

北太平洋海温场与我国西北地区 春季沙尘暴的关系*

彭公炳¹⁾ 黄 玮¹⁾ 钱步东²⁾ 张时煌¹⁾

1) (中国科学院地理科学与资源研究所, 北京 100101)

2) (河海大学, 南京 210098)

摘要 通过聚类分析, 将我国 355 个气象站 1954~1998 年春季沙尘暴发生频率的变化进行分类, 在此基础上得到两个沙尘暴指数, 利用其探讨了我国西北地区沙尘暴的发生与北太平洋海温的关系。结果发现, 当加利福尼亚海温偏低, 黑潮及北温带区域海温偏高时, 我国黄河以北的内蒙古、甘肃、宁夏等地区, 春季气温偏低, 沙尘暴活动频繁。作者同时探讨了海温变化影响沙尘暴发生的可能原因。

关键词: 沙尘暴; 指数; 北太平洋; 海温; 西北地区

文章编号 1006-9895 (2004) 01-0174-08 **中图分类号** P461⁺.2 **文献标识码** A

1 引言

沙尘暴的产生和发展受多种因子制约, 大气环流演变是其重要控制因子之一。而大尺度天气系统以及长波和超长波的变化又直接或间接受海洋下垫面不同能量与物质输送的影响。已有很多研究充分肯定了海温对大气环流及我国气候的影响。叶笃正等^[1]的研究表明, 沙尘天气的出现与赤道中东太平洋海温异常有密切关系, 另有不少学者研究了我国沙尘暴的发生与海温的关系, 取得了积极的成果^[2~6]。沙尘暴的发生除了受大尺度大气环流的影响以外, 还与局部地形及下垫面有关。由于受这 3 个因素的影响, 我国不同区域沙尘暴发生的频率和多年变化均有差异。春季是我国沙尘暴多发季节, 本文试图通过聚类分析方法将全国范围内 355 个气象观测站的春季沙尘暴发生频率的变化进行分类, 在此基础上探讨各区域沙尘暴的发生频率与海温变化的关系。

2 资料和方法

本研究使用 3 类资料。第 1 类资料为我国 355 个气象站 1954~1998 年的沙尘暴出现日数资料, 该资料取自国家气象中心^[7]。根据地面气象观测规范^[8], 沙尘暴是指强风把地面大量沙尘卷入空中, 使空气特别浑浊, 水平能见度低于 1 km 的天气现象。沙尘暴出现日数以每日的 20: 00 为界, 当某一次沙尘暴过程跨越 20: 00 时, 按两个出现日计算, 当某一天沙尘暴过程出现两次及以上次数时, 按一个出现日计算。第 2 类资

2004-01-08 收到, 2004-02-10 收到修改稿

* 国家财政部“西北地区土壤水分、沙尘暴监测预测研究”项目(Y0101)资助

料为全国 160 个站 1951~1998 年月平均气温和降水资料, 这类资料来源于中国气象局。第 3 类资料为北太平洋海温资料^[9,10]。

从统计学看, 聚类是寻找初始分类的有效方法, 它采用的算法是最小化与类均值间距离平方和的标准迭代算法, 结果能够得到不相交的分类。本文首先采用聚类分析将我国春季沙尘暴发生日数的变化进行分类。计算方法是, 利用社会科学统计软件包 (Statistical Program for Social Sciences, SPSS) 通过 k 均值法将 355 个气象站春季 (3~5 月) 沙尘暴变化序列进行聚类。聚类样本为 355 个, 分类所用变量为每年春季沙尘暴日数, 共 45 个。计算步骤为首先确定分类数, 然后由过程去选择凝聚点, 通过分配每个观测记录到与凝聚点最近的类来形成临时分类。所有观测点分配完成以后, 这些类的凝聚点用临时类的均值代替。这样一直继续直到类中凝聚点的改变很小或达到所规定的限制条件为止。最终的分类由分配每一个观测记录到最近的凝聚点而形成。本研究中分类数从 2 开始逐步增加, 直到分类中出现单个样本自成一类时认为不能再分下去。由此将我国 355 个气象站春季沙尘暴变化序列划分为 3 种类型, 分布于 3 个区域 (图 1)。图中五角星代表 1 区沙尘暴, 共有 5 个站, 站点都分布于新疆的塔克拉玛干沙漠附近, 沙尘暴发生频率很高, 春季平均为 10.2 天; 圆点代表 2 区沙尘暴, 这类沙尘暴分布于黄河以北的内蒙古、甘肃、宁夏等地区, 发生频率相对较低, 平均为 4.2 天; 三角形代表的 3 区沙尘暴, 分布于新疆北部及我国东部及南部的大部分地区。由于 3 区沙尘暴的发生频率很低, 因此本文重点研究 1 区和 2 区沙尘暴。

图 2a 为 1 区和 2 区沙尘暴的平均值序列, 图 2b 为 2a 中两序列的距平, 距平为距 1954~1998 年平均。图 2a 及 2b 表明, 1 区沙尘暴发生频率远高于 2 区。从地理位置上讲, 由于 1 区沙尘暴更靠近塔克拉玛干沙漠, 因而局地沙尘暴发生较多。从图中同时可看到 1 和 2 区春季沙尘暴序列都呈下降趋势, 根据趋势分析进一步发现, 1 区沙尘暴的下降趋势为 0.254 a^{-1} , 而 2 区沙尘暴为 0.124 a^{-1} , 二者均达到 0.01 的信度检验。

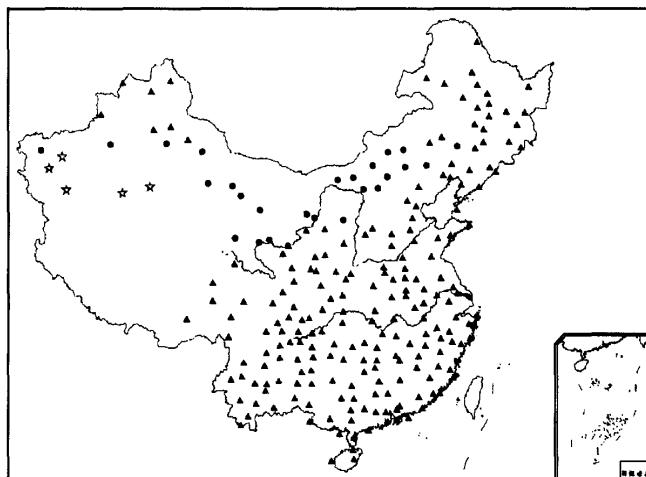


图 1 沙尘暴分类
五角星为 1 区沙尘暴, 圆点为 2 区沙尘暴, 三角形为 3 区沙尘暴

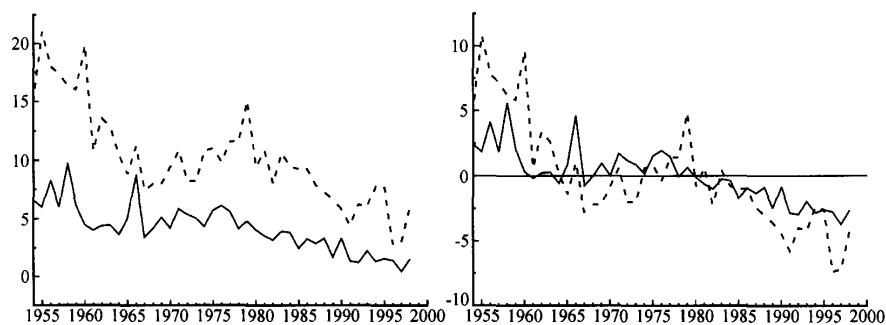


图2 沙尘暴指数(a)和距平(b)序列
虚线表示沙尘暴指数1, 实线表示沙尘暴指数2

因此1区沙尘暴序列的下降趋势大于2区。本文以下的讨论将1、2区中所有站点春季沙尘暴日数的平均值序列分别定义为沙尘暴指数1和2。

3 北太平洋海温场与我国西北地区春季沙尘暴的关系

3.1 计算结果

利用1954~1998年北太平洋($10^{\circ}\text{S} \sim 50^{\circ}\text{N}$, $125^{\circ}\text{E} \sim 80^{\circ}\text{W}$)范围内 $5^{\circ} \times 5^{\circ}$ 共286个网格点的逐月海表温度平均值,通过自然正交分解,将此区域海温划分为10个区(见图3)^[9]。分别计算沙尘暴指数1和2(1954~1998年)与北太平洋的千岛、阿拉斯加、黑潮、北温带、北亚热带、加利福尼亚、北热带、赤道、南热带及秘鲁共10个海区同年及前一年海温的时滞相关系数,发现沙尘暴指数与黑潮、北温带及加利福尼亚海区海温的相关大都很好或较好,其中大部分相关系数达到0.01信度,结果列于表1。

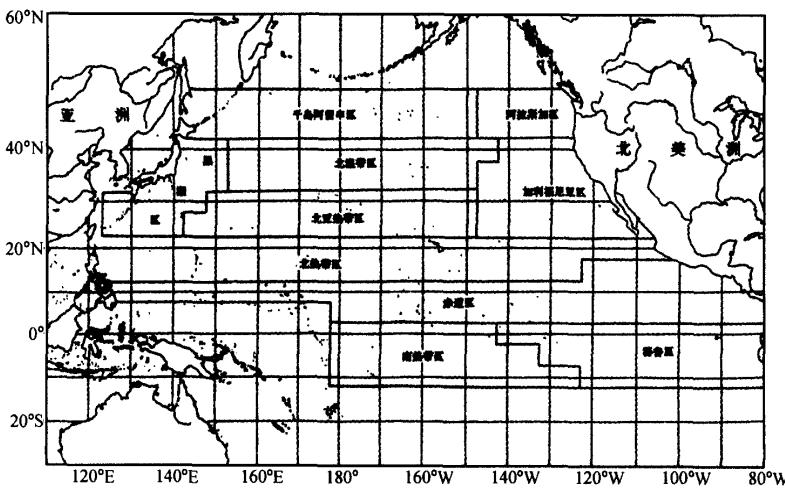


图3 北太平洋海温分区

表 1 沙尘暴指数 1 和 2 与当年及前一年各月海温相关系数

时间		指数 1 与 黑潮区	指数 2 与 黑潮区	指数 1 与 北温带	指数 2 与 北温带	指数 1 与 加利福尼亚	指数 2 与 加利福尼亚
当 年	5月	0.46**	0.44**	0.37**	0.51**	-0.36*	-0.43**
	4月	0.43**	0.45**	0.32*	0.42**	-0.45**	-0.50**
	3月	0.48**	0.48**	0.40**	0.48**	-0.39**	-0.49**
	2月	0.46**	0.47**	0.24	0.34*	-0.37**	-0.44**
	1月	0.36*	0.32*	0.12	0.24	-0.36*	-0.47**
前 一 年	12月	0.40**	0.30*	-0.05	0.01	-0.34*	-0.44**
	11月	0.30*	0.25	-0.12	-0.08	-0.49**	-0.54**
	10月	0.27	0.15	0.02	0.0	-0.50**	-0.50**
	9月	0.27	0.16	0.13	0.02	-0.38**	-0.39**
	8月	0.26	0.27	0.28	0.30*	-0.42**	-0.31*
	7月	0.35*	0.25	0.44**	0.46**	-0.39**	-0.31*
	6月	0.34*	0.30*	0.32*	0.40**	-0.33*	-0.38**
	5月	0.43**	0.39**	0.36*	0.60**	-0.34*	-0.49**
	4月	0.41**	0.32*	0.34*	0.52**	-0.41**	-0.54**
	3月	0.42**	0.31*	0.39**	0.52**	-0.34*	-0.45**
	2月	0.44**	0.38**	0.22	0.33*	-0.28	-0.48**
	1月	0.37**	0.25	0.11	0.21	-0.28	-0.49**

注: * 表示相关系数达到 0.05 信度, ** 表示相关系数达到 0.01 信度

表 1 说明沙尘暴指数 1 和 2 与黑潮区海温的相关除了前一年少数几个月没有达到信度外, 良好的正相关基本从上一年 1 月持续到当年 5 月, 最高相关系数达 0.48。与北温带海温的正相关更好, 沙尘暴指数 2 与前一年 3~5 月海温的相关系数都在 0.5 以上, 最高相关系数达 0.6。相对来说, 沙尘暴指数 2 与加利福尼亚区海温的相关最好, 相关系数除了前一年 7~8 月只达到 0.05 信度外, 其余的负相关均超过 0.01 信度, 从上一年 1 月一直持续到当年 5 月。

3.2 影响原因分析

为了探求海温影响沙尘暴发生频率的原因, 我们计算了沙尘暴指数 (1954~1998 年) 与其所代表区域内平均气温和降水的相关。计算发现, 沙尘暴指数与当年冬 (12~2 月)、春季 (3~5 月) 的平均气温都具有很好的负相关关系, 且信度都达到 0.01, 见表 2。

同时, 对黑潮、加利福尼亚及北温带区域海温与沙尘暴指数 1 和 2 所代表区域的冬 (12~2 月)、春季 (3~5 月) 平均气温也做了相关计算, 由于沙尘暴指数 1 和 2 所代表区域的平均气温与海温的相关系数正负号相同, 只是指数 1 所代表区域的相关系数比指数 2 稍小一些, 因此略去沙尘暴指数 1 区内平均气温与前期及同期海温的相关系数, 见表 3。

表 2 沙尘暴指数与冬、春季平均气温的相关系数

沙尘暴指数	冬季平均气温	春季平均气温
1	-0.412**	-0.424**
2	-0.521**	-0.385**

注: ** 表示相关系数达到 0.01 信度

表3 沙尘暴2区冬、春季平均气温(1951~1998年)与前一年及当年海温相关系数

时间		冬季气温与黑潮区	春季气温与黑潮区	冬季气温与北温带	春季气温与北温带	冬季气温与加利福尼亚	春季气温与加利福尼亚
当年	5月	-0.35*	-0.27	-0.26	-0.24	0.34*	0.27
	4月	-0.33*	-0.29*	-0.32*	-0.29*	0.45**	0.22
	3月	-0.17	-0.33*	-0.43**	-0.34*	0.39**	0.29*
	2月	-0.12	-0.36*	-0.52**	-0.29*	0.36*	0.33*
	1月	-0.05	-0.33*	-0.52**	-0.15	0.46*	0.33*
前一年	12月	-0.22	-0.30*	-0.10	-0.14	0.47**	0.33*
	11月	-0.29*	-0.41**	-0.06	-0.16	0.44**	0.31*
	10月	-0.28	-0.48**	-0.2	-0.18	0.40**	0.28
	9月	-0.32	-0.49**	-0.23	-0.15	0.40**	0.36*
	8月	-0.39**	-0.45**	-0.39**	-0.18	0.38**	0.43**
	7月	-0.33*	-0.42**	-0.40**	-0.13	0.39**	0.32*
	6月	-0.37**	-0.39**	-0.43**	-0.17	0.43**	0.42**
	5月	-0.45**	-0.46**	-0.49**	-0.20	0.46**	0.40**
	4月	-0.36*	-0.43**	-0.40**	-0.21	0.48**	0.40**
	3月	-0.48**	-0.40**	-0.39**	-0.19	0.48**	0.41**
	2月	-0.37**	-0.44**	-0.22	-0.11	0.52**	0.44**
	1月	-0.21	-0.40**	-0.08	-0.11	0.52**	0.29*

注: * 表示相关系数达到 0.05 信度, ** 表示相关系数达到 0.01 信度

表3表明, 沙尘暴区冬、春季平均气温与黑潮、北温带和加利福尼亚区的海温有着较为密切的联系。沙尘暴区冬季平均气温与加利福尼亚区海温的正相关最好, 稳定持续的正相关关系从上一年1月一直持续到当年5月, 绝大部分相关系数超过0.01信度, 最高系数达0.52; 春季平均气温与黑潮区海温的负相关关系也是显著的, 从上一年1月持续到当年4月。总的来说, 当加利福尼亚海温偏高而黑潮及北温带区海温偏低时, 我国西北沙尘暴区冬、春季气温偏高, 反之则反是。

我们同时普查了沙尘暴指数1和2代表区域内春季平均气温与同期74个大气环流特征量的相关关系, 发现沙尘暴指数2所代表区域的春季平均气温与大气环流特征量的相关系数皆高于沙尘暴指数1所代表区域, 其与极涡面积指数及纬向环流指数的相关系数列于表4。

表4说明, 沙尘暴指数2代表区域内春季平均气温与同期的极涡面积以及纬向环流的强弱有直接关系。极涡面积增大, 纬向环流偏弱, 可造成大量西伯利亚冷空气频繁向我国境内由西北向东南突进, 如果此时水汽条件不充分, 则可能造成大范围的沙尘暴天气。另外春季冷锋过境后会产生很强的变压梯度, 由此产生的瞬间变压风可导

表4 沙尘暴区春季平均气温与环流特征量的关系

区域	北半球极涡面积指数	欧亚纬向环流指数	亚洲纬向环流指数
指数1	0.13	0.27	0.34*
指数2	-0.30*	0.51**	0.43**

注: * 表示相关系数达到 0.05 信度, ** 表示相关系数达到 0.01 信度

致沙尘暴的产生。

通过计算黑潮区、北温带以及加利福尼亚海区海温（1954~1998年）与以上环流指数的相关证实，前期春季海温与以上环流指数有一定的滞后相关关系（表5）。

表5说明前一年乃至前二年春季的海温异常通过大气环流与海温之间的遥相关影响到当年春季的大气环流形势，从而影响到沙尘暴的发生。

表5 海温与大气环流指数的滞后相关（海温超前）

区域（时间）	北半球极涡面积指数 (0°~360°)	欧亚纬向环流指数 (0°~150°E)	亚洲纬向环流指数 (60°~150°E)
黑潮区（前一年春）	0.305*	-0.335*	-0.293*
北温带（前二年春）	0.409**	0.034	0.213
加利福尼亚（前一年春）	-0.236	0.321*	0.254

注：*表示相关系数达到0.05信度，**表示相关系数达到0.01信度

3.3 海温影响沙尘暴的天气气候学模式

北温带海区与黑潮区的海流是相联结的，所以它们与沙尘暴的相关符号也相同。对沙尘暴指数与黑潮区海温的正相关可理解为，黑潮区海温高对应黑潮强，于是黑潮区与北极温差加大，极涡等大尺度气旋活动加强，空气南北交换加强，大风频率加大，导致沙尘暴增多，反之亦反是。

综合以上分析，海温与沙尘暴指数2、沙尘暴指数2所代表区域的冬、春季平均气温以及春季的大气环流指数有密切联系。海温通过与大气的遥相关影响到西北地区沙尘暴的发生频率。当加利福尼亚海温偏低，黑潮及北温带区海温偏高时，纬向环流较弱，而经向环流较强，冷锋活动频繁，导致我国西北沙尘暴区冬、春季气温偏低，沙尘暴活动频繁。具体遥相关的天气气候学模式见图4。

沙尘暴指数1所代表的区域是我国沙尘暴发生频率最高的地区。虽然与海温的相关很好，但海温影响沙尘暴的过程以及下垫面和地形因素的影响都需要进一步研究。

本文的主要结果是根据我们计算的大量达到较高信度的相关系数而得出的，而且从海气关系上可以得到一定的解释，因而具有一定的可靠性。但沙尘暴和海温的周期并非完全对应。此外趋势项对相关系数存在一定的影响。

通过功率谱分析发现，沙尘暴指数1和2都有2年左右的周期，而对海温的周期

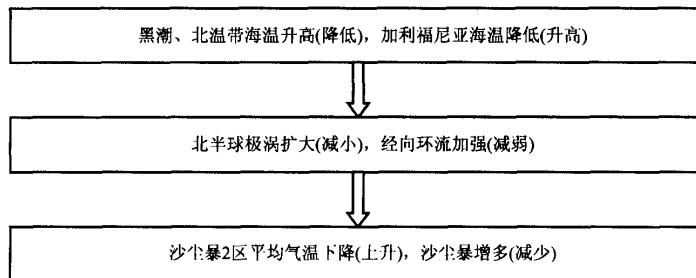


图4 北太平洋海温与西北地区沙尘暴遥相关的天气气候学模式

分析发现黑潮区海温具有 2.67 年周期。沙尘暴指数 2 所代表区域的冬季气温有 3.3 年周期；春季气温有 2.86 年周期。沙尘暴同黑潮区海温及沙尘暴区域冬季气温在变化周期上的接近，从一个角度说明了它们之间的相关是可能的，但北温带及加利福尼亚区海温与沙尘暴的变化周期则不同，而且我们未能排除沙尘暴及其相关因子多年变化的趋势项可能对表 1 至表 5 中所列相关系数的影响。计算结果表明，去掉趋势项以后上述相关系数就明显降低。因此，严格地说本文的结论只是初步的，尚待进一步论证。

4 结语

(1) 海温早已是公认的影响大气环流演变的下垫面因子，因而它可能通过影响大气环流演变而影响沙尘暴的发生频率。所以这方面的研究是必要的。海温的变化具有很长的时间持续性，它对大气环流和沙尘暴的影响也是一个长期过程。其影响的征兆可以出现在沙尘暴发生前的几个月乃至 1~2 年，这对沙尘暴的长期和超长期趋势预测可能具有参考价值。

(2) 我们的初步计算和分析结果表明，加利福尼亚区海温偏低，而黑潮及北温带区海温偏高时，北半球极涡增大，纬向环流减弱而经向环流加强，我国西北沙尘暴区气温下降，沙尘暴增多，反之亦反是。

参 考 文 献

- 1 叶笃正、丑纪范、刘纪远等，关于我国华北地区沙尘天气的成因与治理对策，地理学报，2000，55（5），513~521.
- 2 严华生、王会军、严小冬等，太平洋海温变化对我国降水可预报性影响的分析，高原气象，2003，22（2），155~161.
- 3 尚可政、孙黎辉、王式功等，甘肃河西走廊沙尘暴与赤道中、东太平洋海温之间的遥相关分析，中国沙漠，1998，18（3），239~243.
- 4 王澄海、王式功、杨德保，中国西北春季降水与太平洋海温的相关特征，应用气象学报，2001，12（3），383~384.
- 5 李耀辉、李栋梁、赵庆云，中国西北春季降水与太平洋秋季海温的异常特征及其相关分析，高原气象，2000，19（1），100~110.
- 6 李崇银、咸鹏，北太平洋海温年代际变化与大气环流和气候异常，气候与环境研究，2003，18（3），258~273.
- 7 周自江，近 45 年中国扬沙和沙尘暴天气，第四纪研究，2001，21（1），9~17.
- 8 中央气象局，地面气象观测规范，北京：气象出版社，1979，21~27.
- 9 李克让、陈永申、司有元等，北太平洋海温场的时空特征分析，海洋学报，2（3），38~50，1980.
- 10 沙万英、郭其蕴、黄政，北太平洋海温场与西太平洋副热带高压的关系，汛期旱涝预测方法研究，北京：气象出版社，2000，71~79.

Relationships Between North Pacific Sea Surface Temperatures and Spring Sandstorms in Northwest China

Peng Gongbing¹⁾, Huang Mei¹⁾, Qian Budong²⁾, and Zhang Shihuang¹⁾

1) (*Institute of Geographical Sciences and Natural Resources Research,*

Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101)

2) (*Hohai University, Nanjing 210098*)

Abstract Two sandstorm indices were created by using clustering method to classify the frequencies of spring sandstorms during the period from 1954 to 1998 among 355 meteorological stations in China. The relationships between North Pacific sea surface temperatures (SSTs) and sandstorm indices were analyzed. The results showed that spring mean temperature was lower in the north region of the Yellow River, including the Inner Mongolia, Ningxia and Gansu provinces when the SSTs of the California Current were lower while the SSTs of Kuroshio and North Temperate Zone were higher. In these cases spring sand storms in the north region of the Yellow River were more active. The synoptic-climatological mechanism for the statistical relationships between the SSTs and the frequencies of spring sandstorms in the northwest China were also discussed.

Key words: sandstorm index; North Pacific; sea surface temperature; Northwest China