

文章编号:1006-7639(2005)-01-0021-05

青藏高原感热与黄土高原春季降水异常关系研究

叶燕华¹,王平鲁¹,李栋梁²

(1. 兰州市气象局,甘肃 兰州 730020; 2. 中国科学院寒区旱区环境与工程研究所,甘肃 兰州 730000)

摘要:利用 1961~2000 年黄土高原 56 站的春季降水、气温资料,用 SVD 方法分析了其与青藏高原感热场的关系。结果表明,降水量与青藏高原感热场的前两模态代表了两场间的主要耦合特征;上年冬季和秋季青藏高原感热场的异常通过影响大气环流,能够导致次年黄土高原春季降水异常;青藏高原感热对黄土高原西部和南部、北部的部分地区影响较显著,而对陕西北部、山西中部影响不明显。前期高原感热场 SVD 第一、二模态的变化,可以作为黄土高原春季降水异常的预测信号。

关键词:黄土高原;春季降水;SVD 方法;青藏高原感热

中图分类号:P457.6

文献标识码:A

引言

黄土高原位于我国地势第二级阶梯上,东起吕梁山,西至青藏高原边缘山地,北抵鄂尔多斯高原南缘大约沿长城一线,南到秦岭山脉北麓。在研究黄土高原地区经济社会发展及生态环境建设问题时,中国科学院、水利部等系统的研究人员,考虑到黄土高原水土流失与黄河泥沙的密切关系并兼顾行政区划的完整性,将与黄土高原毗邻的阴山以南部分地区纳入,并称为黄土高原地区,其西北界则以贺兰山、日月山为界^[1]。黄土高原大部分属干旱、半干旱地区,不仅是世界上黄土分布面积最大、黄土地貌最发育的地理单元,而且是我国西部生态环境最脆弱的地区^[2]。干旱是黄土高原最严重的自然灾害之一,发生范围广,出现频率高,持续时间长,对农业生产有较大的危害,尤以春季和夏季最易出现干旱^[3]。黄土高原春季气温回升快、降水少,是冬小麦拔节、分蘖、抽穗的关键期,也是秋粮和棉花等作物的播种阶段,一旦出现干旱,将严重影响农业生产。因此分析春季降水异常与气候因子的关系,进而建立准确的预测方法,为决策部门提供科学的依据,对农业生产具有重要意义。

青藏高原是世界上最高和地形最复杂的大高

原,它巨大的体积及其在西风带中的特殊位置对亚洲乃至全球大气环流都有重要影响。20 世纪 50 年代以来,青藏高原对气候影响的研究有很多^[4~6],主要有青藏高原感热、潜热及雪盖等要素对气候异常的影响等^[7],有研究表明,青藏高原的热力作用对季节转换时期的大气环流有非常重要的影响^[8]。本文通过分析青藏高原感热对黄土高原春季降水异常的影响,为春季降水的预测提供参考。

1 资料和方法

黄土高原地区 56 个基本站和基准站的春季 3~5 月降水总量序列(资料来源于国家气候中心),同期春季和前期冬季、秋季、夏季的 NCAR/NCEP 月平均青藏高原感热场,网格距 $1.875^{\circ} \times 1.875^{\circ}$,资料长度为 1961~2000 年。

奇异值分析(SVD)是研究 2 个气象场相互作用和反馈耦合特征的有效工具^[9]。国内,孙照渤等较早将该方法用于环流异常中相关分析^[10];现在,已经普遍应用于研究和业务中^[11~15]。它从 2 个资料场的交叉协方差矩阵出发,求出这 2 个场之间相互配对的典型空间分布,能最大限度地解释 2 个场空间分布密切相联的程度。设 2 个资料场 Z:左场,S:右场)的

收稿日期:2005-01-19;改回日期:2005-02-22

基金项目:甘肃省气象局 2002 年青年科技资金 青藏高原感热对黄土高原春旱变化的影响(甘气发 2002)172 号)资助

作者简介:叶燕华(1972-),女,福建南安人,工程师,主要从事天气气候变化规律及预测方法研究。

协方差矩阵是一个 $N_s \times N_z$ 的实矩阵 A , 其奇异值分解为:

$$A = U_{z \times r} \Sigma_{r \times r} V_{r \times s} \quad (1)$$

其中, $r \leq \min(N_s, N_z)$, U_k 称左奇异向量; V_k 称右奇异向量, 对 U 、 V 都只取 r 列(截断到 r 列); $\Sigma = \text{diag}(\sigma_1, \sigma_2, \dots, \sigma_r)$ 为对角阵, σ_k 为奇异值, 且 $\sigma_1 \geq \sigma_2 \geq \dots \geq \sigma_r \geq 0$ 。根据奇异向量的正交性, 用下式计算典型分布对应的时间系数:

$$a_i(t_n) = \sum_{j=1}^{N_z} Z_j(t_n) U_{ij} \quad (2)$$

$$b_l(t_n) = \sum_{k=1}^{N_s} S_k(t_n) V_{lk} \quad (3)$$

每对奇异向量及相应的振幅即时间系数确定了一种模态。第 k 对向量对应的时间系数之间的相关系数表示 2 个耦合场空间分布型之间的相关程度^[15]。定义 SCF_k 为第 k 对空间分布型所解释的协方差占总协方差的比率为

$$SCF_k = \sigma_k^2 / \sum_{l=1}^r \sigma_l^2 \quad (4)$$

定义 $CSCF_k$ 为前 k 对空间分布型累积解释的协方差占总协方差的比率为

$$CSCF_k = \sum_{h=1}^k \sigma_h^2 / \sum_{l=1}^r \sigma_l^2 \quad (5)$$

2 春季降水与青藏高原感热场的奇异值分析

设右场 Z 为黄土高原春季降水场, 左场 S 分别为同期春季和前期冬季、秋季、夏季的 NCAR/NCEP 月平均青藏高原感热场, 进行了 4 对场之间的奇异值分解(表 1)。

表 1 SVD 分析结果

Tab.1 Results of SVD analysis

	SCF			CSCF			时间系数之间的相关系数		
	第一耦合模	第二耦合模	第三耦合模	第一耦合模	第二耦合模	第三耦合模	第一对奇异向量	第二对奇异向量	第三对奇异向量
同期	35.0	13.5	6.2	35.0	48.5	54.7	0.862	0.836	0.860
前期冬季	38.6	14.4	5.6	38.6	53.0	58.6	0.834	0.766	0.785
上年秋季	34.6	16.1	8.1	34.6	50.7	58.8	0.844	0.802	0.830
上年夏季	30.6	14.0	9.0	30.6	44.6	53.6	0.808	0.874	0.837

我们可以注意到前 2 对模态可解释总协方差的一半左右, 可见前 2 模态能够反映左、右场相互变化关系的主要信息。由于上年夏季的高原感热场与黄土高原春季降水的相关程度与其他季节比差很多, 而同期场的耦合模态对预报没有意义, 所以下面主要分析与前期冬季和秋季青藏高原感热场的主要耦合模态。

2.1 春季降水与前期冬季青藏高原感热场的主要耦合模态

黄土高原春季降水与前期冬季青藏高原感热场 SVD 分析的前 2 个耦合空间模的协方差平方分数为 53.3%, 代表了它们之间的主要相关关系, 其中第一耦合空间模(图 1)是黄土高原春季降水和感热场最主要的耦合相关模态, 冬季青藏高原感热场的主要特征为: 除了帕米尔东部和酒泉附近以外, 均为正相关区, 中心位于从昌都到改则呈东西走向、宽约 5 个纬距、长约 20 个经距的长方形地带; 最大相关系数为 0.92。与此异常加热型相对应的降水空间分布特征为: 宁夏、甘肃大部, 甘陕、山陕交界处以及内蒙东胜附近为正相关区, 相关中心有银川、民和、宝鸡和华阴 均通过 95% 的信度检验); 青海、黄土高原东部和北部大部分为负相关区, 主要中心位于宁夏、内蒙交界地区和青海西宁(通过 95% 的信度检验)以及山西太原、陕西武功附近。这种耦合模说明当冬季青藏高原感热场异常偏高时, 黄土高原西部和南部大部分地区春季降水增多。从第一对奇异向量的时间系数(图略)可以看出, 2 个场的相关度很高, 冬季青藏高原感热场总体呈减少趋势, 其振幅明显小于春季降水场。

第二耦合模(图 2)解释协方差平方分数为 14.4%, 仍具有显著性, 感热场表现为: 高原中部申扎附近和高原东部及西部的部分地区为明显的正相关区, 其余地方为负相关区, 其正负中心似乎存在正负正相间的波列结构。与此相对应的降水分布形势为: 黄土高原东北和北部及青海为明显的负相关区, 宁夏中部和高原南部的西安及三门峡附近也为负相关区。黄土高原中部和中西部的部分地区为正相关区。

2.2 春季降水与前期秋季青藏高原感热场的主要耦合模态

黄土高原春季降水与前期秋季青藏高原感热场 SVD 分析的前 2 个耦合空间模的协方差平方分数也超过 50%。图 3 为第一耦合空间模, 其青藏高

原感热场的主要特征与冬季的情况相似,均是大部分地方为正相关区,其中心位置也与冬季差不多。不同之处主要在于相关程度比冬季弱,最大相关系数仅为 0.82;还有负相关区的位置也略有不同。与此异常加热型相对应的黄土高原春季降水的同场相

关系数比与冬季的相关系数绝对值大,通过信度检验的区域也大一些。这种耦合模式说明当秋季青藏高原感热场异常偏高时,黄土高原西部和南部大部分地区春季降水增多,且响应程度比冬季青藏高原感热场异常时要高。

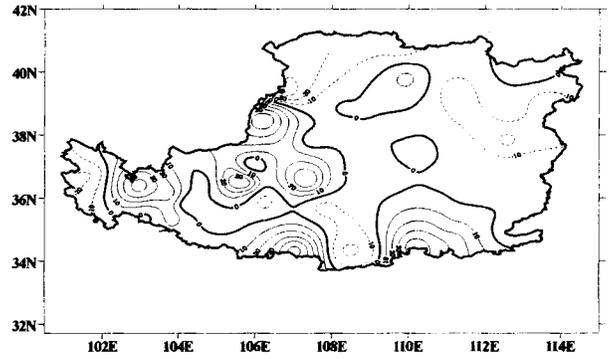
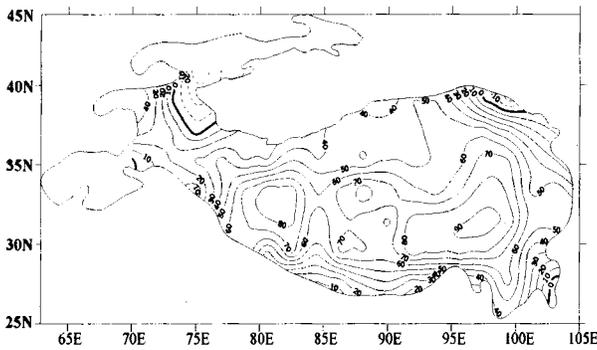


图 1 第一对奇异向量的同场相关图 a. 冬季青藏高原感热场;b. 春季黄土高原降水场)

Fig.1 Correlation between the first pair of singular vectors (a. winter sensible heat over the Tibetan Plateau; b. spring precipitation on the Loess Plateau)

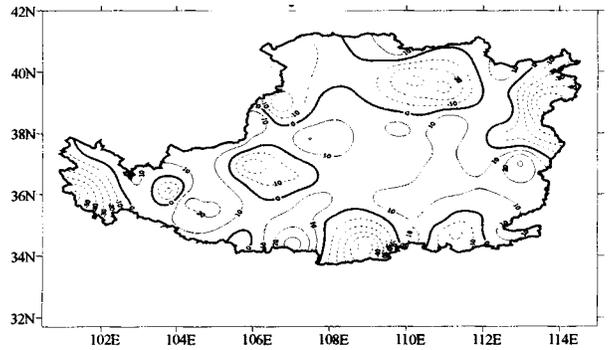
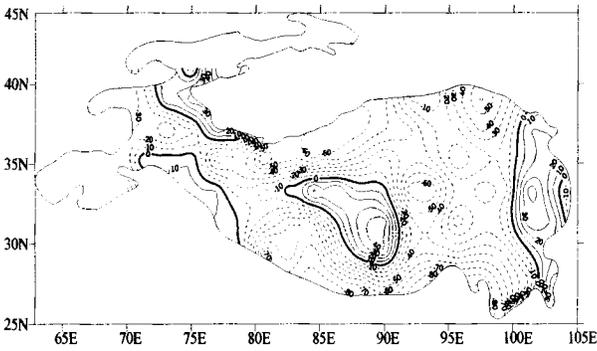


图 2 第二对奇异向量的同场相关图 a. 冬季青藏高原感热场;b. 春季黄土高原降水场)

Fig.2 Correlation between the second pair of singular vectors (a. winter sensible heat over the Tibetan Plateau; b. spring precipitation on the Loess Plateau)

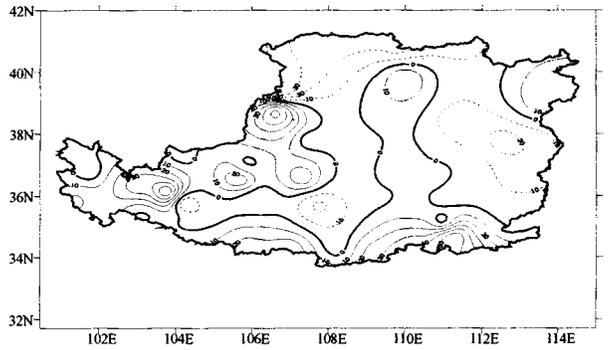
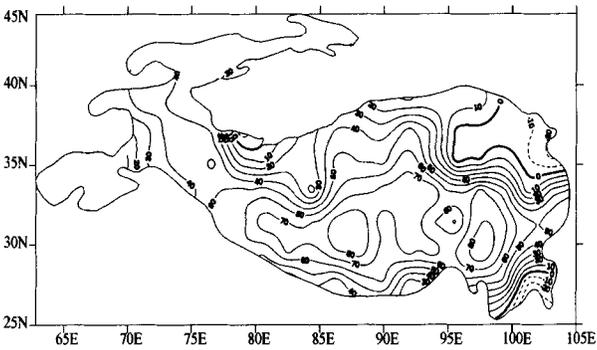


图 3 第一对奇异向量的同场相关图 a. 秋季青藏高原感热场;b. 春季黄土高原降水场)

Fig.3 Correlation between the first pair of singular vectors (a. autumn sensible heat over the Tibetan Plateau; b. spring precipitation on the Loess Plateau)

第二耦合模(图 4) 感热场与冬季的情况有较大的不同,表现为:正相关区比冬季的大,相关系数也高;负相关中心位置比冬季的偏西、偏北,在可可西

里到帕米尔一带。与此相对应的降水分布形势与冬季的情况差不多,相关程度也很相似。

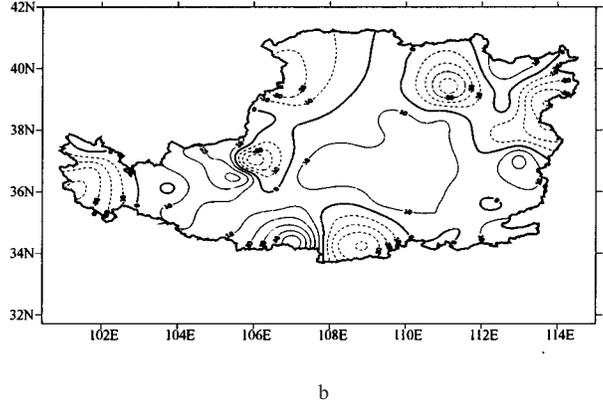
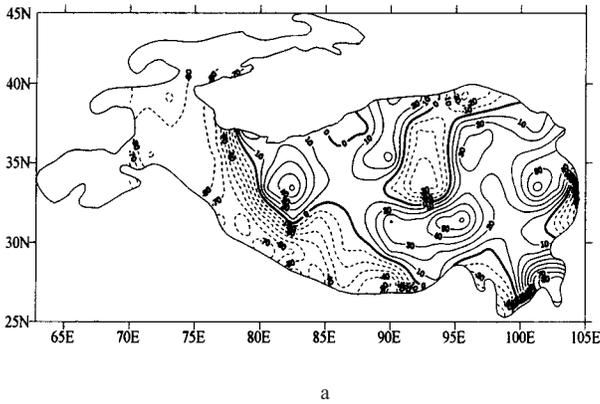


图 4 第二对奇异向量的同场相关图 说明同图 3)

Fig.4 Correlation between the second pair of singular vectors (same as Fig.3)

3 典型异常年青藏高原感热场的特征分析

根据作者前期工作结果^[16],黄土高原春季降水有 7 个异常偏多年(1963、1964、1967、1983、1988、1990、1998) 和 6 个异常偏少年(1962、1976、1979、1985、1986、2000)。对这几年的青藏高原感热通量场

进行合成分析(图 5),当冬季青藏高原东部和中西部感热通量异常地减少,高原南部尼泊尔、不丹和雅鲁藏布江一带及祁连山西部、帕米尔高原感热通量异常地增加时,黄土高原春季降水偏多,反之偏少。秋季青藏高原东部和可可西里、昆仑山一带感热通量异常减少,南部和西部及青海西部感热通量异常增加时,黄土高原春季降水偏多,反之偏少。

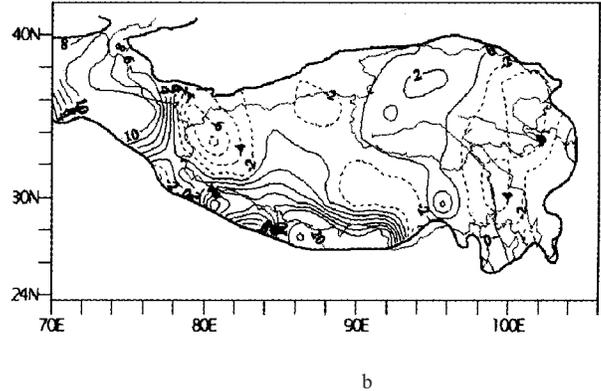
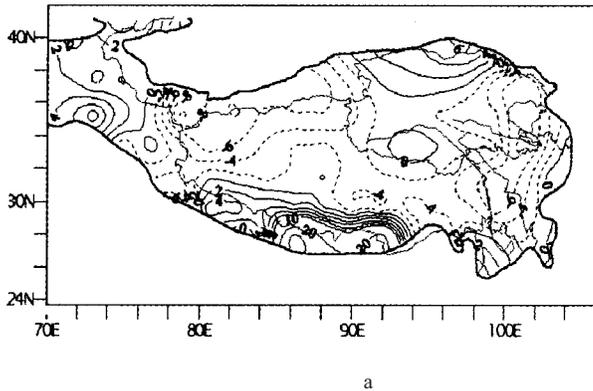


图 5 青藏高原感热通量之差 黄土高原春季多雨年减少雨年(a. 前期冬季;b. 上年秋季,单位: W/m²)

Fig.5 The difference of sensible heat flux over the Tibetan Plateau in dry years and wet years(a. winter,b. last autumn,unit: W/m²)

4 小 结

(1) 由 SVD 分析的意义知,奇异场分解揭示了 2 个场之间的相关程度,比之点相关更全面、系统地

揭示了青藏高原感热场与黄土高原春季降水场的关系,而且物理意义比较明确。

(2) 降水量与青藏高原感热场的前 3 模态即可解释总方差的 50%以上,以前 2 对型偶尤为典型,其第一、二模态的变化,可以作为黄土高原春季降水

异常的预测信号。前期冬季感热场的异常特征更为明显,但未来黄土高原春季降水异常对秋季青藏高原感热场异常的响应程度与冬季的比更高。

(3) 青藏高原感热对黄土高原西部和南部、北部的部分地区影响较显著,而对陕西北部、山西中部没有明显影响。

(4) 青藏高原感热的异常区域似乎存在波列结构,其与黄土高原春季降水异常的正相关区主要有3个:雅鲁藏布江及以南地区、帕米尔高原、青海西部和祁连山西部地区。

参考文献:

- [1] 杨文治,邵明安. 黄土高原土壤水分研究[M]. 北京:科学出版社, 2000.3-20.
- [2] 朱显谟. 黄土高原土壤与农业 [M]. 北京: 农业出版社, 1989.45-80.
- [3] 詹志明,彭云秀,王凯胜.黄土高原干旱指数分析[J]. 地域研究与开发,1999,18(2):25-28.
- [4] 朱抱真. 大尺度热源、热汇和地形对西风带的定常扰动[J]. 气象学报,1957,28:122-140.
- [5] 叶笃正. 青藏高原加热作用对夏季东亚大气环流的初步模拟实验[J]. 中国科学,1974,301-320.
- [6] Zheng Qinglin, Wu Jun. Numerical study on the dynamic and thermodynamic effects of the Qinghai-xizang Plateau on the seasonal transition in the early summer in EastAsi [J]. Acta Meteor Sinica, 1995, 9(1):35-47.
- [7] 钱永莆,张艳,郑益群. 青藏高原冬季积雪异常对中国春夏降水的影响[J]. 干旱气象,2003,21(3):1-7.
- [8] 郑庆林,梁丰. 青藏高原动力和热力作用对季节转换期全球大气环流影响的数值研究 [J]. 热带气象学报,1999,15(3):247-257.
- [9] 丁裕国,江志红.SVD方法在气象诊断分析中的普适性[J]. 气象学报,1995,54(3):365-371.
- [10] 孙照渤,章基嘉,JM华莱士.冬季北大西洋地区海表温度与500百帕高度的奇异值分解 [J]. 南京气象学院学报,1991,14(3):287-292.
- [11] 曹鸿兴,李月洪,魏凤英.我国短期气候变化及成因研究[M]. 北京:气象出版社,1996.67-74.
- [12] 王盘兴,周伟灿,王欣,等. 气象向量场奇异值分解方法及其应用[J]. 南京气象学院学报,1997,20(2):152-157.
- [13] 赵声蓉,宋正山.华北汛期旱涝与中高纬大气环流异常[J]. 高原气象,1999,18(4):535-540.
- [14] 王谦谦,陈绍东. 江南地区汛期降水与热带海温关系的SVD分析[J]. 干旱气象,2004,22(3):11-16.
- [15] 张礼平,柯怡明,胡江林,等. SVD方法在场分析和预测中的应用[J]. 热带气象学报,2002,18(3):237-244.
- [16] 叶燕华,郭江勇,王凤. 黄土高原春季降水的气候特征分析[J]. 干旱地区农业研究,2004,22(1):11-17.

Relationships between Surface Sensible Heat over the Tibetan Plateau and Spring Precipitation on the Loess Plateau

YE Yan-hua¹, WANG Ping-lu¹, LI Dong-liang²

(1. Lanzhou Meteorological Bureau, Lanzhou 730020, China;

2. Cold and Arid Regions Environmental and Engineering Research Institute, Chinese Academy of Sciences, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Based on spring temperature and precipitation data derived from 56 stations in Loess Plateau during 1961~2000, using Singular Value Decompositions (SVD) technique, the relationships between sensible heat field over Tibetan Plateau and spring precipitation on Loess Plateau were analyzed. Results show that the first two patterns from SVD indicate the key coupled characteristic of sensible heat and spring precipitation fields with closely temporal and spatial correlation, the abnormality of sensible heat field in previous autumn and winter would influence general circulation and lead to anomalies of spring precipitation, and the sensible heat has more notable effect on west and south, the part of north region of Loess Plateau than that on north of Shaanxi and middle of Shanxi province. The first two patterns variation of the previous sensible heat field over Tibetan Plateau derived from SVD could be the predictor signal for the spring precipitation anomaly in Loess Plateau.

Keywords: Loess Plateau; spring precipitation; Singular Value Decomposition(SVD) technique; sensible heat over Tibetan Plateau