

祁俊青, 于文金, 谢 涛, 等. 云南省干旱灾害时空变化特征[J]. 江苏农业学报, 2019, 35(3): 631-638,
doi:10.3969/j.issn.1000-4440.2019.03.018

云南省干旱灾害时空变化特征

祁俊青, 于文金, 谢 涛, 任满亮
(南京信息工程大学地理科学学院, 江苏 南京 210044)

摘要: 利用云南省 1956–2010 年 55 年实测气象资料, 对云南省的气温和降水量进行了小波周期分析, 再计算 16 个代表站点历年逐日的综合气象干旱指数(C_i), 统计近 60 年各站点出现的干旱过程, 分析云南省各地区干旱发生的频率、不同等级干旱发生的多年平均天数, 揭示云南省干旱发生的时空分布特征。结果表明: (1) 云南省气温呈现冷暖年交替变化规律, 存在明显的 4 年左右变化主周期, 在 1980 年之后气温呈逐步上升的趋势; 降水量变化呈现波动状态, 相对稳定, 存在 2 年左右的变化主周期。(2) 空间变化上, 全省大范围地区都有干旱发生, 干旱分布整体呈现由西北向东南逐渐增强的特点; 干旱天数最多区域出现在东南部地区, 而西南地区干旱天数较少。(3) 季节变化上, 春旱较易发生, 干旱频率的多年平均值达到 60% 以上, 夏季和秋季干旱频率相对小些, 而冬旱发生的频率最高, 但对人类的影响较小。

关键词: 云南; 干旱; 综合气象干旱指数(CI); 时空分布

中图分类号: S565.101 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4440(2019)03-0631-08

Spatial and temporal variation characteristics of drought disasters in Yunnan province

QI Jun-qing, YU Wen-jin, XIE Tao, REN Man-liang

(School of Geographical Sciences, Nanjing University of Information Science and Technology, Nanjing 210044, China)

Abstract: In this paper, the measured meteorological data of Yunnan province from 1956 to 2010 were used, and the wavelet cycle analysis was carried out on the temperature and precipitation in Yunnan province. The compound index of meteorological (C_i) of 16 representative stations over the years was calculated, and the drought process occurred at each site in the past 60 years had been counted. The frequency of drought occurrence in various regions of Yunnan province and the average days of drought occurrence in different grades were analyzed, revealing the spatial and temporal distribution characteristics of drought occurrence in Yunnan province. The results showed that the temperature in Yunnan province changed alternately between cold and warm years, and there was an obvious main cycle of about four years. After 1980, the temperature was gradually increasing. The change of precipitation was fluctuating and relatively stable. There was a main cycle of change for two years. In terms of spatial change, drought occurred in a large area of the province, and the distribution of drought showed a gradual increase from northwest to southeast. The largest number of drought days occurred in the southeast, while the number of drought days in the southwest region was small. In the seasonal variation, spring drought was more likely to occur, and the average annual drought frequency was more than 60%. The frequency of

drought in summer and autumn was relatively small. The frequency of winter drought was the highest, but it had less impact on humans.

Key words: Yunnan province; drought; compound index of meteorological (C_i); spatial and temporal distribution

收稿日期: 2019-02-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(41776181); 江苏高校优势学科建设工程资助项目(PAPD)

作者简介: 祁俊青(1994-), 女, 江苏盐城人, 硕士研究生, 主要从事气象灾害时空变化研究。(E-mail) 506611948@qq.com

通讯作者: 于文金, (E-mail) yuwj@nuist.edu.cn

新世纪以来,全球气候变化加剧,极端天气事件频发^[1],气象灾害造成的损失日益严重,防灾减灾、风险评估和分析成为研究的热点^[2]。旱灾是众多灾害中对人类的影响较为严重的灾害之一^[3-4]。干旱灾害是指由于干旱缺水造成的灾害,是一种复杂的自然灾害,其形成原因、发生程度和造成的影响除去自然环境因素外^[5],人类活动干扰作用也日益显著。干旱灾害对自然环境、生态系统和许多的经济和社会部门都有深远而广泛的影响^[6]。中国西南地区本是一个湿润地区,但近年来却旱灾频发^[3-11],受到人们的普遍关注,因此对西南地区的干旱形成、发展、特征及演变研究就显得尤为必要。本研究以云南省为例,对云南省旱灾的分布特点、波动情况和形成机制进行分析,对提高云南省干旱灾害的预测水平、防御和减轻干旱灾害所带来的经济损失提供理论基础。

1 资料与方法

云南省位于北纬 $20^{\circ}8'32''\sim 29^{\circ}15'8''$ 和东经 $97^{\circ}31'39''\sim 106^{\circ}11'47''$,地处中国西南边陲^[3]的高原地区,总面积 $4.94\times 10^5\text{ km}^2$ 。云南北依亚洲大陆,南临印度洋和太平洋,受全球最强盛的印度季风和东亚季风的交叉影响,以及青藏高原的影响,加上复杂多样的自然地理环境形成了四季不分明、干湿季节分明的气候特点,降水变率较大^[11-19]。

1.1 资料

本研究所用气象资料由国家气候中心提供,剔除由于站点变动以及缺测量较大等原因造成的数据资料不全的站点。为选择足够数量的典型站,使采用的降水资料能够代表研究区降水情况并满足后续分析计算的基本要求,根据多步迭代估计方法对站点最优数量进行估计,从而得出最佳样本数量,选取置信水平为 95% 的 Student t 检验得到置信区间,共选取了云南省 16 个站点及其周边 15 站(参考站),其分布情况见图 1。数据经严格订正,并采用克里克插值法对缺失站点进行数据补缺,研究时段为 1956–2018 年。灾情资料取自《新中国农业 60 年统计资料》^[20],《中国气象灾害大典—云南卷》^[21] 包括云南省 1956–2018 年各年的成灾面积和受旱面积情况。

1.2 方法

1.2.1 综合气象干旱指数计算 所用干旱指标是

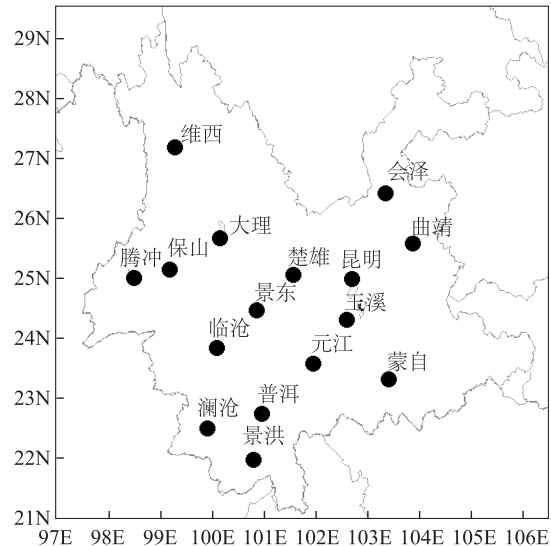


图 1 云南省典型站点分布图

Fig.1 Distribution map of typical stations in Yunnan province

由国家气候中心张强等研发的集标准化降水指数、湿润度指数及近期降水量为一体的综合干旱指数 (C_i)^[22]。 C_i 作为中国国家气象干旱等级标准,已被业务部门广泛使用。该指标适用于实时气象干旱监测和历史同期气象干旱评估。综合气象干旱指数 (C_i) 的计算公式如下:

$$C_i = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30}$$

式中, Z_{30} 、 Z_{90} 分别为近 30 d、近 90 d 标准化降水指数 SPI 值。 M_{30} 为近 30 d 相对湿度指数,其计算公式:

$$M_{30} = \frac{P - PE}{PE} \quad (2)$$

式中, P 、 PE 分别为降水量和蒸散量,单位均为 mm,计算方法见《中华人民共和国国家标准气象干旱等级》^[23]。

1.2.2 干旱过程的确定与等级划分 当综合气象干旱指数 C_i 值越小时干旱过程越强,以 -0.6 、 -1.2 、 -1.8 、 -2.4 为分界值分别划分为无旱、轻旱、中旱、重旱、特旱 5 个级别(表 1)。

1.2.3 干旱发生频率的计算 干旱频率计算公式^[20]: $P = \frac{n}{N} \times 100\%$, 式中, n 为实际发生干旱事件的年份, N 为资料时间序列,取值 60。

表 1 综合气象干旱等级划分表^[16]

Table 1 Classification table of comprehensive meteorological drought grades

等 级	类 型	C_i 值	干旱影响程度
1	无旱	$-0.6 < C_i$	降水正常或较常年偏多,地表湿润,无旱象
2	轻旱	$-1.2 < C_i \leq -0.6$	降水较常年偏少,地表空气干燥,土壤出现水分轻度不足
3	中旱	$-1.8 < C_i \leq -1.2$	降水持续较常年偏少,土壤表面干燥,土壤出现水分不足,地表植物叶片白天有萎蔫现象
4	重旱	$-2.4 < C_i \leq -1.8$	土壤出现水分持续严重不足,土壤出现较厚的干土层,植物萎蔫、叶片干枯、果实脱落;对农作物和生态环境造成较严重影响,工业生产、人畜饮水产生一定影响
5	特旱	$C_i \leq -2.4$	土壤出现水分长时间严重不足,地表植物干枯、死亡;对农作物和生态环境造成严重影响,工业生产、人畜饮水产生较大影响

2 结果与分析

2.1 云南省近 60 年来气候变化特征

研究发现,近 60 年来云南省的气温变化存在着波动,冷暖年交替,但整体增温趋势较明显,增温趋势斜率为 0.021 5。整体上分为 2 个阶段:1980 年以前基本保持相对稳定的水平,1980 年之后,呈现明显上升趋势(图 2),这与全球变暖的整体趋势相一致。

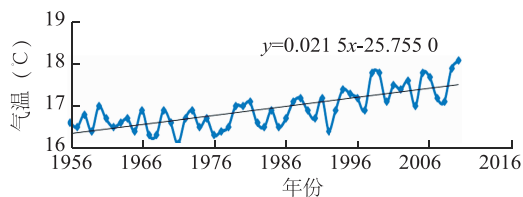


图 2 云南省 1956–2015 年平均气温变化趋势图

Fig.2 The change trend chart of average temperature in Yunnan province from 1956 to 2015

云南省 1956–2011 年平均气温的 Morlet 小波分析结果显示,平均气温变化有 2 个明显的时间周期,分别是 3~5 年和 7~10 年的周期。在 1965–1972 年、1982–1986 年、1992–2010 年这 3 个时间段内以 3~5 年的周期为主,在 1992–2010 年这段时间内,振荡稳定,周期在 2001 年之前有减小的趋势,之后有增大的趋势;在 2010 年等值线没有完全闭合,说明在未来的几年内云南省是处于偏暖期的。在 1968–1994 年间,主要以 7~10 年的周期为主,研究时域内振荡稳定。1994 年之后,以中尺度周期 12 年为主,7~10 年的周期振荡消失,从 12 年的尺度周期看,在 2010 年等值线还未闭合,即表明在这个尺度上预测未来的几年里,云南省处于偏暖期。在小尺度周期上,相应存在突变点和冷暖交替。由图 3

可以看出,小波方差值对应有 2 个峰值,其中 3~5 年的周期明显,扰动能量最强,是主周期;而 7~11 年的变化周期相对较弱。

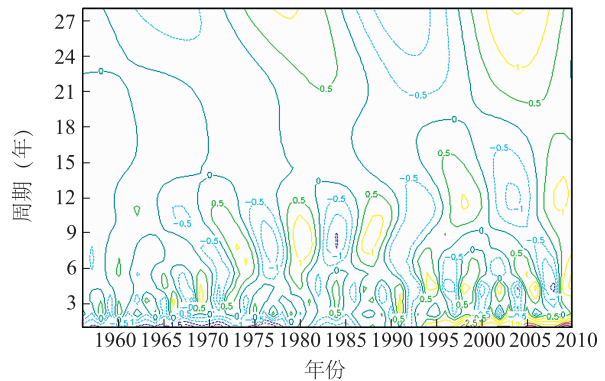


图 3 云南省 1956–2010 年平均气温的 Morlet 小波分析图

Fig.3 Morlet wavelet analysis chart of average temperature in Yunnan province from 1956 to 2010

通过对云南省近 60 年中降水量波动规律研究发现,云南省近 60 年来降水量虽在一定范围内有所波动,但总体上维持在一个相对稳定的水平,只是近年来有波动振幅变大的趋势(图 4)。说明近年来,该区域极端气候现象频率增加,例如,2008 年降水尤其多,2009 年则降水很少。

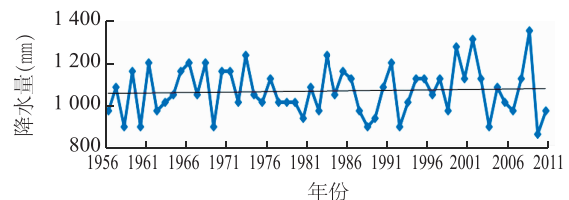


图 4 云南省 1956–2011 年降水量变化趋势图

Fig.4 The precipitation change trend chart of Yunnan province from 1956 to 2011

通过降水量 Morlet 小波分析可以看到,近 60 年的年降水量存在多个尺度的周期,比较复杂。存在 4 个明显的特征时间尺度,分别为 2 年、6~7 年、8~10 年和 15~17 年。其中,2 年的周期振荡基本贯穿整个研究时域,表现稳定,在 2000 年后,周期振荡逐渐消失;6~7 年的周期存在于 1979 年之前,期间周期稳定,之后周期振荡消失,以 5 年的周期为主,且周期有随着时间的延长而增长的趋势;周期 8~10 年几乎贯穿整个研究时域,从 1962 年开始,周期振荡比较稳定,但是周期有减小的趋势;15~17 年的周期振荡贯穿整个研究时域,在这个尺度上近 55 年来云南省的降水大致经历了少→多→少的过程,而在 2010 年等值线还未完全闭合,说明 2010 以后的几年里在该周期上降水量正处于偏少期,几个震荡周期均说明在 2010 年后降水量偏少(图 5)。这些周期决定了降水量在整个时域内的变化特性。其中 2 年的扰动能量很大,其次是 6~7 年、8~10 年,最后是 15~17 年的周期。可见,2 年的周期是主周期。

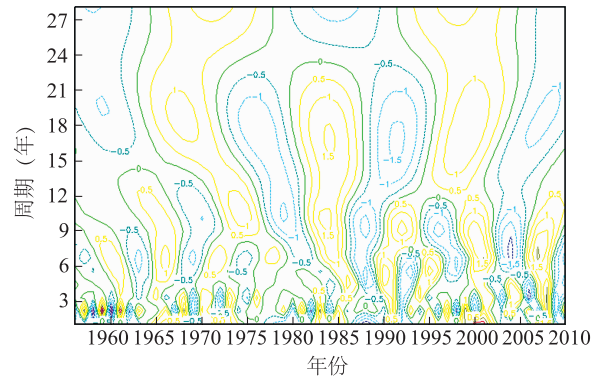


图 5 云南省 1956—2010 年降水量的 Morlet 小波分析图

Fig.5 Morlet wavelet analysis chart of precipitation in Yunnan province from 1956 to 2010

2.2 云南省近 60 年来干旱特征

2.2.1 云南省干旱频率 对云南省近 60 年来由 C_i 计算分级得到的干旱发生特征进行分析得到四季干旱分布频率图(图 6)。云南地区的降水量四季分布极不均匀,这就造成了四季干旱分布的差异。全省

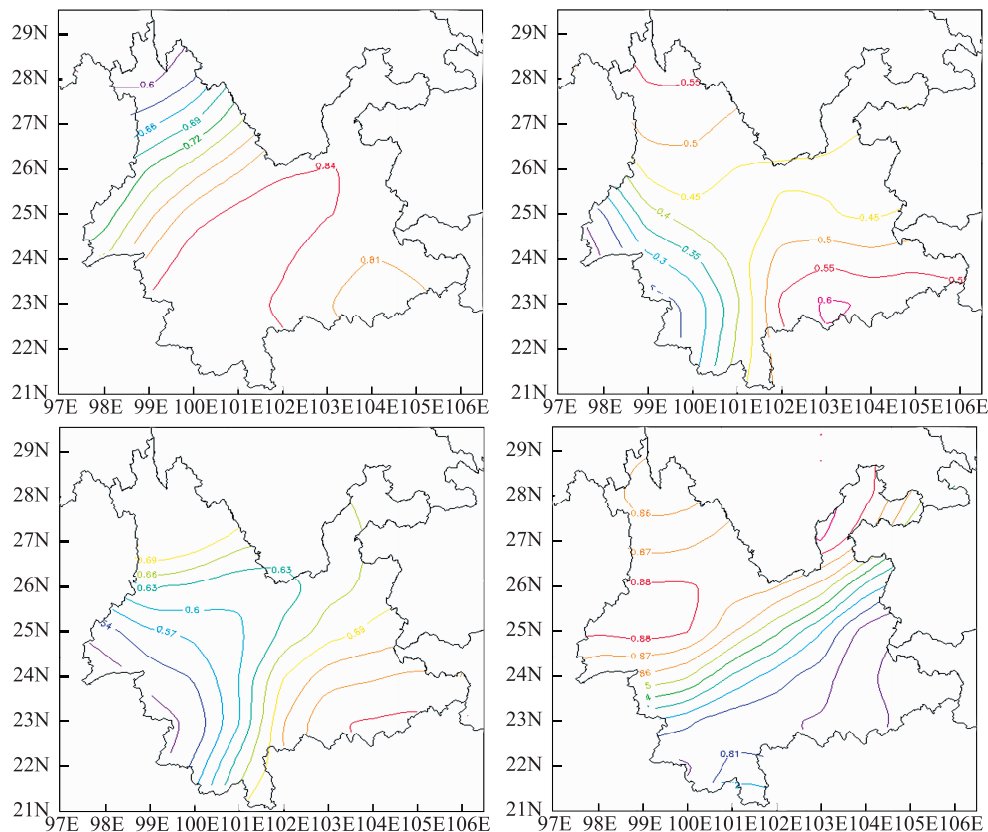


图 6 云南省春季(a)、夏季(b)、秋季(c)、冬季(d)干旱频率分布

Fig.6 Drought frequency distribution in Yunnan province in spring(a), summer(b), autumn(c) and winter(d)

春旱发生的频率都较高,最低的西北部也达到 60% 以上,向南逐渐增大,到楚雄、景东、昆明等中部地区达到 84%,东南部地区也达到 81%。春季各地区降水量仅占年降水量的 5%~20%,再加之雨季出现的早晚不定,而春季作物需水量又很大,因此,春季很容易发生干旱。在全省大部分地区,有 80% 的降水集中在夏季和秋季,因此夏季和秋季干旱频率相对较小。夏旱频率最大值发生在东南部地区,小于 60%,全省平均干旱频率在 40% 左右,以西南地区频率最小;而秋旱的分布情况基本与夏季相似。全省大部分地区的夏旱多出现在夏初,当夏初旱前是春旱时,就将有很大可能发生春夏连旱,夏旱的特点是持续时间短,地区分布多为局部性,影响不大;而秋旱则以晚秋旱影响较大,容易造成作物出苗不齐或作物出苗后由于缺水出现长势不好而减产。全省范围内冬旱频率都达到 80% 以上,这与冬季降水量仅占年降水量的 5% 左右是密切相关的,但由于冬季气温低蒸发少,农作物需水少,因此冬季干旱很少造成旱灾,对人类生活、生产活动影响不明显。

2.2.2 云南省干旱时空分布特征 研究结果显示,云南全省大部分地区都有不同程度的干旱发生,轻旱发生的天数最多,其次是中旱,重特旱发生的天数较少,一年中全省平均重特旱天数为 24 d 左右,中旱 44 d 左右,轻旱 60 d 左右,这与前人的研究结果趋于一致^[24]。

云南省历年和各季节不同等级干旱空间分布图(图 7)显示,全省全年大部分地区都有不同程度的干旱发生,各强度干旱发生的天数均较多,轻旱发生的天数最多,其次是中旱,重特旱发生的天数较少。干旱空间分布整体呈现由西北向东南逐渐增多的特点。最大干旱天数均出现在云南省东南部地区,重特旱天数的多年平均最大值在 28 d 以上,中旱天数的多年平均最大值在 50 d 以上,轻旱天数的多年平均最大值在 64 d 以上。而云南省西北部地区干旱天数则较少。一年中全省平均重特旱天数在 24 d 左右,中旱天数在 44 d 左右,轻旱天数在 60 d 左右。

春季重特旱的分布情况为由西北向东南逐渐增多,大部分地区重旱天数在 7 d 以上,重特旱的最高值出现在东南大部地区以及东北角;楚雄-景东-临沧这一线较易发生中旱,多年平均值在 16 d 以上,这一带的四周干旱天数逐渐减少;轻旱分布情况也是由西北向东南逐渐增多,符合云南省干旱分布的整体特

征,全省大部分地区都较易发生轻旱,西北部多年平均值在 16 d 以下,其他地区均在 17 d 以上。综上所述,云南省春旱的空间分布为:全省大部分地区较易发生春旱,以中部和东南部地区较为严重,西北部地区较弱,全省范围多年平均干旱天数达到 40 d 左右。

夏季重特旱分布以西北-东南向较强,多年平均在 5 d 左右,东北部和西南部地区平均天数为 2~3 d;中旱的分布与重特旱相似,以东南部地区较强,全省多年平均天数在 4 d 左右;轻旱以西南部地区较弱,其他地区多年平均值在 10 d 以上。云南省夏旱的空间分布为:整体干旱程度较弱,以东南部和西北部地区稍微偏强,全省范围多年平均干旱天数在 16 d 左右。

秋季全省范围内重特旱和中旱很少发生,仅在东南部地区出现,程度较轻;而轻旱以东南部和西北部地区较多发生,多年平均天数在 16 d 左右。云南省秋旱的空间分布为:全省范围秋旱很少发生,以东南部地区相对较强,全省范围多年平均干旱天数为 24 d 左右。

冬季重特旱分布呈现东部地区强、西部地区弱的形式;中旱呈纬向分布,干旱天数由南向北逐渐减少;轻旱以中部地区最为严重,四周逐渐减弱。云南省冬旱的空间分布为:以中南部地区干旱较易发生,全省范围多年平均干旱天数在 40 d 左右。

2.2.3 基于 REOF 的近 60 年云南春季降水时空特征 春季是该省干旱的主要季节,所以对春季的降水规律进行分析。通过旋转主成分(EOF)^[25]分析,分析该省的降水变化。使用 1961 年到 2018 年 3 月到 5 月云南省春季降水资料进行 REOF 分解。由表 2 可知,前 5 个模态的方差贡献率之和约为 70%。其中第 1 模态的方差贡献率为 38%,是主要的区域分布形式。第 1 模态和第 2 模态见图 8。在第 1 模态中,特征向量场都为正值,说明降水趋势一致,数值的高值位于南部地区。特征值的时间系数转折点在 20 世纪 80 年代左右,之后正值居多。说明该时间段内降水的空间趋势一致性是增强的。第 2 模态显示,南北两部分地区为相反的形式,即北部地区降水少、南部地区降水多的分布形式。区域分布的临界区为 27°N~30°N。特征向量值代表的时间系数表明在 20 世纪 80 年代后这种形式呈现相反的趋势,即北部地区降水逐渐增多,南部地区降水减少。第 2 模态方差贡献率只有 10%,不作为主要参考。

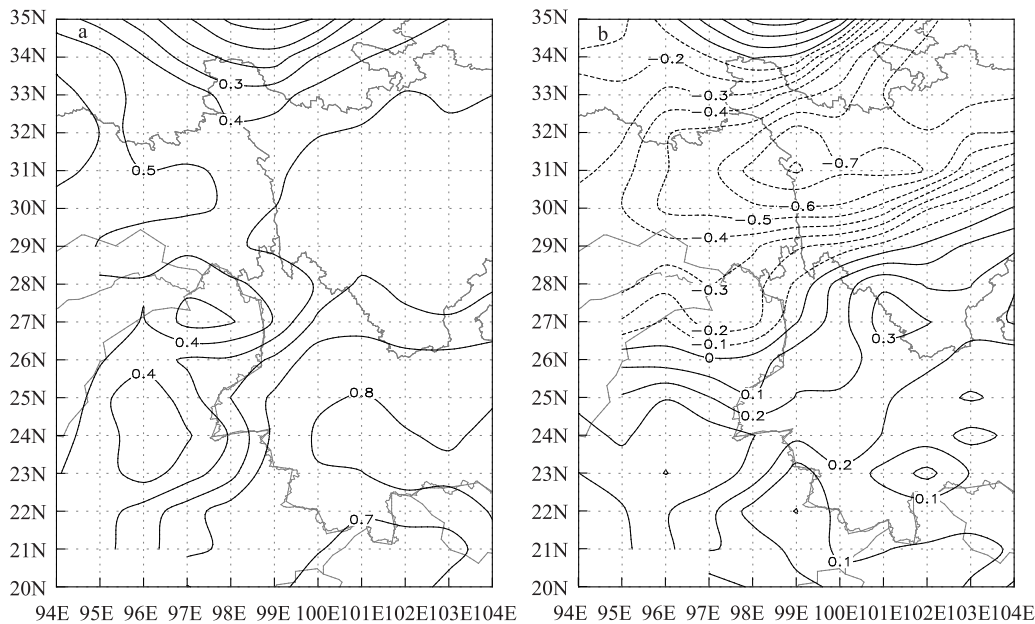


图8 云南省春季降水的 REOF 第 1(a)、第 2(b)模态图

Fig.8 First and second mode diagrams of REOF of spring precipitation in Yunnan province

表 2 云南省春季降水量旋转主成分 (REOF) 分解结果

Table 2 Rotating empirical orthogonal function (REOF) decomposition results of spring precipitation in Yunnan province

模态	方差贡献率 (%)	累计方差贡献率 (%)
1	38.065	38.065
2	10.696	48.761
3	9.704	58.465
4	6.216	64.681
5	5.098	69.779

2.2.4 云南省干旱成灾验证 通过查阅中国灾害统计年鉴、云南省灾害年鉴等文献和数据统计发现, 1956–2018 年 62 年来云南省各种灾害中旱灾持续时间最长, 多为季节性干旱、连季干旱或连年干旱。因此, 旱灾是对云南省影响范围最广的灾害之一。分析近 60 年云南省旱灾资料(图 9)发现, 云南省在 20 世纪 80 年代以前旱灾较轻, 但之后呈现明显加重趋势, 且旱灾发生频率增加, 平均 3 年左右就有一大旱年, 这也验证了本研究结果。2000 年以来, 云南省旱灾有加剧的趋势, 而且发生频率增加, 这反映了全球变暖对区域气候的影响。

3 结 论

(1) 云南省升温变化趋势较明显, 而降水波动

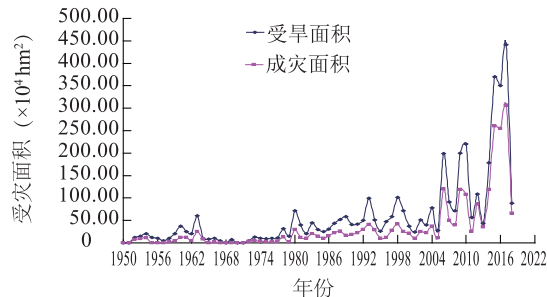


图9 云南 1950–2018 年受旱和成灾面积

Fig.9 Drought-stricken and disaster-stricken areas in Yunnan from 1950 to 2018

基本保持稳定。1980 年以前温度基本保持在相对稳定的水平, 1980 年之后, 呈现明显上升趋势; 冷暖年交替, 存在明显的 4 年左右变化主周期。降水量变化呈波动状态的周期分布, 相对稳定, 存在 2 年左右的变化主周期。(2) 季节变化上, 春旱较易发生, 平均干旱频率达到 70%, 影响也最严重; 夏旱和秋旱频率较小, 夏旱主要发生在夏初, 秋旱主要发生在秋末; 而冬旱发生的频率最高, 但对人类的影响较小。(3) 空间变化上, 全省大范围地区都有干旱发生, 干旱分布整体呈现由西北向东南逐渐增强的特点; 干旱天数最多区域出现在东南部, 而西南区域干旱天数较少。除西北部地区之外, 其他区域春旱均

较严重。(4)对春季云南降水资料进行 REOF 分解后发现,前 5 个模态的累计方差贡献率为 69.779%。在第 1 模态中,特征向量场都为正值,这说明降水趋势一致,高值位于南部地区。特征值的时间系数的转折点在世纪 80 年代左右,80 年代后正值居多。这说明,该时间段内降水的空间趋势一致性是增强的。

对比同纬度邻近省份广西和广东的干旱灾害情况^[25-28],结果显示云南省春季和夏初干旱无论从频率还是灾情严重程度、成灾面积均高于邻近省份,呈现不同的灾害特色。下一步研究方向为探讨云南灾害的成因机制和灾情预测。

参考文献:

- [1] VICENTESERRANO S M, BEGUERÍA S, Lópezmoreno J I, et al. A new global 0.5° gridded dataset (1901–2006) of a multiscalar drought index: Comparison with current drought index datasets based on the palmer drought severity index [J]. *Journal of Hydrometeorology*, 2010, 11(4): 1033-1043.
- [2] 尹晓东,董思言,韩振宇,等. 未来 50a 长江三角洲地区干旱和洪涝灾害风险预估[J]. *气象与环境学报*, 2018, 34(5): 66-75.
- [3] 于璐. 云南地区季节性干旱特征分析[J]. *农业与技术*, 2018, 38(7): 149-150.
- [4] 贺山峰,葛全胜,吴绍洪,等. 安徽省洪涝致灾危险性时空格局预估[J]. *中国人口·资源与环境*, 2012, 22(11): 32-39.
- [5] 赵海燕,高歌,张培群,等. 综合气象干旱指数修正及在西南地区的适用性[J]. *应用气象学报*, 2011, 22(6): 698-705.
- [6] 王莺,沙莎,王素萍,王劲松,等. 中国南方干旱灾害风险评估[J]. *草业学报*, 2015, 24(5): 12-24.
- [7] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律[J]. *地理学报*, 2011, 66(5): 599-608.
- [8] RICHARD R, HEIM J. A review of twentieth century drought indices used in the United States[J]. *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83(8): 1149-1165.
- [9] 杜学文,董丽梅. 云南干旱原因分析及生态环境保护对策[J]. *环境管理*, 2010, 3(1): 72-74.
- [10] 廖春贵,秦年秀,胡宝清,等. 广西干旱灾害暴露度时空变化特征[J]. *广东农业科学*, 2017, 44(5): 167-172.
- [11] 熊俊楠,刘志奇,范春捆,等. 1983–2013 年西藏自治区气象灾害时空分布特征与变化趋势[J]. *冰川冻土*, 2017, 39(6): 1221-1231.
- [12] STAGGE J H, TALLAKSEN L M, GUDMUNDSSON L, et al. Candidate distributions for climatological drought indices (SPI and SPEI)[J]. *International Journal of Climatology*, 2015, 35(13): 4027-4040.
- [13] 吕爱民,董延军,贾春强. 2009–2011 年云南干旱时空演变特征分析[J]. *广东水利水电*, 2013(6): 38-41.
- [14] 彭贵芬,刘瑜,张一平. 云南干旱的气候特征及变化趋势研究[J]. *灾害学*, 2009, 14(1): 45-49.
- [15] 李英杰. 陕西省旱涝灾害多时空尺度特征与趋势判断[D]. 西安:陕西师范大学,2017.
- [16] 程航,孙国武,冯呈呈,等. 亚非地区近百年干旱时空变化特征[J]. *干旱气象*, 2018, 36(2): 196-202.
- [17] YIN Y H, WU S H, ZHENG D, et al. Radiation calibration of FAO56 Penman-Monteith model to estimate reference crop evapotranspiration in China[J]. *Agric Water Manage*, 2008, 95: 77-84.
- [18] OU T, CHEN D, LINDERHOLM H W, et al. Evaluation of global climate models in simulating extreme precipitation in China[J]. *Tellus Series A-dynamic Meteorology & Oceanography*, 2013, 65(5): 1393-1399.
- [19] SHUKLA S, WOOD A W. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought [J]. *Geophysical Research Letters*, 2008, 35(2): 226-236.
- [20] 中华人民共和国农业部. 新中国农业 60 年统计资料[M]. 北京:中国农业出版社,2009.
- [21] 赵永彤. 《中国气象灾害大典·云南卷》出版发行[J]. *云南档案*, 2008(6): 22.
- [22] 中国气象局. 气象标准汇编[G]//张强,邹旭恺,肖风劲,等. 气象干旱等级. 北京:气象出版社,2008:33-53.
- [23] 中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局,中国国家标准化管理委员会. 气象干旱等级:GB/T 20481–2006[S]. 北京:中国标准出版社,2006.
- [24] 邵明阳. 澜沧江流域干旱特征与海温异常关联性研究[D]. 南京:南京信息工程大学,2014.
- [25] 王国杰,姜彤,陈桂亚. 长江干流流径的时序结构与长期记忆[J]. *地理学报*, 2006, 60(1): 47-56.
- [26] 张凌云,李宜爽,袁马强,等. 近 54 年柳州干旱的时空特征分析[J]. *气象研究与应用*, 2015, 36(3): 26-29.
- [27] 黄强,陈子桑,孔兰,等. 联合干旱指数在干旱监测中的应用——以广东韶关地区为例[J]. *干旱气象*, 2014, 32(4): 499-504.
- [28] 刘占明,陈子桑,黄强,等. 7 种干旱评估指标在广东北江流域应用中的对比分析[J]. *资源科学*, 2013, 35(5): 1007-1015.

(责任编辑:张震林)