

云南雨季开始期演变特征分析

陶云¹ 郑建萌¹ 万云霞² 刘瑜¹

1 云南省气候中心, 昆明 650034

2 云南省专业气象台, 昆明 650034

摘 要 应用 EOF 分析方法、小波分析方法及云南 16 个地州代表站 1961~2002 年共 42 年逐日降水量资料, 对云南雨季开始期的空间分布、时间演变及多尺度周期变化等特征进行了诊断研究。结果表明: 1) 云南雨季开始期的空间分布, 第一主要特征是全省雨季开始期一致偏早(晚); 第二主要特征为云南滇中及以东、以南地区与云南西部雨季开始期反向变化的空间异常分布型态; 2) 云南雨季开始期存在明显的 40 年左右长周期、28 年左右的年代际周期和 8 年左右的年际周期。从小波方差看, 云南雨季开始期的变化以 40 年和 28 年左右的周期变化最显著, 而年际变化相对较弱; 3) 云南雨季开始偏早期与偏晚期 5 月份 500 hPa 高度距平场有着明显区别; 4) 印度季风与南海季风对云南雨季开始爆发也起着积极的作用。

关键词 雨季开始期 时空变化特征 多尺度周期

文章编号 1006-9585 (2006) 02-0229-07 **中图分类号** P468 **文献标识码** A

Evolution Feature of the Rainy Season Onset Time of Yunnan Province

TAO Yun¹, ZHENG Jian-Meng¹, WAN Yun-Xia², and LIU Yu¹

1 *Climate Center of Yunnan Province, Kunming 650034*

2 *Special Meteorological Observatory of Yunnan Province, Kunming 650034*

Abstract Applying EOF method, Morlet Wavelet Method and 42-year precipitation data of 16 representative stations in Yunnan province daily from 1961 to 2002 to research the spatial distribution, temporal evolution and multi-scale period of the rainy season onset time of Yunnan Province. The results indicated that: 1) The firstly main spatial distributive feature of the rainy season onset time in Yunnan was that the whole province's rainy season onset time was unanimously earlier (or later) than the normal time; The secondly main spatial distributive feature of the rainy season onset time in Yunnan was that it was reverse spatial distribution between the middle, the eastern and the southern areas of Yunnan and the western areas of Yunnan; 2) There was obviously approximately 40a long oscillation period, approximately 28 a interdecadal oscillation period and approximately 8-year interannual oscillation period. It could be seen from wavelet variance that the 40-year and 28-year period were the strongest and most remarkable among the periods of rainy season onset time in Yunnan and interannual change period is relatively weaker; 3) There was an obviously difference of 500 hPa anomalous height field in May between above-normal and below-normal years of rainy season in Yunnan; 4) India monsoon and south sea of China monsoon had positive effect on the rainy season onset time in Yunnan.

Key words rainy season onset time, temporal and spatial change feature, multi-scale period

收稿日期 2004-11-26 收到, 2005-10-10 收到修定稿

资助项目 国家重点基础研究发展规划项目 2003CB415101 和云南省气象局 2002 年青年基金课题“‘九五’短期气候预测方法在云南雨季开始期预测中的释用对比研究”

作者简介 陶云, 女, 1971 年出生, 在职博士, 高工, 主要从事短期气候预测与研究。E-mail: cqkty@sina.com

1 引言

云南属于云贵高原主体, 又是低纬度地区, 位于(21.14~29.25°N, 97.52~106.19°E)之间, 处于全球最强盛的印度季风和东亚季风的交叉影响范围内, 形成了干湿季节分明的立体气候。干季, 南支西风急流流经云南上空, 强而稳定, 整个冬季盛行干燥的西南风, 降水很少。湿季, 南支西风急流趋于消失, 云南上空主要盛行西南暖湿气流, 云南降水相对集中于这一时期。从干季向湿季过渡是云南的关键时期, 也是云南省大部分地区大春作物栽种的季节, 云南雨季开始的早晚将直接影响着云南省的工农业生产, 特别是对全省农业生产起着至关重要的作用。

云南雨季开始期, 早可在4月下旬开始, 迟可在6月下旬开始, 迟早相差近1个月左右。一般云南雨季开始期正常年份在5月第5候左右, 5月雨量的多寡与云南雨季早晚有着密切关系。历来云南雨季开始期和5月雨量的预报, 都是云南预测中的重中之重。近年来, 云南省的气象工作者对5月雨量影响因子、环流形势以及5月强降水过程进行了大量分析研究^[1~6]; 刘瑜等人分析了年际变化尺度下, 云南雨季偏早年与偏晚年的环流特征^[7], 但对于云南雨季开始期的气候演变特征的研究工作不深入。本文利用 EOF 分析方法及 Morlet 小波分析方法研究了云南雨季开始期的空间分布及多尺度周期变化特征; 利用国家气候中心提供的北半球 500 hPa 高度场资料, 初步分析了在年代际尺度下云南雨季处于偏晚与偏早时期的环流特征以及云南雨季开始期与季风的关系。

2 资料与方法

(1) 取云南 16 个地州代表站 1961~2002 年共 42 年逐日降水量资料, 根据云南省气象台业务标准, 自 4 月 21 日起, 满足任意 5 天滑动累计雨量 $\geq$ 多年雨季平均候雨量的某一天为止, 以后连续 15 天内, 又有任意 5 天滑动累计雨量 $\geq$ 多年雨季平均候雨量, 则第一个 5 天中某一日雨量 $\geq$

10 mm 的这一天即为雨季开始日, 该天所在候为雨季开始候。其中多年雨季平均候雨量等于 5~10 月多年平均合计雨量除以 36 候。我们计算了云南 16 个地州代表站 1961~2002 年的雨季开始候。

(2) 国家气候中心提供的 1961~2002 年北半球 500 hPa 逐月高度场资料。

(3) 应用 EOF 分析方法^[8]及 Morlet 小波分析方法^[9~11]分析了云南 16 个代表站雨季开始候空间分布及多尺度周期变化特征, 并用 t 统计量检验了小波分析所获得的均值突变的显著性。EOF 分析方法在提取气象场优势信号、反映气象场空间分布特征等方面有其独到之处, 详细方法介绍参考文献 [8]。Morlet 小波分析技术是应用广泛的分析时间序列演变的多时间尺度特征的方法。另外文中还使用了相关系数分析方法, 并做相应的显著性检验。

3 云南 16 个代表站雨季开始候空间分布特征

应用 EOF 分析方法对云南 16 个代表站 1961~2002 年 42 年的雨季开始候资料进行分析, 云南雨季开始期前 5 个特征向量的方差贡献分别为 35.4%、13.8%、9.85%、8.7% 和 5.8%。可见, 前 2 个特征向量的方差贡献皆超过 10%, 其空间分布代表了云南主要的两种分布类型, 其中第一特征向量为云南雨季开始期的最主要的分布类型。云南雨季开始期前 2 个特征向量空间分布见图 1。

图 1 中, 第一特征向量占总方差的 35.4%, 是云南雨季开始期最主要的分布类型。第二特征向量占总方差的 13.8%, 是云南雨季开始期的另一种主要的分布类型。从图 1a 中我们可以清楚看出, 云南雨季开始期最主要的分布类型是: 全省雨季开始期一致偏早(晚), 称为全省一致型。图 1b 是云南雨季开始期的第二类主要的分布类型: 云南滇中及以东、以南地区与云南西部雨季开始期相反, 即云南雨季开始期滇中及以东、以南地区偏早(晚), 西部偏晚(早)。总之, 虽然云南雨季开始期各个地区有着不同的发生时间, 但全省雨季开始期一致偏早(晚)是云南雨季开始期的一个主要分布型。

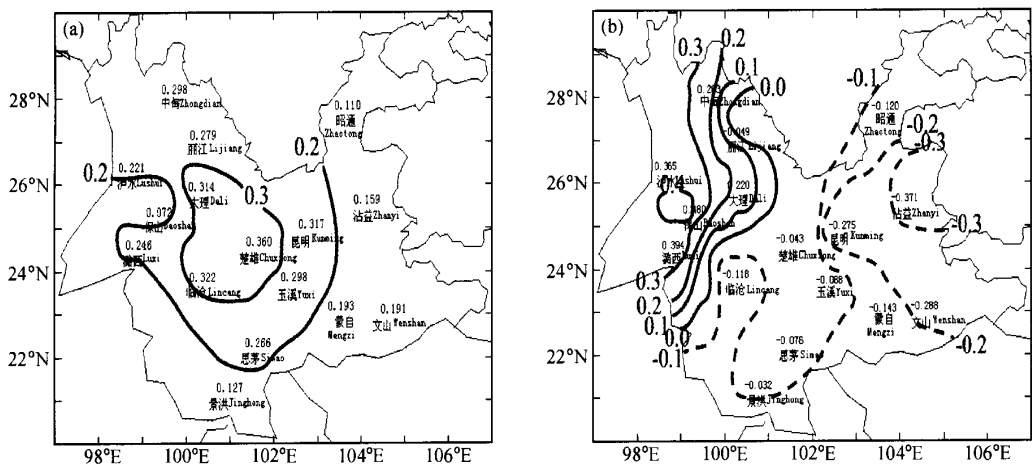


图 1 云南 16 个代表站雨季开始候的 EOF 前二个特征向量空间分布 (a) 第一特征向量；(b) 第二特征向量
Fig. 1 The spatial distribution of EOF characteristic vectors of rainy season onset time at the 16 representative stations in Yunnan. (a) The first characteristic vector; (b) the second characteristic vector

4 昆明雨季开始候在云南雨季中的代表性

由于云南局地性气候特征较为显著，全省雨季开始期差异较大，早的地区如西双版纳州，平均在 5 月第 3 候开始，晚的地区如迪庆州，平均在 6 月第 2 候开始，两者间相差近 1 个月。从地理位置来看，昆明位于云南中部，促使云南雨季开始的南方天气系统和北方天气系统影响昆明地区时，基本上影响了云南大部地区。从云南主要大春农作物的的主产地来看，云南中部地区是主要的粮食主产地，以昆明作为云南雨季开始期的代表站来研究，有着积极的意义。

另外，我们计算了云南其余 15 个代表站雨季开始候与昆明雨季开始候的相关关系（图 2）。从图 2 中可以清楚看出，昆明雨季开始候与大部测站存在明显的正相关关系，有 10 个测站的相关系数通过 0.1 显著性检验水平，占 66.7%，其中有 9 个测站的相关系数通过 0.01 显著性检验水平，占 60%。相关较差的测站是昭通、景洪、保山、潞西及泸水，基本位于云南的边缘地区。保山相关系数-0.178，与昆明雨季开始候为弱的负相关外，其余云南 14 个代表站与昆明雨季开始候的相关系数都为正相关。即昆明雨季开始期偏早（晚）年，云南大部地区雨季也偏早（晚）。

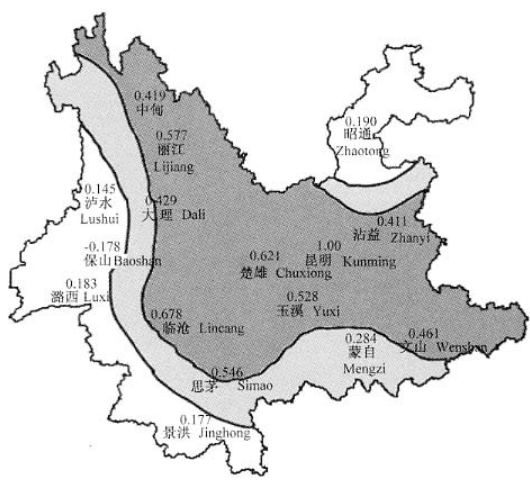


图 2 昆明雨季开始候与云南 15 个代表站雨季开始候的相关 (深阴影区：通过 0.01 显著性水平区；浅阴影区：通过 0.1 显著性水平区)
Fig. 2 The correlation between Kunming's rainy season onset pentad and the 15 representative stations' rainy season onset pentad of Yunnan (deeply shaded area: passing 0.01 significance level area; lightly shaded area: passing 0.1 significance level area)

同时分析了云南雨季开始早（晚）与云南雨季（5~10 月）降水量之间的关系（图略）。云南雨季开始候与云南雨季（5~10 月）总降水量存在负的相关关系，其相关系数达-0.389，通过了 0.02 显著性检验水平，说明云南雨季开始偏早

(晚), 整个雨季的总降水量偏多(少)。

5 云南雨季开始期的时间演变特征

从以上讨论可知, 云南雨季开始期主要空间分布是全省一致型, 即云南雨季有一致偏早(晚)的特征, 同时昆明与云南其余 15 个代表站相关性较好, 因此昆明基本可以作为云南雨季开始期的代表站。

图 3 是云南雨季开始期的时间序列。从图中可以看出, 云南雨季开始期存在明显的年际变化特征。1963、1969、1977、1987 及 1997 年雨季开始期偏晚 4 候以上, 为雨季开始期特晚, 其中

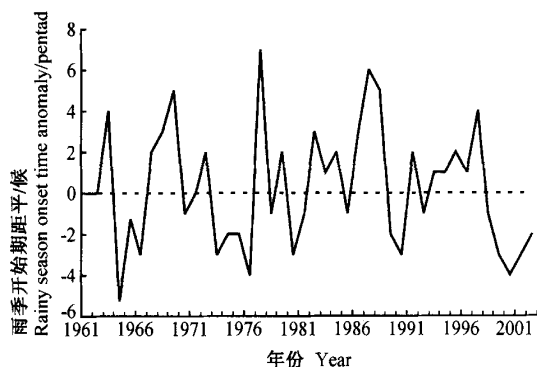


图 3 云南雨季开始期时间演变曲线

Fig. 3 The temporal evolution of Yunnan's rainy season onset time

1977 年偏晚 7 候, 为雨季开始最晚的一年; 1964、1976 及 2000 年雨季开始期偏早 4 候以上, 为雨季开始期特早, 1964 年偏早 5 候, 为雨季开始最早的一年。

利用 Morlet 小波分析, 便可研究云南雨季开始期的多尺度以及周期变化特征, 在图 4 中, 云南雨季开始期存在明显的 40 年左右长周期、28 年左右的年代际周期和 8 年左右的年际周期。从 40 年变化周期来看, 1966 年和 1998 年是均值突变点, 1966 年之前为负位相, 1967~1997 年之间为正位相, 1998 年以后又转为负位相。利用 t 统计量对 3 个时段的平均值进行显著性检验: $t_{1966} = -192$, $t_{1998} = -218$, 临界值 $t_c = 2.750$, 均值突变点前后的正负位相间存在显著区别, 通过 0.01 的显著水平。反映在云南雨季开始期上, 正位相表示雨季开始偏晚, 负位相表示雨季开始偏早, 即 1966 年以前云南雨季处于偏早期, 1967~1997 年云南雨季转为偏晚期, 1998 年后云南雨季又转为另一个偏早期。从年代际 (28 年左右) 的变化来看, 1973 年、1986 年及 2002 年附近为均值突变点。1961~1972 年、1986~2001 年为云南雨季偏晚时段, 1973~1985 年及 2002 年以后为云南雨季相对偏早期。利用 t 统计量对 3 个时段的平均值进行显著性检验: $t_{1973} = -18.6$, $t_{1986} = 25$, 临界值 $t_c = 2.807$, 均值突变点前后的正负位相间存在显著区别, 通过 0.01 的显著水平。对于更短的时间

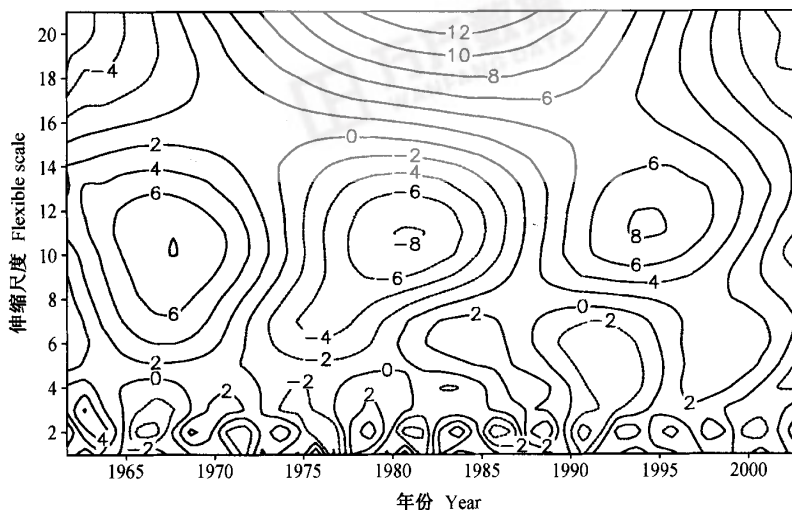


图 4 云南雨季开始期时间序列小波 (Morlet) 分析结果

Fig. 4 The Morlet wavelet analysis of Yunnan's rainy season onset time

尺度，也就是年际（8 年左右）变化周期，1961～1963 年、1967～1972 年、1977～1979 年、1986～1988 年以及 1995～1998 年云南雨季开始期处于相对偏晚时期，1964～1966 年、1973～1976 年、1980～1985 年、1989～1994 年以及 1999 年以后云南雨季开始期处于相对偏早的时期。

图 5 是伸缩尺度 a 分别取 20～21、9～11 和 3～4 时的小波系数合成图，由图可见不同时期的周期变化特征。当 a 取 20～21 时，明显地反映出原序列的长周期特征（图 5a）；当 a 取 9～11 时，

28 年左右的年代际变化周期便表现出来（图 5b）；当 a 取 3～4 时，8 年左右的年际变化周期便表现出来（图 5c）。

无论从长周期（40 年）还是从年代际变化周期（28 年）来看，云南雨季开始期处于一个雨季开始期相对偏早的时期。在这样的大背景下，从云南雨季开始期的年际（8 年）变化来看，2002 年后云南雨季开始期已经开始转入另一个雨季开始期相对偏晚的时期。

另外，从小波方差图（略）可以看出，在 1961～2002 年整个时间域内，云南雨季开始期的变化以 40 年和 28 年左右的周期变化最强，这说明云南雨季开始期的年代际及更长周期的变化最显著，而年际变化相对较弱。

6 云南雨季开始期年代际变化的 500 hPa 环流特征

从上述分析可知，云南雨季开始期存在 40 年和 28 年左右的年代际变化周期及 8 年左右的年际变化周期。在文献 [7] 中已经较详细地讨论了云南雨季开始期年际尺度的环流变化特征，在此，主要利用国家气候中心提供的北半球 500 hPa 高度场资料，初步分析了在年代际尺度下（28 年左右）云南雨季处于偏晚与偏早时期的 5 月 500 hPa 环流特征（图 6）。

从云南雨季偏早时期 5 月 500 hPa 高度场的距平合成图上（图 6a）可看到，极地中心为较强负距平覆盖，极涡中心位于东半球乌拉尔山附近，中心数值达 -30 gpm。东半球从高纬到低纬距平场分布为 -+ -，在（30～70°N，120～180°E）附近有一中心数值为 +15 gpm 的正距平区；在低纬地区，特别是孟加拉湾地区高度场较常年偏低 10 gpm 左右。中、高、低纬的这种配置有利于北方冷空气的南下及南方暖湿空气的入侵，致使云南雨季偏早，5 月降水偏多。相反，在云南雨季偏晚时期 5 月 500 hPa 环流特征是极地高度场明显偏高（图 6b），极涡较常年偏弱，东半球从高纬到低纬距平场分布为 + - +，乌拉尔山附近为中心数值达 +10 gpm 的正距平区，在（40～70°N，120～180°E）附近有一中心数值为 -10 gpm 的负距平区；低纬地区为弱的正距平区控制。这表明

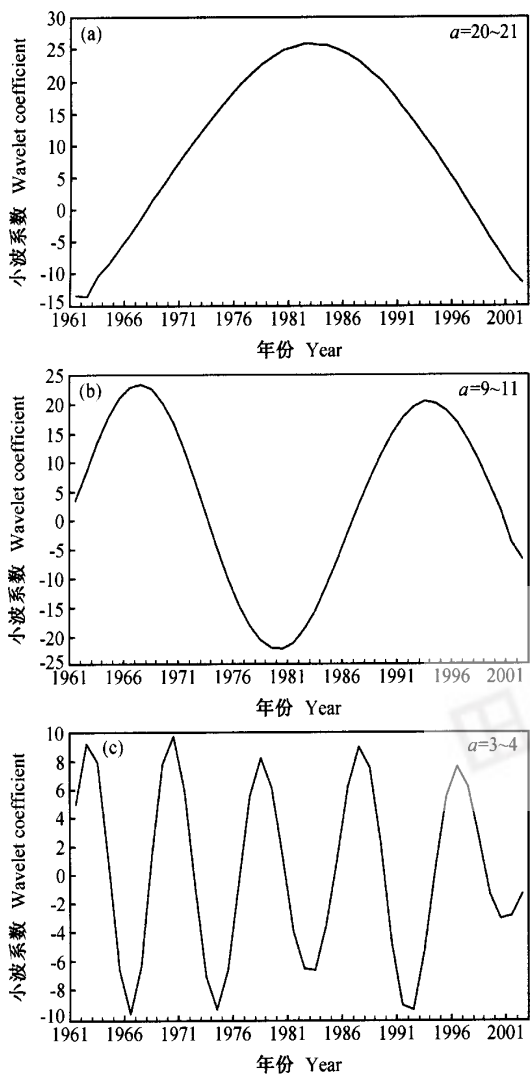


图 5 伸缩尺度 $a=20\sim21$ (a)、 $a=9\sim11$ (b)、 $a=3\sim4$ (c) 的小波系数合成结果
Fig. 5 The wavelet coefficient synthesizing results of the flexible scale $a=20\sim21$ (a), $a=9\sim11$ (b), $a=3\sim4$ (c)

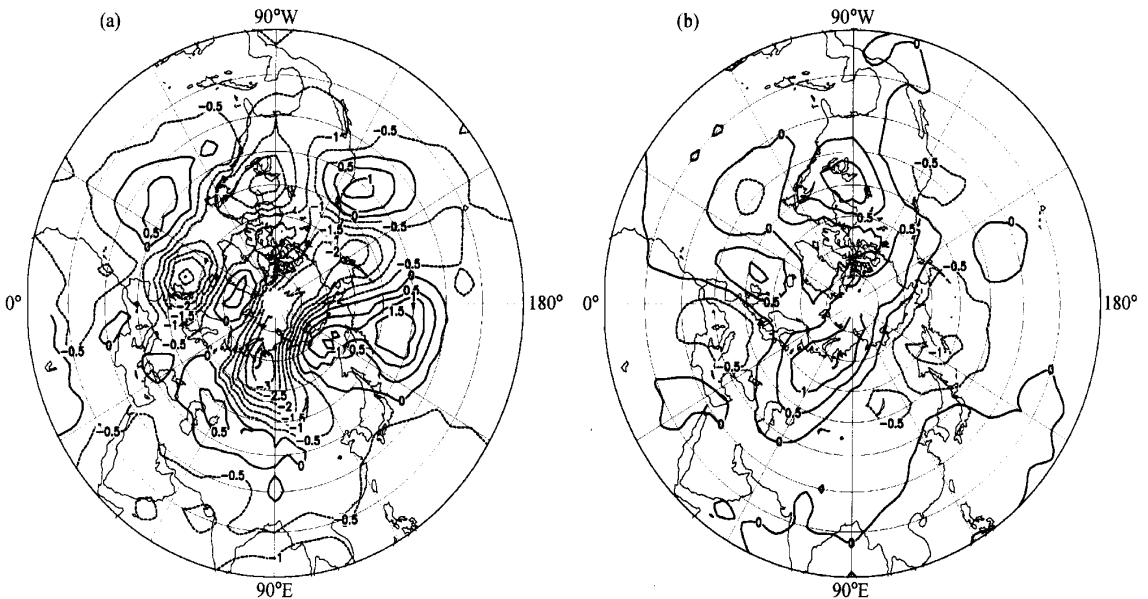


图6 云南雨季偏早期 (a) 及偏晚期 (b) 5月500 hPa高度场距平合成 (单位: 10 gpm)

Fig. 6 500 hPa anomalous height field in May of above-normal (a) and below-normal (b) years of rainy season in Yunnan (units: 10 gpm)

整个5月中高纬系统偏北,冷空气活动偏弱,低纬地区少低槽活动,不利于南方水汽向北输送,致使云南雨季偏晚,5月降水偏少。

另外,根据文献[12]和[13]计算获得南亚季风强度指数($0\sim 20^{\circ}\text{N}$, $40\sim 120^{\circ}\text{E}$)和南海季风强度指数($0\sim 10^{\circ}\text{N}$, $100\sim 130^{\circ}\text{E}$)。计算云南雨季开始时间与印度季风指数和南海季风指数的逐月相关关系(图略)发现,云南雨季开始时间与同年3月、4月和5月的印度季风指数有很好的相关关系,相关系数分别为 -0.261 、 -0.533 和 -0.456 ,通过了 0.1 、 0.001 和 0.01 的显著性水平检验,即同年3月、4月和5月的印度季风指数偏强(弱),云南雨季开始早(晚);与头年3月和同年3月、4月、5月的南海季风指数也存在较好的相关关系,相关系数分别为 -0.310 和 -0.317 、 -0.497 、 -0.287 ,通过了 0.05 和 0.05 、 0.001 、 0.1 的显著性水平检验,即头年3月和同年3、4、5月的南海季风指数偏强(弱),云南雨季开始早(晚)。

7 主要结论

利用云南16个地州代表站1961~2002年共42年逐日降水量资料,运用EOF、小波分析等常

用的统计方法,对云南雨季开始期异常的时空特征进行了诊断分析,得出如下主要结论:

(1)就整体而言,云南雨季开始期的一致性为云南地区雨季开始期的主要特征,全省雨季开始期一致偏早(晚),称为全省一致型。其次为云南滇中及以东、以南地区与云南西部雨季开始期反向变化的空间异常分布型态;即云南雨季开始期滇中及以东、以南地区偏早(晚),西部偏晚(早)。总之,虽然云南雨季开始期各个地区有着不同的发生时间,但全省雨季开始期一致偏早(晚)是云南雨季开始期的一个主要分布型。

(2)昆明与云南其余15个代表站相关性较好,因此昆明基本可以作为云南雨季开始期的代表站,进行云南雨季开始期的时空特征研究。

(3)小波分析表明,云南雨季开始期存在明显的40年左右长周期、28年左右的年代际周期和8年左右的年际周期。从小波方差看,云南雨季开始期的变化以40年和28年左右的变化周期的振动最强,变化最显著,而年际变化相对较弱。

(4)从小波分析的结果可以初步预测,无论从长期变化周期(40年)还是从年代际变化周期(28年)来看,云南雨季开始期处于一个雨季开始期相对偏早的时期。从云南雨季开始期的年际(8年)变化来看,2002年后云南雨季开始期已经开

始转入另一个雨季开始期相对偏晚的时期。

(5) 分析云南雨季 28 年变化周期的偏早(晚)时期的环流特征发现, 500 hPa 高度距平场与云南雨季开始早晚有较好的对应关系, 雨季开始偏早期与偏晚期 5 月的 500 hPa 高度场存在明显区别。

(6) 印度季风与南海季风对云南雨季开始爆发也起着积极的作用, 云南雨季开始期与同年 3、4 和 5 月的印度季风指数有很好的相关关系, 即同年 3、4 和 5 月的印度季风指数偏强(弱), 云南雨季开始早(晚); 与头年 3 月和同年 3、4、5 月的南海季风指数也存在较好的相关关系, 即头年 3 月和同年 3、4、5 月的南海季风指数偏强(弱), 云南雨季开始早(晚)。

参考文献 (References)

- [1] 陶云, 曹杰, 段旭. 云南省五月雨量转折突变的研究. 气象科学, 2002, **22** (3): 287~293
Tao Yun, Cao Jie, Duan Xu. The research of the May rainfall turning abrupt change in Yunnan province. *Scientia Meteorologica Sinica* (in Chinese), 2002, **22**: 287~293
- [2] 曹杰, 谢应齐, 严华生, 等. 预报方程时变参数递推的一种新方案. 大气科学, 1997, **21** (6): 698~704
Cao Jie, Xie Yingqi, Yan Huasheng, et al. A new project of forecast equation time parameter recurrence. *Scientia Atmospherica Sinica* (in Chinese), 1997, **21** (6): 698~704
- [3] 肖子牛, 温敏. 云南五月降水量与前期季节内振荡活动相互关系的分析研究. 大气科学, 1999, **23** (2): 177~183
Xiao Ziniu, Wen Min. The correlation research between the May precipitation in Yunnan and prophase inter-season oscillation action. *Chinese Journal of Atmospheric Sciences* (in Chinese), 1999, **23** (2): 177~183
- [4] 严华生, 鲁亚斌, 尤卫红, 等. 云南省五月份雨量的天气气候成因探讨. 应用气象学报, 1995, **6** (1): 124~128
Yan Huasheng, Lu Yabing, You Weihong, et al. The weather and climate causes of the May precipitation in Yunnan. *Journal of Applied Meteorological Science* (in Chinese), 1995, **6** (1): 124~128
- [5] 曹杰, 陶云, 段旭. 云南 5 月强降水天气与亚洲季风变化的关系. 云南大学学报, 2002, **24** (5): 361~365
Cao Jie, Tao Yun, Duan Xu. The relation between the May very heavy rainfall in Yunnan and the Asia monsoon index. *Journal of Yunnan University* (in Chinese), 2002, **24** (5): 361~365
- [6] 陶云, 朱天禄. 多维时间序列交叉谱分析在降水场诊断中的应用. 气候与环境研究, 2003, **8** (4): 503~509
Tao Yun, Zhu Tianlu. An application of multi-dimensional time series cross spectrum analysis to the diagnosis of Yunnan's precipitation field. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (4): 503~509
- [7] 刘瑜, 马振锋, 陶云, 等. 云南 2002 年雨季偏早的环流特征分析. 高原气象, 2003, **22** (增刊): 102~109
Liu Yu, Ma Zhenfeng, Tao Yun, et al. The circulation characteristics analysis of Yunnan's rainy season onset time above-early in 2002. *Plateau Meteorology* (in Chinese), 2003, **22** (Suppl.): 102~109
- [8] 黄嘉佑. 气象统计分析与预报方法. 北京: 气象出版社, 2000. 126~145
Huang Jiayou. *Statistic Analysis and Forecast Methods in Meteorology* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 126~145
- [9] 匡正, 季仲贞, 林一骅. 华北降水时间序列资料的小波分析. 气候与环境研究, 2000, **5** (3): 312~317
Kuang Zheng, Ji Zhongzhen, Lin Yihua. The wavelet analysis of precipitation time series in the North of China. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2000, **5** (3): 312~317
- [10] 张庆云, 卫捷, 陶诗言. 近 50 年华北干旱的年代际和年际变化及大气环流特征. 气候与环境研究, 2003, **8** (3): 307~318
Zhang Qingyun, Wei Jie, Tao Shiyun. The interannual and interdecadal change of the drought in the North of China in nearly 50 years and its atmospheric circumfluence features. *Climatic and Environmental Research* (in Chinese), 2003, **8** (3): 307~318
- [11] 解明恩, 张万诚. 云南短期气候预测方法与模型. 北京: 气象出版社, 2000. 25~69
Xie Minger, Zhang Wancheng. *The Short Climatic Forecast Methods and Models in Yunnan* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 2000. 25~69
- [12] Webster P J, Yang S. Monsoon and ENSO: Selectively interactive system. *Quart. J. Roy. Meteor. Soc.*, 1992, **118**: 667~926
- [13] 赵振国. 中国夏季旱涝及环境场. 北京: 气象出版社, 1999
Zhao Zhenguo. *The Drought and Flood of China in Summer and Its Environmental Field* (in Chinese). Beijing: China Meteorological Press, 1999. 28~34