

太阳活动与 ENSO 事件对云南省旱涝灾害的影响

吴梦初, 延军平

(陕西师范大学 旅游与环境学院, 陕西 西安 710062)

摘要: 根据云南省 29 个气象站点 1958—2011 年的逐月降水资料, 运用 Z 指数法界定旱涝等级和年份, 采用频次分析和 Morlet 小波技术分析了太阳活动与 ENSO(厄尔尼诺和拉尼娜)事件对云南省旱涝灾害的影响。结果表明: (1) 近 54 a 云南省年均降水量总体呈下降趋势, 下降速率为 4.505 mm/10 a; 旱涝灾害的发生呈增加趋势, 进入 21 世纪之后旱灾发生频率明显高于涝灾发生频率。(2) 除了 1967—1972 年, 20 世纪 60—90 年代太阳黑子数和云南省旱涝指数呈明显的负相关关系。90 年代中后期至今, 二者则呈正相关关系。太阳黑子的减少趋势与研究区干旱化趋势相同。(3) ENSO 事件与云南省旱涝灾害在 14 a 左右存在较好的周期对应关系; 厄尔尼诺强度增大时研究区旱灾增多, 拉尼娜强度增大时涝灾增多。

关键词: 旱涝灾害; 太阳黑子; ENSO 事件; 云南省

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2014)04-0280-05

中图分类号: P426.616, P732

DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2014.04.068

Influence of Solar Activities and ENSO Events on Drought and Flood in Yunnan Province

WU Meng-chu, YAN Jun-ping

(College of Tourism and Environment, Shaanxi Normal University, Xi'an, Shaanxi 710062, China)

Abstract: Based on the monthly meteorological data of 29 stations in Yunnan Province during 1958—2011, after defining the level and years of droughts and floods by Z index, the influence of sunspot activity and ENSO(El-Nino—La-Nina) events on droughts and floods was analyzed by using frequency analysis and Morlet wavelet method. The results showed that: (1) In recent 54 years, the precipitation in Yunnan Province was decreasing with the speed of 4.505 mm/10 a, and the occurrence of drought and flood disasters was increased, and drought frequency was significantly higher than that of flood since the 21st Century. (2) The drought and flood disasters and the sunspot number were negatively correlated in 1960—1989 except 1967—1972, and turn to positively correlated after 1990; the sunspots decreasing trend was the same as drought trend. (3) There was a 14 years cycle correlation between ENSO events and drought and flood disasters in Yunnan Province. The drought disasters increased with the El-Nino intensity increase, and the flood disasters increased with the La-Nina intensity increase.

Keywords: drought and flood disasters; sunspot; ENSO events; Yunnan Province

旱涝是我国较为常见的灾害类型, 长期困扰着工农业生产^[1]。2009 年 12 月至翌年 2 月, 我国的西南地区尤其是云南省出现了由于降水异常偏少而造成的严重旱情, 给人民生命财产带来了巨大的损失。有研究表明, 太阳活动、ENSO 事件等对气候变化及某些自然灾害有重要影响。宋洁^[2]等对云南省严重干旱原因的分析表明, 在 ENSO 为暖位相的冬季, 北大西洋涛动与该省降水关系更为紧密。董安祥^[3]等研

究陕、甘、宁、青太阳黑子发生规律及影响发现, 在太阳黑子低谷年更容易出现旱年, 而多雨年在太阳黑子的各个位相均可能出现。赵娟^[4]等应用小波分析, 研究了太阳黑子活动与北京地区降水的关系, 认为太阳黑子活动与北京地区年降水量密切相关。近年来, 学者们对云南省旱涝灾害的特征进行了大量的研究^[5-9], 但是对该地区旱涝变化与太阳黑子及 ENSO 事件的相关性研究仍然较少。鉴于此, 本研究以云南

收稿日期: 2013-07-18

修回日期: 2013-08-12

资助项目: 国家自然科学基金项目“部分重大自然灾害的时空对称性: 结构、机理与适应对策”(41171090)

作者简介: 吴梦初(1990—), 女(汉族), 陕西省蒲城县人, 硕士研究生, 研究方向为区域开发与城乡发展。E-mail: changanyizhong0821@163.com。

通信作者: 延军平(1956—), 男(汉族), 陕西省绥德县人, 教授, 博士生导师, 主要从事区域自然灾害和区域开发研究。E-mail: yanjp@snnu.edu.cn。

省为对象,分析该省气候变化及旱涝灾害特征,探索太阳活动与 ENSO 事件对旱涝灾害的影响,以期为该地区人民的农业生产生活,以及为当地政府及时制定科学有效的救灾防灾措施提供理论指导。

1 材料与方 法

1.1 数据来源

考虑到气象资料的完整度和均一性,选取云南省 29 个气象站 1958—2011 年的逐月降水量,分析太阳活动与 ENSO 事件对研究区旱涝灾害的影响。气象数据来源于中国气象科学数据共享服务网;太阳黑子数据取自网站 <http://sidc.oma.be/index.php3>; ENSO 事件的确定与划分方法为:将海温距平值高于或低于正常值超过 2 个季度(6 个月以上)的年份划分为厄尔尼诺(El-Nino)年和拉尼娜(La-Nina)年。同时根据海温距平值的高低将 ENSO 的冷暖事件按强、中、弱标准分别划分为不同等级,暖事件划分强(3)、中等(2)、弱(1)和正常年(0)为厄尔尼诺年,冷事件划分强(-3)、中(-2)、弱(-1)和正常年(0)为拉尼娜年^[10]。按上述方法确定和划分 1958—2011 年的 ENSO 事件等级,统计结果详见表 1。

表 1 1958—2011 年 ENSO 事件等级划分

等 级	年份统计
厄尔尼诺 发生年	3 1972,1982,1983,1986,1987,1997,2009 年
	2 1958,1965,1991,1993,1994,2010 年
	1 1963,1976,2002,2004,2005,2006 年
正常年	0 剩余年份未列出(共 20 a)
拉尼娜 发生年	-1 1961,1962,1964,1984,1985,1995 年
	-2 1968,1970,2011 年
	-3 1973,1975,1988,1999,2000,2007 年

1.2 研究区概况

云南省地处低纬度高原,为高原山区省份。总面

积约 $3.9 \times 10^5 \text{ km}^2$,占全国面积的 4.11%;总人口 4.60×10^7 人,占全国总人口的 3.35%。该省地理位置特殊,地形地貌复杂,主要受孟加拉湾西南季风的影响形成高原季风气候。大体上,西北部是高山深谷的横断山区,东部和南部是云贵高原;该省大部分地区年降水量在 1 100 mm 以上,南部部分地区可达 1 600 mm 以上,降水在季节上和地域上的分配极不均匀。

1.3 研究方法

1.3.1 旱涝指标的确定 常用的旱涝指标有 3 种: Z 指数、标准化降水指数(SPI)和湿润指数。根据段旭^[5]等的研究认为云南省旱涝等级标准以 Z 指数划分为宜。

Z 指数法是对某站点某时间段内历年降水量进行统计而得出旱涝等级。首先对降水量进行正态化处理,然后将其概率密度函数通过转换得到 Z 指数:

$$Z = \frac{6}{C_s} \left[\frac{C_s}{2} \varphi + 1 \right]^{\frac{1}{3}} - \frac{6}{C_s} + \frac{C_s}{6}$$

式中: C_s ——偏态系数; φ ——标准变量,二者均可由降水资料序列计算求得,计算公式分别为:

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n\sigma^3}, \quad \varphi = \frac{X_i - \bar{X}}{\sigma}$$

$$\text{其中: } \sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{N}} \quad (\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i)$$

1.3.2 云南省旱涝频次分布 根据 Z 指数的计算结果,可以得出云南省旱涝灾害发生年份(表 2)。由表 2 可以看出,在 1958—2011 年的 54 a 中,该地区共发生 5 次特涝,6 次特旱,分别占 54 a 中的 9.26% 和 11.11%;偏涝发生 16 次,所占比例为 29.63%,偏旱发生 13 次,所占比例为 24.07%。近 54 a 中,云南省平均 1.35 a 左右发生 1 次旱涝灾害,旱涝灾害的发生频率较高^[11]。

表 2 云南省旱涝等级及频次统计

Z 指数值	旱涝等级	云南省	所占比例/%
$Z > 1.282$	1 级(特涝)	1961,1973,1983,1999,2001 年	9.26
$0.524 < Z \leq 1.282$	2 级(偏涝)	1959,1965,1966 等 16 a	29.63
$-0.524 \leq Z \leq 0.524$	3 级(正常)	1963,1964,1967 等 14 a	25.93
$-1.282 \leq Z < -0.524$	4 级(偏旱)	1958,1962,1972 等 13 a	24.07
$Z < -1.282$	5 级(特旱)	1960,1969,1992,2003,2009,2010 年	11.11

1.3.3 Morlet 小波变换分析 时间序列的周期演变是自然和社会中的常见现象,年内、年际降雨和温度的变化都表现出明显的周期性。小波分析方法可以通过伸缩和平移等运算功能对函数或信号序列进行多尺度细化分析,研究不同尺度(周期)随时间的演变情况^[12]。

Morlet 连续复小波变换形式为:

$$\varphi(x) = e^{-x^2/2} \cdot e^{i\omega_0 x}$$

式中: $\varphi(x)$ ——基本小波或母小波; x ——时间; ω_0 ——常数。小波系数实部反映了给定时间和尺度下,相对于其它时间和尺度信号的强弱和位相两方面的信息。

2 结果与分析

2.1 云南省降水量变化及旱涝灾害特点

分析云南省 1958—2011 年降水量变化特征(图 1)可知,近 54 a 研究区年平均降水量为 1 111.91 mm,以 4.505 mm/10 a 的速率减少,其中 $R^2=0.0057$,未通过 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验。20 世纪 60—70 年代和 90 年代降水以正距平为主,该时期研究区降水相对丰沛。2001 年云南省降水进入近 54 a 来的相对较少时期,降水减少速率显著加快,为 19.78 mm/a($R^2=0.2758$,通过了 $\alpha=0.05$ 的显著性水平检验)。其中,2001 年降水量出现极大值,为 1 291.02 mm,极小值出现在 2009 年,为 908.96 mm。总体来看,近 54 a 云南省降水经历了从相对丰沛向相对较少转变的趋势。

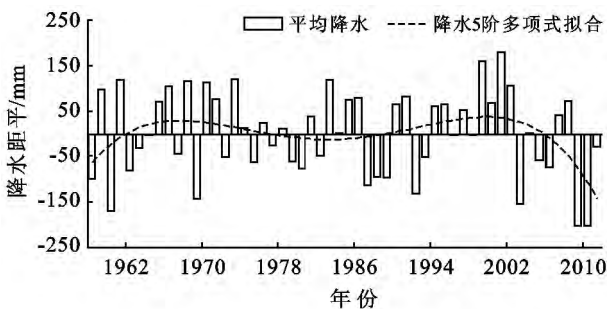


图 1 云南省 1958—2011 年降水变化特征

由云南省近 54 a 来旱涝发生年份变化(图 2)可知,近 54 a 来研究区旱涝灾害发生频率较高,灾害发生年份统计次数高达 40 次,占研究时段的 74.07%。其中,旱灾发生 19 次,涝灾发生 21 次,两者发生次数基本相等。由旱涝等级的 6 阶多项式拟合可以看出,20 世纪 60 年代以涝灾为主,但在 1960 和 1969 年发生了特大干旱;20 世纪 70 年代旱灾明显多于涝灾;80 年代旱灾与涝灾呈交替出现,且旱灾略多于涝灾;90 年代,除了在 1992 和 1993 年发生旱灾外,其余 6 次灾害全为涝灾;21 世纪初期以涝灾为主,2003 年后旱灾显著增多,且在 2003,2009 和 2010 年均发生了特大干旱灾害。进入 21 世纪之后旱灾发生频率明显高于涝灾发生频率。

2.2 太阳黑子活动对云南省旱涝灾害的影响

太阳活动是地球的空间环境扰动的源,与其它自然灾害之间可能存在着种种联系,它的活动势必会引起地球上气候的变化^[13]。太阳黑子活动周期一般为 11 a。太阳黑子的谷值年和峰值年,也是太阳辐射的一种异常变化^[14]。黑子数量越少,太阳辐射量越多,传递到地球表面的热量也就越多,这样势必会影响到气温和降水这两个关键气候因子不同程度的变化。

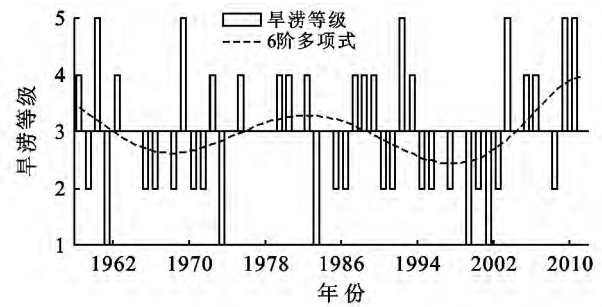


图 2 云南省 1958—2011 年旱涝指数等级变化

从云南省旱涝灾害与太阳黑子关系(图 3—4)分析可知:(1)除了 1967—1972 年以外,20 世纪 60—90 年代云南省的旱涝指数与太阳黑子数呈负相关,即黑子谷年前后易出现涝灾,峰年前后易出现旱灾;90 年代后二者呈正相关,即太阳黑子峰年前后易出现涝灾。旱涝指数与太阳黑子数呈负相关时,太阳活动的第 20 周期峰年 1970 年和其后一年 1971 年,研究区发生了涝灾,1976 年太阳黑子数达到谷值,研究区在其前一年 1975 年发生了旱灾,同样在太阳黑子活动第 22 周期的谷值 1986 年,其后一年 1987 年研究区也发生了旱灾。当旱涝指数与太阳黑子数呈正相关时,1996 年太阳黑子数达到谷值时,云南省在其前后一年均发生了涝灾。(2)近 54 a 云南省在太阳黑子极大值 M 年附近发生旱涝灾害的概率明显高于极小值 m 年。具体表现为:在 5 次 m 年及其前后 1 a 内共发生了旱涝灾害 10 次,其中,干旱、洪涝灾害发生次数各占 40% 和 60%;在 4 次 M 年及其前后 1 a 中,旱涝灾害发生次数为 12 次,其中干旱和洪涝分别占 50%。

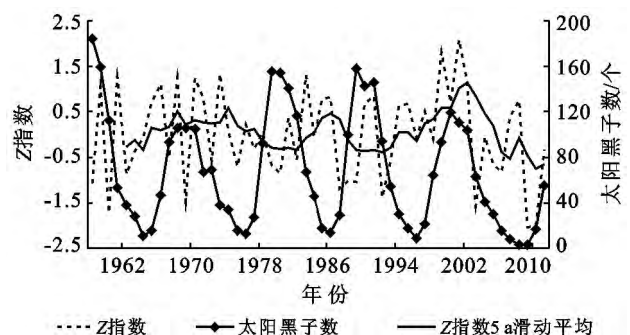


图 3 云南省旱涝指数与太阳黑子的关系

总体来说,在太阳黑子活动峰年和谷年的当年或次年研究区发生旱涝灾害的概率为 52.5%,超过了研究区旱涝灾害发生总次数的 1/2。分析云南省旱涝灾害与太阳黑子数的线性关系发现,其线性拟合均呈减小趋势,即太阳黑子数的减少趋势与云南省干旱化趋势呈正相关关系。

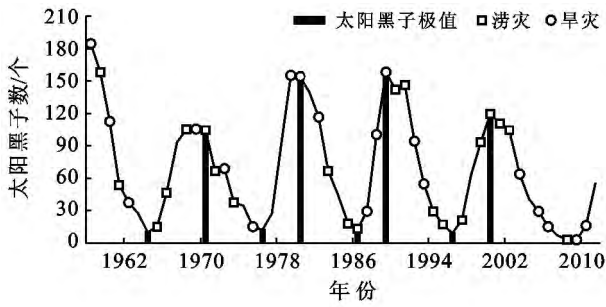


图 4 太阳黑子极值年与云南省旱涝年份的关系

2.3 ENSO 事件对云南省旱涝灾害的影响

黄荣辉^[15] 研究指出华南地区的降水异常是由副热带高压位置南北变动所导致, 而诱发副热带高压变化的是 ENSO 事件背景下西太平洋的海温异常。Klein 等^[16] 也曾指出, 通过遥相关机制, ENSO 事件会造成在太平洋、印度洋和大西洋上经向 Hadley 环流出现异常。El-Nino 年呈现出的环流和辐散/辐合异常不利于降水, 而 La-Nina 年的异常则促进了降水^[17]。

2.3.1 ENSO 事件强度和云南省旱涝指数的相关性分析 近 54 a 云南省旱涝指数与 ENSO 事件的相关性分析结果(图 5)表明: (1) 在 ENSO 事件相对强度较强或较弱的年份前后, 云南省发生旱涝灾害的概率增加, 其中 1972, 1982, 1987 和 2009 年发生厄尔尼诺年, 研究区在这些年份发生了旱灾; 1968, 1970, 1973, 1999 和 2000 年发生拉尼娜年, 研究区在这些年份发生了涝灾。(2) 由旱涝指数和 ENSO 强度的多项式拟合可以看出, 整体上旱涝指数和 ENSO 强度呈反相关关系, 也就是厄尔尼诺年发生强度增大时对应云南省的旱灾频率上升, 拉尼娜发生强度增大时涝灾频率上升。这是因为 El-Nino 年, Walker 环流受赤道太平洋东部异常暖海水的影响而减弱, 抑制孟加拉湾低压和南海低值扰动系统的发展, 不利于西南暖湿气流对云南的影响; La-Nina 年情况与之相反^[18-19]。这与段长春^[7] 对云南省汛期旱涝特征及成因的分析结果一致。(3) ENSO 事件发生等级在 3 和 -3 事件的当年或次年, 云南省发生旱涝灾害的概率为 80.95%。因此在 ENSO 事件年及其附近一定要注意加强该区气象监测。

2.3.2 ENSO 事件与云南省旱涝指数的小波分析 通过对 1958—2011 年 ENSO 事件与云南省旱涝指数的小波分析发现, 研究区的旱涝灾害与 ENSO 事件有一定的关系。

云南省旱涝指数(图 6)存在 3~4 a, 7 a 和 14~15 a 左右的准周期变化。其中在对应于 14~15 a 左右的 Z 指数演变, 主要存在 7 个较大时间尺度的交替, 分别为 1965 年之前, 1972—1980 年, 1987—1995

年, 2004 年至今的降雨偏少期; 1965—1972 年, 1980—1987 年, 1995—2004 年的降水充沛期。对应于这种较大时间尺度的 Z 指数多少交替, 云南省年降雨量存在明显的突变特征, 突变点分别发生在 1965, 1972, 1980 年, 1987, 1995 和 2004 年。目前, 云南省正处于降雨偏少期。无论从 14~15 a 左右的大尺度或是 3 a 左右的小尺度代际来看, 研究区在近年降水将比较匮乏。

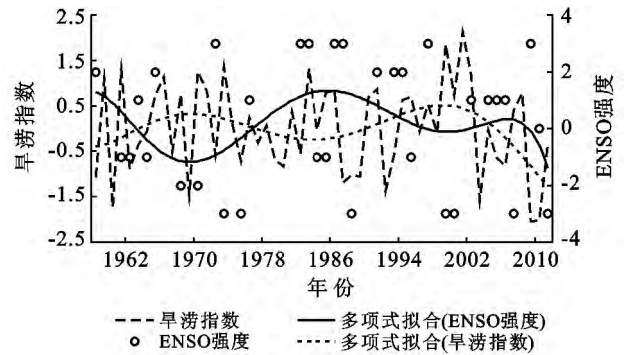


图 5 云南省 1958—2011 年旱涝指数与 ENSO 事件相关分析

ENSO 事件(图 7)存在 4~6 a 和 13~14 a 左右的准周期变化。其中在对应于 13~14 a 左右的 ENSO 事件周期演变中, 主要分为两个时期, 较暖年厄尔尼诺年: 1964 年之前, 1972—1978 年, 1986—1992 年, 1998—2004 年; 较冷年拉尼娜年: 1964—1972 年, 1978—1986 年, 1992—1998 年, 2004 年至今。

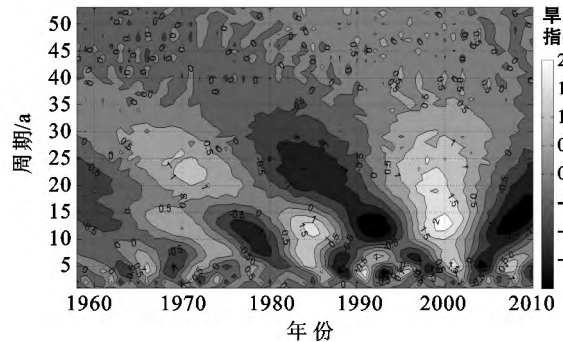


图 6 云南省旱涝指数与旱涝灾害小波分析

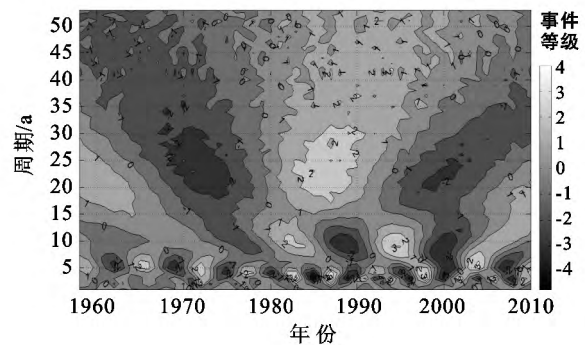


图 7 ENSO 事件与云南省旱涝灾害小波分析

综合分析可知, ENSO 事件与云南省旱涝灾害在 14 a 左右存在较好的对应关系, 说明 ENSO 事件强度的变化对研究区的旱涝灾害有一定影响。

3 结论

(1) 近 54 a 云南省降水量整体呈现减小趋势, 减小速率为 4.505 mm/10 a; 旱涝灾害的发生则呈现增加趋势, 进入 21 世纪之后, 旱灾的发生频率要明显高于涝灾的发生频率。

(2) 除了 1967—1972 年, 太阳黑子数与近 54 a 云南省旱涝指数在 20 世纪 60—90 年代呈明显的负相关关系, 即黑子谷年前后易出现涝灾, 峰年前后易出现旱灾; 90 年代后二者呈正相关, 即太阳黑子峰年前后易出现涝灾。太阳黑子数与近 54 a 云南省旱涝指数的线性拟合均呈现减小趋势, 即太阳黑子数的减少趋势与研究区干旱化趋势相同。

(3) 在太阳黑子活动峰年(M)和谷年(m)的当年或次年云南省发生旱涝灾害的概率为 52.5%, 且在太阳黑子极大值 M 年附近出现旱涝灾害的概率明显高于极小值 m 年。因此, 在太阳黑子极大值 M 年及其附近更应该注意防灾减灾工作。

(4) ENSO 事件与云南省旱涝灾害在 14 a 左右存在较好的周期对应关系, 且在 3 和 -3 等级范围内的 ENSO 事件当年或次年, 研究区更易发生旱涝灾害, 其概率高达 80.95%。旱涝指数和 ENSO 强度的多项式拟合整体上呈反相关关系, 这表明厄尔尼诺强度增大时研究区的旱灾增多, 拉尼娜发生强度增大时涝灾增多。

(5) 云南省地理位置特殊, 地形地貌复杂, 旱涝灾害的诱发因素众多。本研究参照已有研究中 Z 指数的方法对该区进行旱涝等级界定和年份确定, 有一定合理性。然而, 即使是针对同一区域, 也存在采用不同方法确定旱涝指数的争议。因此, 本研究确定旱涝等级的方法仍略显单一, 并不能完全表示某时间点的旱涝情况。除此之外, 本研究分析太阳活动与 ENSO 事件对云南省旱涝灾害发生的影响, 均只是相关性分析, 不足以阐述其影响机制。气候异常还受到多种局地因素和人类活动的影响, 因此对云南省旱涝灾害的影响因素还有待于进一步深入研究。

[参 考 文 献]

[1] 李敏敏, 延军平. 全球变化下秦岭南北旱涝时空变化格局[J]. 资源科学, 2013, 35(3): 638-645.

[2] 宋洁, 杨辉, 李崇银. 2009/2010 年冬季云南严重干旱原因的进一步分析[J]. 大气科学, 2011, 35(6): 1010-1019.

[3] 董安祥, 祝小妮, 郭慧. 太阳活动与西北地区降水[J]. 甘肃科学学报, 1999, 11(4): 114-117.

[4] Zhao Juan, Han Yanben, Li Zhian. The effect of solar activity on the annual precipitation in the Beijing Area [J]. Chinese Journal of Astronomy and Astrophysics, 2004, 4(2): 189-197.

[5] 段旭, 尤卫红, 郑建萌. 云南旱涝特征[J]. 高原气象, 2000, 19(1): 85-90.

[6] 周国莲, 晏红明. 云南近 40 年降水量的时空分布特征[J]. 云南大学学报: 自然科学版, 2007, 29(1): 55-61.

[7] 段长春, 朱勇, 尤卫红. 云南汛期旱涝特征及成因分析[J]. 高原气象, 2007, 26(2): 402-407.

[8] 王宇. 云南气候变化概论[M]. 北京: 气象出版社, 1996: 118-133.

[9] 孔祥伟, 于乐江, 刘新伟. 西南地区冬季旱涝特征及其与北极涛动关系[J]. 干旱区地理, 2012, 35(6): 875-882.

[10] 张冲, 赵景波, 罗小庆, 等. 近 60 年 ENSO 事件与甘肃气候灾害相关性研究[J]. 干旱区资源与环境, 2011, 25(11): 107-113.

[11] 霍云霏. 兰州地区近 540 年旱涝灾害研究[J]. 干旱区资源与环境, 2012, 26(5): 1-5.

[12] 窦睿音, 延军平. 关中平原太阳黑子活动周期与旱涝灾害的相关性分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(8): 77-82.

[13] 王腾, 延军平, 张涛涛, 等. 太阳活动与 ENSO 事件对汉江谷地旱涝灾害影响分析[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(7): 108-112.

[14] 延军平. 时间地理学[M]. 陕西 西安: 陕西师范大学出版社, 1994: 280-297.

[15] 黄荣辉. 引起我国夏季旱涝的东亚大气环流异常遥相关及其物理机制的研究[J]. 大气科学, 1990, 14(1): 108-116.

[16] Klein S A, Soden B J, Lau N C. Remote sea surface temperature variations during ENSO: Evidence for a tropical atmospheric bridge [J]. Climate, 1999, 12(4): 917-932.

[17] 杨亚力, 杜岩, 陈海山, 等. ENSO 事件对云南及临近地区春末初夏降水的影响[J]. 大气科学, 2011, 35(4): 729-738.

[18] 琚建华, 陈琳玲. ENSO 对云南地区降水影响的年代际变化[J]. 热带气象学报, 2003, 19(2): 191-196.

[19] 马淑苗, 赵景波. 厄尔尼诺/拉尼娜事件对山西省南部地区气候的影响[J]. 水土保持通报, 2012, 32(4): 107-111.