

文章编号:1000-694X(2006)02-0249-05

# 西藏高原沙尘暴气候特征及成因研究

白虎志<sup>1</sup>, 马振锋<sup>2</sup>, 董文杰<sup>3</sup>, 李栋梁<sup>4</sup>, 方 锋<sup>1</sup>, 刘德祥<sup>1</sup>

(1. 兰州区域气候中心, 甘肃 兰州 730020; 2. 中国气象局成都高原气象研究所, 四川 成都 610071; 3. 国家气候中心, 北京 100081; 4. 中国科学院 寒区旱区环境与工程研究所, 甘肃 兰州 730000)

**摘 要:** 利用 1960—2000 年西藏 22 个台站观测资料和 NCEP/NCAR 再分析资料, 分析了西藏沙尘暴日数的时空特征以及沙尘暴异常的气候成因。结果表明: 西藏高原年平均沙尘暴日数分布为西多东少, 狮泉河、申扎和泽当为年沙尘暴日数超过 10 d 的中心, 它们的年变化特征是 1~5 月多, 7~10 月少。年沙尘暴日数的年代际变化特征为中间多、两头少, 在 20 世纪 90 年代达到最少。青藏高原上空的高空西风急流减弱是导致西藏大风、沙尘暴日数减少的主要原因, 影响西风急流偏强(弱)的气候系统是东亚大槽偏浅(深)和青藏高原高压偏强(弱)。沙尘暴日数的年代际异常与高空西风急流、大风日数、降水等要素年代际异常以及沙尘暴区地形地貌等因素关系密切。

**关键词:** 西藏高原; 气候特征; 环流背景; 沙尘暴

**中图分类号:** P445.4      **文献标识码:** A

关于我国北方地区沙尘暴研究成果较多<sup>[1~3]</sup>, 但对青藏高原地区沙尘暴研究却较少。青藏高原作为全球最高大的地形, 受高空西风急流的影响, 常年大风日数频繁, 这里也成为我国沙尘暴发生频率较高的区域之一<sup>[4]</sup>。方小敏等<sup>[5]</sup>认为, 青藏高原沙尘暴有较高的发生频率, 粉尘极易扬升到西风急流区, 成为远程传输中主要的粉尘源地之一。高原西北部羌塘高原、雅鲁藏布江流域移动沙丘较多, 生态环境极为脆弱, 成为我国纬度最低的沙尘暴多发区域。西藏是我国和南亚地区主要江河的发源地, 素有“江河源”和“生态源”之称, 而世界屋脊沙漠化的加剧, 不但影响当地环境, 也必将给下游的东部地区带来生态灾难。因此, 分析西藏沙尘暴特征, 开展青藏高原以及下游地区生态环境保护具有重要意义。

利用 1960—2000 年西藏 22 个气象台站观测资料和 NCEP/NCAR 再分析气候资料, 分析了西藏高原沙尘暴发生频数的空间分布特征和时间变化规律以及有利于青藏高原沙尘暴异常的环流背景、气候特征以及地理地貌特征等, 以期增进对高原沙尘暴天气的认识, 提高沙尘暴的预测和防治能力。

## 1 研究区的地理和沙源概况

西藏地势高亢、地形复杂, 冬春干旱多风, 夏秋雨量分布不均, 干湿季分明。喜马拉雅山以北, 冈底斯山和念青唐古拉山以南的雅鲁藏布江谷地, 海拔 4 000 m 以下, 属于高原温带季风半湿润、半干旱气

候。冈底斯山—念青唐古拉山以北藏北高原南部湖盆地区, 海拔 4 200~4 700 m, 属于高原亚寒带季风半干旱和干旱气候, 是西藏的大草原, 以牧业为主。藏北高原北部海拔 4 700~5 500 m, 属高原寒带干旱气候, 该区域是广阔的天然牧场。

沙漠化土地呈斑点状零散分布于高寒地带的河流沿岸以及雅鲁藏布江、拉萨河、年楚河等河谷平原上, 以高河漫滩与阶地上的固定、半固定沙丘为基础。由于过度放牧、过度樵采破坏植被而形成的流沙呈断续分布<sup>[6]</sup>。

狮泉河位于东西长近 30 km, 南北宽 10 km 的狮泉河宽展河谷区, 谷地海拔 4 250 m, 周围山地一般在 4 600~5 000 m 以上<sup>[7]</sup>。区内长冬无夏, 属于高原温带高寒气候, 年平均大风日数和扬沙日数均在 70 d 以上。

申扎地区属青藏高原南羌塘高寒草原区, 具有典型的高原植被, 藏北草地和湿地资源环境十分严酷, 高寒、生长期短、降水少、风期长、强度大, 造成沙化、旱化、冻融作用, 加之严重鼠害和超载过牧等因素, 危及草地的生存, 几个沙化比较严重的地点除仁错北侧、东侧外, 还有申扎到西北部的格仁错一线的山坡、江达六部等地, 超过 300 km<sup>2</sup> 沙化面积, 位于申扎县的藏布河流型湿地, 西北—东南走向, 海拔高度约 4 670 m, 河谷与周围山地海拔差在 400 m 以上, 河谷宽约 3 km, 河谷山坡上沙化比较严重<sup>[8]</sup>。申扎年平均大风日数为 132 d, 扬沙日数为 38 d。

雅鲁藏布江中游河谷为东西走向, 流域内沙漠化比较严重, 截止 2000 年, “一江两河”人口占全藏

收稿日期: 2004-11-29; 改回日期: 2004-12-21  
基金项目: 国家自然科学基金项目(40375031); 中组部“西部之光”人才培养计划以及甘肃省气象局“十人计划”的共同资助  
作者简介: 白虎志(1966—), 男(汉族), 甘肃兰州人, 硕士, 正研级高工, 主要从事干旱气候环境变化和预测研究。E-mail: Baihuzhi@163.com



2.3 沙尘暴的年代际变化及人类活动

从 3 个代表站 1960—2000 年的年沙尘暴日数和大风日数的年代际变化趋势表明(图 3), 总体变化特征是: 两头少、中间多。沙尘暴日数呈阶梯形增多, 又呈阶梯形减少。我们大致可以将狮泉河、申扎、泽当的年代际变化划分为 3 个阶段: 1960—1974 年为次多沙尘暴; 1975—1989 年为最多沙尘暴; 1990—2000 年为最少沙尘暴。3 个阶段的平均值分别为: 狮泉河 9.1 d、28.4 d、7.5 d; 申扎 15.9 d、23.9 d、7.3 d; 泽当 14.5 d、14.5 d、2.0 d。由此可见, 第一个阶段, 沙尘暴日数申扎最多、狮泉河最少, 后两个阶段狮泉河最多、泽当最少。从年代际变化趋势表明, 青藏高原最近一个年代的平均沙尘暴日数达到历史最少值。

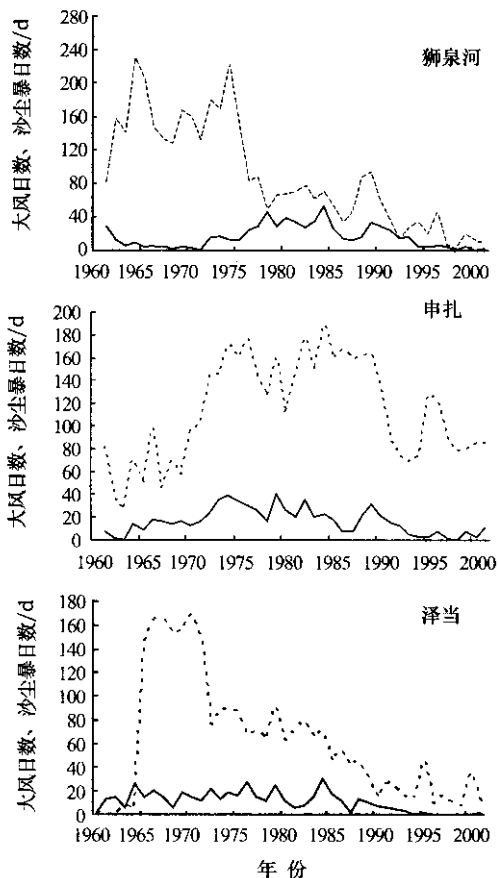


图 3 西藏高原代表站年大风(虚线)和沙尘暴日数(实线)的 annual 变化

Fig. 3 Annual change of gale and sandstorm days at representative stations in Tibet Plateau

大风是沙尘暴发生的必备条件, 申扎站大风日数的年代际趋势与沙尘暴日数的年代趋势基本一致, 呈现阶梯状增多和减少, 在 20 世纪 70 年代中期到 80 年代末, 大风日数最多, 年平均在 160 d 左右。

60 年代到 80 年代, 大风日数大约是沙尘暴日数的 5~6 倍, 90 年代大风日数是沙尘暴日数的 12 倍左右。狮泉河和泽当的年大风日数在 20 世纪 60 年代中期以后一直呈阶梯状下降趋势。狮泉河在 60 年代到 70 年代中期、泽当 60 年代中期到 70 年代初, 年平均大风日数达到 170 d 左右, 达到历史最大值, 但对应的沙尘暴日数却较少, 大风日数是沙尘暴日数的 12~19 倍。70 年代中期到 80 年代中期, 大风日数迅速减少, 但沙尘暴日数却迅速增多, 80 年代以来, 两者的变化趋势才一致迅速减少, 大风日数与沙尘暴日数的差距也在逐渐缩小。

1961—2000 年的年降水及其二阶多项式拟合趋势(图略)表明, 狮泉河年平均降水量为 76 mm, 一直呈现增多趋势; 申扎和泽当的年平均降水量分别为 301 mm 和 395 mm, 它们的趋势特征为中间少、两头多。因此, 总体来讲, 大风少、降水多, 沙尘暴也少。

为什么在 20 世纪 90 年代以前, 狮泉河和泽当的大风日数与沙尘暴的年代际变化不符合常规原理而呈现出明显相反的趋势呢? 这可能与两地那段时间农垦加剧有很大关系。我们知道, 大风和沙源是沙尘暴发生比不可少的条件, 在同等的大风条件下, 沙源裸露地表愈多, 被风蚀起沙的量也愈多。如果地表面层沙土相对固定的比较完整, 即使有大风天气, 能够形成沙尘天气的可能性也较少。青藏高原沙漠化有别于“三北”地区的重要特点是: 它并非发生在人口稀少、经济落后的穷乡僻壤, 而是发生在人口稠密、交通便利、经济繁荣的各大江河谷地<sup>[12]</sup>。西藏历史上人口增长一直很缓慢, 但自西藏和平解放以来, 人口数量迅速增长, 特别是 60 年代到 80 年代增长速度最快, 年增长率达到了 2.3%, 由此带来了一系列环境问题<sup>[13]</sup>。以狮泉河为例说明人类活动对沙尘暴的影响: 1964 年, 新疆至西藏的公路建成通车, 1965 年, 阿里政府机关正式迁至狮泉河镇。镇周围一片荒漠, 只有沿河两岸丛生的红柳显露着生机, 建镇之初常住人口有 400 人, 四周戈壁面完整、内部杂草丛生, 1979 年中国政府实行改革开放政策后, 阿里得到迅速发展。为了满足城镇薪柴、建筑石料的需要以及农垦放牧和矿产开采等诸多需要, 致使伏沙变为明沙。如今, 狮泉河已发展成有 1.2 万人, 90% 以上为藏族群众的新兴高原小镇, 人类对当地下垫面环境破坏程度被狮泉河的大风日数和沙尘暴日数的演变真实地记录了下来。60 年代任凭大风日数多, 但沙尘暴日数却相对平稳地处于历史最少值, 70 年代中期开始, 随着人口增长和对生态环境的破坏, 尽管大风日数急剧减少, 但沙尘暴日数却不断增多(见图 3)。西藏的土地沙漠化过程

是以其潜在的沙漠化自然因素与条件为基础、自然因素与人为因素共同驱动,且其中气候变化与人类活动具有近乎同等的作用与效力下所形成的一个综合过程<sup>[14]</sup>。

3 大风、沙尘暴发生的环流背景

有关研究表明<sup>[15]</sup>:西风带在夏半年位于青藏高原北侧,盛夏时急流轴心大致位于 38°~40°N,冬半年南移,隆冬时高空急流轴心大致位于 30°~32°N。西藏沙尘暴多发月主要集中在 2~4 月,这个季节高空急流的位置正好与青藏高原大风和沙尘暴区域相吻合。由于高原地形的作用,在高原南北两侧分别形成两条低空西风急流,低空急流对高海拔的高原地区没有直接的影响。因此,高空西风急流是影响西藏沙尘暴的天气系统,而影响我国北方沙尘暴的天气系统则是地面冷锋系统。因此,根据沙尘暴和大风日数的年代际特征,分析 2~4 月 1960—1974 年、1975—1989 年和 1990—2000 年三个时段 500 hPa 平均高度场异常特征。多年平均 2~4 月高度场(图 4 中 a)表明,东亚大槽位于 150°E 附近,中高纬度为西北气流,青藏高原受弱高压脊控制,脊线大

约位于 90°E 附近,高原西部为西南偏西、高原东部为西北偏西气流,急流的位置和强度也随高压的变化而变化。大家知道,在高压控制区内的高空风速是比较小的,最大风速位于槽前脊后的西南气流中,西风急流要比偏北的西风急流强,西部的大风日数也比东部多数倍<sup>[16]</sup>。因此,研究青藏高原沙尘暴的环流特征,高空急流的变化尤为重要。

1960—1974 年(图 4 中 b),乌拉尔山到贝加尔湖为负高度距平,乌山的负值较大,青藏高原和东亚大槽位置为正高度距平,这种异常分布表明,乌山高压脊和东亚大槽偏弱,中高纬度经向环流减弱,纬向环流加强。青藏高压略偏强,在这种形势下,高原西部的西风急流强度偏强,经向度较大,位置也随高压的增强而偏北。

1975—1989 年(图 4 中 c)与 1960—1974 年相比,呈现出相反的异常形势,青藏高压减弱,西风纬向度加大,强度减弱。东亚大槽位置偏东,强度增强。

1990—2000 年(图 4 中 d)中高纬距平场为“- + -”的分布形势,异常的幅度更大,东亚大槽更深。青藏高原负高度距平,高压减弱,西风气流平直,西风急流强度减弱。

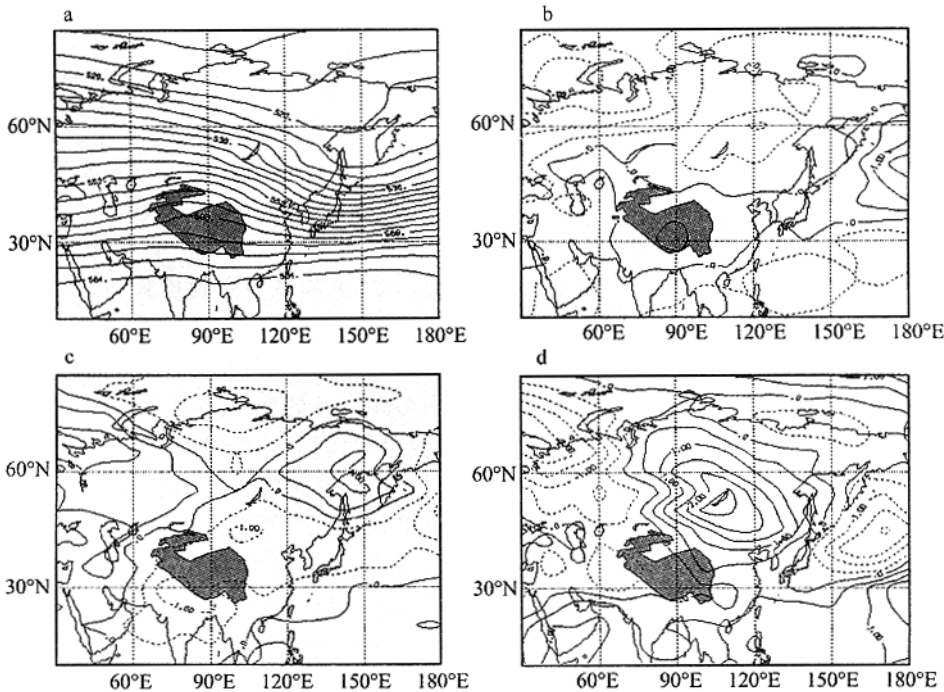


图 4 多年平均 500 hPa 高度及年代际高度距平场

Fig. 4 Anomaly fields at 500 hPa of multi-year average and decadal

综合以上分析认为,2~4 月东亚大槽浅、青藏高压强,高原西南风急流强,总体有利于西藏大风天气的形成;相反,东亚大槽深,青藏高压弱,高原西南急流弱,不利于大风天气的形成。但大风的形成与盆谷走向以及高空急流的配置也有关,如申扎的

河谷为西北-东南走向,在 1960—1974 年期间,高原高空西南偏西急流较大,急流方向与河谷走向几乎是垂直的,不利于风速在该地区加大。至于在 20 世纪 70 年代中期以前,狮泉河、泽当大风日数与沙尘暴日数的异常成因,在前面已经做了简单的讨论。

4 结论

- (1) 青藏高原平均沙尘暴日数分布为西多东少型,超过  $10\text{ d}\cdot\text{a}^{-1}$  的中心大致有 3 个,它们分别为狮泉河、申扎和泽当。其年变化是 1~5 月多,7~10 月少。
- (2) 多发区域沙尘暴日数的年代际变化特征是:1960—1974 年、1990—2000 年沙尘暴少;1975—1989 年沙尘暴多。20 世纪 90 年代的平均沙尘暴日数达到历史最少值。
- (3) 在 20 世纪 60 年代,狮泉河和泽当两地大风与沙尘暴日数不同步的原因是当地生态环境受人类影响较小,在大风日数很多的条件下,当地下垫面不具备扬起大量沙尘的条件。
- (4) 青藏高原上空高空急流是影响沙尘暴的天气系统,地面大风是影响沙尘暴的直接因素,但其影响程度的年代际差异很大。高原西南偏西风急流偏强(弱)的气候系统是东亚大槽偏浅(深)、青藏高原高压偏强(弱)。
- (5) 沙尘暴日数的年代际异常与高空西风急流、大风日数、降水等要素的年代际异常以及沙尘暴区地形、下垫面沙源情况、人类各种过度活动关系密切,其影响因素、移动路径等特征要比中国北方沙尘暴更复杂。

参考文献 (References):

[1] 钱正安,宋敏红,李万元.近 50 年来中国北方沙尘暴的分布及变化趋势分析[J].中国沙漠,2002,22(2):106—111.

[2] 王涛,陈广庭,钱正安,等.中国北方沙尘暴现状及对策[J].中

国沙漠,2001,21(4):322—327.

[3] 李栋梁,王涛,钟海玲.中国北方沙尘暴气候成因及未来趋势预测[J].中国沙漠,2004,24(3):376—379.

[4] 周自江,王锡稳,牛若芸.近 47 年中国沙尘暴气候特征研究[J].应用气象学报,2002,13(2):193—200.

[5] 方小敏,韩永翔,马金辉,等.青藏高原沙尘特征与高原黄土堆积:以 2003-03\04 拉萨沙尘天气过程为例[J].科学通报,2004,49(11):1084—1090.

[6] 王涛.我国沙漠化研究的若干问题——3.沙漠化研究和防治的重点区域[J].中国沙漠,2004,24(1):1—9.

[7] 肖洪浪.青藏高原西部狮泉河宽谷区的荒漠化过程[J].干旱区研究,1994,11(2):41—46.

[8] 李才,翟庆国,徐锋.藏北草地资源及其演化趋势——以申扎地区为例[J].地质通报,2003,22(11—12):991—998.

[9] 魏兴琥,杨萍,董光荣.西藏“一江两河”中部地区的农业发展与农田沙漠化[J].中国沙漠,2004,24(2):196—200.

[10] 江灏,吴虹,尹宪志,等.河西走廊沙尘暴的时空变化特征与其环流背景[J].高原气象,23(4):548—552.

[11] 白虎志,董文杰,马振锋.青藏高原及邻近地区气候特征[J].高原气象,2004,24(6):890—897.

[12] 沈孝辉.“地球之癌”肆虐世界屋脊[J].生态经济,1998,(1):18—19.

[13] 陈华,索朗仁青.西藏人口、资源、环境与可持续发展[J].人口研究,2002,26(1):22—28.

[14] 董玉祥.西藏自治区土地沙漠化防治及其工程建设问题研究[J].自然资源学报,2001,16(2):145—151.

[15] 孙东怀,安芷生,苏瑞峡,等.最近 2.6Ma 中国北方季风环流与西风环流演变的风尘沉积记录[J].中国科学(D 辑),2003,33(6):497—504.

[16] 白虎志,李栋梁,董安祥,等.青藏铁路沿线的大风特征及风压研究[J].冰川冻土,2005,27(1):111—116.

Climatic Properties and Sandstorm Causes in Tibet Plateau

BAI Hu-zhi<sup>1</sup>, MA Zhen-feng<sup>2</sup>, DONG Wen-jie<sup>3</sup>, LI Dong-liang<sup>4</sup>, FANG Feng<sup>1</sup>, LIU De-xiang<sup>1</sup>

(1. Lanzhou Region Climate Center, Lanzhou 730020, China; 2. Institute of Plateau Meteorology, China Meteorology Administration, Chengdu 610071, China; 3. National Climate Center, Beijing 100081, China; 4. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

**Abstract:** The data from 22 observatory stations during 1960—2000 and re-analyzed data of NCEP/NCAR were used to study the spatially and temporally distributing properties of sandstorm days in Tibet Plateau and climatic reason of anomalous sandstorm. The result showed that the distributing laws of annual sandstorm days in Tibet was more in west than that in east, the centers of annual sandstorm above 10 days mainly distributed in Shiquan river, Shenzha and Zedang, where sandstorm appeared more frequently during Jan to May, but less during July to Oct. In the last century sandstorm appeared more frequently in mid-century, however less in earlier and later century, and it was the lest in 1990'. The main cause of gale and sandstorm days decreasing in Tibet Plateau was that the Westerly over the Qinghai-Xizang Plateau weakened. The strengthening (or weakening) of the Westerly depended on the shallowing (or deepening) of trough over East Asia and the strengthening (or weakening) of high pressure over Qinghai-xizang Plateau. The decadal anomaly of sandstorm days closely related mainly with westerly jetstream, gale days, annual precipitation, and local landform, and so on.

**Key words:** Tibet Plateau; climatic properties; background of circumfluence; sandstorm