

文章编号: 1006-7639(2005)-03-0017-05

中国黄土高原地区春寒时空演变

王毅荣^{1,2}, 张强¹, 李耀辉¹

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020;

2. 甘肃省定西市气象局, 甘肃 定西 743000)

摘要:利用 1961~2000 年春季日均气温资料, 采用 EOFs、小波分析和分维分析等方法, 研究了该区域春季春寒变化。结果表明, 黄土高原地区春寒强度大致由北向南递减, 又存在东西梯度。春寒强度线性递减率高原中部大于周边, 3 月、4 月变化的线性趋势显著, 分别以 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 、 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速度减少。春寒强度变化呈现较高的全区一致, 高原大部分春寒强度明显减弱, 高原腹地易出现强春寒。春寒强度变化存在周期振荡, 3 月以 2~4 a 周期为主, 4 月以 3~4 a 为主, 5 月存在 2~4 a 和 6 a 左右周期; 1990s 春寒强度最弱, 最强时段在 3、4、5 各月分布不同; 4 月春寒强度演变在 1980 年附近发生了转折, 下降明显。分维数 D 由 3 月到 5 月逐渐增大, 春寒强度变化复杂程度提高。春寒空间演变中大振幅区在高原腹地, 振幅向四周衰减; 变化信息, 在西部存在东流的趋势, 在高原东部存在回流趋势。

关键词:中国黄土高原; 春寒; 时空; 演变

中图分类号: P461

文献标识码: A

引言

中国黄土高原位于黄河中上游和海河上游地区, 东起太行山, 西至日月山, 南界秦岭, 北抵鄂尔多斯高原, 包括河北西部, 山西大部, 陕西中北部, 甘肃中东部, 宁夏南部及青海东部等地, 中国黄土高原总面积约 51.7 万 km^2 , 承载人口约 1 亿^[1]。黄土高原是温和半湿润气候区向温和半干旱、温和干旱气候区的过渡带, 农牧林业生产和生态环境对气候条件的依赖性极强。近 100 a 来全球增暖强烈^[2~4], 从 1860 年以来全球平均气温升高 $0.6\pm 0.2\text{ }^{\circ}\text{C}$, 近 100 a 来中国气温上升了 $0.4\sim 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$; 黄土高原气候存在明显响应, 存在暖干趋势^[5~7]。春季是黄土高原地区作物播种和苗期生长的主要时期, 作物生长对期间气温变化很敏感。通常, 春季气温逐渐上升, 但有时受较强的北方冷空气影响, 气温会突然下降, 出现比常年温度明显偏低而对作物造成冷害的天气现象和过程, “春寒”是指在春季本应回暖却出现寒冷的一种异常天气现象, 而春寒变化对当地作物生长等影

响较大。对于黄土高原地区的气温变化研究^[8~15]较多, 但对春寒定量研究较少。研究春寒量的时空演变, 具有十分必要的现实意义, 也是气候环境研究中需要加强的内容, 本文着重对其进行了研究。

1 资料与方法

1.1 资料

本文利用中国黄土高原区域内 51 个分布比较均匀的气象站 1961~2000 年 40 a 春季(3、4、5 月)逐日气温实测资料。

1.2 方法

累计春季日均气温低于前一日的差值量(即, 当 $T_{i+1} - T_i < 0$ 时, 统计差值绝对量), 为气温反常量(文中简称春寒量); 高原平均值采用网格面积加权平均。所选 51 个站点中没有远距离站址变迁, 同时春寒量是前一日气温与后一日气温的差值, 只有站址变动的当日春寒量可比性较差, 这样一天产生的误差, 对 $40\times 92\text{ d}$ 序列整体影响可以忽略。

收稿日期: 2005-07-05; 改回日期: 2005-08-24

基金项目: 国家自然科学基金项目(40205014), 甘肃省科学技术攻关计划项目(ZGS042-A44-017), 干旱气象科学研究基金项目(IAM200508)共同资助

作者简介: 王毅荣(1967-), 男, 甘肃定西市人, 高级工程师, 主要从事天气动力、气候变化和计算机软件工程研究。

E-mail: werice@163.com

为提取气温变化的时空主要信息,采用了 EOF^[16] (经验正交分解函数)和 CEOF^[17] (复经验正交分解函数)分解方法和小波分析技术,小波基(母波)采用 Morlet 小波^[18~20]。为了找出其突变年份,使用滑动 t 检验方法。

王勤学等^[21]研究指出气候系统是一类浑沌动力系统,具有自相似性,研究认为分数维(分维数)是气候系统结构的特征;对于气温、降水和旱涝气候特征等方面已有分维方面的研究^[21~24]。为分析春季各月春寒量变化浑沌特征,计算其分型^[25]特征量的分维数,当尺度(标度)改变时它的结构具有不变性,分布在标度改变过程中呈现出自相似性,按统计规律分布的定量表示即是该系统的分型维数(Fractal Dimension),分型的维数不是整数而是分数。对于一个客体,如果其特征线度(标度)为 r ,与 r 有关的相关函数(样本数)为 $N(r)$,而 $N(r)$ 与 r 之间满足关系: $N = \frac{C}{r^D}$, 式中, C 为待定常数,则 D 称为客体的分数

维。在以 $\ln r_k$ 为横坐标、 $\ln N(r_k)$ 为纵坐标的双对数坐标图上,拟合直线斜率为分数维 D 。

2 黄土高原春寒基本特征

从 1961~2000 年 40 a 间高原 3 月春寒量在 21.8~42.7 °C 之间,4 月在 24.2~39.3 °C 之间,5 月在 23.2~36.6 °C 之间。春寒量 40 a 平均场空间分布(图 1 a)主要特征是高原北部大多在 90 °C 以上,南部在 75 °C 以下,由北向南递减,受南北走向的六盘山、吕梁山等大地形的影响,又存在东西梯度。各月空间分布(图略)与季的类似,反映出高原春寒北部强于南部,六盘山、吕梁山的西侧强于东侧。春寒量线性递减率(图 1b)高原中部较大,高原东部较小,高原西部递减不明显。随着全国气候变暖,高原大部分地区春寒量减小;青海—甘肃交界地带春寒量对气候变暖响应不明显。

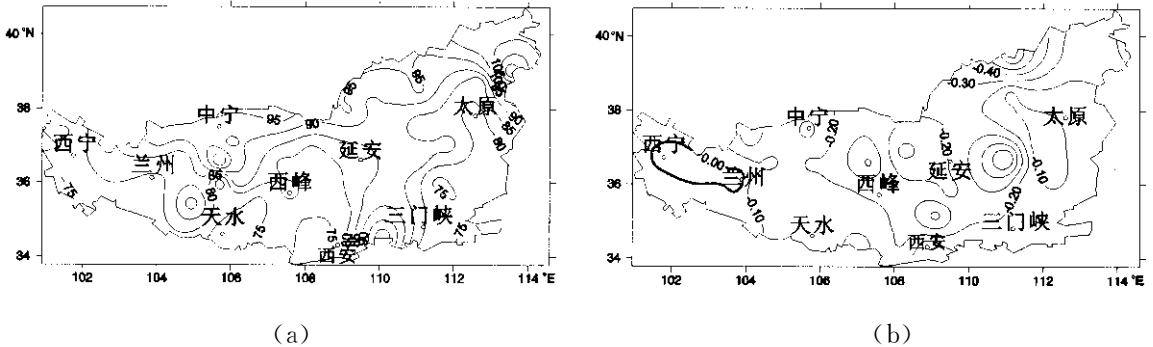


图 1 黄土高原春寒量平均场 (a) 及其斜率 (b) 分布
Fig. 1 Spatial distribution of spring cold weather in Chinese loess plateau

3 黄土高原春寒时空特征

3.1 黄土高原春寒空间特征

对 3、4、5 月春寒量标准化序列进行 EOF 分解, 3、4、5 月第一空间型方差贡献率分别达 62.30%、61.84%、62.57%, 基本概括了各月春寒量场的主要信息。3、4、5 月的 EOF1 空间分布(图略)最主要的特征是全区值符号一致,高原各点数值较大,表明春寒强度变化在高原呈现较高的全区一致性;3 月数值最大区在高原腹地,4 月最大变幅区在西峰和延安附近,5 月最大变幅区在吴旗附近,数值最大的地方是高原春寒量年际变幅的最大区,表明这些地区易出现强春寒。

3.2 黄土高原春寒时间演变

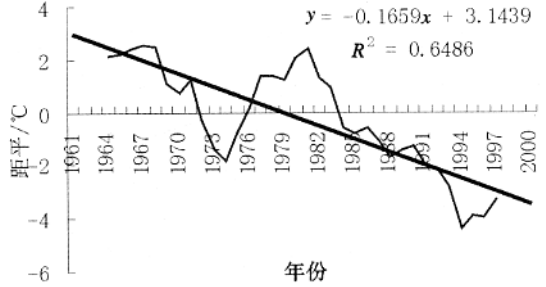
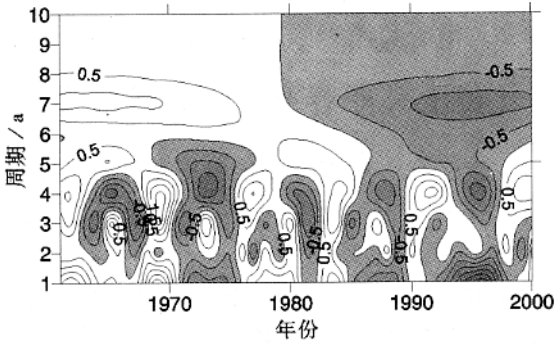
高原 3、4、5 月春寒量的变化存在较高的全区一致性,高原春寒量的面积加权平均序列可以代表整个高原的特征。

图 2 给出春寒量的面积加权平均序列的小波分析(左)及其 7 a 滑动平均曲线(右)。

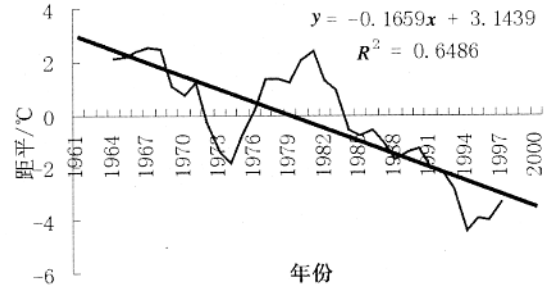
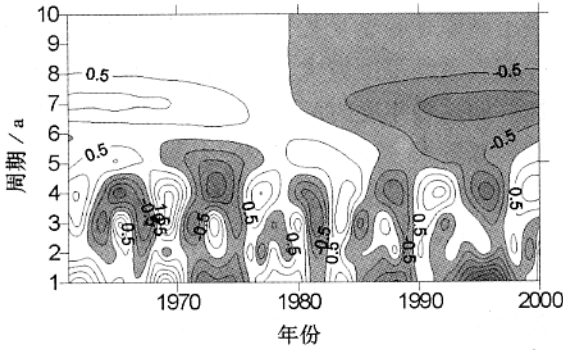
从 3 月春寒量的面积加权平均序列的小波分析(图 2a 左)中看到,3 月春寒量变化存在 2~4 a 的振荡周期,经检验准 2~4 a 周期在 95% 信度水平上是显著的;1980s 之前以 2 a 周期为主,之后 3~4 a 周期为主;1960s 初期、1970s 初期、1980s 初期、1990s 以负距平为主;在 7 a 左右时间尺度上存在 3 个阶段,即 1960s 中期到 1980s 中期之间为正值,其前后 2 段为负值,说明 1960s 中期到

1980s 中期之间正距平占优势, 其他时段负距平占优势。在小波分析中明显看到 7 a 以下的短周期波动, 在趋势分析中将 7 a 以下短波滤掉, 作 7 a 滑动平均曲线 (图 2 右)。从图 2 a 右中看到 1990s 负

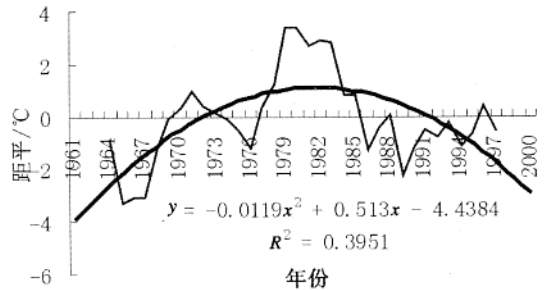
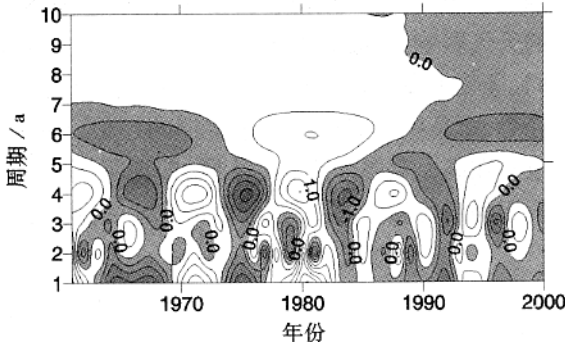
距平突出, 春寒强度最弱; 1960s 末、1970s 中后期正距平最大, 该阶段春寒最强。3 月春寒量变化存在显著下降趋势 (在 $\alpha=0.05$ 水平上显著), 以 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速度减少。



(a)



(b)



(c)

图 2 3 月(a)、4 月(b)、5 月(c)春寒量加权平均序列的小波分析(左)及其 7 a 滑动平均(右)
Fig. 2 Wavelet (left) and its 7 years moving-mean (right) of spring cold weather in May (a), April (b), May(c) in Chinese loess plateau

4 月小波(图 2 b 左)分析, 4 月春寒量振荡周期以 3~4 a 为主, 在 95% 信度水平上显著; 2 a、7 a 周期较弱, 3~4 a 周期的年代际衰减(加强)不明显; 年际变化中正负距平交替出现, 在 7 a 左右时间尺度

上存在 2 个阶段, 即 1980 年前后为正负不同的 2 阶段, 说明 1980 年之前正距平占优势, 1980 年之后负距平占优势; 经滑动 t 检验, 以 1980 年为界的前后 2 段在 0.03 水平上差别显著, 表明 4 月春寒量的变化

在 1980 年附近发生了转折,明显呈现逐年下降的情形。从 7 a 滑动平均曲线(图 2b 右)中看到在 1973 年之前和 1980 年之后春寒量近似直线下降,1973~1980 年之间出现上升,说明 4 月春寒在 1960s 末、1970s 末最强,1970s 初期春寒较弱,自 1980 年之后春寒强度连年减弱,1990s 降到历史最低。4 月春寒量变化存在显著下降趋势(在 $\alpha=0.01$ 水平上显著),以 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速度减少。

5 月小波(图 2c 左)分析,5 月春寒量变化存在 2~4 a 和 6 a 左右振荡周期;以 2~4 a 为主,在 95% 信度水平上 2~4 a 周期显著;在 1990s,2 a、4 a 周期减弱,3 a 周期加强;在 7 a 左右时间尺度上存在 3 个阶段,1975 年之前、1988 年之后为负,其余阶段为正,说明在 1975~1980 年之间正距平占优势,其余时段负距平占优势,经滑动 t 检验,这 3 个阶段的差别在 0.1 水平的差别上显著,表明这 3 个阶段的变化存在较为明显的差别。7 a 滑动平均曲线(图 2c 右)的 2 阶主值函数与原序列间相关显著(在 $\alpha=0.01$ 水平上显著),2 阶主值函数具有代表性,2 阶主值函数的极大值在 1980 年附近,1980 年之前呈单调递增,1980 年之后单调递减,说明 5 月春寒在 1970s 末、1980s 出最强,1990s 春寒强度较弱;5 月春寒量变化的线性趋势不明显。

4 黄土高原春寒分型分维特征

对 3、4、5 月春寒量面积加权平均的时间序列消去线性趋势(保留波动信息),分别采用 $r_k=2^k$ ($k=0,1,2,3$) 年作为时间序列度量的特征线度。以 $N(r)=N_a/N$ 作为与 r 有关的相关函数(样本数),式中 N_a 为含 EOF1 时间正系数的时间段数, N 为时间序列所含总时段数。在以 $\ln r_k$ 为横坐标、 $\ln N(r_k)$ 为纵坐标的双对数坐标图上(图略),拟合直线

斜率为分数维 D ,3、4、5 月的分数维 D 分别为 0.856、0.858、0.861。其分数维 D 大小反映出积温变化过程线复杂程度的变化情况, D 值在过程线上的反映主要是相邻峰谷差的平均变化,平均峰谷差越大,反映过程线的起伏越大,即所谓的过程线越复杂,表现在过程线局部峰谷变化频繁、峰谷落差大。春季由 3 月到 5 月分维数逐渐增大,春寒强度变化复杂程度提高。

5 黄土高原春寒空间演变特征

本文利用 CEOF(复经验正交分解函数)分解具有从要素场的时间变化中识别空间尺度行波^[7]的特点,主要原理是利用 Hibert 变换将实数资料扩充到复数域进行正交分解,由此可得到物理量场的空间振幅和位相函数;用其研究黄土高原春寒量的空间演变特征。春寒量的第一特征向量较大的方差贡献,反映出春寒变化的一致性程度较高;天气学认为黄土高原在春季受控于比较稳定的西风气流系统,冷空气活动范围较大,呈现出黄土高原区域的一致性。而这种年度时间上变化的一致,存在着高原中部振幅较大、周边地区较小,其振幅由黄土高原腹地向四周递减(图 3a 空间振幅部分)。

全区一致和振幅变化的属性并不以驻波的形式存在,而是这些信息以行波的方式传播(图 3b 位相函数部分)。分析位相函数图就会发现,春季信息传播在高原东部是由东北向西南方向传播,高原西部信息传播由西向东传播;这说明黄土高原(华北季风区和西北干旱区交接的区域)在春季高原东西两端是不同的天气影响系统,表现出来的信息传播方向截然不同,反映出高原东部地区春寒量由东北向西南传播的趋势,而高原西部存在向东传播的趋势;反映出了冷空气在高原东西部活动的不同,即高原西部冷空气以自西向东传为主,高原东部以冷空气回流为主。

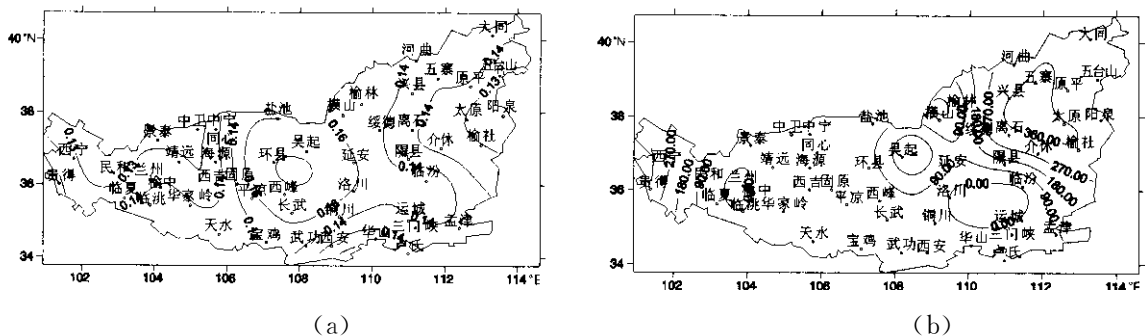


图 3 春季寒潮空间振幅(a)和位相函数(b)

Fig. 3 Spatial amplitude(a)and their phase(b) of spring cold weather

6 结论和讨论

(1) 春寒基本特征是春寒量大致由北向南递减,又存在东西梯度,高原北部春寒强于南部,六盘山、吕梁山的西侧强于东侧;春寒量线性递减率高原中部较大,高原东、西部小;高原大部分地区春寒量对全国气候变暖呈正响应,青海—甘肃交界地带春寒量对气候变暖响应不明显。

(2) 在高原春寒强度变化呈现较高的全区一致性,3月数值最大区在高原腹地,4月最大变幅区在西峰和延安附近,5月最大变幅区在吴旗附近,这些地区易出现强春寒。

(3) 3月春寒量变化存在较明显的2~4 a周期,1980s之前以2 a周期为主,之后出现3~4 a周期,1990s春寒强度最弱,1960s末、1970s中后期春寒最强,3月春寒量变化下降趋势明显,以 $0.3\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速度减少。4月变化振荡周期以3~4 a为主,2 a、7 a周期较弱,在1980年附近发生了转折,逐年下降明显,春寒在1960s末、1970s末最强,1970s初期春寒弱,自1980年之后春寒强度连年减弱,1990s降到历史最低,40 a来下降明显,以 $1.7\text{ }^{\circ}\text{C}/10\text{ a}$ 速度减少。5月存在2~4 a和6 a左右振荡周期,以2~4 a为主;在1990s 2 a、4 a周期减弱,3 a周期加强,在1970s末、1980s初最强,1990s春寒强度最弱。

(4) 3、4、5月春寒量的分数维 D 由3月到5月逐渐增大,春寒强度变化复杂程度加大。

(5) 春寒量空间演变中大振幅区在高原腹地,振幅向四周衰减,变化信息在空间流动,高原东部和西部有差别,西部存在东流的趋势,在高原东部存在向西南方向的回流趋势。

参考文献:

[1] 周三. 中国农业地理[M]. 北京: 科学出版社, 2000. 347—364.

[2] 龚道溢, 王绍武. 全球气候变暖研究中的不确定性[J]. 地学前缘, 2002, 9(2): 371—376.

[3] 秦大河. 气候变化的事实与影响及对策[J]. 中国科学基金, 2003, 17(1): 1—3.

[4] IPCC. Climate Change 2001, In: Houghton J H. The Scientific Basis, Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [R]. United Kingdom, Cambridge: Cambridge University

Press, 2001. 769.

- [5] 王毅荣. 黄土高原土壤干旱异常阶段特征[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 209—214.
- [6] 王毅荣. 中国黄土高原干旱对全球气候变化的响应[J]. 西北大学学报(自然科学网络版), 2004, 2(8): 90.
- [7] 王毅荣. 黄土高原植被生长期旱涝对全球气候变化响应[J]. 干旱区地理, 2005, 28(2): 161—166.
- [8] 王毅荣. 黄土高原植被生长期降水对全球气候变化响应[J]. 山西大学学报, 2005, 28(2): 214—219.
- [9] 张存杰, 高学杰, 赵红岩. 全球气候变暖对西北地区秋季降水的影响[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 157—164.
- [10] 于淑秋, 林学椿, 徐祥瑞. 我国西北地区近50年降水和气温的变化[J]. 气候与环境研究, 2003, 8(1): 1—8.
- [11] 马鹏里, 王若升, 王宝灵, 等. 我国西北地区地面最高和最低气温变化及分布的特征[J]. 高原气象, 2002, 21(5): 509—513.
- [12] 李栋梁, 魏丽, 蔡英, 等. 中国西北现代气候变化事实与未来趋势展望[J]. 冰川冻土, 2003, 25(2): 135—142.
- [13] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 等. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 152—164.
- [14] 施雅风, 沈永平, 胡汝骥. 西北气候由暖干向暖湿转型的信号、影响和前景初步探讨[J]. 冰川冻土, 2002, 25(3): 219—226.
- [15] 刘德祥, 董安祥, 陆登荣. 中国西北地区近43年气候变化及其对农业生产的影响[J]. 干旱地区农业研究, 2005, 23(2): 195—200.
- [16] 丁裕国, 施能. 气象场经验正交函数不同展开方案收敛性问题的探讨[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 436—443.
- [17] 葛全胜, 张丕远. 我国历史时期冷、暖期旱涝特征比较[J]. 气象学报, 1991, 49(4): 564—568.
- [18] 朱乾根, 施能, 吴朝晖, 等. 近百年来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(6): 750—757.
- [19] ZHU Yimin, YANG Xiuqun. Joint Propagating Patterns of SST and SLP Anomalies in the North Pacific on Bidecadal and Pentadecadal Timescales [J]. Advance in Atmospheric Sciences, 2003, 20(5): 694—710.
- [20] Torrence, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis [J]. Bull Amer Meteor Soc, 1998, 79: 61—78.
- [21] 王勤学, 曹鸿兴. 浑沌气候学研究进展[J]. 地球物理学报, 1993, 8(4): 1—10.
- [22] 黄润生, 胡家元, 王登炎. 有雨概率与分维数关系的初步研究[J]. 武汉大学学报(自然科学版), 1997, 43(5): 686—690.
- [23] 刘式达, 陈炯, 刘式适. 近百年中国、北半球和南半球气温内在结构比较(I)[J]. 应用气象学报, 1999, 10(增): 9—15.
- [24] 李祚泳, 彭荔红. 四川旱涝时间分布的变维分形特征[J]. 厦门大学学报(自然科学版), 1999, 38(4): 599—603.
- [25] Hirabayashi J, Robert A. Multiracial analysis of earthquakes [J]. Mathematical Seismology, 1990, (5): 91—101.

Climatic Characteristics of Spatial Distribution Differences of Dust Events in China

ZHAO Zhong—lian¹, SHANG Ke—zheng², SHANG Bao—yu², XIAN Yan—zong²

(1. Lanzhou Resources and Environment Voc—Tech College, Lanzhou 730021, China;

2. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on the surface meteorological observation data and dust event days from 470 stations in China from 1951 to 2000, the spatial distribution of dust storm, sand blowing, dust in January, April, July, October in Northern China has been analyzed. The results show that the dust events originate mainly from both the Northwest and the North of China, there are three regions where the dust events occur frequently, which are Hexi corridor and Alashan plateau with the center of Mingqin county; the southern edge of Tarim basin with the center of Hetian; the middle part of Inner Mongolia with the center of Zhurihe. In addition, there is another region with the center of both Ningxia Yanchi and Etoke area of Inner Mongolia, where dust storm occurred frequently too. The spatial distributions of dust storm, sand blowing, dust are basically coincident. Then, according to surface meteorological data, the relations between dust events distribution and surface meteorological elements have been studied in this paper. The results are as follows: the correlations between dust events and precipitation, relative humidity as well as vegetation coverage rate are obviously negative, and the correlation between dust events and evaporation is positive. These facts show that the main influencing factors of dust events are vegetation coverage rate, evaporation, precipitation, relative humidity. The correlation between dust events and average temperature is not obvious, and average wind speed are weakly related with it.

Key words: dust events; spatial distribution; meteorological elements; correlative coefficient; climate



(上接第 21 页)

The Evolvement of Spring Cold Weather Intensity in Chinese Loess Plateau

WANG Yi—rong^{1, 2}, ZHANG Qiang¹, LI Yao—hui¹

(1. Key Laboratory of Arid Climate Change and Reducing Disaster of Gansu Province, Lanzhou Institute of Arid Meteorology,

CMA, Lanzhou 730020, China; 2. Dingxi Meteorological Bureau of Gansu Province, Dingxi 743000, Gansu, China)

Abstract: Based on the mean daily temperature data in spring from 1961 to 2000, using empirical orthogonal function (EOF) and complex empirical orthogonal function (CEOF), fractal dimension, and wavelet analysis methods, the spatial and temporal evolvement of spring cold weather intensity in Chinese loess plateau was analyzed in this paper. Results show that the spring cold weather intensity decreased approximately from north to south, and also there was a gradient from east to west; the linear decreasing rate of the spring cold weather intensity in the middle of the plateau was bigger than that in the peripheral, and the changing tendency was remarkable in March and April; there was periodic oscillation of the spring cold weather intensity change, which were about 2~4 a in March, 3~4 a in April, 2~4 a and 6 a in May, respectively. The spring cold weather intensity was weakest in 1990s. The strongest period of spring cold weather in March, April and May, and the distribution was different in each month. The spring cold weather intensity change in April had a transition in 1980, and then it decreased obviously. The fractal dimension increased gradually from March to May, the changing complex degree of the spring cold weather intensity increased at the same time. The big amplitude area of spring cold weather was in the center of the plateau. The change information flew to east in the west and southwest in the east of the plateau.

Key words: Chinese loess plateau; spring cold weather intensity; spatial and temporal characteristics; evolvement