

康林,季明霞,黄建平. 欧亚大气环流对中国北方夏季沙尘天气的影响[J]. 中国沙漠, 2014, 34(1): 197-205. [Kang Lin, Ji Mingxia, Huang Jianping. Impact of eurasian atmospheric circulation on dust events in Summer over Northern China[J]. Journal of Desert Research, 2014, 34(1): 197-205.]. doi: 10. 7522/j. issn. 1000-694X. 2013. 00300.

欧亚大气环流对中国北方夏季沙尘天气的影响

康林, 季明霞, 黄建平

(兰州大学 半干旱气候变化教育部重点实验室, 甘肃 兰州 730000)

摘要: 根据 1960—2010 年全国 701 个地面站沙尘天气观测资料分析了中国夏季沙尘天气的空间分布和年际变化, 发现南疆和内蒙古两个沙尘源区的夏季沙尘指数 51 年来均呈现出减小的趋势。通过分析夏季沙尘指数典型高、低值年环流场发现: 500 hPa 高度场上强烈发展的高原-贝加尔湖平均脊和减弱的东亚大槽, 减少了高空低值系统对南疆和内蒙古中西部地区的影响, 地面上“北负南正”的变压场分布使得两个地区西风和西北风减小, 最终导致夏季南疆和内蒙古地区沙尘天气减少。沙尘指数高值年时影响两个地区天气系统的差异在于: 影响南疆地区的天气系统主要是高空的西路冷空气和地面上发展的南疆热低压, 而影响内蒙古地区的则是北路和偏北路冷空气以及地面上强烈发展的蒙古-内蒙古热低压。

关键词: 沙尘指数; 500 hPa 高度场; 850 hPa 风场; 海平面气压场

文章编号: 1000-694X(2014)01-0197-09

doi: 10. 7522/j. issn. 1000-694X. 2013. 00300

中图分类号: P425. 55

文献标志码: A

1 引言

沙尘天气包括浮尘、扬沙和沙尘暴。沙尘天气的发生不仅会加快土地的荒漠化, 同时也是生态环境状况恶化的表现。越来越多的研究表明沙尘天气的发生不仅会对当地及其下游地区的工农业生产造成严重危害, 而且对大气的辐射能量平衡和气候也有直接和间接地影响^[1-5], 因此引起了科学界的广泛关注。

春季是沙尘天气的多发季节, 对于春季沙尘天气也已经进行了很多系统性的研究工作, 并在沙尘的时空分布、影响系统及趋势预测等方面都已取得了大量有意义的研究成果^[6-15]。而对于夏季沙尘天气的研究则相对较少, 研究方法也大多局限于单个强沙尘暴天气的个例分析。牛生杰等^[16]分析了 2004 年 3 月 28 日和 7 月 12 日发生在酒泉的两次沙尘暴过程, 对比了春、夏季两次沙尘暴过程中地面气象要素的差异。李玲萍等^[17]通过对 2005 年 7 月 17 日发生在甘肃省河西走廊一次区域性强沙尘暴天气过程的分析指出, 此次夏季强沙尘暴天气是在长时间极端干旱的气候背景下, 新疆冷空气分裂东移南下, 配合当地极有利的热力不稳定层结条件引

发的大风沙尘暴天气。王锡稳等^[18]通过对一次罕见的甘肃省夏季强沙尘暴天气分析发现高空小槽、切变线、热低压是引发夏季沙尘暴的主要天气系统。岳平等^[19-20]对 2004 年 7 月 12 日出现在中国内蒙古西部和河西走廊西端的一次沙尘暴天气过程从大气层结稳定度、地形因素对沙尘暴影响的机理以及下垫面性质等方面进行了分析, 并指出此次沙尘暴天气是大气层结不稳定、当地地形和起沙前地面大风综合作用的结果。在模式模拟及夏季沙尘暴预报方面, 陈勇等^[21]利用中国自主研发的 GRAPES-DAM 沙尘气溶胶模式对 2005 年 7 月河西走廊地区的一次群发性强沙尘暴进行了数值模拟, 结果表明模式对此次过程的地面大风、沙尘暴的范围、移动等均能做出较好的模拟; 对于夏季群发性强沙尘暴过程, 基于数值预报方法的沙尘气溶胶模式在天气模式预报准确的条件下, 可以对这种小概率事件做出有应用意义的预报结果。

综上所述, 中国学者对于春季的沙尘天气特别是沙尘暴天气已经进行了较系统的研究, 而对于夏季沙尘天气的研究大多仅限于强沙尘暴个例的分析, 特别是对于夏季沙尘天气整体特征的研究还比较少。因

收稿日期: 2013-01-14; 改回日期: 2013-03-01

基金项目: 国家科技支撑计划项目(2009BAC51B04); 国家重大科学研究计划项目(2012CB955301); 国家自然科学基金项目(41175134, 41305060); 兰州大学中央高校基本科研业务费项目(lzujbky-2013-109)资助

作者简介: 康林(1986—), 男, 四川绵阳人, 硕士, 主要从事西北干旱气候方面的研究。Email: kl0317@126.com

通讯作者: 季明霞 (Email: jimx@lzu.edu.cn)

此本文将使用 Wang 等^[22]定义的综合沙尘指数,对中国夏季沙尘天气的时空分布以及夏季环流变化对中国夏季沙尘天气的影响进行一些初步探究。

2 资料与方法

2.1 资料介绍

本文使用了 1960—2010 年全国 701 个气象站地面沙尘天气观测资料。将每天的 20:00 作为气象分界点,20:00 之后记为第二天,若一天中不同时间段发生同一沙尘天气则该沙尘事件在当天只记一次。500 hPa 位势高度、海平面气压以及 850 hPa 风场使用的是水平分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 的 NCEP/NCAR 再分析月平均资料,定义 1971—2000 年各气象要素的平均值为气候标准值,文中的夏季指的是 6—8 月。根据苏志侠等^[23]对 NCEP/NCAR 的 40 年再分析资料在中国应用的可信度分析结果,夏季的再分析流场和气候流场形势基本一致,在中国区的再分析资料比较合理。

2.2 沙尘指数的建立

根据 Wang 等^[22]建立春季沙尘指数的方法,本文在南疆和内蒙古地区选取同样的 4 个站点建立了塔克拉玛干和内蒙古戈壁夏季沙尘指数,公式为:

$$TDI(GDI) = FD + 3(BD) + 9(DS)$$

式中:TDI 为塔克拉玛干夏季沙尘指数(简称南疆夏季沙尘指数);GDI 为内蒙古戈壁夏季沙尘指数(简称内蒙古夏季沙尘指数)。FD、BD、DS 分别是浮尘、扬沙和沙尘暴发生频数的归一化值。所选站

点信息如表 1 所示。

表 1 新疆、内蒙古地区选取站点信息^[22]

Table 1 Information of the selected meteorological stations in Southern Xinjiang and Inner Mongolia^[22]

地区	站点	纬度/(°N)	经度/(°E)	海拔/m
新疆	和田	37.08	79.56	1 374.6
新疆	且末	38.09	85.33	1 247.5
新疆	阿克苏	41.10	80.14	1 103.8
新疆	若羌	39.02	88.10	888.3
内蒙古	阿拉善右旗	39.13	101.41	1 510.1
内蒙古	阿拉善左旗	38.50	105.40	1 561.4
内蒙古	拐子胡	41.22	102.22	960.0
内蒙古	巴音毛道	40.45	104.30	1 328.1

3 夏季沙尘天气空间分布及变化趋势

3.1 夏季沙尘天气空间分布及季节分布

对中国北方夏季沙尘天气进行统计分析后发现,沙尘暴高值区域在南疆东南缘,平均发生天数为 15 d,次高值区域为河西走廊地区,平均发生天数为 10 d;扬沙高发区主要分布在南疆盆地以及河西走廊至河套地区,南疆盆地地区平均发生天数为 35 d,河西走廊地区平均发生天数为 15 d;而浮尘仅在南疆盆地南缘出现一个高值中心,年平均分布上河西—河套中部区的带状高值区在夏季并未出现。

南疆地区站点平均沙尘天气春季最多,冬季最少,而内蒙古地区春季最多,秋季最少(图 1);南疆地区浮尘 4 个季节发生次数均大于内蒙古地区;站点平均夏季沙尘暴、扬沙和浮尘与全年总数的比率南疆地区分别是的 35.2%、36.8% 和 31.3%,内蒙

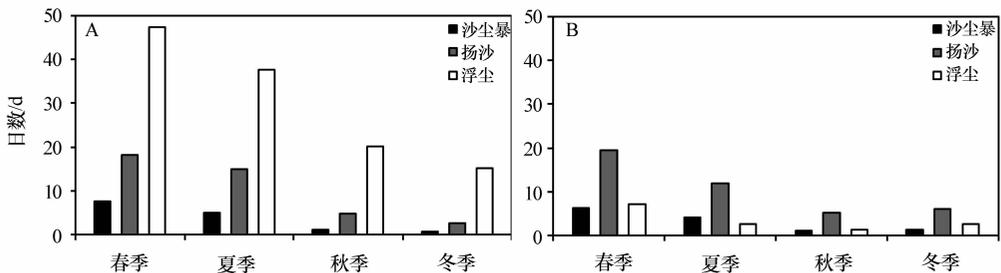


图 1 南疆(A)、内蒙古(B)地区沙尘天气的季节变化

Fig. 1 Seasonal distribution of dust days in Southern Xinjiang (A) and Inner Mongolia (B)

古地区分别是 32.2%、28% 和 18.7%。

由此可见,虽然夏季浮尘高发区域主要分布于南疆南缘地区,但是沙尘暴和扬沙天气高发区域仍主要是南疆和河西走廊地区,可以认为南疆和内蒙古中西部地区仍是夏季沙尘天气的高发区域。而从两个地区夏季沙尘天气占全年沙尘天气的比重可以看

出,夏季是仅次于春季的沙尘天气多发季节,因此针对夏季沙尘天气进行研究也是非常必要的。

3.2 夏季沙尘天气年际变化

从两个地区夏季沙尘指数距平场可知,两个地区的沙尘指数距平值在 51 年间均表现出由正到负

的变化趋势。内蒙古夏季沙尘指数距平值从 20 世纪 60 年代初开始有所增加,在 70 年代初到 80 年代中期则是沙尘指数高值期,80 年代末迅速减小到 1989 年距平值为负,在 21 世纪初又出现一次明显的减弱,之后一直处于较稳定的低值期;而南疆夏季沙尘指数距平值则在 60 年代中期到 80 年代后期一直处于高值期,但也同样在 80 年代末期和 21 世纪

初发生两次较明显的减少。

为更加明确地判断南疆和内蒙古地区夏季沙尘指数发生突变的年份,我们对两个地区的夏季沙尘指数进行了 5 点滑动 t 检验,结果表明南疆夏季沙尘指数在 1986 年和 2000 年发生了两次由多到少的突变,而内蒙古夏季沙尘指数也分别在 1990 年和 1999 年发生由多到少的突变(图 2)。

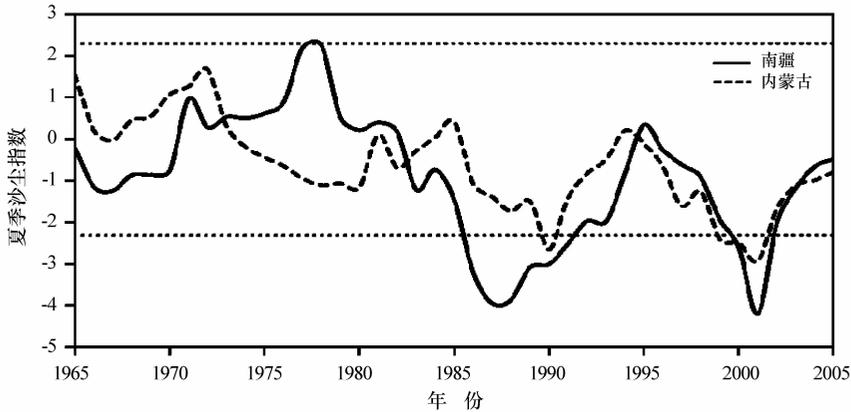


图 2 夏季沙尘指数滑动 t 统计量曲线(点线为 0.05 显著水平临界值)

Fig. 2 The moving t statistics curves of dust index in Southern Xinjiang and Inner Mongolia in summer of 1960—2010. $t_{0.05}(8) = \pm 2.306$

虽然南疆和内蒙古夏季沙尘指数在 1960—2010 年 51 年间均表现出了减小的趋势,但也存在很多差异。在以下的环流形势场合成分析中我们选择夏季沙尘指数高、低值年的方法是:分别按照图 2 确定的两个地区夏季沙尘天气突变年将 51 年划分为前期的夏季沙尘指数高值期和后期的夏季沙尘指数低值期,然后在沙尘指数高、低值期按照夏季沙尘指数距平绝对值大小分别选择 10 个高、低值年(表 2)。这样可以更加突出地反映夏季沙尘指数高、低值年环流场的差异。

表 2 南疆、内蒙古地区夏季沙尘指数典型高、低值年

Table 2 Typical years with strong and weak dust index in summer in Southern Xinjiang and Inner Mongolia

南疆	高值年	1962, 1963, 1965, 1975, 1979, 1980, 1981, 1983, 1985, 1986
	低值年	1995, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010
内蒙古	高值年	1965, 1966, 1972, 1973, 1974, 1975, 1977, 1978, 1982, 1986
	低值年	1998, 2002, 2003, 2004, 2005, 2006, 2007, 2008, 2009, 2010

4 夏季沙尘指数高、低值年大气环流场的特征

4.1 南疆地区

4.1.1 对流层中层

在南疆夏季沙尘指数高值年 500 hPa 高度距平

场(图 3A)上,高纬度和极圈地区,北极群岛及其周围洋面是中心值为 15 gpm 以上的正距平区,表明东半球极涡强度较常年偏弱;西西伯利亚地区则是中心值为 -20 gpm 的负距平;堪察加半岛及其附近洋面上出现负变高区域。中纬度大陆及海洋上,欧洲东部及黑海地区位势高度变化不明显、巴尔喀什湖以南-贝加尔湖以南地区则处于 -10 gpm 变高区控制,新疆、内蒙古中西部以及蒙古国都处于此负变高区,而日本东南太平洋海域上则是正变高。这样的变高场对应夏季中纬度槽脊系统表明,虽然新疆上游的欧洲东部槽和里海脊的强度变化不明显,但新疆下游减弱的高原-贝加尔湖平均脊和发展的副高脊以及较常年偏强的东亚槽使得环流经向度加强,有利于冷空气对新疆地区的影响。

在南疆夏季沙尘指数低值年 500 hPa 位势高度距平场(图 3B)上,大部分地区较常年位势高度均有所升高。东半球极圈范围内新地岛及其周围北冰洋上是中心值为 -15 gpm 的负距平区域。中高纬度带上出现 3 个正距平中心,从西向东依次分布于 30°E 中欧地区(中心值为 20 gpm)、贝加尔湖以南的蒙古地区(中心值为 25 gpm)、堪察加半岛以东地区(中心值为 30 gpm)。也就是说在南疆夏季沙尘指数低值年时,东半球高纬度地区地质系统较常年偏强偏西,而中纬度西风带上,新疆上游的中欧平均

槽和强度减弱,下游的高原-贝加尔湖脊强烈发展,东亚槽减弱,这样的槽脊系统变化一方面减弱了欧亚地区环流的经向度,另一方面强烈发展的高原-贝加尔湖脊也阻挡了东移影响南疆的冷空气。

从南疆夏季沙尘指数高、低值年 500 hPa 高度差值场图上(图 3C,文中差值场均是沙尘指数低值年减沙尘指数高值年)可以看出,高度场上中欧、内蒙古地区和堪察加半岛地区在沙尘指数高、低值年存在显著差异,低值年时这 3 个区域位势高度均显著升高,对应着欧洲平均脊、高原-贝加尔湖平均脊的强烈发展和东亚大槽的减弱。

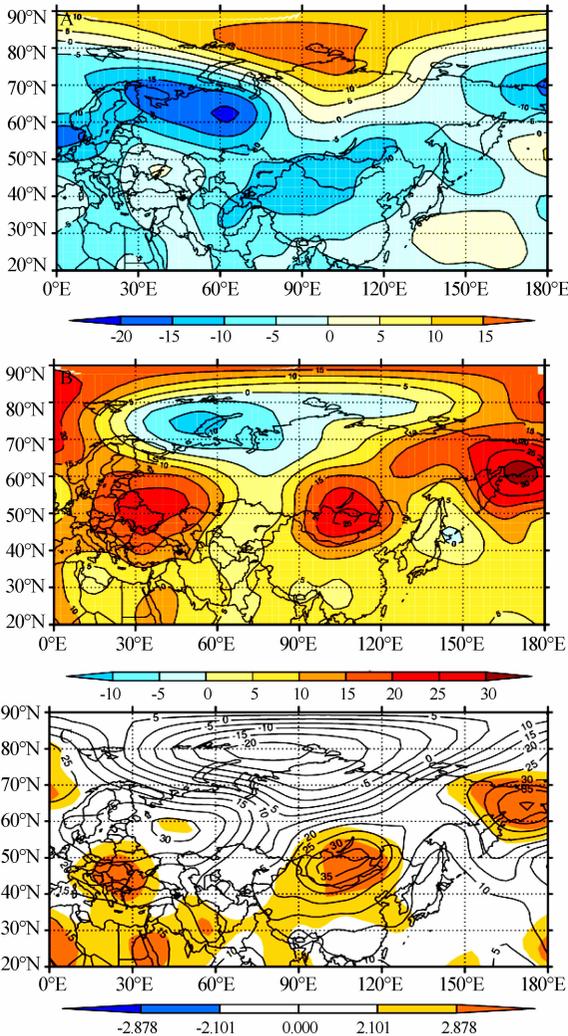


图3 南疆夏季沙尘指数高值年(A)、低值年(B)平均 500 hPa 高度距平场,500 hPa 高度差值场(C)。

$$t_{0.05} = \pm 2.101, t_{0.01} = \pm 2.878$$

Fig. 3 The averaged 500 hPa geopotential height anomaly fields in years with high (A) and low (B) summer dust index in Southern Xinjiang, and 500 hPa geopotential height anomaly difference field (C). Colored areas indicate statistical significance greater than 95% confidence level

4.1.2 对流层低层

由图 4A 可知,南疆夏季沙尘指数高值年时,海平面气压距平场的正负距平分布与对流层中层位势高度距平场(图 3A)的正负距平分布较为相似。极圈范围内极地冷高压是加强的,其中心值为 1.5 hPa。中高纬度地区与常年相比变化最大区域是东亚地区,在巴尔喀什湖以南到蒙古国地区,包括新疆、内蒙古中西部地区在内,全部处于-2.0 hPa 的负距平区域,其中心区域位于蒙古国西部到新疆东北部,中心值为-2.5 hPa,在此期间南疆、内蒙古中西部和蒙古国地区的大陆热低压有强烈的发展。而在巴尔喀什湖以西的中南亚地区出现了正的气压距平,这说明此期间中亚地区夏季热低压强度有所减弱。在近地面风场距平场(图 5A)发现,北极群岛附近出现了反气旋性差值风场,对应该地区增强的冷高压;西西伯利亚地区出现了气旋性差值风场。而中纬度地区海平面气压距平场上受大范围负距平区域控制的中国和蒙古国地区处于一个大的气旋性差值风场控制,而这其中又在巴尔喀什湖以东新疆地区和蒙古中部地区出现两个较小的气旋性差值风场。综上,在南疆夏季沙尘指数高值年时,加强的高纬度地区冷高压和中国西部地区的大陆热低压一方面使得高纬向低纬地区的质量输送加强,另一方面加强的南疆热低压不仅为南疆夏季沙尘指数的发生提供了前期的热力和对流条件,加强的偏西风也提供了沙尘天气发生需要的动力条件。

在南疆夏季沙尘指数低值年海平面气压距平场上(图 4B),极圈为正变压,极圈以外的高纬度地区为带状的负变压区域,中心位于新地岛,冷高压减弱。中纬度地区,欧洲地区为负距平,而中亚和东亚大部分地区为正距平,两个较明显的正距平区域一个在黑海地区,另一个在蒙古国和内蒙中西部地区,而在巴尔喀什湖以南、新疆以西地区则有一个较小的负距平区域。近地面风场距平场上(图 5B),减弱的极地冷高压区域出现以新地岛以西为中心的气旋性差值风场,而中纬度大陆地区在里海、南疆和贝加尔湖以南地区均出现了反气旋性差值风场,分别对应气压场上减弱的里海地区热低压、南疆热低压和蒙古中部热低压。综上,在南疆夏季沙尘指数低值年时,海平面气压场上极地冷高压和里海热低压以及中国北部热低压的强度均明显较常年减弱,高纬度和中纬度地区减弱的冷高压和大陆性热低压降低了南北向的气压梯度,减少了高纬冷高压的南下影响。而减弱的南疆热低压则是在热力和动力上都降

低了该地区夏季沙尘天气的发生概率。

从海平面气压差值场(图 4C)和 850 hPa 风场差值场(图 5C)可以看出,海平面气压场上,黑海以东地区、巴尔喀什湖及其西南地区和高原-贝加尔湖带状区域在沙尘指数高值年较沙尘指数低值年显著降低,而新西伯利亚群岛以北洋面上则显著升高。近地面风场上南疆地区、贝加尔湖以南地区和内蒙古东部-辽东半岛地区沙尘指数高、低值年时风场有显著差异。

综合对对流层中层和低层的分析,南疆夏季沙

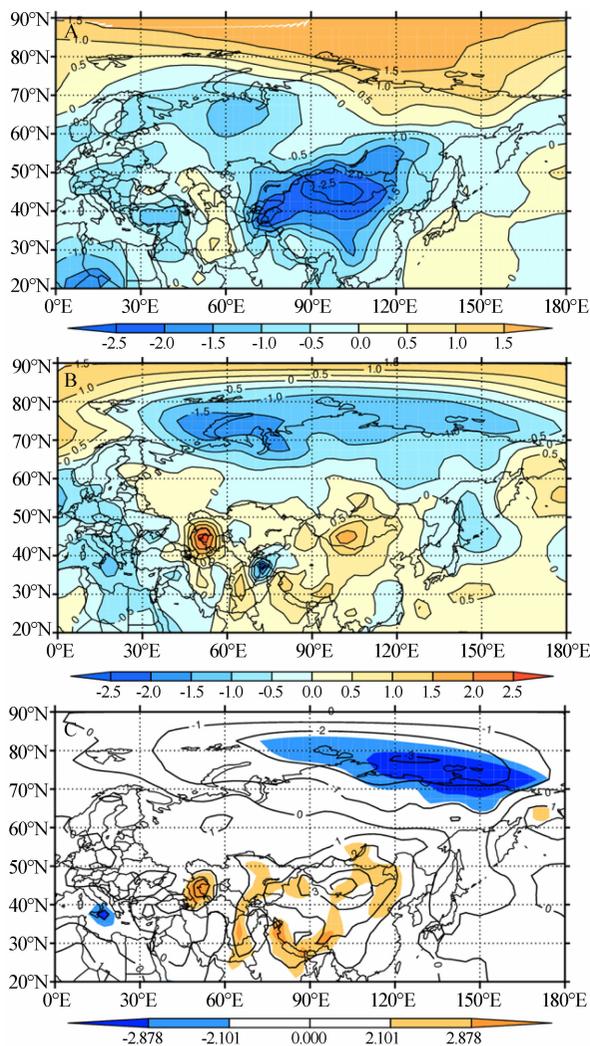


图 4 南疆夏季沙尘指数高值年(A)、低值年(B)平均海平面气压距平场和海平面气压差值场(C).

$t_{0.05} = \pm 2.101, t_{0.01} = \pm 2.878$

Fig. 4 The averaged 500 hPa sea level pressure anomaly fields in years with high (A) and low (B) summer dust index in Southern Xinjiang, and 500 hPa sea level pressure anomaly difference field (C). Colored areas indicate statistical significance greater than 95% confidence level

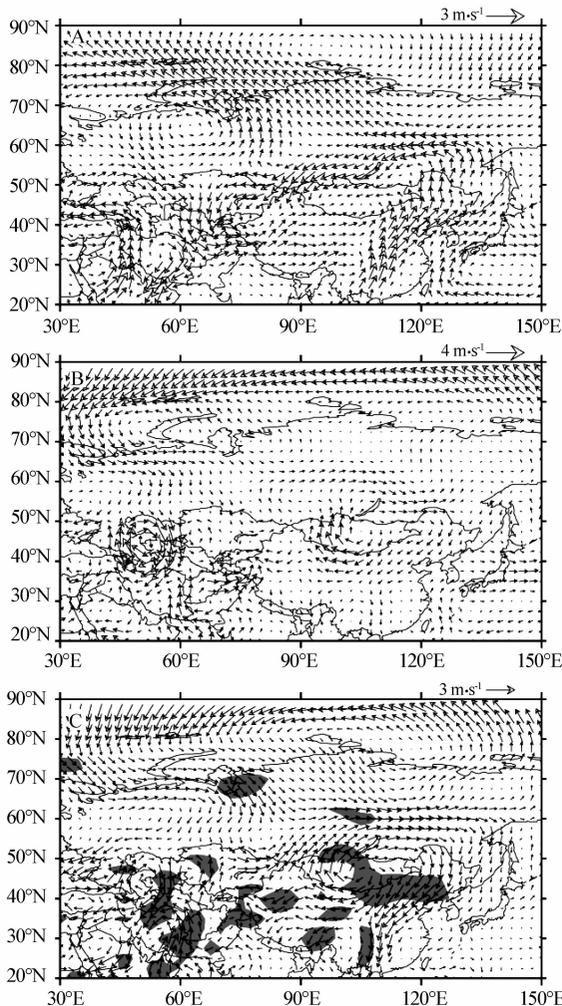


图 5 南疆夏季沙尘指数高值年(A)、低值年(B)平均 850 hPa 风场距平场和 850 hPa 风场差值场(C). $t_{0.05} = \pm 2.101$, 阴影区域为通过 0.05 显著水平检验区域

Fig. 5 The averaged 850 hPa wind anomaly fields in years with high (A) and low (B) summer dust index in Southern Xinjiang, and 850 hPa wind anomaly difference field (C). Shaded areas indicate statistical significance greater than 95% confidence level

尘指数高值年时,对流层中层极涡强度减弱,而对南疆影响较大的西路冷空气源地西西伯利亚及其以南地区高空低值系统则有所发展。中纬度减弱的高原-贝加尔湖脊和发展的西太平洋副热带高压脊使得环流倾向度加大,有利于冷空气东移南下影响南疆地区;而近地面场上极地冷高压、南疆热低压、蒙古及内蒙古中西部大陆热低压的强烈发展一方面加强了高纬向低纬的质量输送,另一方面发展的南疆热低压为南疆地区沙尘天气的发生提供了动力和热力条件,最后也就导致了南疆地区更多的沙尘天气的发生。而南疆夏季沙尘指数低值年时,对流层中层东半球极涡强度加强,西西伯利亚地区低值系统减

弱。高原-贝加尔湖平均脊的强烈发展和东亚大槽的减弱一方面使得环流经向度减弱,另一方面发展的高原-贝加尔湖脊也阻挡了冷空气东移影响南疆;近地面场上东半球极地冷高压减弱,亚洲大陆热低压减弱,欧洲热低压加强使得一方面近地面场上从高纬向中纬度的偏北风减弱,另一方面也使得南疆地区的偏西风较常年偏小,最终导致南疆沙尘天气的减少。

4.2 内蒙古地区

4.2.1 对流层中层

从内蒙夏季沙尘指数高值年 500 hPa 高度距平场(图 6A)上可以看出,在内蒙夏季沙尘指数高值年时,极圈内为正距平,说明极涡的强度较常年减弱。高纬度地区,作为影响中国西北路冷空气源地的新地岛及其以南地区为正距平,中心值为 10 gpm,而偏北路冷空气源地的中西伯利亚地区则出现负距平,此期间西伯利亚地区高空低值系统发展加强。中纬度地区,巴尔喀什湖-蒙古国西部均为负距平,而此负距平区域和西伯利亚地区的负距平区域连成一片,中纬度海面上日本北部及其以东洋面上出现正距平,中心位于 40°N、150°E,而堪察加半岛地区负距平中心值为-20 gpm。中纬度槽脊系统上,减弱的高原-贝加尔湖脊、发展的副高脊和加强的东亚槽,加大了东亚地区环流的经向度,有利于偏北冷空气东移南下影响内蒙地区。

在内蒙古夏季沙尘指数低值年 500 hPa 高度距平场(图 6B)上,东半球极圈内,与南疆夏季沙尘指数低值年不同的是,极涡强度的变化并不是很明显,仅在新地岛和查梅尔半岛附近出现了两个小的负距平区域;中高纬度地区有两个较大的正距平带,一个是从欧洲西海岸到黑海地区,中心值为 20 gpm;另一个是从蒙古国西部到堪察加半岛以东洋面,其中有两个高值区,一个在贝加尔湖以南地区,中心值为 25 gpm,另一个在堪察加半岛,中心值为 25 gpm。中纬度地区的 3 个正距平中心分别对应着中欧槽、高原-贝加尔湖脊和东亚槽,也就是说中欧槽和东亚槽强度较常年偏弱,而高原-贝加尔湖脊较常年偏强。特别是发展的高原-贝加尔湖脊使得其控制地区内蒙古中西部受高空低值系统的影响明显减小。

在 500 hPa 高度差值场(图 6C)上,中纬度欧亚大陆大部都通过了显著性检验,但仍可以看出主要的差异地区有 3 个,分别在欧洲、高原-贝加尔湖地区和堪察加半岛附近,对应着欧洲中部槽、高原-贝

加尔湖脊和东亚槽,这 3 个系统的综合作用使得内蒙古夏季沙尘天气发生变化。

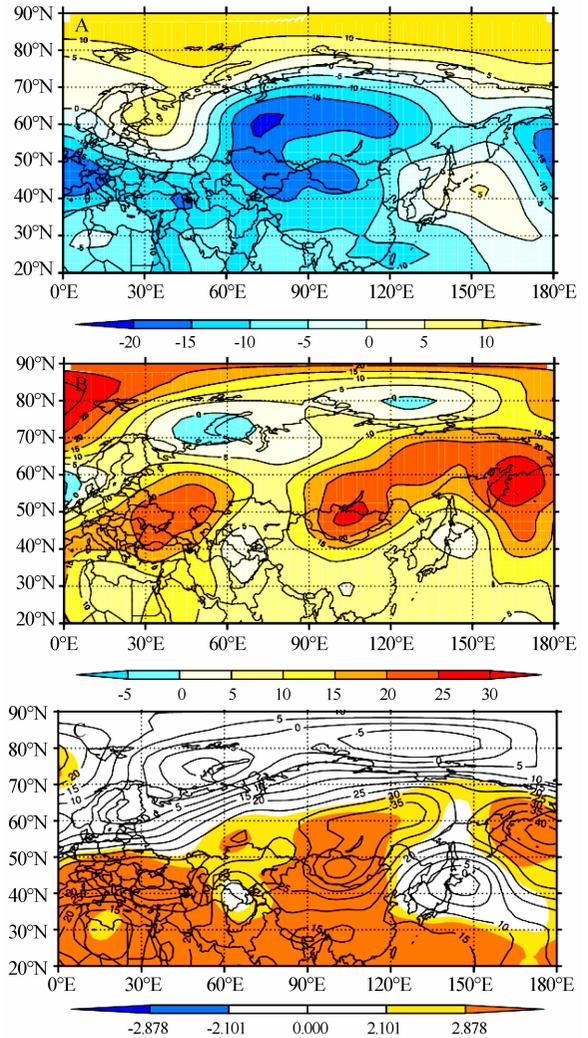


图 6 内蒙古夏季沙尘指数高值年(A)、低值年(B)平均 500 hPa 高度距平场和 500 hPa 高度差值场(C)。

$$t_{0.05} = \pm 2.101, t_{0.01} = \pm 2.878$$

Fig. 6 The averaged 500 hPa geopotential height anomaly fields in years with high (A) and low (B) summer dust index in Inner Mongolia, and 500 hPa geopotential height anomaly difference field (C). Colored areas indicate statistical significance greater than 95% confidence level

4.2.2 对流层低层

在内蒙古夏季沙尘指数高值年海平面气压距平场(图 7A)上,极地冷高压强度增强;欧亚大陆中高纬度地区有 3 个负距平区和两个正距平区。两个正距平区分别位于西西伯利亚和里海地区,3 个负距平区域从西向东分别位于欧洲东部地区、黑海和中国北方与蒙古国,而第 3 个负距平区域最大,其中心在蒙古西部与内蒙古交界地区,中心值为-2.0 hPa。

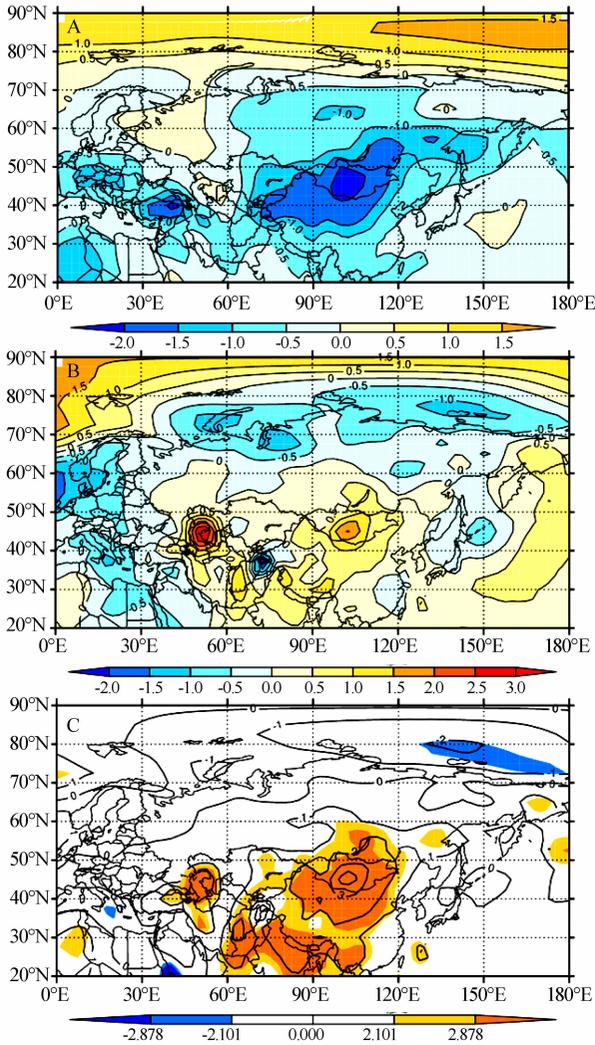


图 7 内蒙古夏季沙尘指数高值年(A)、低值年(B)平均海平面气压距平场和海平面气压差值场(C).

$$t_{0.05} = \pm 2.101, t_{0.01} = \pm 2.878$$

Fig. 7 The averaged 500 hPa sea level pressure anomaly fields in years with high (A) and low (B) summer dust index in Inner Mongolia, and 500 hPa sea level pressure anomaly difference field (C). Colored areas indicate statistical significance greater than 95% confidence level

这说明在此期间,蒙古和内蒙古地区热低压强烈发展。在近地面风场距平场(图 8A)上,30°—150°E区域内,70°N 以北地区均出现差值东风,而中纬度在蒙古国中部出现气旋型差值风场,内蒙古西部地区处于差值西风控制。综上,在内蒙古夏季沙尘指数高值年时,极地冷高压强度增强,而中纬度地区大陆热低压发展,特别是蒙古中西部及内蒙古西部地区热低压发展加强显著,这样的气压场变化使得中高纬度地区偏西风减弱,而内蒙古西部地区偏西北风加强。

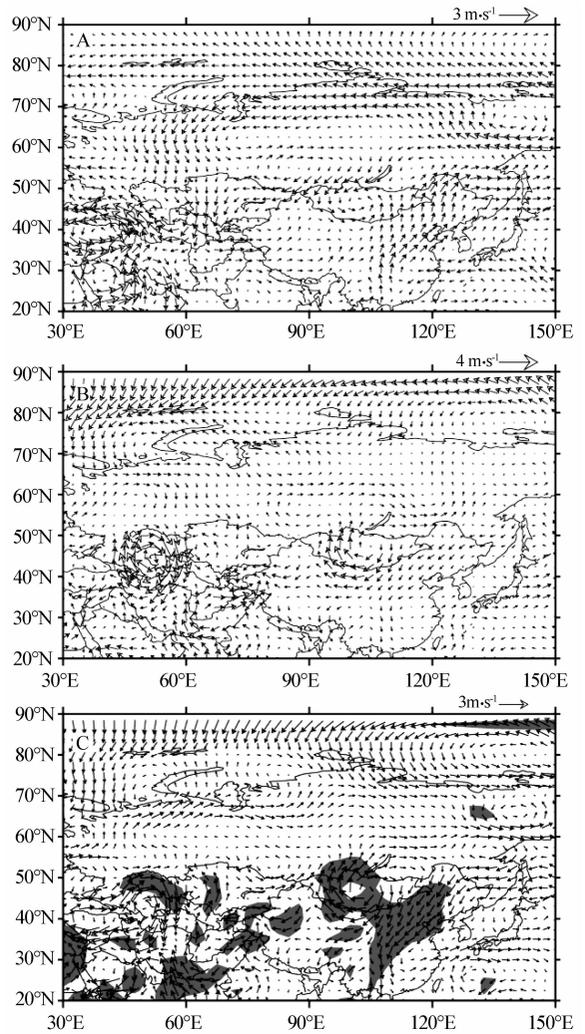


图 8 内蒙古夏季沙尘指数高值年(A)、低值年(B)平均 850 hPa 风场距平场,850 hPa 风场差值场(C).

$$t_{0.05} = \pm 2.101, \text{阴影区域为通过 } 0.05 \text{ 显著水平检验区域}$$

Fig. 8 The averaged 850 hPa wind anomaly fields in years with high (A) and low (B) summer dust index in Inner Mongolia, and 850 hPa wind anomaly difference field (C). Shaded areas indicate statistical significance greater than 95% confidence level

而内蒙古夏季沙尘指数低值年海平面气压距平场(图 7B)上,东半球极圈内大部分地区出现负距平,极地冷高压减弱。中纬度欧亚大陆上,里海和蒙古国中部地区出现两个正距平中心,里海地区正距平中心值达到 3.5 hPa,蒙古地区正距平中心值为 2.0 hPa。近地面风场距平场(图 8B)上,60°—70°N 带状区域西风加强,中纬度里海地区和贝加尔湖以南蒙古国中部出现反气旋型差值风场,内蒙古中西部均处于差值东风控制。在内蒙古夏季沙尘指数低

值年时,近地面场上东半球高纬地区冷高压减弱,中纬度地区大陆热低压强度也有所减弱,而在蒙古中部和内蒙古中西部地区热低压减弱明显,内蒙古中西部处于强烈减弱的蒙古热低压南缘,近地面场上西北风较常年减弱,最后导致内蒙夏季沙尘天气减少。

从海平面气压差值场(图7C)和850 hPa风场差值场(图8C)上可以看出,海平面气压场上里海地区和蒙古-内蒙古西部地区在沙尘指数高、低值年时差异明显;而风场上南疆地区、内蒙古中西部、蒙古中部和中国北方季风影响区域沙尘指数高、低值年风场有显著差异。

综合以上内蒙古夏季沙尘指数高、低值年对流层中层和低层环流场的分析可知,内蒙夏季沙尘指数高值年时,对流层中层上极涡和新地岛附近低值系统均减弱,而北路冷空气源地的西伯利亚地区低值系统有所发展,中纬度地区控制内蒙古地区的高原-贝加尔湖脊减弱而副高脊和东亚大槽均加强,造成环流经向度加大,有利于北路冷空气南下影响内蒙古地区;近地面场上,加强的极地冷高压和内蒙古地区的热低压一方面使得北方冷高压对内蒙地区的影响增多,另一方面处于加强的蒙古热低压南部的内蒙古西部地区近地面场上偏西风也较常年偏强,最后在发展的热低压和偏强的西北风作用下沙尘天气较常年偏多。而内蒙夏季沙尘指数低值年时,虽然对流层中层极涡的强度变化不是太明显,但是中纬度槽脊系统上,控制内蒙古地区的高原-贝加尔湖脊发展加强,下游的东亚大槽减弱,造成高空影响内蒙地区的低值系统减少;近地面场上减弱的高纬度冷高压和内蒙地区的热低压造成近地面场上内蒙中西部地区偏西风的减小,最后导致此期间内蒙沙尘天气减少。

5 结论

本文首先利用Wang等^[22]的方法计算得到了南疆和内蒙古夏季沙尘指数,然后讨论了南疆和内蒙古地区1960—2010年夏季沙尘天气的年际变化,并对两个地区的夏季沙尘指数做了突变分析,最后分析了两个地区夏季沙尘指数高、低年夏季平均环流场的差异。

南疆和内蒙古夏季沙尘指数在1960—2010年间均表现出波动下降的变化趋势,但两个沙尘指数也存在一些较明显的差异:内蒙古夏季沙尘指数年际变化较大,在1990年和1999年发生了由多到少

的突变;而南疆夏季沙尘指数则较稳定地呈减小趋势,但在1986年和2000年发生了由多到少的突变。两个地区夏季沙尘指数表现出的这些年际分布差异与地区间不同的下垫面特征、受不同路径冷空气影响和不同的沙尘天气诱生系统有关。

南疆和内蒙古地区夏季沙尘天气的减少均与对流层中层高原-贝加尔湖平均脊的发展、下游副高脊和东亚大槽的减弱以及海平面气压场上高纬度地区冷高压和中纬度地区中国北方大陆热低压的减弱有关。但在两个地区的夏季沙尘指数高值年时,影响两个地区的系统有所不同,造成南疆夏季沙尘天气偏多的对流层中层低值系统主要是来自新地岛及其以南的西西伯利亚地区,而影响内蒙古中西部的高空低值系统主要来自中西伯利亚地区;海平面气压场上,南疆夏季沙尘指数高值年时,南疆热低压强烈发展使得南疆地区近地面场上偏西风加强,最后导致南疆地区夏季沙尘天气偏多。而内蒙夏季沙尘指数高值年时,主要的影响系统是强烈发展的蒙古、内蒙古地区的热低压,造成该地区近地面偏西风加强所导致。

参考文献:

- [1] Huang J P, Minnis P, Wang T, et al. Possible influences of Asian dust aerosols on cloud properties and radiative forcing observed from MODIS and CERES[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33: L06824.
- [2] 钱云, 符崇斌, 王淑瑜. 沙尘气溶胶与气候变化[J]. *地球科学进展*, 1999, 14(4): 391—394.
- [3] 徐国昌, 陈敏连, 吴国雄. 甘肃省“4.22”特大沙尘暴分析[J]. *气象学报*, 1979, 37(4): 26—35.
- [4] Huang J P, Lin B, Minnis P, et al. Satellite-based assessment of possible dust aerosols semi-direct effect on cloud water path over East Asia[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(19): L19802.
- [5] Huang J P, Minnis P, Lin B, et al. Possible influences of Asian dust aerosols on cloud properties and radiative forcing observed from MODIS and CERES[J]. *Geophysical Research Letters*, 2006, 33(6): L06824.
- [6] 王式功, 王金艳, 周自江, 等. 中国沙尘天气的区域特征[J]. *地理学报*, 2003, 58(2): 193—200.
- [7] 王式功, 董光荣, 杨德保, 等. 中国北方地区沙尘暴变化趋势初探[J]. *自然灾害学报*, 1996, 5(2): 86—94.
- [8] 崔彩霞. 新疆40年气候变化与沙尘暴趋势分析[J]. *气象*, 2001, 27(12): 38—41.
- [9] 王鑫. 黄土高原地区沙尘气溶胶的综合观测研究[D]. 兰州: 兰州大学, 2009.
- [10] 徐启运, 胡敬松. 我国西北地区沙尘暴天气时空分布特征分析[J]. *中国减灾*, 1996, 6(3): 42—45.

- [11] Huang J P, Minnis P, Chen B, et al. Long-range transport and vertical structure of Asian dust from CALIPSO and surface measurements during PACDEX [J]. *Journal of Geophysical Research*, 2008, 113(D23): D23212.
- [12] Huang, J P, Minnis P, Yan H, et al. Dust aerosol effect on semi-arid climate over Northwest China detected from A-Train satellite measurements [J]. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 2010, 10 (14): 6863-6872.
- [13] Huang J P, Minnis P, Yi Y, et al. Summer dust aerosols detected from CALIPSO over the Tibetan Plateau [J]. *Geophysical Research Letters*, 2007, 34(18): L18805.
- [14] Chen S, Huang J, Zhao C, et al. Modeling the transport and radiative forcing of Taklimakan dust over the Tibetan Plateau: a case study in the summer of 2006 [J]. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 2013, 118(2): 797-812.
- [15] 李红军, 杨兴华, 赵勇, 等. 塔里木盆地春季沙尘暴频次与大气环流的关系 [J]. *中国沙漠*, 2012, 32(4): 1077-1081.
- [16] 牛生杰, 岳平, 刘晓云. 2004年春夏季两次沙尘暴期间地面气象要素变化特征对比分析 [J]. *中国沙漠*, 2007, 27(6): 1068-1071.
- [17] 李玲萍, 罗晓玲, 王锡稳. 夏季强沙尘暴天气成因分析及预报 [J]. *甘肃科学学报*, 2007, 19(3): 57-61.
- [18] 王锡稳, 黄玉霞, 刘治国, 等. 甘肃夏季特强沙尘暴分析 [J]. *气象科技*, 2007, 35(3): 681-686.
- [19] 岳平, 牛生杰, 王连喜, 等. 一次夏季强沙尘暴形成机理的综合分析 [J]. *中国沙漠*, 2006, 26(3): 370-374.
- [20] 岳平, 牛生杰, 张强, 等. 夏季强沙尘暴内部热力动力特征的个例研究 [J]. *中国沙漠*, 2008, 28(3): 509-513.
- [21] 陈勇, 陈德辉, 王宏, 等. 河西走廊夏季强沙尘暴数值模拟试验 [J]. *气象科技*, 2007, 35(3): 393-398.
- [22] Wang X, Huang J P, Ji M X, et al. Variability of East Asia dust events and their long-term trend [J]. *Atmospheric Environment*, 2008, 42: 3156-3165.
- [23] 苏志侠, 吕世华, 罗四维. 美国 NCEP/NCAR 全球再分析资料及其初步分析 [J]. *高原气象*, 1999, 18(2): 209-218.

Impact of Eurasian Atmospheric Circulation on Dust Events in Summer over Northern China

Kang Lin, Ji Mingxia, Huang Jianping

(Ministry of Education Key Laboratory for Semi-Arid Climate Change, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the frequency of dust events in summer from 701 meteorological stations, two dust indices, which are Taklimakan Desert Index (TDI) and the Gobi Desert Index (GDI) were established to characterize the statistical feature of the summer dust occurrence. The two indices both exhibit a sudden decrease in the late 1980s and early 1990s. By analyzing the summer circulation field during the typical strong and weak summer dust index years of Southern Xinjiang and Inner Mongolia regions, we found that the Geopotential height of Mongolia-Inner Mongolia strongly elevated and developed into a ridge of high pressure, Southern Xinjiang and western Inner Mongolia were controlled by the ridge, altitude low value system reducing the influence of the two regions, the intensity of Siberia cold high pressure and the thermal low pressure in East Asian waken was the main mechanism in the Gobi desert region, which caused the less dust events in the Inner Mongolia and Southern Xinjiang.

Key words: dust index; 500 hPa geopotential height field; 850 hPa wind field; sea level pressure field