

1998 年秋到 1999 年春华南特大干旱气候成因^①

陆 丹

(广西气象台, 南宁 530022)

提 要

利用奇异值分解(SVD),配合统计相关技术的应用,研究了广西秋季到第2年3月降水与500hPa高度场和热带、北太平洋海温场的时间和空间结构及其相互关系。结果表明,第一耦合场明显反映了ENSO信息,具有很高的相关;而海气配对的第二耦合场反映了作为关键区的日本海域以东的海温与100°E以东500hPa高度有较好的负相关。分析1998年以来海气场的变化,高度场上北太平洋中高纬500hPa高度明显偏低,亚洲大陆和北太平洋中低纬高度偏高,因此其间冷空气明显偏弱,路径偏东;而海温场上ENSO的变化,LANina的发展过程与第一耦合场的海温变化模态一致;后期海、气关键区变化与第二耦合场相符。因此ENSO的变化,日本海域以东升温造成了环流形势的异常,这是华南特大干旱的原因。利用时间系数互为因子法对广西1998年8月到1999年3月逐月降水作SVD定量预报,预报降水持续偏少,1999年春季干旱将非常严重。

关键词: 奇异值分解 ENSO 海温 500hPa 高度 时间系数互为因子

引 言

本世纪末华南发生了特大干旱,从1998年秋到1999年春降水持续偏少,秋、冬、春三季干旱,持续8个月,许多江、河、湖泊出现了百年最低水位乃至断流,水库干涸,水资源严重缺乏。本文分析大旱期间环流的异常特点,利用奇异值分解技术(SVD)研究广西10月至次年3月降水、2~3月降水异常与热带太平洋海温、北半球500hPa位势高度场异常变化的空间结构特征和时间变化规律,并由显著相关区和时间变化顺序得到反映广西秋-冬-春降水偏少(偏多)的主要模型,而1998年下半年以来太平洋的海温变化及环流形势与此模型吻合。

1 资料

资料取广西76个站点1959~1998年8月到次年3月的逐月总降水量,北半球500hPa 5°×10°(纬度×经度)576个格点位

势高度资料,以及热带中、东太平洋和北太平洋5°×10°(纬度×经度)286个格点海表温度资料(SST)。

2 环流形势异常特点分析

1998年8月至1999年3月北半球500hPa位势高度距平合成图(图略)反映:北太平洋中高纬高度明显偏低,亚洲大陆和北太平洋中低纬高度偏高,因此其间冷空气明显偏弱,路径偏东。

将广西逐月76站平均降水距平与同期北半球500hPa高度格点场求相关,广西降水与500hPa高度场在俄罗斯的远东地区以东的北太平洋中、高纬大部地区有大范围正相关,前期10、11、12月正相关中心在北太平洋,信度达0.05;后期正相关中心西移,信度加大;2月广西降水与500hPa高度场在俄罗斯的远东地区以东到160°E的海域上空平均高度相关达0.52,3月广西降水与500hPa

^① 由国家“九五”重中之重项目“我国短期气候预测系统的研究”资助。(专题号:96-908-05-07-2)。

高度场在蒙古国和东西伯利亚地区及其以东的鄂霍次克海、西北太平洋上空有大片正相关区,中心在蒙古以东,平均高度相关达0.58,信度达0.01。将2~3月,10月至次年3月降水合成与前期、同期500hPa场求相关,在以上区域也有较好正相关,趋势相同。表明:10、11、12月东亚大槽偏东发展,但低值区逐渐西传,2、3月低值区范围宽广向西扩展至东西伯利亚、蒙古地区,且异常加深,广西降水将持续偏少,反之偏多。

3 奇异值法分析海气场的时空变化

3.1 奇异值法

气象中SVD问题的提法:设两个气象要素场,用矩阵表示:左场 $S(x, t)$,有 m 个格点, T 次观测;右场 $Z(y, t)$,有 n 个格点, T 次观测。 $C_{SZ} = SZ^T$, C_{SZ} 是 S 和 Z 的交叉协方差阵,而任何 $m \times n$ 的矩阵 C 皆可分解为 $C = \sum_{K=1}^R P_K \delta_K Q_K$, $R \leq \min(m, n)$, $\delta_1 \geq \delta_2 \geq \dots \geq \delta_R$ 。 P_K 是 R 个长度为 m 的标准正交矢量,左奇异向量, Q_K 是 R 个长度为 n 的标准正交矢量,非负数 δ_K 为奇异值, R 是矩阵 C 的秩。即对 S 场确定一套 m 维正交向量 $P_k, k=1, 2, \dots, m$;对 Z 场确定一套 n 维正交向量 $Q_k, k=1, 2, \dots, n$ 。使 S 场投影到 P_k 的系数 $a_k(t)$ 和 Z 场投影到 Q_k 的系数 $b_k(t)$ 之间的协方差达到最大。

一对左、右奇异向量代表了一个气象耦合场的对应分布,对某一左、右奇异向量的时间系数求相关,可得这一耦合场的相关;对某一左(右)奇异向量展开时间系数与右(左)场求相关,即异类相关,可揭示该耦合场左、右时间系数所反映的右(左)场时间变化大小的特征,其显著相关区代表两个场相互影响的关键区。

3.2 SVD展开与分析

大范围持续性长期干旱应该具有持续性连贯的气候背景。因此,我们重点考察秋、冬、春连旱的气候背景是否持续或具有特殊的变异性,即将降水分为2~3月(春旱)、10月至次年3月(秋、冬、春连旱)两类来分析。

首先对资料进行标准化处理,再分别配对进行SVD分解。①分别将2~3月降水、10月至次年3月降水作为右场,6月至次年2月逐月海温场作为左场;②分别将2~3月降水、10月至次年3月降水作为右场,6月至次年3月逐月500hPa高度场作为左场;③分别将上一年8月到当年3月逐月500hPa高度场作为右场,上一年1月至当年2月逐月海温场作为左场进行奇异值分解并求其方差贡献。①、②类型配对SVD分解,前两个奇异向量协方差贡献累积达90%(表略),已完全能反映原场的信息。而第一左右奇异向量占原场的总方差,2~3月降水在65%左右,10月至次年3月降水在55%左右,且第一左右奇异向量的时间系数相关达0.6~0.7,信度达0.01以上,故第一对耦合场表征广西2~3月、10月至次年3月降水异常偏少、偏多时,对应500hPa高度、太平洋海温场的主要异常的形势,广西降水和太平洋海温、500hPa高度场都是高度相关的。

3.2.1 降水与海温相关的主要模型

分析广西2~3月,10月至次年3月降水与前期、同期北太平洋海温作SVD分解时所得的耦合场均显示:第一右奇异向量广西(降水)异常偏少(多)时,第一左奇异向量(SST)反映前期6月开始热带东、中太平洋海温偏低(高),且海温异常偏低(高)主要发生在170°W以东的赤道中、东太平洋上(图略),而其它地区海温变化趋势相反,特别是相应西北太平洋菲律宾以南海水也有升(降)温。这反映了La Nina/El Nino期间,海温的主要变化特征。

分析广西2~3月(10月至次年3月)降水与同期、前期月海温作SVD的海温异类相关的第一模态分布图,反映广西降水与海温的关系,相关在0.4以上,信度达0.01,中心相关在0.6以上,位于热带中、东太平洋(图略),故显著相关区分布与海温第一左奇异向量大值分布一致。说明广西2~3月降水、10月至次年3月降水场与北太平洋海温的相关以ENSO的影响为主。

3.2.2 降水与 500hPa 高度场相关的主要模型和关键区分析

广西 2~3 月, 10 月至次年 3 月降水与前期、同期北半球月 500hPa 高度场作 SVD 分解所得的第一对左右奇异向量耦合场和异类相关图(图略)均显示: 广西降水与同期北半球热带中、西太平洋上空和热带印度洋 500hPa 高度显著相关, 12、1、2、3 月相关系数普遍在 0.4 以上, 西太平洋上空中心相关高达 0.7。(上一年 10、11 月 500hPa 异类相关系数稍小, 但关键区在热带西太平洋的 $110^{\circ}\sim 140^{\circ}\text{E}$ 和 $130^{\circ}\sim 160^{\circ}\text{E}$ 附近, 中心相关系数在 -0.50 左右, 信度也达 0.01)。第一对左异类相关图的时间变化显示, 当广西 2~3 月、10 月至次年 3 月降水异常少时, 对应 500hPa 热带中、西太平洋高度也存在明显异常, 即副高前期异常偏强, 后期偏弱。这是广西秋、冬、春降水偏少时, 热带地区 500hPa 高度场的主要特征。

3.2.3 高度场和海温(SST)场相互影响的主要模式和关键区分析

将 500hPa 高度场与前期、同期 SST 场作 SVD 分解分析, 具体对上一年 6 月到当年 3 月逐月 500hPa 高度场和上一年 1 月到当年 3 月逐月 SST 场 1959~1999 年资料, 分别逐一配对作 SVD 分解, 发现第一左右奇异向量耦合场协方差贡献在 15% 左右, 而其第一左右奇异向量时间系数相关高达 0.90, 两场的变化趋势非常一致。其异类相关图反映当热带中、东太平洋海温明显偏高, 且西北太平洋海温偏低时, 热带太平洋, 特别是热带中、西太平洋地区 500hPa 高度明显偏高, 而北太平洋中、高纬 500hPa 高度偏低, 并且 500hPa 高度对海温的响应可滞后 3~6 个月。SVD 分解所得的第一、第二模态左、右异类相关图反映海温关键区热带中、东太平洋与 500hPa 关键区热带中、西太平洋相关中心相关系数高达 0.80(图略); 500hPa 120°E 以东的北太平洋中高纬高度与海温也有较好的负相关, 中心相关在 -0.50 左右, 信度达到 0.01。可见在太平洋海温对中、西太平洋

上空 500hPa 高度的影响中, 赤道中、东太平洋海温的变化基本能代表热带地区中、西太平洋上空 3~6 个月后 500hPa 高度的变化(同位相)和东亚大槽的变化(反位相); 而赤道海温的变化与 ENSO 有关, 通过沃克环流的强弱变化和哈德莱环流的加强(减弱)影响热带地区西太平洋上空 500hPa 高度的变化、500hPa 西太平洋副高的变化, 并且间接影响东亚大槽的加深(减弱)。

第二左右奇异向量耦合场协方差贡献在 13% 左右, 其异类相关图反映当海温关键区日本群岛附近及其以东海域温度偏高且赤道中东太平洋海域温度偏低时, 北半球上东西伯利亚以东 500hPa 上空为“一”高度场距平分布, 中心相关系数在 0.5 以上, 信度达 0.01, 关键区在 100°E 以东, 利于东西伯利亚地区以东东亚大槽的发展, 范围宽大。

4 1998 年以来气候变化与华南大旱的关系

1997 年春季开始的强 El Niño 持续到 1998 年 5 月才结束。由于西太平洋副高对赤道东太平洋海温的滞后效应^[1](一般滞后 3~6 个月, 个别年份更长一些), 因此下半年副高的持续偏强是 El Niño 影响的结果, 而 9 月以后东亚大槽的发展前期是受 El Niño 的滞后影响, 后期范围向西扩大则是日本海域以东升温的相关结果, 即第一、第二海气耦合场模式先后起了作用。1998 年 8、9 月份副高完全控制华南, 冷空气和台风都较难影响华南, 10、11、12 月副高持续偏强。与此同时, 10 月后东亚大槽逐渐偏东发展, 后期范围扩大, 西传加深, 整个亚洲大陆大部位于东亚大槽槽后浅脊中, 冷空气主力偏东, 此形势维持到 1999 年 3 月, 期间冷空气势力偏弱, 华东地区寒潮频率少, 850hPa 西南风经常北吹到华东地区 45°N 以南, 冷空气主力基本上都不能侵袭到华南大陆, 东亚冬季风偏弱, 造成 8 月份以来华南持续少雨, 秋、冬、春连旱, 气温连续偏高, 暖冬、暖春出现, 期间广西无霜冻、春季低温阴雨不明显。由于高温少雨持续长达 8 个月, 而高温蒸发量又大, 后期水资源严重缺乏, 干旱非常严重。据统计, 广东为 1908

年、广西为有气象记录以来最严重的干旱。

5 利用 SVD 制作此次干旱预报

将上一年 8 月到当年 3 月逐月广西 76 站降水场与前 5 年北半球 500hPa 高度场、SST 场 1959~1998 年逐月历史资料分别配对进行 SVD 分解,对每月降水选取前两个(或三个)奇异向量对原场累积协方差贡献最大的 SVD 分解所得的右奇异向量(降水)的时间系数作为预报对象,见表 1,由于累积协

表 1 降水与 500hPa 高度场、海温场按奇异值分解的精度估计

月份	某月高度或海温场 -yh50m	奇异向量 序号 n	协方差 贡献 $\sigma_i/\%$	累积协方差 贡献 $\Sigma\sigma_i/\%$
8	-2h503	1,2	52,34	86
9	-4sst5	1,2,3	31,24,8	63
10	-3h505	1,2	46,35	81
11	-1h5010	1,2	67,30	97
12	-4h504	1,2	71,29	100
1	-4h501	1,2	58,40	98
2	-1h503	1,2	70,28	98
3	-1sst11	1,2	59,25	84

方差大多在 80% 以上,完全能反映原场信息和趋势。利用时间系数互为因子法^[2],经过相关统计精选因子,引入 1998 年最新的海、气场邻近资料,再利用最优子集回归对以上时间系数进行评估,可作出 1998 年 8 月~1999 年 3 月广西逐月降水场的预报,降水趋势持续偏少。据此,我们曾于 1998 年底预报广西 1999 年有春旱,实践证明,预报是正确的。图 1 为降水预报场(76 站)平均距平百分率与实况距平百分率对比图,效果较好。

6 小结

1998 年下半年副高偏强,8、9 月份完全控制华南,10 月以后到 1999 年 3 月东亚大槽在远东地区以东发展,亚洲大部处于浅脊中,使得北方冷空气一直偏弱、路径偏东,冷空气主力很难影响华南。冷、暖空气基本上没有能在华南上空相遇,造成广西降水持续偏少长达 8 个月,广东降水从 1998 年 7 月始,

也持续明显偏少,华南盛夏、秋、冬、春连旱。

华南大范围长期干旱的气候背景是相同的,通过 SVD 分析,广西 10 月至次年 3 月、2~3 月降水偏少在前期、同期海温场主要对应赤道中、东太平洋海温偏低;在 500hPa 高度场上主要对应热带中、西太平洋上空高度前期偏高,后期偏低,且东亚大槽加深,远东地区以东为大范围负距平区。而在海气相互作用中,存在着两种主要响应模式:①赤道中东太平洋海温异常对应着 3~6 个月后西太平洋副高异常趋势;②日本海域以东海温偏高利于东亚大槽发展,西伯利亚地区以东为负距平区。

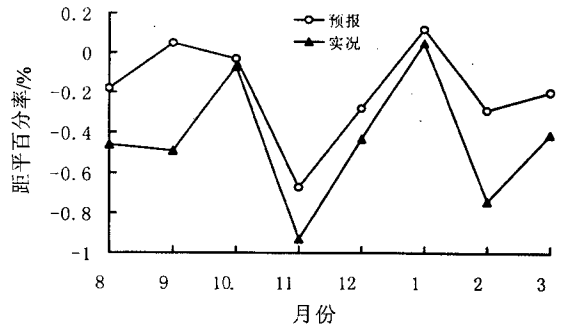


图 1 广西 76 站 1998.8~1999.3 逐月降水场平均预报距平百分率与实况距平百分率对比图

1997 年春季持续到 1998 年 6 月的强 El Niño 的滞后影响,海气相互作用利于副高偏强;1998 年 6 月以后日本海域以东海温增高利于东亚大槽发展,范围扩大,这是华南百年一遇大旱的主要原因。

参考文献

- 1 陈菊英. 中国旱涝的分析和长期预报研究. 北京: 农业出版社, 1991 年 2 月第一版: 314~335.
- 2 Ludan. Long-trem drought forecast with SVD application. 国际洪水与干旱学术研讨会论文集. 南京: 河海大学出版社, 1999 年 10 月: 356~361.

The Origin Study of South China Extraordinary Drought from Autumn 1998 to Spring 1999

Lu Dan

(Guangxi Meteorological Observatory, Nanning 530022)

Abstract

With application of Singular Value Decomposition (SVD) and statistics method, the study was conducted on the time and space structures and the co-relationship between the Guangxi precipitation from autumn to next Mar. and the 500hPa height field and tropical, north Pacific sea surface temperature field. The results show that the first coupling field clearly reflects the ENSO signal with high correlation, and the second ocean-atmosphere coupling field reflects the good negative correlation between the sea temperature in the east of Japan Sea to be the key area and 500hPa height over the east of 100°E. The sea temperature-height field variation from 1998 was analysed, the 500hPa height field in the mid-high latitude of north Pacific is clearly below normal, and above normal in Asian continent and in the mid-low latitude of north Pacific, which attributes to the significant weakening of the eastward cold air. The variation of ENSO in the sea temperature field and the La Nina developing process conform to the sea temperature variation modality of the first coupling field. The later period ocean-atmosphere variation conforms to the second coupling field of the sea temperature and atmosphere. It is concluded that the variation of ENSO and temperature ascent in the east of Japan sea favor the formation of abnormal circulation pattern which is the origin of the south China extraordinary drought at the end of this century. The quantitative monthly precipitation forecast in Guangxi from Aug. 1998 to Mar. 1999 with SVD method was presented.

Key Words: singular value decomposition ENSO sea temperature 500hPa height