

严小冬, 宋燕, 夏阳, 等, 2017. 贵州省秋季雨日时空变化及其与大气环流的关系[J]. 气象, 43(9):1064-1072.

# 贵州省秋季雨日时空变化及其与大气环流的关系<sup>\*</sup>

严小冬<sup>1,2</sup> 宋燕<sup>2</sup> 夏阳<sup>3</sup> 龙园<sup>3</sup> 杨春艳<sup>3</sup>

1 贵州省气候中心, 贵阳 550002

2 中国气象局气象干部培训学院, 北京 100081

3 贵州省六盘水市气象局, 六盘水 553000

**提 要:** 利用贵州省 81 站 1964—2013 年秋季(9—11 月)雨日数及美国国家环境预报中心/大气研究中心(NCEP/NCAR)再分析资料, 借助 Morlet 小波、合成分析等相关诊断方法, 对贵州省秋季雨日数时空特征及其与大气环流的关系进行了分析。结果表明: 贵州省秋季雨日数分布由东南部向西北部逐渐增多, 一般在 30.0~52.3 d。近 50 年秋季全省平均雨日数为 40.5 d, 总体呈减少趋势, 每 10 年雨日数减少 1.9 d。秋季雨日数突变发生在 1987 年前后, 1964—1987 年为偏多时段, 1988—2013 年为偏少时段, 其中 1997 年以后减少趋势最为明显。近 50 年贵州秋季雨日序列存在准 5 a 和 2~3 a 的振荡周期, 其中准 5 a 振荡最为显著。当贵州秋季雨日异常偏多时, 南海上空的水汽通量在贵州地区辐合抬升, 来自低纬地区的暖湿空气输送更加活跃, 东亚大槽偏强, 低纬度地区槽脊略有加深, 贵州处于印缅槽前, 偏南气流强盛, 从而有利于冷、暖空气在贵州地区交汇, 形成阴雨天气, 造成贵州秋季雨日数异常偏多; 反之亦然。

**关键词:** 秋季雨日, 时空变化, 大气环流

**中图分类号:** P466

**文献标志码:** A

**DOI:** 10.7519/j.issn.1000-0526.2017.09.004

## Spatio-Temporal Variation of Autumn Rainy Days over Guizhou Province and Its Correlation with Atmospheric Circulation

YAN Xiaodong<sup>1,2</sup> SONG Yan<sup>2</sup> XIA Yang<sup>3</sup> LONG Yuan<sup>3</sup> YANG Chunyan<sup>3</sup>

1 Guizhou Climate Centre, Guiyang 550002

2 China Meteorological Administration Training Centre, Beijing 100081

3 Liupanshui Meteorological Office of Guizhou, Liupanshui 553000

**Abstract:** Based on autumn (September to November) rainy days of 81 stations in Guizhou from 1964 to 2013 and National Center for Environmental Prediction/Atmospheric Research Center (NCEP/NCAR) re-analysis data, the spatio-temporal variation of autumn rainy days in Guizhou and its relation with atmospheric circulation were analyzed with Morlet wavelet and synthetic analysis, and other ways. The results show that the autumn rainy days in Guizhou are increased gradually from southeast to northwest between 30.0 d and 52.3 d. Mean autumn rainy days in Guizhou are about 40.5 d. There is the decreasing trend of autumn rainy days in the past 50 years, and its regression coefficient is  $-1.9 \text{ d}/10 \text{ a}$ . There is an abrupt change around 1987 for the autumn rainy days, which are more than normal in 1964—1987 but less than normal in 1988—2013. Since 1997, the decreasing trend is the most obvious. The autumn rainy days in the past 50 years have obviously quasi 5-year and 2—3 year oscillation periods over Guizhou, of which

<sup>\*</sup> 国家自然科学基金面上项目(41575091)、中国清洁发展机制基金赠款项目(2013031)、黔科合院士站(20144010)和中国气象局气候变化专项(CCSF201708)共同资助

2016 年 3 月 7 日收稿; 2017 年 5 月 10 日收修定稿

第一作者: 严小冬, 主要从事气候预测和诊断研究. Email: yxd\_chclimate@163.com

通信作者: 宋燕, 主要从事气候和气候变化研究工作. Email: songyan@cma.gov.cn

the 5-year oscillation is the most obvious, 2–3 year periodic oscillation is the second. At the same time, when the autumn rainy days are more over Guizhou, the South China Sea water vapor flux converges, the cold air activity is more active in the high latitudes, the East Asian trough is strong and the trough and ridge over the low latitudes deepen slightly, Guizhou lies in front of the India-Burma trough and, the strong southern airflow is in favor of the intersection of warm and cold airs, thus creating the frequent rainy weather; and vice versa.

**Key words:** autumn rainy days, spatio-temporal variation, atmospheric circulation

## 引言

在全球变暖的背景下,洪涝、干旱、高温、冰雪、暴雨和连阴雨等极端天气气候事件频发,其中的洪涝、干旱、暴雨、连阴雨等极端天气气候事件与降水量、雨日存在密切的联系,其变化特征主要用降水量和雨日两个指标来衡量。

近几十年来,一些国家和地区持续(无)雨日数发生了显著变化(Schmidli and Frei, 2005; Groisman and Knight, 2008; Llano and Penalba, 2011),其反映了这些地区降水持续性特征发生了改变,而降水持续特征的变化又与旱涝异常存在联系。中国的华北、西南地区及珠江流域,近年来连阴雨日数显著减少,持续无雨时段显著增多(Qian and Lin, 2005; Bai et al, 2007),在珠江流域,尽管研究者们并未发现降雨量有明显的变化趋势,但其降雨日数却有显著的减少,降雨强度则有相对应的增强(Liu et al, 2015; Zhang et al, 2009; 2014)。如 Goswami et al(2006)以日降水量 100 mm 为界将印度雨日分为两级,发现日雨量小于该值的雨日有减少的变化趋势,而大于该值的雨日则呈现出增加的趋势。符娇兰等(2008)对我国夏季降水进行了雨日分级,并研究了不同等级雨日的时空分布特征。Feng et al(2009)研究发现,中国近 50 年来五大降水区年雨日有着一致的减少趋势。张琪和李跃清(2014)则发现西南地区年雨日和秋季雨日均呈现偏少的趋势,且呈准 17 a 振荡周期的特征。

进入秋季后,大气环流发生调整,副热带系统逐渐减弱,西风带系统明显增强。但由于夏季风还未完全退去,孟加拉湾、南海以及西太平洋的暖湿气流仍可以源源不断地向西南地区输送,从而导致该区域发生持续性阴雨天气。这样的阴雨天气会直接或间接地导致未及时收割的作物倒伏、脱粒,以及收获的作物无法及时晾晒而发芽霉烂,造成减产甚至绝

收。尽管雨日数与降雨量在一定程度上具有较好的关系,但在以往的科研业务中,气象科技工作者主要偏重于降水量的研究(李耀辉等, 2001; 汪靖和吕江津, 2011; 张秉祥等, 2012; 李聪等, 2012; 王红霞等, 2013; 徐新创等, 2014),而对雨日特征及演变的研究相对较少(宁亮和钱永甫, 2008; 符传博等, 2011; 丁永红等, 2012; 曹永强等, 2015)。就中国西部地区而言,关于秋雨气候特征方面的研究,更多地关注降水量(陈忠明等, 2001; 白虎志和董文杰, 2004; 罗霄等, 2013),而很少集中分析雨日的异常特征(白虎志, 2006),对于西南部的贵州地区更是如此。

近些年来,在全球变暖背景下贵州地区的雨日演变规律的研究才得到越来越多的重视(王芬等, 2015)。因此,本工作针对秋雨“绵绵”的气候特征,从雨日数的角度出发,分析贵州秋季雨日数时空变化及其与大气环流的关系,揭示贵州秋季雨日数的时空特征,探寻贵州秋季雨日数与大气环流的关系,以及雨日异常年对应的环流特征差异,以期得出更有意义的结果。这对科学合理部署工农业生产和生态建设,合理开发利用气候资源,有效保护生态环境等都具有十分重要的科学意义和实际意义。

## 1 资料与方法

本文利用 1964—2013 年秋季(9—11 月)美国 NCEP/NCAR 月平均再分析资料集(Kalnay et al, 1996),水平分辨率  $2.5^{\circ} \times 2.5^{\circ}$ ,考虑台站观测资料长度及其完整性,选取贵州省 81 个站(图 1)作为研究对象。定义日降水量  $\geq 0.1$  mm 为一个雨日(降水日和降雪日),将逐日的降水资料进行处理得到各站 1964—2013 年的雨日数。本文采用的主要统计方法有线性趋势分析(施能等, 2004)、M-K 分析(Libiseller and Grim, 2002)、Morlet 小波分析(林振山和邓自旺, 1999)、相关分析、合成分析和  $t$  检验等方法。除特别说明外,文中所有异常均指秋季 3 个

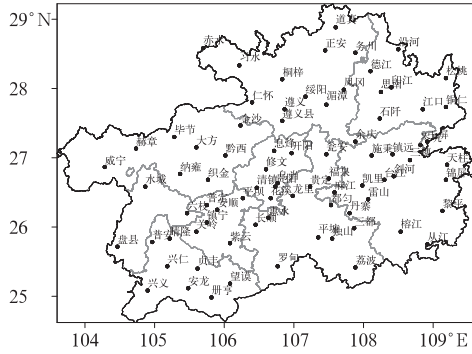


图 1 贵州省 81 个测站分布

Fig. 1 Distribution of 81 observation stations in Guizhou

月的平均量与其气候态的偏差,而气候态均指同时段的 3 个月平均的多年平均(1981—2010 年)。

## 2 秋季雨日时空变化

### 2.1 秋季雨日的气候特征

图 2 给出了贵州省近 50 年秋季平均雨日数分布,可以看到贵州省秋季雨日由东南部向西北部逐渐增多,雨日一般为 30.0~52.3 d。雨日在 40 d 以上的区域主要分布在黔西北地区,其中 45 d 以上雨日的区域分布在毕节市大部、六盘水市、遵义市西北部、黔西南州北部和贵阳市局部,尤其是毕节市中部雨日达 50 d 以上。而东南大部雨日在 40 d 以下,其中雨日 < 35 d 的区域主要分布在黔西南州东南局部、黔南州南部、黔东南州南部及铜仁市局部。全省秋季雨日数平均为 40.5 d,其中 9、10 和 11 月的雨日分别有 12.9、15.5 和 12.1 d。

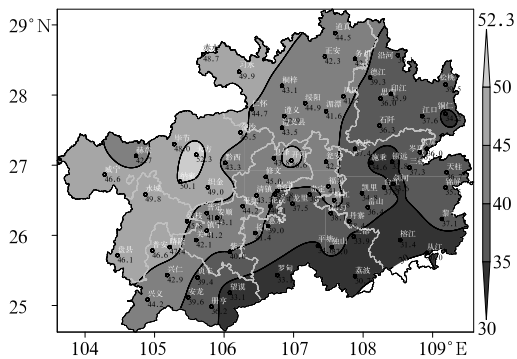


图 2 贵州省近 50 年秋季平均雨日(单位: d)分布

Fig. 2 Distribution of mean autumn rainy days over Guizhou for recent 50 years (unit: d)

### 2.2 秋季雨日演变趋势及主要周期特征

据图 3 分析得出,贵州近 50 年秋季平均雨日数为 40.5 d,整体呈减少趋势,其趋势系数为  $-0.4576$ ,通过了 0.001 的显著性水平检验,每 10 年减少 1.9 d。近年来贵州省秋季雨日出现了较大幅度的减少,其中雨日数最多的是 1972 年,达 55.8 d,最少的是 1998 年,仅为 28.8 d。基于近 50 年秋季雨日数标准化时间序列,以超过(低于)标准化值 1(-1)对应的偏多(偏少)年作为划分标准,得出偏多年是 1964、1967、1972、1981、1982 和 2012 年,共计 6 年,偏少年是 1979、1988、1992、1998、2001、2007、2008 和 2009 年,共计 8 年。我们将在下文针对上述年份的有关气象要素进行了合成差值分析,即用贵州秋季雨日异常偏多年减去异常偏少年。另外,需要说明的是,用以进行合成差值分析的气象要素均为滤除了气候态的距平。

为得到贵州秋季雨日数的趋势突变,使用 M-K 法对雨日数序列进行了突变检验。由 UF 曲线(图 4)可见,20 世纪 60 年代,贵州秋季雨日数有一定的减少趋势,从 70 年代初期至 80 年代后期又出现了小幅的增加,之后又呈现明显的减少。20 世纪 90 年代末期这种趋势超过 0.05 的显著性水平检验,雨日数的减少趋势显著。根据 UF 和 UB 曲线交点的位置,表明 1987 年前后是秋季雨日数由多变少的转折点。结合图 3 分析,1964—1986 年秋季雨日偏多年有 5 年,1988—2013 年秋季雨日偏少年有 7 年。

为得到多尺度变化信息,对贵州近 50 年秋季雨日数进行小波及功率谱分析(图 5)。据图 5a 分析可得,20 世纪 90 年代以前,贵州秋季雨日存在 4~6 a 的振荡周期,之后的活动周期有所减弱,基本上

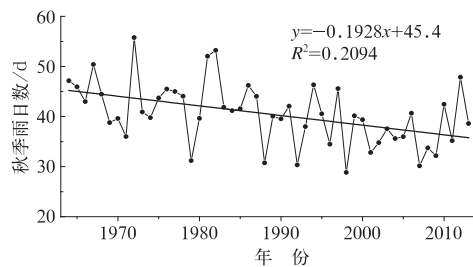


图 3 贵州省 1964—2013 年秋季雨日趋势变化图

Fig. 3 The trend of Guizhou autumn rainy days over 1964—2013

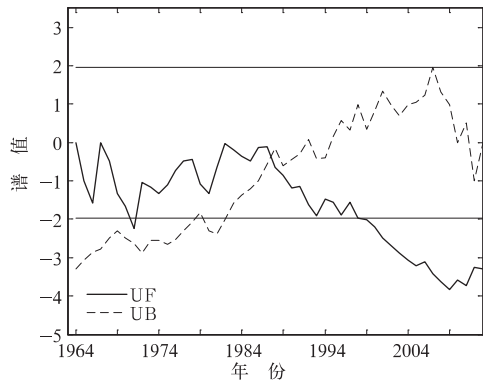


图 4 贵州秋季雨日数的 M-K 统计量曲线  
(直线为  $\alpha=0.05$  显著性水平检验临界值)  
Fig. 4 Mann-Kendall abrupt change test  
of autumn rainy days  
(Straight solid lines are for  $\alpha=0.05$  positive  
and negative significance levels respectively)

以 3 年左右为主。结合功率谱分析对应的方差分布可知(图 5b),与小波分析的结果相一致,在整个时间域上贵州的秋季雨日数存在显著的 3.5~5 a 左右的振荡周期,此外,尽管在超过 16 a 的活动周期上仍存在较大的方差,但结合小波分析可知,其处在受边界影响的区域内,可信度较低。因此,上述研究表明贵州省近 50 年秋季雨日数存在年际振荡特征。

### 2.3 秋季及其各月雨日数趋势的空间分布特征

通过对秋季及其各月秋季雨日数进行统计,绘制了贵州省 81 站秋季及其各月雨日数近 50 年的趋

势系数分布(图 6)。由图可见,全省秋季雨日呈减少趋势,其中在黔中西部 and 北部地区最为显著,毕节市中西部、六盘水市中西部、黔西南州、安顺市南部、黔南州西南部和遵义市北部地区的秋季雨日趋势系数达到  $-0.443 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,全省 81 站点中有 64 个站点通过  $\alpha=0.05$  的显著性水平检验,其中有 45 个站点甚至通过了  $\alpha=0.01$  的显著性水平检验(图 6a)。

同时,对秋季各月雨日数的趋势系数进行分析,9 月雨日数呈减少趋势,黔中西部雨日数趋势系数达到  $-0.354 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,全省有 49 站通过 0.05 的显著性水平检验,其中 34 站通过 0.01 的显著性水平检验(图 6);10 月雨日数除毕节市东部、遵义市西部、贵阳市东北部、铜仁市中部以及黔东南州局部等地区呈弱增加趋势外,其余区域呈减少趋势,省南部边缘和铜仁市局部、遵义市局部雨日数趋势系数达到  $-0.273 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,全省有 9 站通过 0.05 的显著性水平检验,其中 2 站达到 0.01 的显著性水平检验(图 6c);11 月雨日数呈减少趋势,黔西南大部、遵义市北部、铜仁市东部、黔东南州中部和毕节市局部雨日数趋势系数达到  $-0.354 \text{ d} \cdot \text{a}^{-1}$ ,全省有 31 站通过 0.05 的显著性水平检验,其中 13 站通过 0.01 的显著性水平检验(图 6d)。进一步将秋季全省各站的趋势系数与各月对应的趋势系数进行相关统计,其相关系数分别为 0.5699(9 月)、0.5364(10 月)和 0.8395(11 月),表明贵州近 50 年秋季雨日数趋势变化与 11 月雨日数趋势变化非常类似。

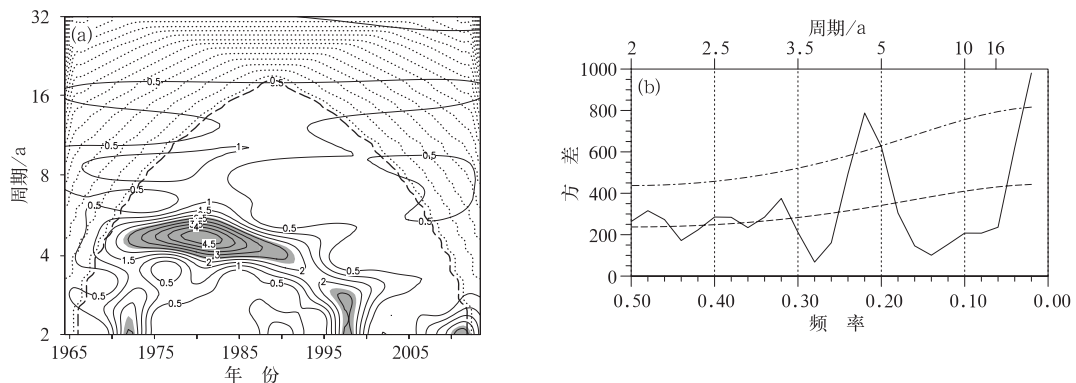


图 5 1964—2013 年贵州秋季雨日的 Morlet 小波分析(a,阴影部分表示通过 0.10 显著性水平检验,点虚线区域是小波变换受边界影响的区域)及全时域功率谱(b,实线为方差,虚线表示通过 0.10 显著性水平的统计检验值,点虚线表示红噪声检验标准值)  
Fig. 5 Morlet wavelet analysis (a, shaded areas are for values above the 0.10 level of significance test and dotted line for affected area by wavelet transform) and power spectrum analysis (b, solid line is for variance while dotted line for the value above the 0.10 level of significance test and dotted line for red noise test value) of the autumn rainy days in Guizhou from 1964 to 2013

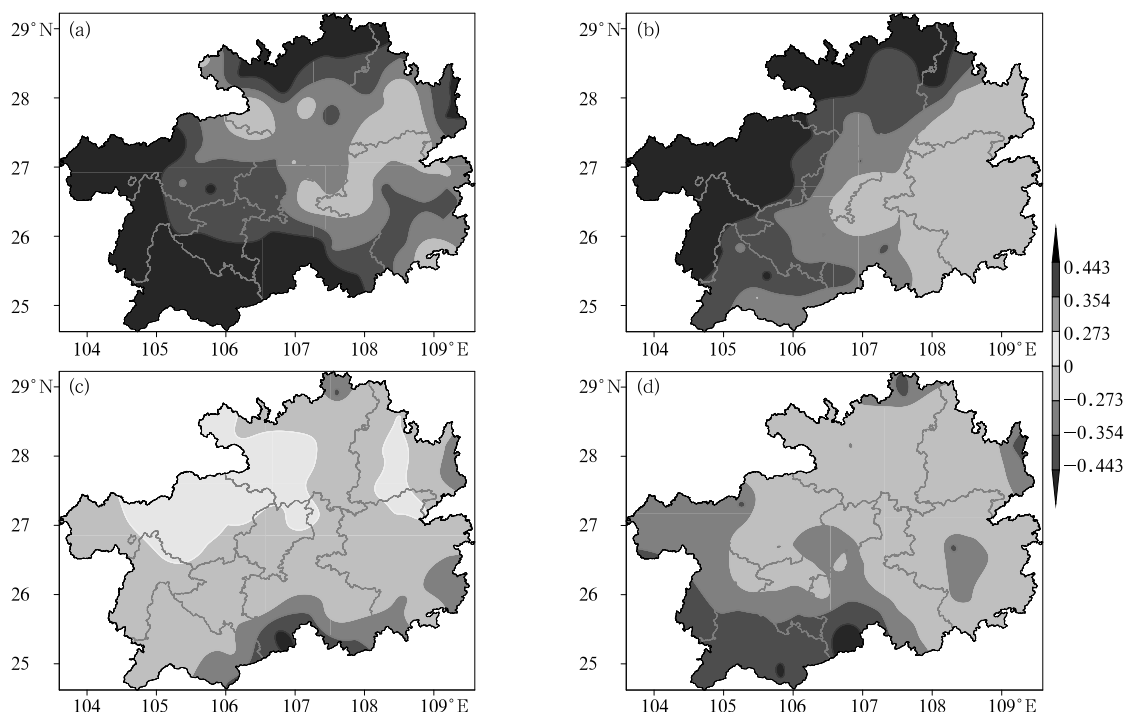


图 6 贵州省近 50 年秋季各月雨日数的趋势系数(单位:  $d \cdot a^{-1}$ )分布  
(0.443, 0.354, 0.273 分别表示趋势系数通过 0.001, 0.01, 0.05 显著性水平检验)  
(a) 秋季, (b) 9 月, (c) 10 月, (d) 11 月

Fig. 6 Trend coefficients of autumn rainy days of Guizhou during the past 50 years (unit:  $d \cdot a^{-1}$ )  
(a) Autumn, (b) September, (c) October, (d) November  
(The values 0.443, 0.354, 0.273 indicate that the trend coefficients have passed the significance test at levels of 0.001, 0.01 and 0.05, respectively)

### 3 秋季雨日数异常的大气环流特征

#### 3.1 水汽输送

降水的多寡与是否存在丰富的水汽来源及畅通的水汽通道存在密切联系。为分析在贵州秋季雨日异常偏多与偏少时的水汽输送差异,下文分别给出了中国南方地区秋季 700 hPa 及整层大气积分的水汽通量、水汽通量散度的合成差值(图 7)。由于大气中的水汽含量大值区集中在 850~700 hPa(李秀珍等, 2010),同时考虑到贵州地区的地势高度,以及大气中的水汽含量及水汽输送主要位于 300 hPa 以下的对流层中低层,因此整层水汽通量的积分仅从地表( $P_s$ )计算至高空 300 hPa。

由图 7 可见,无论是 700 hPa 还是整层大气,在中国的江南、华南地区存在显著的异常反气旋式环流,反气旋西侧强盛的偏南气流将来源于南海及西北太平洋地区的水汽源源不断地向我国西南地区东

部及长江中下游地区输送。与此同时,在孟加拉湾的东南地区存在异常的气旋式环流,尽管尺度与强度不及中国江南地区的反气旋,但其东侧的偏南气流仍然对包括贵州在内的西南地区东部的水汽输送起到了加强作用,促进水汽向贵州地区的聚集。同时亦说明,造成贵州地区秋季雨日异常偏多的水汽来源中,南海地区上空的水汽占据了更为重要的地位。而在水汽通量散度的分布中可见,包含贵州在内的西南地区东部为显著的水汽通量辐合,其中整层水汽通量散度的辐合中心位于川渝交界的北部,中心值超过了  $0.04 g \cdot cm^{-2} \cdot hPa^{-1} \cdot s^{-1}$ ,水汽通量的辐合亦为上述地区提供了充足的水汽来源及降水条件,从而促进贵州地区秋季降水的异常偏强、雨日数的异常偏多。

#### 3.2 东亚地区异常水平环流

异常的降水与水汽输送往往同异常的水平环流形势相联系,如南支槽、热低压、西风带北支高压脊等均是影响我国贵州地区降水的重要天气系统(王

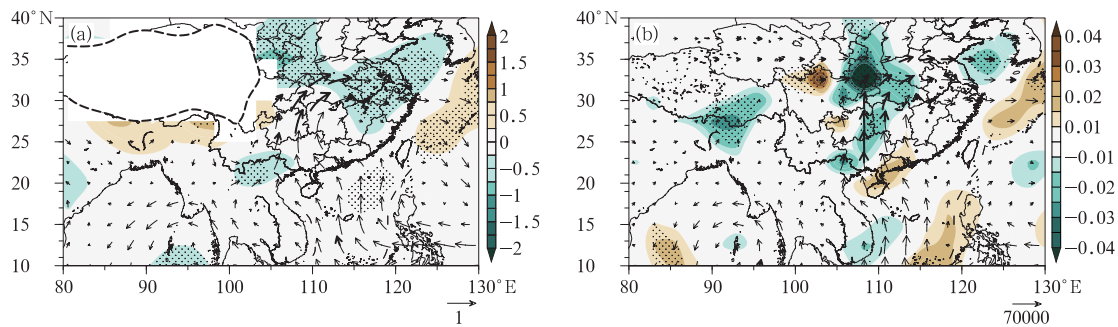


图 7 中国南方地区秋季 700 hPa(a,虚线为 3000 m 地形)及整层大气积分(b)的水汽通量(箭头, 单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,加粗箭头表示通过 0.05 显著性水平  $t$  检验)、水汽通量散度(阴影, 单位: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ,其中 700 hPa 上已放大  $10^6$  倍,打点区域 表示通过 0.05 显著性水平  $t$  检验)的合成差值

Fig. 7 Composite differences of vapor fluxes (vectors, unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) and divergence of the fluxes (shaded area, unit: $\text{g} \cdot \text{cm}^{-2} \cdot \text{hPa}^{-1} \cdot \text{s}^{-1}$ ) at 700 hPa (a) and those as integrated from the earth surface up to 300 hPa (b) (Blacken arrows and dotted area are for significance values above the 0.05 level of significance test)

斌和李跃清,2010;池再香等,2012;杨静等,2013)。下面针对对流层不同层次的东亚地区秋季风场的辐散分量与旋转分量、散度、垂直速度以及海平面气压等有关气象要素进行了合成差值(图 8)分析。

海平面气压的合成差值(图 8a)显示,45°N 以北的北半球中高纬地区为显著的海平面气压正异常,正异常中心位于西伯利亚高原南部,异常值超过了 4 hPa,而 45°N 以南的广大亚洲中低纬地区均为海平面气压的负异常分布,在中亚及朝鲜半岛附近区域分别存在两个低于-1.2 hPa 的负异常中心。而在对流层中层 500 hPa 的异常垂直速度分布中,包括贵州地区在内的中国西南地区及华中地区均处于明显的异常上升气流控制区域。这亦与前文中水汽通量的辐合抬升形成较好的对应。

从 700 hPa 水平风场的旋转分量异常分布(图 8b)上可见,亚洲大陆上空中低层大气中存在多个异常气旋式环流系统,如青藏高原西北侧、河套地区及中南半岛西北部均存在异常的气旋中心。其中,与水汽通量相联系,中南半岛地区异常气旋东侧的偏南气流对于中国西南地区上空的水汽输送具有重要作用,而位于河套地区的异常气旋则更进一步与海平面气压异常分布形成了较好的对应关系,由于中高纬异常气旋系统的活跃,促使南方暖湿空气在西南地区、江南地区聚集,形成强烈的辐合中心,从而促进贵州等地降水的形成,造成降雨日数的增加。而由于东南亚及台湾东部的两个异常反气旋的活跃,使得这两个异常反气旋系统间的低槽系统在

中国南方地区维持,水汽通量的输送通道得以更好地体现。另外,在对流层高层(200 hPa,图 8c),中国南方地区上空存在明显的异常辐合中心,反映了当地上空大气的准正压结构特征,亦说明自下而上的辐合抬升运动占据了西南地区的各层大气。

### 3.3 位势高度异常分布

由对流层高层 200 hPa 的欧亚地区秋季位势高度的合成差值分布可见,除亚洲地区中高纬度的中西伯利亚高原周边区域、中国中部及北太平洋上空存在高度的正异常外,其余地区均呈现为位势高度的负异常,其中正异常中心位于中西伯利亚高原上,负异常中心则位于日本及其附近地区的上空。与气候态的位势高度分布相比可知,亚洲东岸的大槽有所加深,导致高层的经向气流强度有所加大。虽然亚洲中、高纬度的位势高度异常呈现出一定的“一十”分布型,但并不显著。

对流层中层(500 hPa)与低层(700 hPa)的欧亚地区秋季位势高度异常分布形势与高层较为相似,即亚洲中部的高纬度地区均为位势高度的正距平,其中在 500 hPa 高空的位势高度正异常中心达到了 20 gpm。与高层 200 hPa 略有不同,对流层中低层的亚洲中纬度地区以及东欧的高纬地区均呈现显著的位势高度负异常分布,负异常中心分别位于日本附近、我国北方和东欧高纬地区。欧亚高纬度地区,位势高度异常呈现“一十”的分布型,且低层较高层更加显著。因此,对流层中低层的东亚大槽异常

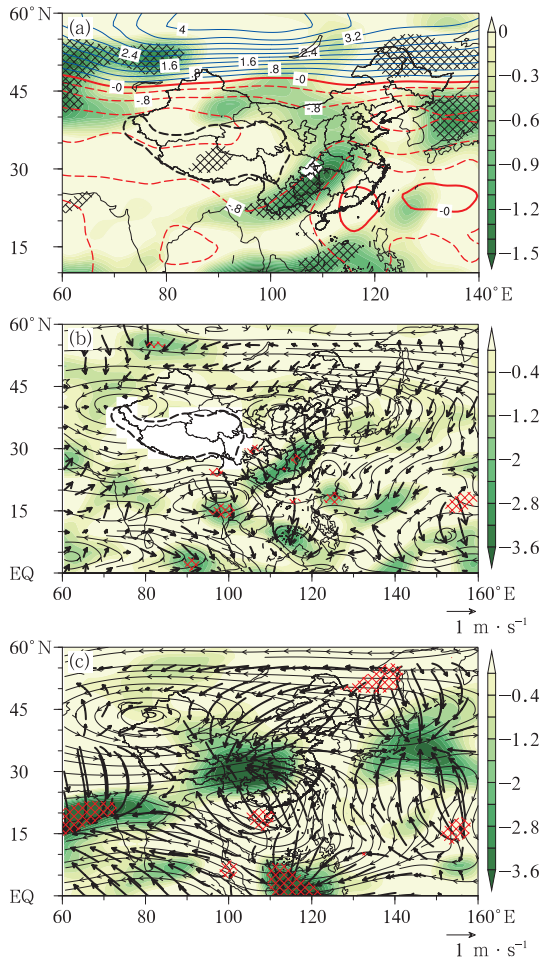


图 8 东亚地区秋季海平面气压(SLP)、500 hPa 垂直速度(a,等值线表示 SLP,单位:hPa,阴影表示垂直速度,单位: $m \cdot s^{-1}$ ,交叉斜线区域为 SLP 通过 0.05 显著性水平  $t$  检验的区域),700 hPa 风场、散度(b,粗虚线表示地形高于 3000 m 的区域)及 200 hPa 风场、散度(c)的合成差值

(图 8b 和 8c 中箭头为辐散风,流线为旋转风;阴影为散度,单位: $10^{-6} s^{-1}$ ,交叉斜线区域表示通过 0.05 显著性水平  $t$  检验)

Fig. 8 Composite differences of (a) sea level pressure anomalies (contours, unit: hPa) and vertical velocity at 500 hPa (shaded area, unit:  $m \cdot s^{-1}$ ) the rotational (streamlines) and divergent (arrows) components of winds as well as wind divergence (shaded area, unit:  $10^{-6} s^{-1}$ ) at (b) 700 hPa and (c) 200 hPa above East Asia in autumn (Cross-hatched areas are for significant values of divergence above the 0.05 level of significance test; thick dash lines indicate areas above 3000 m in Fig. 8a and Fig. 8b)

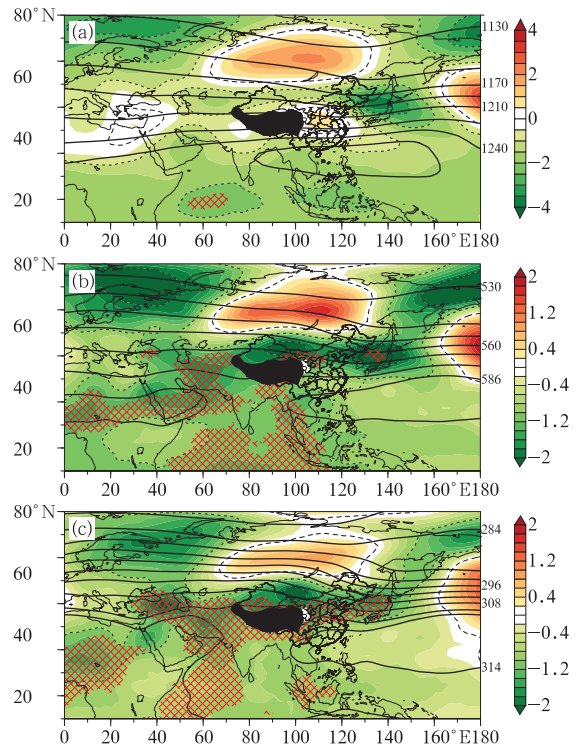


图 9 欧亚地区秋季 200 hPa(a)、500 hPa(b)、700 hPa(c)位势高度的多年平均(黑色实线,单位:dagpm)与合成差值分布

(阴影为位势高度异常,单位:dagpm,细虚线为 0 线,交叉斜线区域表示通过 0.05 显著性水平  $t$  检验)

Fig. 9 Mean climatology of geopotential height (contours) along with the composite difference of geopotential height anomalies (shaded area, unit: dagpm) at 700 hPa (a), 500 hPa (b), and 200 hPa (c) above Eurasian in autumn (Cross-hatched areas show values of geopotential height anomalies above the 0.05 level of significance test)

偏强,欧亚中高纬度地区西风急流减弱,经向环流显著增强,有利于高纬度地区冷空气的南下。而与显著的位势高度负异常相对应的南亚地区印缅槽异常活跃,槽前偏南暖湿气流强盛,从而有利于中高纬度的冷空气与南方暖湿空气在贵州地区交汇,促进当地降水的形成,造成贵州秋季雨日异常偏多。

反之,在贵州地区秋季雨日数异常偏少时(图略),欧洲中部地区和北美洲西北部地区为负距平,中纬度对应的亚洲中部、太平洋、北美洲中部以及东部地区为正距平。东亚大槽偏弱,亚洲中高纬地区气流趋于平直,纬向环流盛行,经向环流相对偏弱,不利于冷空气南侵。与此同时,副热带高压异常偏

强偏北,贵州地区更多地受到副热带高压内部的下沉气流控制,不利于贵州地区降水的形成,从而造成贵州秋季雨日相对偏少。

## 4 结 论

基于贵州秋季雨日数,利用多种统计方法,分析了贵州秋季雨日数的时空变化特征,并进一步对贵州秋季雨日数的突变、周期及其异常的大气环流特征等展开诊断分析,初步得出以下结果:

(1) 贵州省秋季雨日数由东南部向西北部逐渐增多,雨日一般在 30.0~52.3 d。其中雨日数大于 45 d 的区域主要集中在毕节市大部、六盘水市、遵义市西北部、黔西南州北部和贵阳市局部,而雨日数 < 35 d 的区域主要分布在黔西南州东南局部、黔南州南部、黔东南州南部及铜仁市局部。

(2) 贵州省近 50 年秋季平均雨日数为 40.5 d,整体呈减少趋势,每 10 年雨日减少 1.9 d,1987 年前后是秋季雨日数由多变少的转折点。秋季雨日偏多年是 1964、1967、1972、1981、1982 和 2012 年,偏少年是 1979、1988、1992、1998、2001、2007、2008 和 2009 年。

(3) 贵州省近 50 年秋季雨日序列存在显著的准 5 a 和 2~3 a 的振荡周期,其中准 5 a 振荡最明显,2~3 a 振荡周期为次之。同时,贵州省秋季雨日数呈减少趋势,省的中西部和北部地区最为显著,即毕节市中西部、六盘水市中西部、黔西南州大部、安顺市南部、黔南州西南大部和遵义市北部的秋季雨日趋势系数均通过 0.001 的显著性水平检验。

(4) 在贵州地区秋季雨日数异常偏多时,无论是 700 hPa 还是整层大气,在东南亚及中国东海地区存在显著的异常反气旋式环流,以及在孟加拉湾的东南地区存在异常的气旋式环流,其东侧的偏南气流对西南地区东部的水汽输送起到了加强作用,促进水汽向贵州地区的聚集。在对流层中层 500 hPa 的异常垂直速度分布中,包括贵州地区在内的西南地区处于明显的异常上升气流控制区域。由于中高纬异常气旋系统的活跃,促使南方暖湿空气在中国西南、江南地区聚集,并形成强烈的辐合中心,从而产生更多的降水,造成降雨日数的异常偏多。同时,对流层中、低层大气中的亚洲高纬度地区均为位势高度的异常正距平,亚洲中纬度地区为位势高度的负异常分布,欧亚中高纬度地区呈位势高

度的“一十一”分布型,而东亚大槽偏强,低纬度地区槽脊略有加深,贵州处于印缅槽前,偏南暖湿气流强盛,从而有利于冷、暖空气在贵州地区交汇,促进当地降水的形成,反之亦然。

## 参考文献

- 白虎志,2006. 西北地区东部秋季降水日数时空特征分析[J]. 气象科技,34(1):47-51.
- 白虎志,董文杰,2004. 华西秋雨的气候特征及成因分析[J]. 高原气象,23(6):884-889.
- 曹永强,刘佳佳,高璐,2015. 辽宁省大雨以上降水日数分布与趋势分析[J]. 地理科学进展,34(8):1052-1060.
- 陈忠明,刘富明,赵平,等,2001. 青藏高原地表热状况与华西秋雨[J]. 高原气象,20(1):94-99.
- 池再香,杜正静,陈忠明,等,2012. 2009—2010 年贵州秋、冬、春季干旱气象要素与环流特征分析[J]. 高原气象,31(1):176-184.
- 丁永红,冯建民,马筛艳,等,2012. 宁夏降雪日数的气候特征和环流结构[J]. 气象,38(12):1523-1531.
- 符传博,吴润,丹利,2011. 近 50 年云南省雨日及降水量的气候变化[J]. 高原气象,30(4):1027-1033.
- 符娇兰,林祥,钱维宏,2008. 中国夏季分级雨日的时空特征[J]. 热带气象学报,24(4):367-373.
- 李秀珍,梁卫,温之平,2010. 华南秋、冬、春季水汽输送特征及其与降水异常的联系[J]. 热带气象学报,26(5):626-632.
- 李聪,肖子牛,张晓玲,2012. 近 60 年中国不同区域降水的气候变化特征[J]. 气象,38(4):419-424.
- 李耀辉,李栋梁,赵庆云,2001. 中国西北地区秋季降水异常的特征分析[J]. 高原气象,20(2):94-99.
- 林振山,邓自旺,1999. 子波气候诊断技术的研究[M]. 北京:气象出版社:174.
- 罗霄,李栋梁,王慧,2013. 华西秋雨演变的新特征及其对大气环流的响应[J]. 高原气象,32(4):1019-1031.
- 宁亮,钱永甫,2008. 中国年和季各等级日降水量的变化趋势分析[J]. 高原气象,27(5):1010-1020.
- 施能,顾骏强,黄先香,等,2004. 合成风场的统计检验和蒙特卡洛检验[J]. 大气科学,28(6):950-956.
- 汪靖,吕江津,2011. 天津地区雨季降水异常年大气环流特征分析[J]. 气象,37(8):950-955.
- 王斌,李跃清,2010. 2010 年秋冬季西南地区严重干旱与南支槽关系分析[J]. 高原山地气象研究,30(4):26-35.
- 王芬,曹杰,李腹广,等,2015. 贵州不同等级降水日数气候特征及其与降水量的关系[J]. 高原气象,34(1):145-154.
- 王红霞,柳小妮,李纯斌,等,2013. 甘肃省近 42 年降水量变化时空分布格局分析[J]. 中国农业气象,34(4):384-389.
- 徐新创,张学珍,戴尔阜,等,2014. 1961—2010 年中国降水强度变化趋势及其对降水量影响分析[J]. 地理研究,33(7):1335-1347.
- 杨静,汪超,雷云,等,2013. 春季西南热低压的发生发展与结构特征[J]. 气象,39(2):146-155.
- 张秉祥,韩军彩,陈静,等,2012. 华北地区空中水汽含量与降水量的关系[J]. 干旱气象,30(2):207-214.



- 张琪,李跃清,2014.近48年西南地区降水量和雨日的气候变化特征[J].高原气象,33(2):372-383.
- Bai A J, Zhai P M, Liu X D, 2007. Climatology and trends of wet spells in China[J]. *Theor Appl Climatol*, 88(3):139-148.
- Feng X L, Luo L C, Feng Z L, et al, 2009. Fractal research on rainy day change trend in China[J]. *J Nat Disasters*, 18(6):112-117.
- Goswami B N, Venugopal V, Madhusoodanan M S, et al, 2006. Increasing trend of extreme rain events over India in a warming environment[J]. *Science*, 314(5804):1142-1445.
- Groisman P Y, Knight R W, 2008. Prolonged dry episodes over the conterminous United States: new tendencies emerging during the last 40 years[J]. *J Climate*, 21(9):1850-1862.
- Kalnay E, Kanamitsu M, Kistler R, et al, 1996. The NCEP/NCAR 40-year reanalysis project[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 77(3):437-472.
- Libiseller C, Grimvall A, 2002. Performance of Partial Mann-Kendall test for trend detection in the presence of covariates[J]. *Environmetrics*, 13(1):71-84.
- Liu B, Chen J, Lu W, et al, 2015. Spatiotemporal characteristics of precipitation changes in the pearl river basin, china[J]. *Theor Appl Climatol*, 123(3):1-14.
- Llano M P, Penalba O P, 2011. A climatic analysis of dry sequences in Argentina[J]. *Int J Climatol*, 31(4):504-513.
- Qian W, Lin X, 2005. Regional trends in recent precipitation indices in China[J]. *Meteor Atmos Phys*, 90(3):193-207.
- Schmidli J, Frei C, 2005. Trends of heavy precipitation and wet and dry spells in Switzerland during the 20th century[J]. *Int J Climatol*, 25(6):753-771.
- Zhang Q, Xu C Y, Becker S, et al, 2009. Trends and abrupt changes of precipitation maxima in the pearl river basin china[J]. *Atmos Sci Lett*, 10(2):132-144.
- Zhang S Q, Ma Z F, Chen W X, et al, 2014. Area-differentiation of changing trend and periodic characteristics of autumn continuous rainy days in Southwest China[J]. *J Nat Res*, 29(2):275-284.