing, Dong Wenjie, et al. The abrupt changing characteristics of snow cover and seasonal freezing thawing layer in the Tibetan Plateau and their impact on summer precipitation in China[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2010, 32(3): 469–474. [高荣, 钟海玲, 董文杰, 等. 青藏高原积雪和季节冻融层的突变特征及其对中国降水的影响[J]. 冰川冻土, 2010, 32(3): 469–474.]
- [23] Myneni R B. The dataset of GIMMS AVHRR Global NDVI[DS/OL]. Boston, MA: Department of Earth and Environment of Boston University, 2000.
- [24] Gao Rong, Wei Zhigang, Dong Wenjie. Analysis of the cause of the differential in interannual variation between snow cover and seasonal frozen soil in the Tibetan Plateau[J]. *Journal of Glaciology and Geocryology*, 2004, 26(2): 153–159. [高荣, 韦志刚, 董文杰. 青藏高原冬春积雪和季节冻土年际变化差异的成因分析[J]. 冰川冻土, 2004, 26(2): 153–159.]
- [25] Wang Chenghai, Yang Kai, Li Yiling, et al. Impacts of spatio-temporal anomalies of Tibetan Plateau snow cover on summer precipitation in Eastern China[J]. *Journal of Climate*, 2017, 30(1/2/3): 885–902.

Relationship between land surface characteristics in the Tibetan Plateau and summer precipitation in China

GAO Rong¹, WEI Zhigang², ZHONG Hailing¹

(1. Laboratory for Climate Studies of China Meteorological Administration, National Climate Center, Beijing 100081, China;

2. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resource Ecology, Faculty of Geographical Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: In this paper, using the daily observed snow cover and frozen soil data in 72 meteorological stations in the Tibetan Plateau, AVHRR normalized difference vegetation index (NDVI) and daily precipitation data from China's 550 meteorological stations, the relationships have been analyzed between the land surface characteristics in the Tibetan Plateau and summer precipitation in China. The results showed that the spatial consistency of summer precipitation is better in the North China and the southern region of Northeast China, the middle and lower reaches of the Yangtze River and South China, with an approximation tendency among adjacent meteorological stations. Precipitation has an increasing trend in South China, the middle and lower reaches of Yangtze River and Huaihe River basin, with an increase rate of 37 mm per 10 years in the middle and lower reaches of Yangtze River, but a decreasing trend in North China. Precipitation change in South China, the middle and lower reaches of Yangtze River and North China is sensitive to the change of snow cover, frozen soil and vegetation in the Tibetan Plateau, but in Huaihe River basin it is only sensitive to the change of vegetation. The surface features in the Tibetan Plateau have been established with snow cover, frozen soil and vegetation, which has a good indication significance on the summer precipitation in middle and lower reaches of Yangtze River, Huaihe River basin and North China. The distribution of correlation coefficient between land surface conditions in the Tibetan Plateau and summer precipitation in China had “ - ~ + ~ - ” features from south to north. Finally, one conceptual model is established to describe the effect of plateau land surface conditions on summer precipitation in China. When snow cover is more (less) in winter and spring, frozen soil depth is deep (thin) in winter and vegetation is more (less) in spring, the soil humidity of plateau land in summer will be more (less) and surface sensible heat will be less (more). Thus the South Asian High and West Pacific Subtropical High will be weak (strong), so that the South China Sea monsoon will be weak (strong), resulting in more (less) rainfall over the Yangtze River basin, and less (more) rainfall in South China and North China.

Key words: Tibetan Plateau; snow cover; frozen soil; vegetation; summer precipitation

(本文编辑：庞瑜)