

山西沙尘天气的相关气候因子分析及预测模型的建立

刘瑞兰¹, 任国玉², 吴占华¹

(1. 山西省朔州市气象局, 山西 朔州 036001; 2 中国气象局气候研究开放实验室, 国家气候中心, 北京 100081)

摘要:对山西沙尘天气与蒙古国的降水、我国北方积雪日数、青藏高原积雪日数和表征气候异常变化信号的大气—海洋环流因子 SOI 指数的关系进行了分析, 揭示了全球准周期性变化对沙尘天气趋势的主导性作用。得出蒙古国西部前一年降水对山西省的沙尘天气具有较好的指示性; 青藏高原前一年冬季积雪日数和山西省的年沙尘日数呈较好的负相关性; 当前冬青藏高原积雪日数多时, 山西省少沙尘, 反之, 多沙尘。就我国北方特别是山西省上游地区的积雪日数而言, 指示性比较强的区域分布在内蒙古、甘肃、新疆。这些区域内某些站点前一年冬季的平均积雪日数多时, 山西省少沙尘, 反之, 多沙尘。此外, 山西沙尘还与 SOI 指数有显著的滞后 2 a 的正响应关系, 与 SOI 有滞后两年正相关的站点主要分布在中东部和东北部。在要素相关分析的基础上, 综合各类因子制作了山西省沙尘预测模型, 以为沙尘天气的短期预测工作提供一些参考依据。

关键词:沙尘天气; 气候因子; 预测模型

中图分类号: P462.3

文献标识码: A

引言

沙尘天气是干旱气象条件下的产物。从全球范围来看, 主要发生在中亚、北非、澳大利亚和北美洲大陆^[1]。早在 20 世纪 20 年代起国外就开始了对沙尘暴时空分布、成因、结构以及监测与对策等方面的研究, 其中, McTainsh 等^[2]认为澳大利亚东部的沙尘暴出现的气候条件首先与下垫面的土壤湿度和植被有关, 其次与风有关, 因为风是沙尘卷入空气中的主要动力条件, 与降水量关系不大的原因在于土壤中只能贮存一部分降水。相对来说, 我国对沙尘研究的起步较晚, 始于 20 世纪 70 年代^[3]。周自江、俞亚勋、刘景涛等^[4-6]分别研究了整个中国、西北地区、华北地区沙尘暴天气时空分布特征、大气环流形势以及海温的作用等, 为北方沙尘暴的预测提供了理论依据。刘青春等^[7]研究了青海省春季沙尘暴特征及其异常气候背景, 指出前期 3~5、6~8 月中北印度洋海温偏高(低), 青海春季沙尘暴天气少(多)。王雁鹏等^[8]利用非静力中尺度气象预报模式 MM5 和三维欧拉型区域空气质量模式 CAMx 建起一套完整的空

气质量模拟系统, 该模式对沙尘传输和沙尘浓度分布有较好的模拟能力。张瑞军等^[9]从沙尘暴的成因、特征、输送、影响和防治等方面总结了近年来国内的研究进展。张志刚等^[10]选出了浑善达克沙地、巴丹吉林沙漠附近的 20 多个气象站的气温、降水资料进行分析, 总结了沙尘源地的气候特征, 并指出了北京浮尘沙尘暴天气与源地春季降水呈显著负相关性。史培军等、叶笃正等^[11-12]分析了我国北方地区沙尘源区的分布规律和成因, 指出沙尘暴的发生、发展是下垫面地形地貌、水文、土壤、植被等多种环境要素相互作用、长期发展的结果, 并提出了相应对策。

以往对沙尘天气与降水、温度、风、湿度、蒸发量等关系密切的气候因子影响研究较多, 而对其它相关因子的研究较少, 而本文在分析了山西省沙尘日数与蒙古国降水、青藏高原前冬积雪日数、北方区域积雪日数及表征大气—海洋环流异常变化信号的多种因子相关性的基础上, 建立了沙尘天气气候预测的概念模型, 并进一步挑选出相关性比较好的前期因子进行逐步回归, 初步制作了山西省沙尘天气的统计预测模式。

收稿日期: 2009 - 05 - 04; 改回日期: 2009 - 06 - 03

作者简介: 刘瑞兰 (1969 -), 女, 山西朔州人, 工程师, 主要从事短期气候预测和天气气候研究工作。E-mail: liur691113@163.com

2 资料和方法

2.1 资料

(1)地面观测资料

来源于国家气象信息中心气候资料室,包括1961~2003年山西省18个站的扬沙、沙尘暴的逐年逐月资料;记录有沙尘暴发生初始时刻的日值资料;对于序列中存在缺测的部分,根据需要进行了处理(用平均值取代)和剔除。

(2)南方涛动指数(SOI)

来自于澳大利亚国家气候中心(NCC),取1961~2003年的逐年逐月SOI指数值。

(3)蒙古国降水资料

来源于NOAA/NCEP地面降水量再分析格点场资料,空间分辨率为 $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ 经纬度以及国家气象中心气候资料室提供的蒙古国45个台站地面降水量的逐年逐月资料。

(4)青藏高原及我国北方积雪资料

来源于国家气象中心气候资料室,包括青藏高原60个站点及我国北方340个站点的地面积雪日数的逐年逐月值。

2.2 方法

文中主要采用了气象统计学^[13]上的相关分析方法。

(1)计算区域平均的方法

根据1996年Jones等^[14]提供的用经纬度网格面积加权平均来计算某一气候要素区域平均值的方法,建立了多要素的平均时间序列,计算了多组相关性。这种方法的基本思路是:以逐年序列为例,首先将某区域按一定的经纬度划分为 n 个网格,再将每个格点内某年某气候要素值求算术平均,然后根据网格面积做加权平均,得到此年此气候要素的区域平均值,同样再求出其它年份的平均值,就可以建立起此气候要素区域平均值的时间序列。计算公式如下:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n (\cos(a_i) \times \frac{1}{k_i} \sum_{j=1}^{k_i} x_j)}{\sum_{i=1}^n \cos(a_i)} \quad (1)$$

其中, \bar{X} 即为要计算的某要素 x 的区域平均值, n 为网格数, a_i ($i=1, 2, \dots, n$)为每个网格的中心点纬度, x_j ($j=1, 2, \dots, k_i$)为区域中某一网格内共参与计算的 k_i 个点的气候要素值。

文中使用了 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 经纬度的网格点。

(2)相关分析方法

相关分析是用相关系数(r)来表示2个变量间相互的直线关系,为了判定沙尘与其它气候因子之间关系的密切程度,文中主要采用了相关系数值的统计计算及 t 检验方法。

相关系数的计算公式如下:

$$r_{12} = \frac{\sum_{i=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)(x_{2i} - \bar{x}_2)}{\sqrt{\sum_{N=1}^n (x_{1i} - \bar{x}_1)^2} \sqrt{\sum_{N=1}^n (x_{2i} - \bar{x}_2)^2}} \quad (2)$$

其中, r_{12} 为2组变量的相关系数, n 为样本数, x_1 为变量1, x_2 为变量2, \bar{x}_1 、 \bar{x}_2 分别为变量1、2的平均值。

计算出相关系数后,用 t 检验方法来判断相关是否在某一水平下显著,相关系数的临界值计算如下:

$$r_c = \frac{t_c}{\sqrt{n-2+t_c^2}} \quad (3)$$

其中, r_c 为相关系数的临界值, n 为样本数, t_c 为自由度 $n-2$ 和显著水平下的 t 检验值。

(3)逐步回归方法

为了从多个因子中择优以增加预报方程的稳定性,文中采用了统计上的逐步回归方法,即逐步剔除因子,进行回归系数 F 检验,最后选出最优因子来建立我国北方沙尘气候的预测方程。

2.3 研究范围内站点的选定

本文的研究范围为山西省区域内的18个站点,如图1所示。

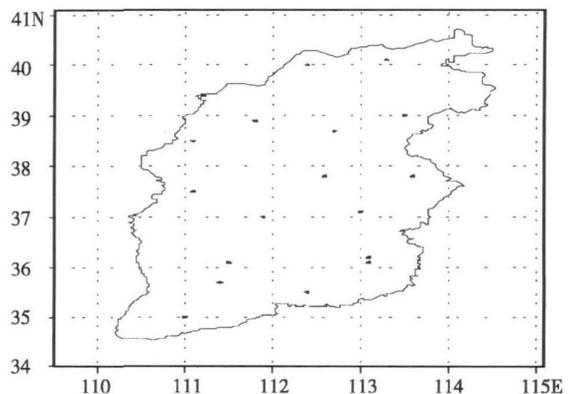


图1 山西境内的站点分布图

Fig 1 The distribution of meteorological stations in study area

3 影响山西省沙尘天气的相关气候因子分析

我国沙尘暴的发生是复杂的多因子综合作用的结果,沙尘天气与降水、温度、风、湿度、蒸发量等的关系密切。由于篇幅有限,山西省沙尘日数与上述气候因子的关系这里不作讨论。仅就以下几个相关气候因子作了较为详细的分析。

3.1 蒙古国降水

我国北方春季的沙尘天气常与冷空气活动产生的大风相伴出现,而蒙古国是影响我国的冷空气主要路径之一。杨民等^[15]通过对 2000 年春季发生的大风、沙尘暴的统计分析,指出 2000 年春季沙尘的 3 种传输路径主要在西、北方向上。矫梅燕等^[16]通过对 54 例影响我国的沙尘天气过程分析,指出影响我国的沙尘暴主要起源于蒙古国。邱新法等^[17]根据沙尘天气的起源,指出每年冬春影响我国的境外源区主要位于与我国内蒙古自治区相邻的蒙古国东南部戈壁荒漠区。那么蒙古国作为我国北方沙尘的主要外源地,其降水条件是否与山西省沙尘天气的多少有关系?下面作一简单分析。

因为蒙古国台站降水资料缺测值较多,故文中采用了 NOAA/NCEP 地面降水量再分析格点资料,站点数共 45 个,时间为 1961~2001 年。同植被指数资料的处理方法相似,将离台站最近的格点资料插值至台站,并根据经纬度网格面积加权的方法求

得蒙古国降水的区域平均值。然后将山西省沙尘分离出当年、当年春季的沙尘,蒙古国降水分离出前一年、前冬、当年、当年春季的降水,得到各组合的相关系数值见表 1。

表 1 蒙古国前期降水与山西省沙尘日数的相关系数

Tab 1 The correlation coefficients between previous precipitation in Mongolia and dust storms days in Shanxi Province

| | 前一年 | 前冬 | 当年 | 当年春季 |
|------|--------|-------|--------|--------|
| 当年 | -0.144 | 0.270 | -0.137 | -0.141 |
| 当年春季 | -0.195 | 0.263 | -0.128 | -0.111 |

由表 1 可以看出,山西省沙尘与蒙古国降水没有明显的相关关系。

再将 1961~2001 年蒙古国区域 45 个站的平均降水量与山西省 18 个单站次年的年沙尘日数求相关,能通过 95% 信度水平检验的站点仅五台山 1 站。

并求得 1961~2001 年山西省平均沙尘日数的逐年序列与再分析蒙古国单站前一年降水量的相关系数,能通过检验的站点有 MONGOLIAN STATION、ULGI OMNOGOV、HOVDO、BARUUNTURUUN 和 TAMSAGBULAG。挑选出这 6 个台站实测降水量在无缺测值的年份与相应次年山西省的沙尘日数求相关加以验证,见表 2。

表 2 蒙古国 6 个台站的前一年降水量与次年山西省沙尘日数的相关系数

Tab 2 The correlation coefficients between previous precipitation at six stations in Mongolia and dust storms days in Shanxi Province

| | MONGOLIAN | ULGI | OMNOGOV | HOVDO | BARUUNTURUUN | TAMSAGBULAG |
|----|------------|------------|------------|------------|--------------|-------------|
| | 1961~1982年 | 1961~1982年 | 1961~1982年 | 1961~1982年 | 1961~1979年 | 1961~1982年 |
| 次年 | -0.449 | 0.075 | -0.387 | -0.346 | -0.325 | -0.133 |

可见,虽然蒙古国前一年全区平均降水量的多少对山西省年沙尘天气无明显的指示性,但个别站点如:MONGOLIAN、OMNOGOV、HOVDO、BARUUNTURUUN 的前一年降水量与山西省的沙尘天气的负相关性比较显著,尤其是 1961~1982 年 MONGOLIAN 站相关系数通过了 $\alpha=0.05$ 信度水平的检验。当这些站前一年降水量多时,山西省少沙尘;反之,多沙尘。而且这些点均分布在 100°E 以西蒙古国的西部,比较集中的一块是 47.5°N~50.0°N, 90.0°E

~92.5°E 范围内的 MONGOLIAN、OMNOGOV、HOVDO 3 个站。因此,蒙古国西部的前一年降水对山西省的沙尘天气具有较好的指示性。

3.2 青藏高原前冬积雪日数

研究表明,青藏高原冬季地面感热通量的增强(减弱)影响着我国北方东部(西部)春季沙尘暴的减少(增多)^[18],青藏高原的积雪多少和我国西北部的降水呈弱的、复杂的相关关系^[19],青藏高原积雪和 ENSO 事件及东亚大气环流存在着较好的关

系^[20]。青藏高原作为影响我国气候变化乃至大尺度环流背景中的一个热源因子,其对沙尘天气的影响也是间接的,因此这里主要分析一下青藏高原前一年冬季积雪日数与山西沙尘日数的关系。

青藏高原的站数共 60个,包括西藏 26个台站和青海 34个台站,在保证序列长度的前提下,并考虑到资料的精确性,剔除了缺测值较多或在序列所规定的年份中无 3 a以上观测值的站点,最后筛选到 48个站点 1961~2001年共 41 a的积雪日数资料进行分析。考虑到站点资料序列长度的不一致性,分别对每年有记录站点的冬季积雪日数求区域平均,首先利用区域平均的方法计算出青藏高原 1961~2000年冬季平均的积雪日数的逐年值,与次年山西省平均沙尘日数的逐年序列求相关,相关系数数值达到 -0.365,通过了 95%信度水平的检验。再与 18个单站求相关的结果显示,均呈负相关,有 7个站点通过了 $\alpha=0.05$ 的负相关检验,分别是右玉、大同、河曲、原平、兴县、运城、阳城。另外,青藏高原冬季积雪日数与山西省春季沙尘日数的相关系数数值为 -0.246。

可见,青藏高原前一年冬季积雪日数和山西省年沙尘日数呈较好的负相关性,当前冬青藏高原积雪日数多时,来年山西少沙尘;反之,多沙尘。

3.3 我国北方区域积雪日数

从理论上讲,前冬时期深厚的积雪有利于土壤水分的保持,抑制来年沙尘天气的发生。通过 1961~2001年我国北方 340个站的年最大积雪日数计算出我国北方的年最大积雪面积的逐年序列,并通

过区域平均的方法求得 1961~2001逐年的平均的年最大积雪日数、年平均积雪日数、冬季平均积雪日数,与山西省平均的 1961~2002年沙尘日数的逐年序列的相关系数见表 3。

表 3 我国北方区域积雪日数与 1961~2002年沙尘日数的逐年序列的相关系数

Tab 3 The correlation coefficients between snow days in northern China and dust days in Shanxi Province during 1961 - 2002

| | 年最大积雪日数 | | 年平均积雪日数 | | 冬季平均积雪日数 | | 年最大积雪面积 | |
|------|---------|--------|---------|-------|----------|--------|---------|--|
| | 前一年 | 当年 | 前一年 | 当年 | 前一年 | 前一年 | 当年 | |
| 当年 | 0.077 | -0.073 | 0.171 | 0.136 | -0.030 | -0.154 | 0.001 | |
| 当年春季 | -0.034 | 0.062 | 0.083 | 0.238 | 0.093 | -0.197 | 0.107 | |

由表 3可以看出,我国北方区域平均的积雪日数或面积对山西省的沙尘天气无明显的指示性。再将 1961~2001年我国北方 340个站范围内的年最大积雪面积与山西省 18个单站次年的年沙尘日数求相关,没有能通过 95%信度水平检验的站点。另求得 1961~2001年山西省平均的沙尘日数的逐年序列与 283个有完整资料的单站前一年冬季的平均积雪日数的相关系数,能通过 95%信度水平检验的负相关站点有 35个(图 2),特别是上游地区包括新疆的 13个站、甘肃的 4个站及内蒙古的朱日和、苏尼特左旗、那仁宝力格区域对山西省来年的沙尘日数具有很好的指示意义,其中,新疆的巴里塘站相关系数值最高,达 -0.742。

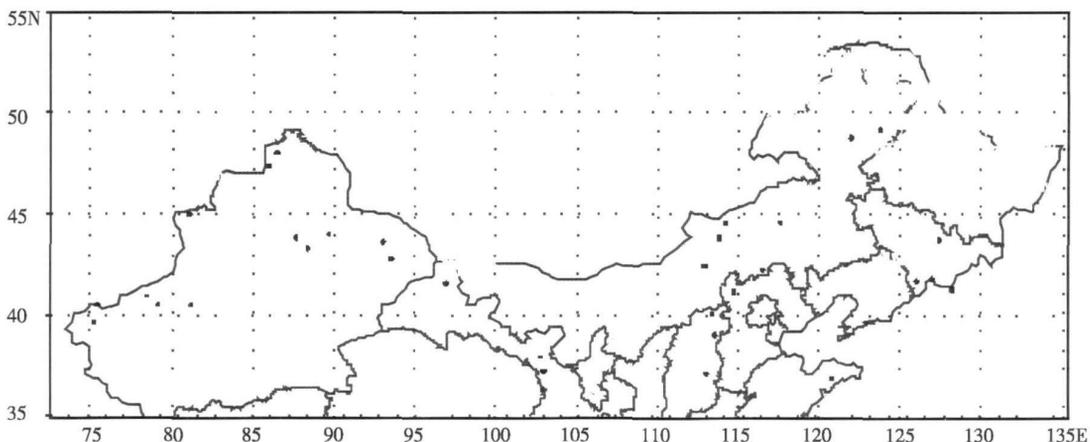


图 2 山西省的沙尘日数与 283个单站前冬的平均积雪日数的相关系数能通过 95%信度水平检验的负相关站点分布图

Fig 2 The distribution of sites with the negative correlation coefficients which are significant at 95% confidence level between dust days in Shanxi Province and average snow days in previous winter in 283 stations

可见,这些站点的前一年冬季的平均积雪日数对山西的沙尘日数有很好的指示性,前一年冬季积雪日数多时,山西省少沙尘;反之,多沙尘。比较集中的指示性区域是 40°N ~ 45°N, 110°E ~ 115°E 内蒙古范围内的苏尼特左旗、朱日和、那仁宝力格; 35°N ~ 40°N, 100°E ~ 105°E 甘肃范围内的乌鞘岭、武威、马鬃山; 40°N ~ 45°N, 85°E ~ 95°E 新疆范围内的乌鲁木齐、达坂城、奇台、哈密、巴里塘。

3.4 SO 指数

计算山西平均的逐年沙尘日数与 SO 指数的逐年平均值的相关系数为 0.187,没有通过信度检验。但计算 SO 指数与滞后 2 a 的沙尘日数的相关系数为 0.320,通过了 95%的信度水平检验。可见,在晚于 SO 高指数值 2 a 的年份,山西一般多沙尘天气;反之,晚于 SO 指数低值 2 a 的年份,山西一般少沙尘天气。

计算同年份 SO 指数与山西省 15 个单站沙尘日数序列的相关,其中 14 个呈正相关,仅五台山站呈弱的负相关。进一步计算滞后 2 a 的沙尘日数单站序列与 SO 指数的相关,15 个站点均呈正相关,且能通过 $\alpha = 0.05$ 信度检验的站点有 4 个,分别是右玉 (0.314)、大同 (0.356)、太原 (0.346) 和阳泉 (0.351) (图 3)。

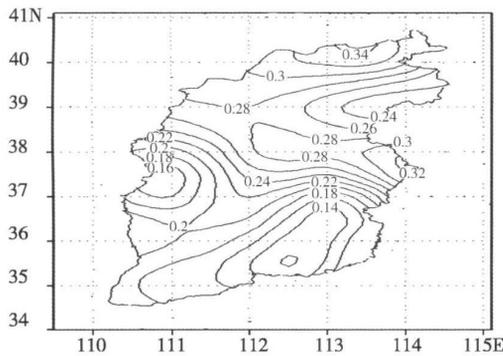


图 3 SO 指数与滞后 2 a 的沙尘日数相关系数的等值线分布

Fig 3 Isoline distribution of the correlation coefficients between SOI and 2 years lagged dust days in Shanxi Province

因此,沙尘日数在滞后 2 a 的情况下与 SO 指数具有较显著的正相关关系。从单站来看,这种显著正相关点主要分布在中东部和东北部,而在西南部南方涛动对滞后 2 a 的沙尘天气发生频率的影响不明显。

4 预测模型的建立

在上述前期影响因子中,选出最优相关因子,建立回归预测模式,将对山西省沙尘天气的短期气候预测具有借鉴意义。因为风要素是最为直接的、最优相关的因子,所以在选取前期影响因子时,选入了年平均风速。只不过计算时用前一年的年平均风速代替,依据是前一年的年平均风速与来年沙尘日数显著相关,相关系数值达 0.586;进一步筛选后,对山西省前一年的年平均气温、前一年的年平均风速、前一年的年平均相对湿度、前年的 SO 指数 (1961 ~ 1999 年)、青藏高原前冬平均积雪日数、巴里塘站前冬平均积雪日数 6 个前期因子于 1962 ~ 2000 年的逐年平均值与山西省 1963 ~ 2001 年 18 个站平均的逐年沙尘日数作逐步线性回归分析,在 95% 显著水平下,得出由前一年的年平均风速 (x_1)、前年的 SO 指数 (x_2)、青藏高原前冬平均积雪日数 (x_3) 3 个显著性因子建立的山西省沙尘日数 y 的预测模式如下式:

$$y = 14.90x_1 + 0.27x_2 - 1.44x_3 - 19.26 \quad (4)$$

其中,预测量 y 与估计量 \hat{y} 之间的复相关系数为 0.728。并根据此模型对 2002, 2003, 2004 年山西省的沙尘日数进行回报,结果见表 4。

表 4 根据方程 (4) 对 2002 ~ 2004 年山西省平均的年沙尘日数的预报结果

Tab 4 The forecast results of annual mean dust days in Shanxi Province according to the equation (4) during 2002 - 2004

| 年份 | x_1 | x_2 | x_3 | y |
|------|-------|-------|-------|-------|
| 2000 | | 7.8 | | |
| 2001 | 2.4 | 0.525 | 4.09 | |
| 2002 | 2.37 | -6.1 | 6.22 | 12.72 |
| 2003 | 2.34 | | 4.77 | 7.24 |
| 2004 | | | | 7.09 |

并把 1963 ~ 2003 年山西省平均的年沙尘日数的预报值和实况值进行对比,如图 4 所示。

由图 4 可以看出,预报值与实况值的总体趋势大致相当,在个别年份如 1968、1970、1977、1986、1991、1997、2002 年会出现偏差较大或趋势相反的现象,但大多数年份二者比较接近且趋势一致,可见经过逐步回归筛选出的因子年平均风速、前年的 SO 指数、青藏高原前冬的平均积雪日数是具有代

表性的,其回归方程可以作为山西省沙尘天气预测的一项参考依据。

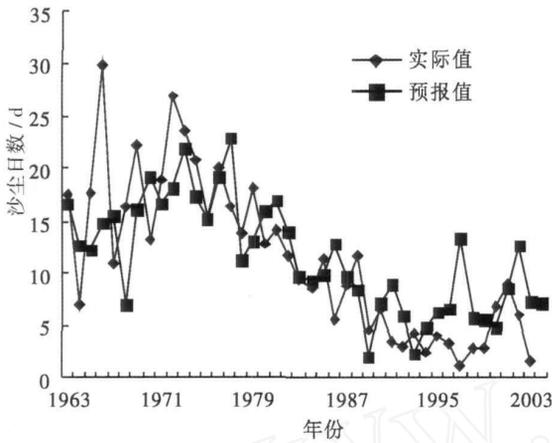


图 4 山西省平均年沙尘日数的实际值 (1963 ~ 2003) 与预报值 (1963 ~ 2004)对照图

Fig 4 Comparison of the actual (1963 - 2003) and the prediction (1963 - 2004) values of annual mean dust days in Shanxi Province

并把以上 6 个前期因子与太原市的逐年沙尘日数作逐步回归分析,求得太原市的统计预测模式如下:

$$y_{\text{太原}} = 0.35x_1 - 1.59x_2 + 22.91 \quad (5)$$

式(5)中, x_1 为前年的 SOI 指数、 x_2 为青藏高原前冬平均积雪日数。预测量 $y_{\text{太原}}$ 与估计量 $\hat{y}_{\text{太原}}$ 之间的复相关系数为 0.509。

图 5 是 1963 ~ 2003 年太原的年沙尘日数的预报值和实况值的对比曲线。

可见,所建立的太原市的年沙尘日数的统计预测模式不及全区的效果好,这是因为,文中没有更细致地讨论太原市沙尘日数与本地、各区气候因子和环流因子的相关性,只是在总结全区比较典型的相关因子的基础上,进行了粗略的回归计算。但通过式(5)可以看出,对于不同地区沙尘天气的显著影响因子是不完全一致的,因此,对某一地区的沙尘日数进行预测时,要在考虑山西省沙尘天气总体变化趋势的基础上,抓住影响本地沙尘日数的强信号因子。

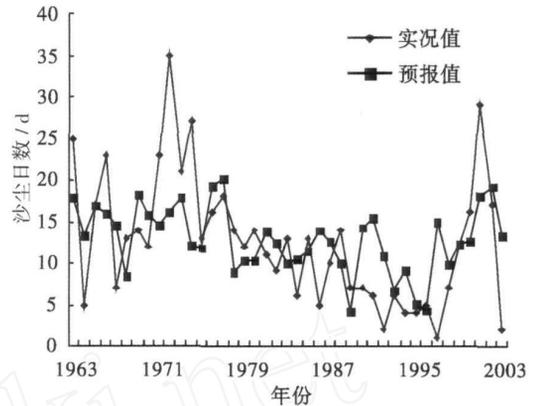


图 5 太原市 1963 ~ 2003 年沙尘日数的实际值与预报值对照图

Fig 5 Comparison of the actual and the prediction values of annual mean dust days in the period of 1963 - 2003 in Taiyuan of Shanxi Province

5 主要结论

(1) 蒙古国西部特别是 47.5°N ~ 50.0°N, 90.0°E ~ 92.5°E 区域内前一年降水对山西省的沙尘天气具有较好的指示性;当这些站前一年降水量多时,山西省少沙尘;反之,多沙尘。而蒙古全区的平均降水量仅对五台山站有很好的负相关性。

(2) 青藏高原前一年冬季积雪日数和山西省的年沙尘日数呈较好的负相关性,当前冬青藏高原积雪日数多时,来年山西省少沙尘;反之,多沙尘。

(3) 就我国北方特别是山西省上游地区的积雪日数而言,指示性比较强的区域是 40°N ~ 45°N, 110°E ~ 115°E 内蒙古范围内的苏尼特左旗、朱日和、那仁宝力格; 35°N ~ 40°N, 100°E ~ 105°E 甘肃范围内的乌鞘岭、武威、马鬃山; 40°N ~ 45°N, 85°E ~ 95°E 新疆范围内的乌鲁木齐、达坂城、奇台、哈密、巴里塘。这些站点的前一年冬季的平均积雪日数对山西省的沙尘日数有很好的指示性,这些地区前一年冬季积雪日数多时,山西省少沙尘;反之,多沙尘。

(4) 综合多种因子与山西省沙尘天气的相关关系,在建立山西省沙尘气候预测的概念模型的基础上,通过逐步线性回归分析,筛选出了年平均风速、前年的 SOI 指数、青藏高原前冬的积雪日数 3 个显著性因子,建立了统计回归预测模式,对山西省沙尘天气的短期气候预测具有借鉴意义。

参考文献:

- [1] 颜宏. 全国沙尘暴天气研讨会会议总结 [J]. 甘肃气象, 1993, 11(3): 6 - 11.
- [2] McTainsh G H. Climatic controls upon dust storm occurrence in eastern Australia [J]. *J. Arid environments*, 1998: 457 - 466.
- [3] 徐国昌, 陈敏连, 吴国雄. 甘肃“4.22”特大沙尘暴分析 [J]. 气象学报, 1979, 37(4): 26 - 35.
- [4] 周自江, 王锡稳, 牛若芸. 近 47 年中国沙尘暴和扬沙天气 [A]. 沙尘暴监测预警服务研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2002: 12 - 19.
- [5] 俞亚勋, 赵建华. 甘肃省春季沙尘暴强弱年份大气研究特征对比分析 [J]. 干旱气象, 2003, 21(3): 48 - 57.
- [6] 刘景涛, 郑明倩. 沙尘暴监测预警服务研究 [M]. 北京: 气象出版社, 2002: 127 - 133.
- [7] 刘青春, 秦宁生, 张吉农, 等. 青海省春季沙尘暴特征及其异常气候背景分析 [J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 19 - 23.
- [8] 王雁鹏, 陈岩, 殷惠民, 等. 中国北方沙尘传输的数值模拟 [J]. 干旱气象, 2007, 25(3): 1 - 9.
- [9] 张瑞军, 何清, 孔丹, 等. 近几年国内沙尘暴研究的初步评述 [J]. 干旱气象, 2007, 25(3): 88 - 94.
- [10] 张志刚, 赵燕华, 陈万隆, 等. 北京沙尘天气与源地气象条件的分析 [J]. 安全与环境学报, 2003, 3(1): 20 - 24.
- [11] 史培军, 严平, 高尚玉, 等. 我国沙尘暴灾害及其研究进展与展望 [J]. 自然灾害学报, 2000, 9(3): 71 - 77.
- [12] 叶笃正, 丑纪范, 刘纪远, 等. 关于我国华北沙尘天气的成因与治理对策 [J]. 地理学报, 2000, 55(5): 513 - 521.
- [13] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法 [M]. 北京: 气象出版社, 2004: 1 - 50, 121 - 141.
- [14] Jones P D, Hulme M. Calculating regional climatic time series for temperature and precipitation: methods and illustrations [J]. *Int J Climatol*, 1996, 16: 361 - 377.
- [15] 杨民, 蔡玉琴, 王式功, 等. 2000 年春季中国北方沙尘暴天气气候成因研究 [J]. 中国沙漠, 2001, 21(增刊): 6 - 11.
- [16] 矫梅燕, 周自江. 中国沙尘暴及其监测预警 [J]. 中国工程科学, 2003, 15(19): 1 - 5.
- [17] 邱新法, 曾燕, 缪启龙. 我国沙尘暴的时空分布规律及其源地和移动路径 [J]. 地理学报, 2001, 56(3): 316 - 322.
- [18] 钟海玲, 李栋梁, 魏丽. 我国北方春季沙尘暴的异常及其对冬季青藏高原地面感热的响应 [J]. 中国沙漠, 2004, 24(3): 323 - 329.
- [19] 王澄海, 董安祥, 王式功, 等. 青藏高原积雪与西北春季降水的相关特征 [J]. 冰川冻土, 2000, 22(4): 340 - 346.
- [20] 赵振国, 蒋伯仁, 陈国珍, 等. ENSO 事件与青藏高原积雪和东亚大气环流的可能联系 [J]. 山东气象, 1999, 19(4): 1 - 8.

Analysis on Correlation Climatic Factors and Establishment of the Prediction Model for Dust Storm Events in Shanxi Province

LU Ruilan¹, REN Guoyu², WU Zhanhua¹

(1. Shuozhou Meteorological Bureau of Shanxi Province, Shuozhou 036001, China;
2. Laboratory for Climate Studies, National Climate Center, CMA, Beijing 100081, China)

Abstract: The relationship between dust storm days in Shanxi Province and precipitation in Mongolia, snow days on Qinghai - Xizang Plateau, snow days in northern China, circulation factors such as SOI was analyzed in this paper. Results show that the quasi - periodic variation of global atmosphere and oceans plays an important role in development and change of dust storm events. Precipitation in the last year in the west of Mongolia is an indicator for dust storm weather in Shanxi Province. There exists significant negative correlation between yearly dust storm days in Shanxi and snow days in previous winter on the Qinghai - Xizang Plateau and in Inner Mongolia. Two years lag positive correlation between dust storm days and SOI index is also found. Stations with significant correlation with SOI index are generally located in the central and eastern parts of Shanxi Province. Based on the correlation analysis, a conception model is put forward, and a prediction equation is built by using stepwise linear regression method. It could be used in prediction of dust storm frequency in Shanxi Province.

Key words: dust event; climatic factor; prediction model