

西伯利亚高压对亚洲大陆的气候影响分析

龚道溢¹, 朱锦红², 王绍武²

(1. 北京师范大学 资源科学研究所环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875;

2. 北京大学 大气科学系, 北京 100871)

摘要: 西伯利亚高压是冬季影响亚洲大陆地区的重要环流因子, 本文用冬季(1~3月)70°~120°E, 40°~60°N 区域平均海平面气压值代表其强度, 分析其变化特征。结果表明, 从 1922 年到 1970 年代中期, 西伯利亚高压略有增强趋势, 但并不显著。但近 20 多年来的显著减弱非常突出。用 NCAR 资料计算的线性趋势是 $-1.78 \text{ hPa}/10\text{a}$ (1976—2000 年), 用 CRU 气压资料计算的趋势是 $-2.15 \text{ hPa}/10\text{a}$ (1976—1995 年)。西伯利亚高压对中高纬亚洲大陆平均(30°~140°E, 30°~70°N)温度和降水都有显著影响, 与两个要素的相关系数分别达到 -0.58 和 -0.44 。如果同时考虑其他的影响因子(如北极涛动、欧亚遥相关型等), 72% 的温度变化及 26% 的降水变化能得到解释。其中北极涛动对亚洲大陆的温度贡献最高达到 30%, 西伯利亚高压的贡献为 24%。而区域平均降水变化的 9.8% 与西伯利亚高压有关。

关键词: 西伯利亚高压; 亚洲大陆; 温度; 降水

中图分类号: P461+.2 **文献标识码:** A

1 引言

近几十年近地面气温的快速变暖引起了人们的极大关注。亚洲大陆是冬季和春季温度变化最为显著的地区之一, 因此值得注意^[1]。当然, 对于欧亚大陆气候变化的原因和机制有许多分析, 其中大气环流对不同区域或半球温度的影响较受重视。一些作者指出^[2, 3], 1970 年代以来的北大西洋海表温度的变冷以及欧亚大陆温度变暖的很大一部分, 可由北大西洋涛动的变化得到解释; 一些研究也指出^[4, 5], 全球低纬和中高纬对流层温度都与厄尔尼诺/南方涛动有很好的对应关系; 近来也发现北极涛动与北半球温度有密切的联系^[6~8], 北半球中高纬许多地方近 20 多年来的气温变化趋势的近一半左右与北极涛动有关^[9]。因此, 冬季影响和控制亚洲大陆低层的最大和最强的环流系统是西伯利亚高压。与其他因子相比, 对西伯利亚高压气候影响的研究并没有得到相应的重视。一些作者曾研究过西伯利亚高压对中国及东亚地区气候的影响^[10~12], 不过这仅仅是其影响区域的一个很小部分。本文的目的是对

整个亚洲大陆的气温和降水与西伯利亚高压的关系进行分析。分析的时段是冬季, 为方便起见, 本文取 1 到 3 月平均代表冬季。

2 资料

所用的海平面气压资料包括两种, 一是美国国家大气研究中心(NCAR)的北半球海平面气压格点资料^[13], 空间分辨率为 $5^\circ \times 5^\circ$, 包括 20°N 以北地区, 序列长度为 102 a (1899—2000 年)。二是英国 East Anglia 大学气候研究组(CRU)整理和提供的历史气压资料^[14, 15], 分辨率为 5° 纬度 \times 10° 经度, 时间从 1873 年到 1995 年。分析中所用的地面温度资料为 Jones 的资料(从 1856 年到 1999 年)^[16, 17], 降水资料为 Hulme 的资料(从 1900 年到 1998 年)^[18]。温度和降水都是 $5^\circ \times 5^\circ$ 格式。由于早期的气压资料缺测较多, 如果进行分析必然会对结果产生影响, 大体在 1920 年代以后缺测较少, 所以气压资料只用 1922 年以来的。对温度和降水, 也只选择此时段内观测资料量达到 95% 以上的格点。这样处理之后, 可以最大限度降低资料记录不全可能带来的

收稿日期: 2001-01-09; 改回日期: 2001-04-17

基金项目: 国家重点基础研究发展规划首批项目(G1998040900); 国家自然科学基金项目(40105007)资助

作者简介: 龚道溢(1969—), 男, 湖南石门人, 博士, 副教授, 主要从事气候变化诊断研究, Email: gdy@pku.edu.cn, http://www.irs.bnu.edu.cn

影响。

3 西伯利亚高压的变化

3.1 西伯利亚高压中心强度

在冬季整个亚洲大陆的中高纬度地区，几乎全部是西伯利亚高压的势力范围。海平面气压超过 1020 hPa 的区域包含了亚洲大陆的大部分。西伯利亚高压的活动强度，可以用高压中心区平均气压值来表征。中心区的范围为 $70^{\circ}\sim 120^{\circ}\text{E}$ ， $40^{\circ}\sim 60^{\circ}\text{N}$ ，这个区域大致上与气压超过 1028 hPa 的区域吻合。NCAR 的气压资料在这个区域的总格点数是 55 个。从 1922 年到 2000 年期间有 5 a 的资料缺测。在每年冬季 3 个月 165 个总的资料数中，1931 年和 1957 年各缺测 1 个，1945 年缺 9 个，1967 年缺 2 个。由于二战的影响，1939 年缺测较多，为 73 个。CRU 气压资料中，只有 1939 年有缺测，在这个冬季总共 90 个资料中缺测 28 个。总的来看，缺测资料的个数占资料总数的比例还是较低的，所以对区域平均值的影响应该较小。根据这两种资料，分别计算西伯利亚高压中心的强度序列(图 1)。由于空间格点分辨率不同，两个序列间存在差别，NCAR 与 CRU 序列的多年平均值分别是 1025.59 hPa 和 1027.98 hPa，标准差则分别是 1.77 hPa 和 2.10 hPa。在 1922 年到 1995 年期间，二者的相关系数为 +0.88，因此，这两套资料反映的西伯利亚高压的变化有很好的一致性。

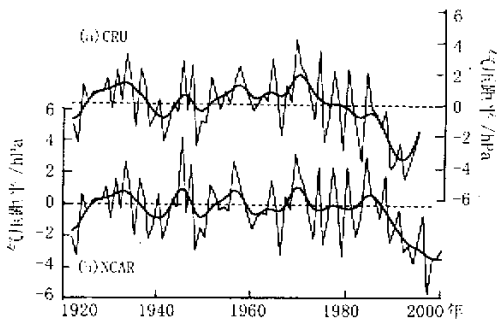


图 1 冬季西伯利亚高压中心强度距平序列
光滑线为低通平滑结果

(a) CRU 资料计算, (b) NCAR 资料计算

Fig. 1 Time series of Siberian High central intensity in winter Smooth lines represent results from a 9-point low pass filter

3.2 趋势分析

以往的一些研究曾指出^[10, 19]，西伯利亚高压

的变化有年代际尺度的低频变化。从图 1 可以发现，其高压中心区的气压也有类似的长期变化。1980 年代和 1990 年代的气压值很低，此外 1960 年代的值相对比较。低频特征在 CRU 序列中更为明显。比较 CRU 和 NCAR 序列，在 1970 年代还是有一定的差异，CRU 资料显示西伯利亚高压中心气压从 1970 年代初即开始有明显的下降趋势，但是 NCAR 资料中同期并没有相应的变化。这可能是两套资料的来源及处理方法的差异造成的。总的来看，西伯利亚高压中心气压除了有强烈的年际波动之外，最近 20 多年来还有强烈的减弱趋势，从 1980 年代以来的持续下降在两套气压资料中都非常突出。

表 1 西伯利亚高压中心气压的线性趋势
(单位: hPa/10a)

Table 1 Linear trends in Siberian High central pressure (Unit: hPa/10a)

起止年	NCAR 资料	CRU 资料
1976—1995	-1.57*	-2.15**
1976—2000	-1.78**	/
1922—1995	-0.09	0.28**
1922—2000	-0.21*	/
1922—1975	+0.07	+0.16

信度水平: * 95%, ** 99%

表 1 中列出了两套资料计算的西伯利亚高压中心区气压的线性趋势。显然，1970 年代以前的趋势并不明显，NCAR 序列为 +0.07 hPa/10a，CRU 资料为 +0.16 hPa/10a，后者的趋势较强，但都达不到信度水平。与此相反，从这之后二者则都有显著的下降趋势。NCAR 序列趋势为 -1.78 hPa/10a (从 1976 年到 2000 年)，而 CRU 序列的趋势高达 -2.15 hPa/10a (从 1976 年到 1995 年)，都远超过 95% 信度水平。分析表明，西伯利亚高压强度最近 20 多年来的明显减弱，与大尺度的气压趋势变化有密切关系。图 2 显示了根据 NCAR 资料计算的各个格点海平面气压在 1922—1975 年及 1976—2000 年的线性趋势值。由图可见，前面一段时期亚洲大陆及环北极地区的气压略有增加趋势，但是并不突出。但最近的 20 多年里，亚洲中高纬及北冰洋大部分地区都低于 -2.0 hPa/10a 的趋势。同时，有些地区也有较高的上升趋势，包括欧洲西部和

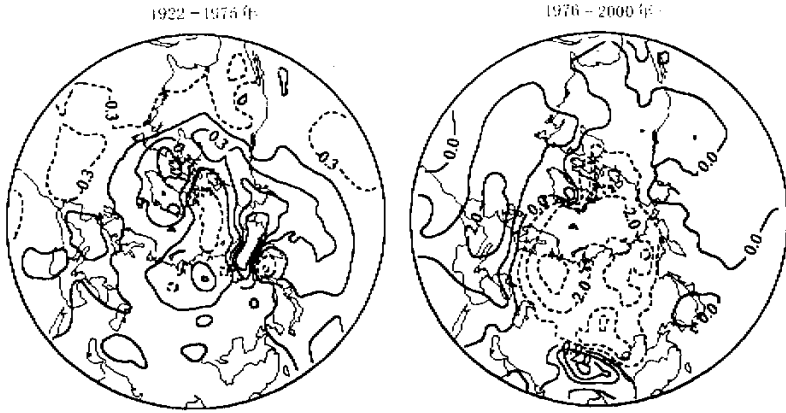


图 2 1922—1975 年及 1976—2000 年冬季海平面气压的线性趋势 (NCAR 资料)(单位: hPa/10a)

Fig. 2 Linear trends in SLP for winter time (JFM) during two periods of 1922 to 1975 and 1976 to 2000. (Unit: hPa/10a). NCAR SLP data sets

南部以及中纬大西洋地区, 趋势达到 $+1$ hPa/10a 以上。此外青藏高原还有一小块地区趋势也较强, 由于青藏高原海拔较高, 此区的海平面气压值没有多大意义。

其他一些研究^[20, 21]也都曾注意到北极地区气压 1980 年代和 1990 年代以前的时期有显著变化。与本文的主要不同之处是图 2 显示出了更为大范围的气压下降区, 而不仅仅是局限在北极地区, 实际上亚洲中高纬度大陆很大面积的地区气压都在明显下降, 北冰洋地区只是其中的一小部分。海平面气压的这种显著变化, 在其他的一些大气环流指标中(如北大西洋涛动/北极涛动)也得到了反映^[2, 22]。北大西洋涛动指数(或北极涛动指数)与西伯利亚高压中心气压的变化有许多相似之处, 前者从 1970 年代中期以来的持续正位相和后者显著减弱都是显著的, 两者之间有很好的相关^[23]。仔细比较, 二者是有区别的。从图 2 可以清楚地看到, 冰岛地区的气压趋势很不明显, 所以北大西洋涛动指数的显著变化主要与北大西洋中纬度地区的气压上升有关。而西伯利亚高压中心气压的减弱主要反映了亚洲大陆及相邻的北极地区的气压变化。

4 西伯利亚高压的气候影响

4.1 对气温的影响

为了揭示西伯利亚高压与亚洲各地区气温的关系, 我们计算了高压中心区平均气压与同期各格点气温的线性回归系数, 这样既能看到关系的正负性质, 又能显示相应温度变化的数量多少。由于温度

资料只到 1999 年, 所以图 3 也只是 1922—1999 年的计算结果。欧亚大陆绝大部分地区的温度都与西伯利亚高压的强度有负相关, 当气压偏强一个标准差时, 从西西伯利亚到亚洲东部的广大地区, 温度下降达 0.4 °C 或更多。温度下降的中心区域大体上与气压的中心区接近, 温度变化达到 -15 °C。可见整个亚洲大陆中高纬地区, 温度与西伯利亚高压的关系都比较一致。从时间序列来看, 两者的关系更直观。图 4 中给出了亚洲大陆中高纬面积加权平均($30^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$)温度序列。显然, 温度与西伯利亚高压的变化有很好的关系, 相关系数达到 -0.58 。

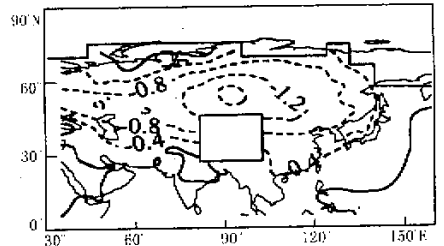


图 3 西伯利亚高压中心区平均气压变化一个标准差时温度的相应变化(°C)
空白地区缺温度资料

Fig. 3 Changes in temperatures (°C) corresponding to one standard deviation of Siberian High central intensity index (NCAR series). Regions of insufficient data are blank

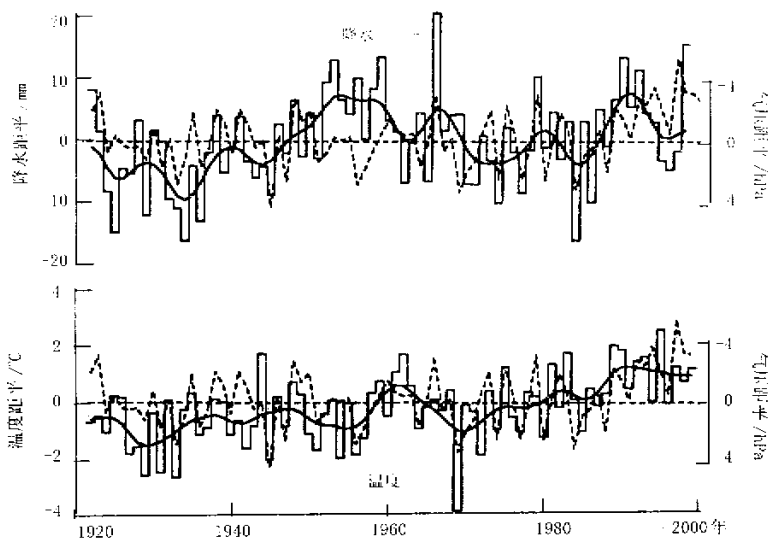


图 4 亚洲大陆中高纬平均温度与降水序列及其与西伯利亚高压强度(虚线)的关系

Fig. 4 Time series of averaged precipitation (upper panel, solid line) and temperature (lower panel, solid line) anomalies over mid-high Asia, compared to Siberian High central intensity (shown as dashed lines, the axes for pressure curves are inverted)

温度的相应变化可能与辐射状况及热量收支平衡有关。有研究指出^[24, 25]西伯利亚高压与辐射冷却及中上层大气的辐合都有密切联系。Thompson等^[7]强调了与北极涛动有关的纬向温度平流的作用,当然正的温度平流与西伯利亚地区温度变化的关系比较好。但是,东西伯利亚及东亚是冷的温度平流,这些地区的温度变化并不能用北极涛动来合理解释。实际上这些地区的温度变化与西伯利亚高压带来的异常的经向温度平流有更密切的关系。因此,亚洲大陆温度异常的原因及维持机制,在各个地方是有差异的,还需要进一步的研究。

4.2 对降水的影响

图 5 是计算的西伯利亚高压中心区的平均气压与同期各格点降水量的线性回归系数(1922 年到 1998 年)。通常降水在时间和空间上都有很大的变异,但是从图中发现,西伯利亚高压影响下的降水变化却有很大的空间尺度。当高压偏强一个标准差时,亚洲大陆的大部分地区降水都减少 5% 以上。降水变化最大的地方在乌拉尔山地区,减少约 10%~15%。亚洲东部降水的变化也比较明显。降水变化的空间格局与温度的变化相比,有很大的不同。温度的变化与海平面气压的地理分布很相似,高压中心地区温度下降最多,向外则逐渐减弱。而降水则不同,高压中心地区降水的相应变化很弱,远离中心的边远地区则降水的减少量大大增加。如图 5 所

示, $< -5\%$ 的地区主要集中在高压的西部、西北部及东部地区。说明西伯利亚高压影响亚洲大陆地区降水的机制与温度不一样。由于与西伯利亚高压相关的降水变化在空间上比较一致,所以图 4 也给出了区域平均($30^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$, $30^{\circ}\sim 70^{\circ}\text{N}$)的降水量变化。显然,区域平均降水量与高压中心区的强度之间有很好的对应关系。根据 1922—1998 年的

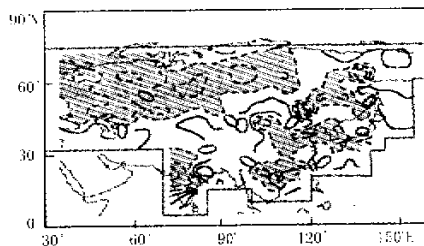


图 5 西伯利亚高压中心区平均气压变化一个标准差时降水量的相应变化(%)

值低于 -5% 的地区都用阴影标出,空白地区缺降水资料
Fig. 5 Changes in precipitation (%) corresponding to one standard deviation of Siberian High central intensity index (NCAR series). Areas with values lower than -5% are shaded. Regions of insufficient data are blank

资料计算, 二者的相关系数达到了 -0.44 。从图中还可看到, 在 1950 年代, 气压与降水之间有比较明显的差异, 虽然年际变化能对应上, 但降水量整体上偏高很多。这可能与其它因子有关。

5 讨论

许多研究表明^[3, 26], 其他的一些环流因素也对亚洲大陆地区的气候有重要影响, 包括北极涛动(北大西洋涛动)、欧亚遥相关型、以及南方涛动等。而且这些要素之间及与西伯利亚高压之间也都存在相互作用。西伯利亚高压与北极涛动有 -0.52 的相关(76 a 资料计算), 与欧亚遥相关型之间的相关系数是 $+0.30$ (52 a 资料计算), 与南方涛动指数相关系数比较低, 为 $+0.14$ (79 a 资料计算)。因此, 亚洲大陆温度和降水的变化, 很可能包含了其他因素的影响, 而不单纯是西伯利亚高压的贡献。为了分析这些要素对温度和降水变化的贡献, 这里采用线性多元回归分析方法。由于上述各个因子资料长短不一, 取其共同的时段, 从 1949 年到 1997 年。如果考虑西伯利亚高压、北极涛动、欧亚遥相关型及南方涛动, 拟合值与观测气温间复相关系数达到 0.85, 即这 4 个因子揭示了亚洲大陆中高纬地区平均温度序列方差的 72%。其中, 北极涛动解释的部分最高, 达到 30%, 这说明对整个亚洲大陆来说, 北极涛动的贡献的确是最重要的。其次, 西伯

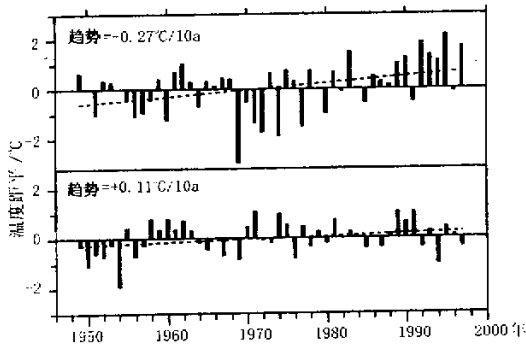


图 6 西伯利亚高压、北极涛动、欧亚遥相关型及南方涛动拟合的温度值(上图)及与实际观测值之间的差别(下图)
虚线是线性趋势

Fig. 6 Temperature anomalies related to Siberian High, Arctic Oscillation, Eurasian Pattern and Southern Oscillation (upper panel). Lower panel shows the residues after removal of the contribution from the observations. Dashed lines are linear trend

利亚高压的贡献是 24%, 而欧亚遥相关型和南方涛动的贡献是 11% 和 7%。图 6 给出了这些因子拟合的温度变化序列。可见, 考虑这些因子后, 最近几十年温度变化的总体趋势很明显, 增暖率为 $+0.27\text{ C}/10\text{ a}$ 。一些温度的极端年份如 1969 年的冷冬, 1995 年的暖冬都很明显。从实际观测序列中扣除这些因子的贡献后, 发现剩余值仍然有弱的增暖趋势, 增暖率为 $+0.11\text{ C}/10\text{ a}$ 。非常有意思的是, 这个剩余趋势与同期(1~3 月)全球平均温度的趋势 $+0.10\text{ C}/10\text{ a}$ 非常接近, 说明这个剩余趋势很可能就是全球变暖造成的。此外, 拟合温度剩余序列还有明显的年代尺度的波动, 也可能与其它一些因子有关^[27], 这些因子对降水变化的解释率却比较低, 总共只有 26%。其中西伯利亚高压所占比重为 9.8%。

本文所进行的分析都是基于统计上的结果, 对于西伯利亚高压影响地表气候的物理机制并没有细致探讨。此外一些研究表明, 近几十年来整个北半球高纬度地区气候发生了深刻的变化, 亚洲大陆只是其中一个部分^[28], 而这种变化与全球变暖可能有关。在全球变暖背景下, 行星尺度的西风环流会发生变化^[29], 而大尺度的西风环流与近地面的大气活动中心之间又存在密切联系。因此全球变暖与西伯利亚高压及亚洲气候变化的关系, 都还需要利用更详细的观测和气候数值模拟资料进行深入的分析。

参考文献

- [1] Hansen J, R Rudy, J Glaseoe et al. GISS analysis of surface temperature change[J]. J Geophy Res, 1999, 104: 30997—31022
- [2] Hurrell J W, H van Loon. Decadal variations in climate associated with the North Atlantic Oscillation [J]. Climatic Change, 1997, 36: 301—326
- [3] Hurrell J W. Influence of variations in extratropical wintertime teleconnections on Northern Hemisphere[J]. Geophy Res Lett, 1996, 23: 665—668
- [4] 龚道溢, 王绍武. 近百年全球温度变化中的 ENSO 分量[J]. 地球科学进展, 1999, 14(5): 518—523
- [5] Yulaeva E, J M Wallace. The signature of ENSO in global temperature and precipitation fields derived from the microwave sounding unit[J]. J Climate, 1994, 7: 1719—1736
- [6] Thompson D W J, J M Wallace. The Arctic Oscillation signature in the wintertime geopotential height and temperature fields[J]. Geophy Res Lett, 1998, 25: 1297—1300
- [7] Thompson D W J, J M Wallace. Annular modes in the extratropical circulation, Part I: Month-to-month variability[J]. J Climate, 2000, 13(5): 1000—1016

- [8] Kerr R A. A new force in high-latitude climate[J]. *Science*, 1999, 284: 241—242
- [9] Rigor I G, R L Colony, S Martin. Variations in surface air temperature observations in the Arctic, 1979—1997[J]. *J Climate*, 2000, 13(5): 896—914
- [10] 龚道溢, 王绍武. 西伯利亚高压的长期变化及全球变暖可能影响的研究[J]. *地理学报*, 1999, 54(2): 125—133
- [11] Yin Z Y. Winter temperature anomalies of the North China Plain and macroscale extra-tropical circulation[J]. *Int J Climato*, 1999, 19(3): 291—308
- [12] 郭其蕴. 中国气候变化与东亚季风[M]. 见: 施雅风主编. 中国历史气候变化. 济南: 山东科学技术出版社, 1996. 468—483
- [13] Trenberth K E, D A Paolino. The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: Trends, errors and discontinuities[J]. *Mon Wea Rev*, 1980, 108(7): 855—872
- [14] Jones P D. The early twentieth century Arctic high—fact or fiction? [J]. *Climate Dynamics*, 1987, 1: 63—75
- [15] Basnett T A, D E Parker. Development of the global mean sea level pressure data set GMSLP2[C]. *Climatic Research Technical Note No. 79*. Hadley Centre, Meteorological Office, Bracknell, 16pp Plus Appendices, 1997
- [16] Jones P D. Hemisphere surface air temperature variations: A reanalysis and update to 1993[J]. *J Climate*, 1994, 7: 1794—1802
- [17] Parker D E, C K Folland, M Jackson. Marine surface temperature: Observed variations and data requirements[J]. *Climatic Change*, 1995, 31: 559—600
- [18] Hulme M A. 1951—1980 global land precipitation climatology for the evaluation of general circulation models[J]. *Climate Dynamics*, 1992, 7: 57—72
- [19] 王绍武. 东亚大气活动中心的多年变化与我国气候振动[J]. *气象学报*, 1963, 32(1): 20—36
- [20] Walsh J E, W L Chapman, T L Shy. Recent decrease of sea level pressure in the central Arctic[J]. *J Climate*, 1996, 9: 480—486
- [21] Serreze M C, F Carse, R G Barry et al. Icelandic low cyclone activity: Climatological features, linkages with the NAO, and relationships with recent changes in the Northern Hemisphere circulation[J]. *J Climate*, 1997, 10: 453—464
- [22] Thompson D W L, J M Wallace. Annular modes in the extratropical circulation Part II: Trends[J]. *J Climate*, 2000, 13(5): 1018—1036
- [23] Gong D E, S W Wang, J H Zhu. East Asian winter monsoon and Arctic Oscillation[J]. *Geophys Res Lett*, 2001, 28(10): 2073—2076
- [24] Ding Y H. Buildup, air-mass transformation and propagation of Siberian High and its relations to cold surge in East Asia [J]. *Meteorol and Atmos Phys*, 1990, 44(1~4): 281—292
- [25] Ding Y H, T N Krishnamurti. Heat Budget of the Siberian High and the winter monsoon[J]. *Mon Wea Rev*, 1987, 115: 2428—2449
- [26] 朱乾根, 施能, 徐建军等. 近百年北半球冬季大气活动中心的长期变化及其与中国气候变化的关系[J]. *气象学报*, 1997, 55: 750—758
- [27] Polyakov I V, M A Johnson. Arctic decadal and interdecadal variability[J]. *Geophys Res Lett*, 2000, 27(24): 4097—4100
- [28] Serreze M C, J E Walsh, F S Chapin III. Observation evidence of recent change in the northern high-latitude environment[J]. *Climatic Change*, 2000, 46: 159—207
- [29] Fyfe J C, G J Boer, G M Flato. The Arctic and Antarctic Oscillations and their projected changes under global warming [J]. *Geophys Res Lett*, 1999, 26: 1601—1604

The Influence of Siberian High on Large-Scale Climate over Continental Asia

GONG Dao-yi¹, ZHU Jin-hong², WANG Shao-wu²

(1. *Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China*; 2. *Department of Atmospheric Science, Beijing University, Beijing 100871, China*)

Abstract: Siberian High is a very important atmospheric circulation system in wintertime (from January to March). It influences the temperature and precipitation in mid-high Asia remarkably. Its variability was investigated for 79 years (from 1922 to 2000). The central pressure intensity which reflects the air mass over the Siberian High center was measured by the mean sea level pressure averaged over $70^{\circ}\sim 120^{\circ}$ E, $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ N. Strong weakening in the central pressure intensity has occurred in recent couples of decades. From 1922 to the middle 1970s, Siberian High intensity showed slight positive trends, but not significant. The striking weakening in recent 20 years are most remarkable. Linear trend for NCAR series is -1.78 hPa/10a from 1976 to 2000, for CRU data sets the trend is -2.15 hPa/10a from 1976 to 1995. There are also very strong coupling between Siberian High and the undersurface climate across Asian continent. Averaged temperature over $30^{\circ}\sim 140^{\circ}$ E and $30^{\circ}\sim 70^{\circ}$ N correlates to Siberian High at -0.58 for 78 winters from 1922 to 1999. For precipitation, the correlation is -0.44 during 1922 to 1998, both statistically significant above 99% confidence level. Siberian High, Arctic Oscillation, Eurasian Pattern and Southern Oscillation together can explain 72% and 26% variance in temperature and precipitation, respectively. The fraction solely related to the Siberian High is 24% and 9.8% in temperature and precipitation

Key words: Siberian High; Continental Asia; Temperature; Precipitation