

金燕,况雪源,晏红明,等,2018.近55年来云南区域性干旱事件的分布特征和变化趋势研究[J].气象,44(9):1169-1178.

近55年来云南区域性干旱事件的分布特征 和变化趋势研究*

金燕¹ 况雪源² 晏红明¹ 万云霞³ 王鹏⁴

1 云南省气候中心,昆明 650032

2 南京大学大气科学学院,南京 210093

3 云南省气象服务中心,昆明 650032

4 云南省气象局,昆明 650032

提 要: 本文利用一种简化的区域性干旱事件识别方法,对近55年来云南区域性干旱事件进行了识别,在此基础上,选取区域性干旱事件的持续天数、影响站点数、平均强度、累积强度和极端最大强度这5个单一事件评价指标,构建了云南区域性干旱的综合评估模型,确定干旱等级划分标准。进一步分析表明,云南区域性干旱的发生频次、累积强度和累积影响站次均呈上升趋势;云南在12、1和3月干旱发生最多,7、8月干旱发生最少;干旱持续天数集中在15~45 d,最长的可达222 d;云南多发全省性的干旱且旱情偏重。云南中部区域干旱偏多、偏重发生;在严重的干旱事件中,中部型发生频次最多。

关键词: 云南,区域性干旱事件,识别方法,变化特征

中图分类号: P467

文献标志码: A

DOI: 10.7519/j.issn.1000-0526.2018.09.005

Studies on Distribution Characteristics and Variation Trend of the Regional Drought Events over Yunnan in Recent 55 Years

JIN Yan¹ KUANG Xueyuan² YAN Hongming¹ WAN Yunxia³ WANG Peng⁴

1 Yunnan Climate Centre, Kunming 650032

2 School of Atmospheric Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093

3 Yunnan Meteorological Service Centre, Kunming 650032

4 Yunnan Meteorological Service, Kunming 650032

Abstract: In this paper, the cluster regional drought events in Yunnan from 1961 to 2015 are examined by using a simplified identifying method. Based on the identified drought events, we construct a comprehensive evaluation model of the regional drought event to classify the drought grade using lasting days, stations, the average strength, accumulated strength and extreme strength of drought events. The results further show that frequency, accumulated intensity and accumulated impact of regional droughts display an increasing trend in Yunnan. Regional drought events frequently occur in December, January and March, but less in July and August. The drought events mainly persist 15–45 d, with the longest up to 222 d. Droughts often spread over whole Yunnan Province and influences seriously. In central Yunnan, drought is more frequent and serious. Especially, among the severe drought events, the middle pattern drought occurs most frequently.

Key words: Yunnan, regional drought events, identification methods, variation characteristics

* 国家自然科学基金项目(41575097)和云南省重点基金项目(2016FA041)共同资助

2017年9月15日收稿; 2018年2月27日收修定稿

第一作者:金燕,主要从事季风气候应用研究. Email: apple_jjyy25@163.com

通信作者:晏红明,主要从事短期气候预测研究工作. Email: yanhongming2013@163.com

引 言

对全球而言,干旱是最常见、最严重的自然灾害之一(Dai, 2011; 张强等, 2015a; 2015b; 2017a; 2017b),由于其影响范围广、持续时间长,出现频率高,常常给人类生产、生活带来巨大的损失(张强等, 2015b; 2017a)。云南是我国干旱发生频率较高的地区之一(王静爱等, 2002; 崔冬林, 2010),在全球变暖的大背景下,云南区域性干旱频次增多,面积增加,强度增强,干旱导致的综合损失率显著增加(程建刚和解明恩, 2008; 邹旭恺和张强, 2008; 韩兰英等, 2014; 张强等, 2015a; 廖要明和张存杰, 2017)。特别是在连续经历了 2009—2010 年(晏红明等, 2012; 王晓敏等, 2012)和 2012—2013 年(胡学平等, 2014)的两次极端干旱的炙烤后,对云南地区干旱事件的变化规律、分布特征、发生原因等的研究就显得尤为迫切。作为最基础的研究,如何准确、客观地识别干旱过程,进而找到多时间尺度干旱的预测方法,对于提高云南地区干旱灾害的预测和预警能力具有重要的现实意义。

干旱是多时间尺度和多空间尺度交织出现的气象灾害问题(张强等, 2011; 2014)。过去,云南在干旱监测方面主要运用年、季、月和候等常规时间尺度上的气象要素观测值或用代表站值构建某个单一的干旱指标来对灾害事件进行宏观、静态地描述(彭贵芬等, 2009; 王学锋, 2012; 张万诚等, 2013),这对于灾害发生、演变的动态过程的监测显然是不全面的。虽然之后的研究考虑了干旱的持续时间、影响范围和过程演变(段旭等, 2012),但对于干旱事件具体影响区域、发展规律没能进行立体、全面的描述。所以如何找到一种客观地,能够动态、全面地从多时空尺度对云南干旱事件进行监测的方法,是目前亟待解决的重点和难点。2012 年, Ren et al(2012)提出的 OITREE 模型,将逐日灾害影响范围“串”联起来从而构成对一个完整区域性灾害事件的描述,李韵婕等(2014)、安莉娟等(2014)将此方法运用于我国西南和华北地区的区域性干旱事件的识别,获得了较好的效果。在此基础上,况雪源等(2014)对上述模型在事件发生率、站点重合率、灾害面积计算等方面进行了简化,并用简化后的灾害识别方法对我国近 50 年的高温事件进行了识别,其结果客观有效、符合实际。李韵婕等(2014)在研究中指出云南是西南

区域中干旱发生最多、旱情最严重的区域,但未能对该区域干旱事件的演变规律和影响因素进行更精细的研究。同时,况雪源等(2014)提出的方法并未在群发性干旱事件的识别中进行检验与对比。基于上述,本文运用况雪源等(2014)的简化识别方法,结合云南实际,对计算方法进行了相应的修改,同时经过反复试验并与实况进行对比,选取最优的参数化方案,对云南地区近 55 年来区域性干旱事件进行空间和时间识别率更精细、全面的研究,找出干旱变化规律,为云南地区极端干旱事件的灾害防御研究提供必要的参考,同时也为提升云南干旱灾害风险管理能力提供理论依据。

1 研究区域概况与方法

1.1 云南区域基本气候和环境概况

云南位于我国西南地区南部,云贵高原的核心区域,北依青藏高原,南邻中南半岛,北回归线横贯南部,距离热带印度洋和太平洋仅咫尺之遥,受东亚季风、南亚季风以及青藏高原大地形的共同影响,气候兼具低纬气候、高原气候、季风气候的特征,主要表现为四季温差小,日温差大,干湿季分明,气候类型复杂的特点(王宇等, 2006)。云南东西最大横距 864.9 km,南北最大纵距 990 km,地势西北高、东南低,海拔高异常悬殊,形成高山峡谷相间、地势阶梯递降、断陷盆地错落的复杂地质地貌,其中山地面积占 84%,高原、丘陵占 10%,盆地、河谷仅占 6%,从南到北形成了从北热带到高原寒带等 7 个气候类型。气候类型之复杂、地域差异之大,乃全国、世界之罕见,“半年雨来半年旱、旱灾一大片、洪涝一条线,霜冻春天见”,就是云南气象灾害频发、地域性极强的真实写照(程建刚等, 2009)。

1.2 资料

综合气象干旱 CI 指数是在 2006 年发布的国家标准《气象干旱等级 GB/T20481-2006》(张强等, 2006)中提出的,多年来被广泛应用于我国干旱监测业务服务中,能较好地反映不同地区和不同季节的干旱频率分布特征,同时为了便于与前人的研究成果进行对比、检验,故本文选取由国家气候中心提供的云南省 125 站,1961 年 1 月 1 日至 2015 年 12 月 31 日逐日的综合气象干旱 CI 指数作为基础研究数据。

1.3 区域性干旱的识别

1.3.1 区域性干旱事件的定义

当单站综合干旱指数 CI 连续 10 d 为中旱以上等级或轻旱日数达 30 d 以上,则确定发生一次单站干旱事件。在同一时间段内至少有 1/5 的站同时发生干旱事件,则定义为区域干旱事件。在确定干旱事件过程中,如果两次干旱间隔不超过 6 d,则认为是一次干旱事件(Qian et al, 2011)。

1.3.2 区域性干旱事件的识别

(1) 根据上述文献的定义,对单站干旱事件的检测选取是否达到中旱为标准。对逐日的综合干旱指数 CI 进行检测,判断其是否有 $CI \leq -1.2$ (张强等,2006;李韵婕等,2014),若满足,则事件开始。

(2) 对单日发生干旱事件的站点判断其是否具有集中性。首先确定扫描分组半径 D_c ,即定义同组的两个站点距离不超过 D_c ,而不同的组之间的两点距离必须大于 D_c 。同时考虑保留在组内的站点数是否达到定义群发性站点数的阈值 Q_c 。在本文中,参考李韵婕等(2014)和况雪源等(2014)的方法,并考虑到云南省覆盖面积的最大跨径和天气系统的尺度问题, D_c 定为 200 km;群发性站点数定为全省站点数的 1/5(Qian et al, 2011),即 25 站,该站数已经超过了在云南天气预报业务中定义全省性天气过程为 21 站的标准。

(3) 群发性干旱事件的持续性。我们通过对当日满足群发性干旱事件标准组与前一日满足干旱事件标准组(称为原事件)的重合站点进行判断,是否持续可分为三种情况:(a)如果重合站点达到标准,则将该组并入原事件,则干旱持续。(b)如果重合站点未达标准,则原事件暂停,新事件开始。(c)如果原事件超过 6 d 没有新组并入,则原干旱事件至暂停日结束;如果原事件在 6 d 内有新组并入,则干旱事件持续。这一步需要定义一个群发性事件是否合并的重合站点阈值 H_c ,我们选用群发性站点数 25 站的 1/3 作为标准,即 8 站。

1.3.3 群发性干旱事件的评估

对于干旱事件综合状况的描述,本文选取如下参数进行度量:

持续天数:ALD 为事件的开始日到结束日之间的总天数;

影响站点数:AST 为事件影响的总站数;

累积强度:AQ 表示在一次区域性干旱事件中,

逐站逐日 CI 指数低于阈值 CI_0 的距平绝对值之和(累积强度值越大,则灾害强度越强)

$$AQ = \sum_{n=1}^N \sum_{k=1}^K |CI_{nk} - CI_0|$$

$$\text{平均强度: } MQ = \frac{AQ}{AST}$$

极端最大强度:EMX 表示在一次区域性干旱事件中,评估区域内所有站点与灾害阈值差的最大值

$$EMX = \text{MAX}_{n=1, N; k=1, K} |CI_{nk} - CI_0|$$

平均中心经度:MLON 为受影响站点位置的经度平均值(以影响天数为权重);

平均中心纬度:MLAT 为受影响站点位置的纬度平均值(以影响天数为权重)。

1.4 区域性干旱事件综合评估模型

一般地,一次区域性干旱过程持续时间越长、影响站点越多、干旱强度越强,灾害造成的损失就越重。为了能更加全面地反映云南地区干旱的综合影响程度,本文选取持续天数、影响站点、平均强度、累积强度和极端最大强度这 5 个单一事件评价指标,来建立云南区域性干旱的综合评估模型。为了确定权重系数的客观性,参考况雪源等(2014)、李韵婕等(2014)的做法,首先将这 5 个单一指数标准化后按降序排列,再对序列求取前 10% 事件的序列数值,然后再对该数值归一化处理,即可得到 5 个权重系数分别为 0.14, 0.19, 0.34, 0.17 和 0.16。再用这组权重系数将 5 个单一指数标准化后的值进行加权求和,得到区域性干旱事件的综合强度指数 I_{dry} ,其计算公式如下:

$$I_{dry} = a \times ALD^* + b \times AST^* + c \times MQ^* + d \times AQ^* + e \times EMX^*$$

式中: I_{dry} 为区域性干旱综合强度指数, a, b, c, d, e 分别为权重系数, ALD, AST, MQ, AQ, EMX 分别为持续天数、影响站数、平均强度、累积强度和极端最大强度(*表示标准化)。

1.5 区域性干旱综合强度等级划分

基于云南省区域性干旱事件的综合强度指数 I_{dry} 的计算结果,对指数进行各频次的排列(图略),参照李韵婕等(2014)和袭祝香等(2009)的方法,发现在近 55 年来已识别出的 121 次区域性干旱事件中, $I_{dry} < 0.0$ 的事件有 68 次,占了约总数的 56%,该类干旱事件出现频率高,事件强度偏弱,定义为一

般干旱等级。 $I_{dry} > 2.0$ 的事件有 6 次, 约占 5%, 该类事件出现频率低, 但干旱事件的强度确是最强的, 造成的影响也是最严重的, 定义为极端干旱等级。其次是 $2.0 > I_{dry} > 1.0$ 的事件有 11 次, 约占 9%, 定义为重度干旱, 而 $1.0 > I_{dry} > 0.0$ 的事件有 36 次约占 30%, 这类事件发生频次相对一般干旱要少一些, 定义为较重干旱; 根据上述的频次分布, 事件分级阈值确定为 0.0, 1.0 和 2.0 (表 1)。

表 1 云南区域性干旱综合强度评估等级划分标准
Table 1 Composite strength classification standard of the regional drought events in Yunnan Province

综合定性强度	等级	阈值
极端干旱	1 级	$I_{dry} > 2.0$
重度干旱	2 级	$2.0 > I_{dry} > 1.0$
较重干旱	3 级	$1.0 > I_{dry} > 0.0$
一般干旱	4 级	$I_{dry} < 0.0$

2 近 55 年来云南地区干旱事件特征

2.1 时间变化特征

经过判断识别, 1961—2015 年云南区域性干旱事件一共发生 121 次, 其发生频次、累积强度和累积影响站次的演变 (图 1) 显示, 三者均呈现上升趋势, 且年际差异大, 线性趋势均未通过 0.05 的显著性水平检验。近 55 年来, 云南地区平均每年发生干旱 2.2 次, 每 10 年平均增多约 0.08 次; 其中有 2 年 (1965 和 2000 年) 未发生区域性干旱事件, 有 9 年出现干旱的频次最多是 4 次, 分别为 1972、1975、1982、1988、1996、1998、2006、2011 和 2014 年 (图 1a); 累计强度排名前三的年份依次是 2009、2012 和 1978 年 (图 1b); 累计影响站次最多的前三年分别是

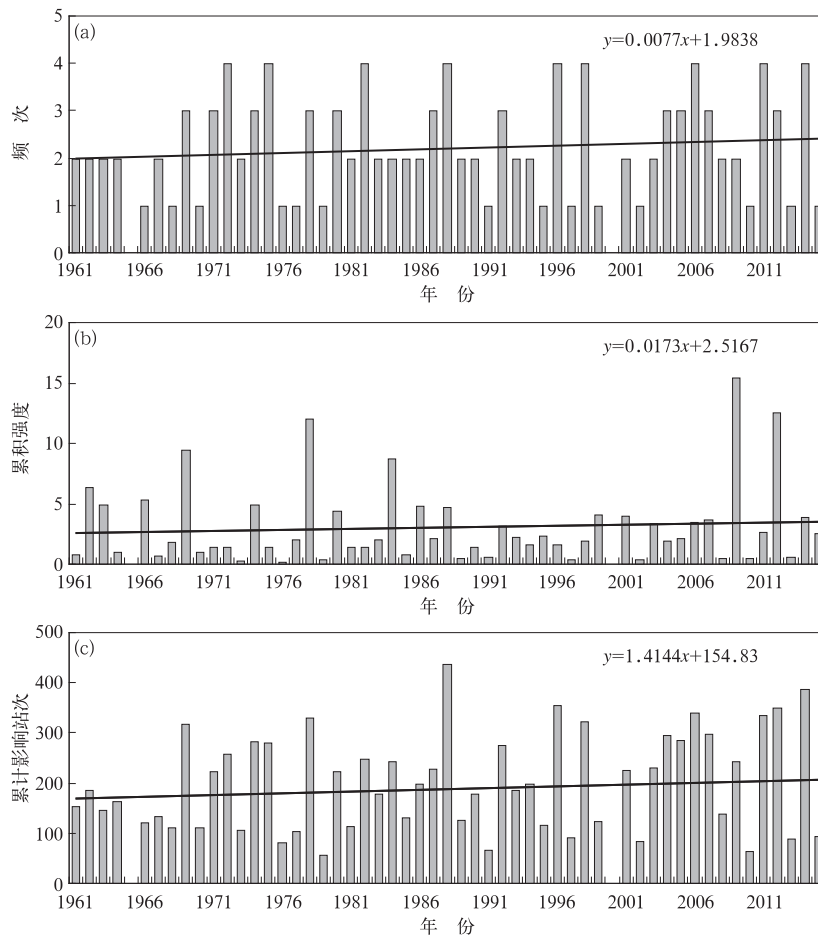


图 1 1961—2015 年云南省区域性干旱事件频次 (a), 累积强度 (b) 和累积影响站次 (c) 年变化

Fig. 1 Variations of regional drought events in Yunnan during 1961—2015
(a) frequency, (b) accumulated strength, (c) stations of accumulated impact

1988、2014 和 1996 年(图 1c)。值得关注的是,进入 21 世纪以来,近 15 年中无论干旱的发生频次、累计强度和累计影响站次,均有排名前三的年份出现,这印证了云南区域性干旱逐渐增多、强度增强的趋势。与李韵婕等(2014)的研究结果对比后发现,近 55 年来,在云南地区发生的区域性干旱事件的次数较其偏多,而对于该区域干旱累积强度排名前三的年份和未发生区域性干旱年份的识别上基本是一致的,仅在干旱发生频次的变化上有所不同,说明这两种方法对于干旱强度识别的敏感性比较一致,但是干旱过程的划分则略有不同。这主要是由于所选取的站点资料的空间密度、时间尺度和事件扫描半径的不同造成的,本文选取站点的空间密度、时间尺度大于前者,而空间扫描半径小于前者,说明本文在更长时间序列的观测资料基础上对于干旱事件进行分辨率更高的空间识别,其结果会更加精细。

从近 55 年云南区域性干旱事件的年代际变化分析来看(图 2),区域性干旱事件在 20 世纪的 70、80 年代里发生频次最多,各发生了 25 次,其次是 21 世纪初的前 10 年发生了 23 次,最少的是 20 世纪 60 年代,发生区域性干旱事件 16 次;干旱累积强度在 21 世纪初前 10 年最强,在 20 世纪 90 年代最弱,从干旱的累积发生站次来看,在 21 世纪前 10 年累积发生站次最多,达到 2208 站次,20 世纪 60 年代最少,累积发生 1450 站次。特别地,在 2011—2015 年的 5 年中,干旱发生频次、累计强度和累积发生站次分别为 13 次、2240 和 1252 站,均已经超过了各指标在前面各年代统计极值的 50% 以上,上述灾害评估参数的年代际统计结果同样也表明了近年来,云南的区域性干旱事件有发生频次、影响范围和灾害强度同时增强的趋势。

全球气候变暖和大气环流的异常变化与干旱事件的发生密切联系(黄荣辉和杜振彩,2010;刘珂和

姜大膀,2014)。在全球气候变暖背景下,云南气候也出现了明显的增暖变化,1961—2012 年云南年平均气温升温速率为 $0.16\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,特别是进入 21 世纪后,升温加快,平均气温偏高 $0.36\text{ }^{\circ}\text{C}$,冬季和秋季的升温速率最大。同期,全省平均降水量呈减少趋势,减少速率为 $16.1\text{ mm}\cdot(10\text{ a})^{-1}$,进入 21 世纪后,平均降水较多年平均偏少近 10%,其中除春季降水呈略增加趋势,夏、秋、冬季降水呈减少趋势(李维京等,2015;肖子牛等,2016;《云南未来 10—30 年气候变化预估及其影响评估报告》编写委员会,2014)。另外,由于云南地处典型的季风气候区,其旱涝变化受南亚季风的影响最为显著,印度洋季风水汽输送的强弱变化直接影响到云南地区的降水异常(程建刚等,2009)。现有的很多研究发现,南亚季风呈现年代际减弱的特征,相应减弱了海洋至大陆的水汽输送(丁一汇等,2013)。另外,在全球气候变暖的大背景下,特别是在秋冬季节,青藏高原积雪减少,其上空视热源偏高,西南地区多出现干燥的偏北气流(过霁冰等,2012),中高纬度贝加尔湖附近高度场偏低,东亚大槽偏弱,不利于北方冷空气南下,同时南亚大陆增暖,其高度场偏低,南支槽偏弱,不利于引导西南水汽输送,进而导致云南地区冬季降水偏少(陶云等,2014;晏红明等,2015)。以上诸多因素的影响在很大程度上导致了云南干旱出现的频率增加。本文仅从前人的研究成果中探究了引起云南干旱频率增加的原因,但在气候变暖背景下,南亚季风年际变化的原因,及其对云南干旱影响的物理过程等问题,还需进一步深入研究。

2.2 频次分布特征

分析区域性干旱事件开始时间后发现,云南地区 1、3 月发生干旱最多,分别为 17 次,其次是 12 月发生干旱 15 次,在雨季的 7、8 月干旱发生最少,分别仅有 3 次(图 3a);云南区域性干旱持续天数集中在 15~45 d,峰值为 30 d,超过 150 d 的干旱较少发生(图 3b),发生时间最长的是 2009—2010 年的秋冬春连旱,灾害一共持续 222 d。结合干旱事件发生时段及持续时长来看,云南地区冬、春季干旱发生较多,其次是秋季,夏季干旱发生较少。

从受干旱影响的站点数来看,云南地区多发生全省性的旱情,在全省 125 个气象站中,一次干旱影响站点数最为集中的是 110~125 站次,在近 55 年中,一共出现了 34 次,其次是 100~110 站和 80~90 站,分别为 16 次(图 3c);从干旱事件的平均过程

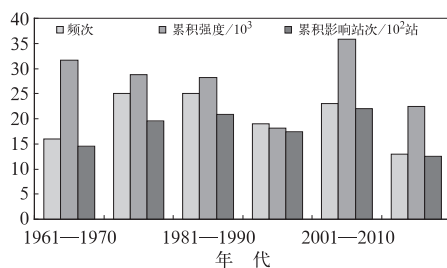


图 2 1961—2015 年云南省区域性干旱事件年代际变化

Fig. 2 Interdecadal variations of regional drought events in Yunnan during 1961—2015

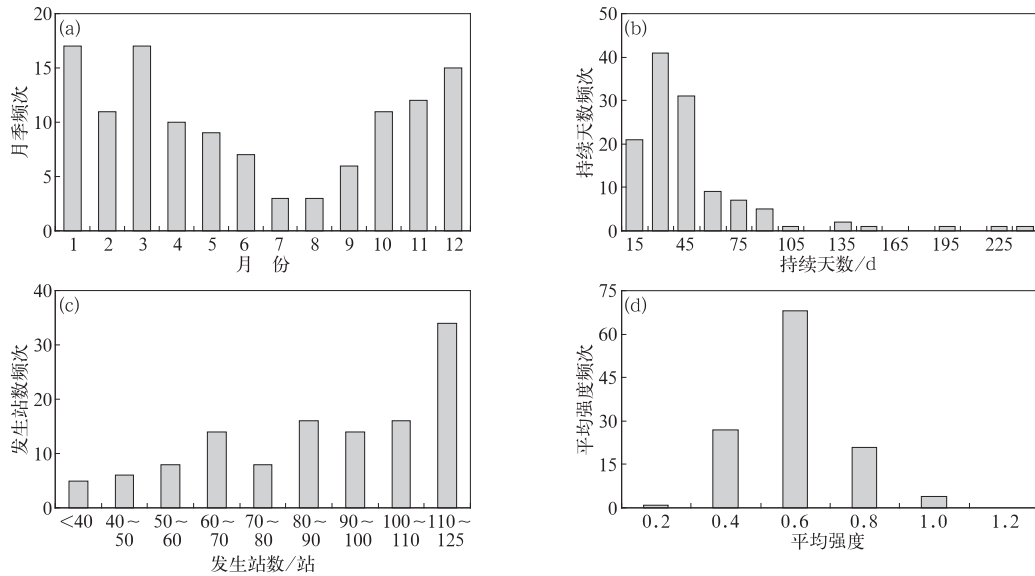


图 3 1961—2015 年云南地区区域性干旱事件月季频次(a),持续天数频次(b),发生站数频次(c)和平均强度频次(d)分布特征(单位:次)

Fig. 3 Frequency percentage distributions of regional drought events in Yunnan during 1961–2015 (unit: time)

(a) month, (b) duration, (c) number of occurrence station, (d) average intensity

强度来看,云南地区多发生中度、重度干旱,有近 96% 的干旱事件的平均过程强度较 CI 指数中旱等级-1.2 偏低 0.2~0.8,按综合气象干旱等级可划分为中旱和重旱(图 3d)。

2.3 区域特征

由 1961—2015 年云南区域性干旱事件的累积频次和累积强度的地域分布特征显示(图 4),云南省绝大部分地区干旱普遍超过 50 次,干旱较为集中发生区域位于云南中部地区,这些区域在近 55 年中,干旱发生频次的极值超过了 100 次,普遍也在 90 次以上(图 4a);从累积强度来看,整个云南中部区域干旱偏重发生,仅在云南西北部和东北部的部分区域,干旱程度偏轻(图 4b)。显而易见,云南大部区域属于干旱多发、重发区域,同时也属于高干旱灾害风险区域,与李韵婕等(2014)、张强等(2017b)的研究结果是一致的。

从近 55 年来云南区域性干旱事件发生的平均中心位置来看,有近一半以上的干旱事件中心位置都发生在 $24.5^{\circ}\sim 25.5^{\circ}\text{N}$ 、 $101^{\circ}\sim 102^{\circ}\text{E}$ 这一矩形区域内(图略),根据事件发生的平均中心位置与该区域的关系,可客观地划分事件的空间分布类型。通过综合干旱指数 I_{dry} 识别出来的 6 次极端干旱和 11 次重度干旱事件中,中部型有 11 次,西部型 3 次,南部型有 2 次,东部型 1 次。显而易见,发生频次最多

的是中部型,在强干旱事件中占了 65%,其次是西部型占了强干旱事件的 17%,东部型和南部型在强干旱事件中则发生相对较少。图 5 给出了云南区域性干旱事件中,中部型、南部型、东部型和西部型的分布典型个例。

地形是造成云南中部区域干旱多发的另一个重要因素。云南地形西北部高、东南部低,最高点为滇藏交界的梅里雪山主峰卡格博峰,海拔 6740 m,最低点在与越南交界的南溪河与元江交汇处,海拔仅 76.4 m,高海拔与高纬度相结合,低海拔与低纬度相一致,这样的地形特点加大了气候态的水平变幅,加之占全省总面积 94% 的高原、山地和坡地等地形的气候垂直变率,导致了云南各地灾害频发、多发,差异性大的特点。云南中部及以东地区地处哀牢山脉的西侧,从印度洋吹来的西南暖湿气流被其阻隔,在滇西区域往往形成多雨、湿润的气候特征,而处在背风坡的滇中地区则降水偏少,极易形成干燥、少雨的气候特征。由于气候和地形条件的复杂性,加之人类活动的影响以及大气环流的年际变化,使得云南地区干旱灾害日趋严峻。

3 实况验证

表 2 中列出了近 55 年来,云南 6 次区域性极端干旱过程,2009—2010 年的秋冬春连旱,名列榜首。

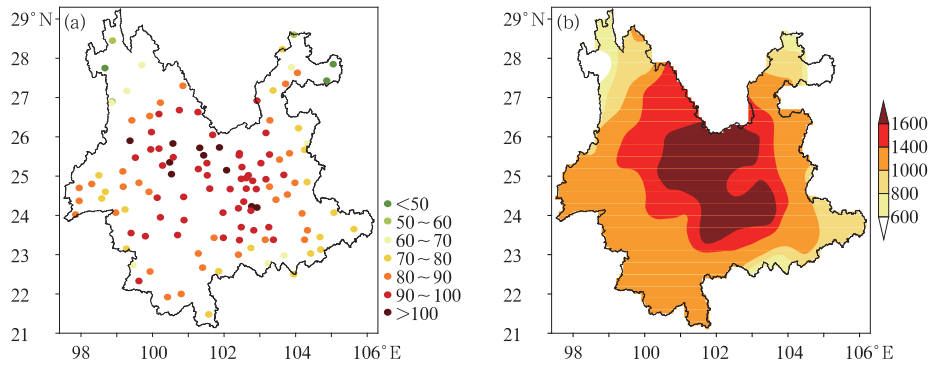


图 4 1961—2015 年云南区域性干旱事件的地域分布特征

(a) 累积频次, (b) 累积强度

Fig. 4 Distributions of regional drought events in Yunnan during 1961–2015

(a) frequency, (b) accumulated intensity

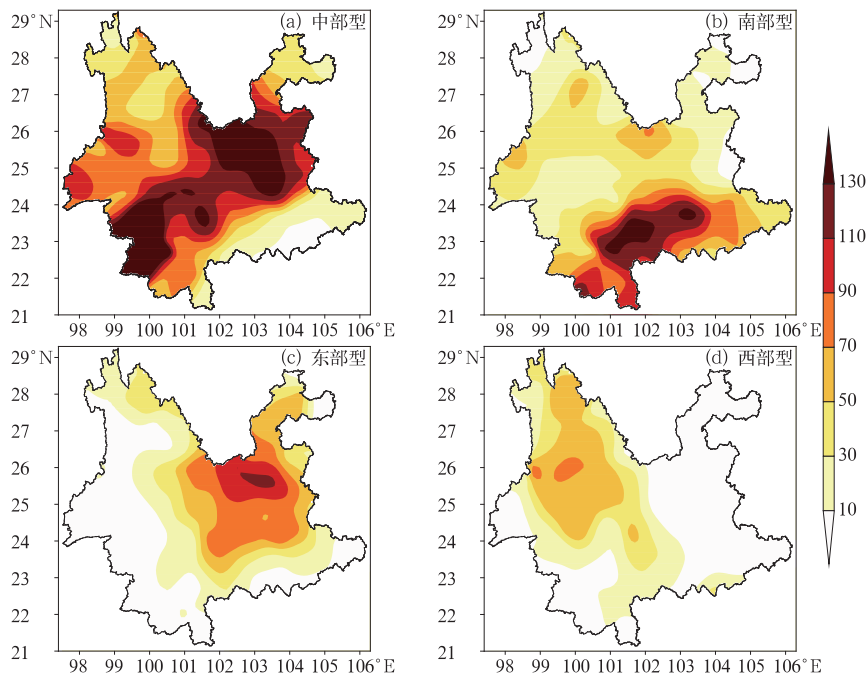


图 5 云南地区 4 类干旱分布型典型个例累积强度分布

(a)1978 年 10 月 25 日至 1979 年 6 月 18 日, (b)1962 年 11 月 13 日至 1963 年 3 月 12 日,

(c)1963 年 3 月 31 日至 6 月 13 日, (d)2015 年 5 月 19 日至 7 月 28 日

Fig. 5 Distributions of accumulated intensities of typical cases for the four distribution patterns of regional drought events in Yunnan

(a) 25 October 1978–18 June 1979. (b) 13 November 1962–12 March 1963,

(c) 31 March 1963–13 June 1963, (d) 19 May 2015–28 July 2015

表 2 1961—2015 年云南地区 6 次区域性极端干旱事件

Table 2 Six extreme regional drought events in Yunnan during 1961–2015

名次	发生时间/年.月.日	持续天数/d	影响站数	平均强度	极端最大强度	平均中心位置
1	2009.9.13 至 2010.4.22	222	124	0.8	-3.5	24.88°N,101.91°E
2	1978.10.25 至 1979.6.18	237	123	0.7	-3.5	24.88°N,101.54°E
3	1963.3.31 至 1963.6.13	75	110	1.0	-4.1	25.12°N,102.25°E
4	2012.10.21 至 2013.5.2	194	123	0.7	-3.5	25.14°N,101.48°E
5	1984.3.9 至 1984.5.6	59	121	1.0	-3.7	24.64°N,101.8°E
6	1969.1.22 至 1969.6.16	146	122	0.7	-3.6	24.72°N,101.81°E

从表中统计的 6 次极端干旱过程的指标来看,云南地区在冬春季节多发严重干旱,最长能持续到春末夏初的 5、6 月,形成冬春连旱或者是秋冬春连旱,2009 年极端干旱就属于后者;其次,严重旱情一般都会波及全省的 125 个县(市),或是绝大多数县市;干旱事件平均强度的 CI 指数较 -1.2 中旱等级标准偏低 0.7~1.0,达到重旱等级,极端强度的 CI 指数更是达到 -4.1~-3.5,为特旱等级。特别地,在近 10 年中,就有两次极端干旱出现,这也说明了云南地区干旱事件频次增多、强度增强。

为了对已识别出的结果进行验证,本文选取这 6 次极端干旱过程与同期的降水实况进行对比后发现,在相对应时段内,全省无资料缺测的台站中,降水偏少 2 成以上的台站,分别有 75~109 站次,占全省站点数的 62%~90%,即在干旱发生时段内,全省绝大部分台站降水特少或极少,降水正常或者偏多的台站仅占全省的 3%~20%(图 6)。考虑到文章篇幅,本文仅列举了最近两次极端干旱的同期降水距平百分率与累积强度来进行对比,由图 7 可以

看到,这两次干旱的累积强度高值中心与降水距平百分率的负值中心对应紧密,空间分布趋势基本一致,说明降水实况与干旱过程强度比较一致。

为从多方面来验证本文识别出的干旱过程的可靠性,经查阅《中国气象灾害大典·云南卷》(温克刚和刘建华,2006),其中,对 1963、1969 年云南干旱的

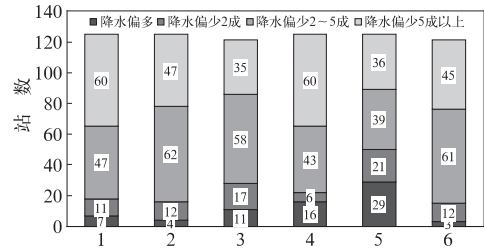


图 6 1961—2015 年云南地区 6 次极端干旱事件时段内测站降水 (图中数字为站数)

Fig. 6 Observed rainfall during the extreme regional drought events in Yunnan during 1961—2015 (The number in the figure is the stations)

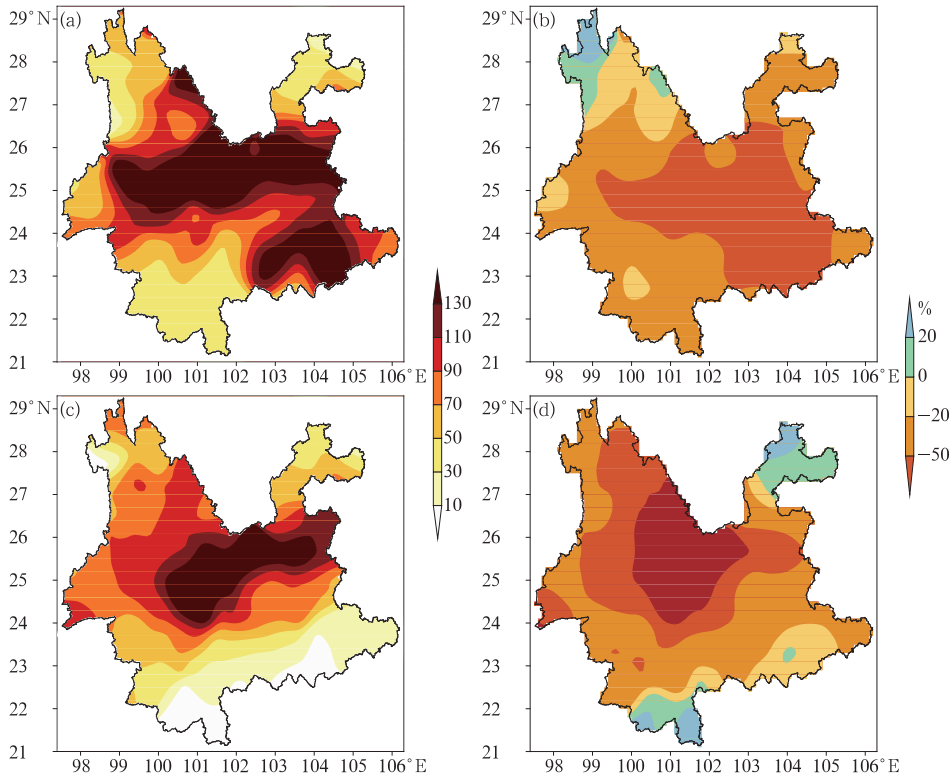


图 7 云南两次极端干旱个例的累积强度(a,c)与同期降水距平百分率(b,d) (a,b)2009 年 9 月 13 日至 2010 年 4 月 12 日, (c,d)2012 年 10 月 21 日至 2013 年 5 月 2 日
Fig. 7 Accumulated intensity (a, c) and precipitation anomaly percentage (b, d) of the recent two extreme droughts in Yunnan (a, b) 13 September 2009—12 April 2010, (c, d) 21 October 2012—2 May 2013

评述是云南省干旱十分严重,为解放以来少有的大旱年;1984年云南春旱成灾,降水量比同期减少7~9成;1979年,云南省继上年冬旱后降水持续偏少,出现了历史上罕见的大旱,全省3/4的县(市)到6月18日才陆续进入雨季。特别值得注意的是,在前述的云南近55年来干旱事件的时间变化特征中,1965和2000年云南没有发生区域性干旱事件,查看史料记录为,1965年仅有江川、永善两县在7月出现了短时、局地旱情;2000年仅在元江河谷的部分地区出现了短时冬季干旱(温克刚和刘建华,2006)。从上述分析可以看出,本文所识别的区域性干旱事件与观测记录对干旱事件原貌的记载是基本符合的。

4 结论与讨论

(1) 本文利用逐日综合气象干旱指数为研究资料,基于前人工作的基础上,运用一种更简化的识别区域性干旱事件的方法,对近55年来云南区域性干旱事件进行识别及统计分析,从识别结果来看,更符合实际,与前人研究结果可相互印证,且本文所识别出的区域性干旱过程在空间和时间识别率上更为精细。

(2) 选取区域性干旱事件的持续天数、影响站点数、平均强度、累积强度和极端最大强度这5个单一事件评价指标,构建了云南区域性干旱的综合评估模型,对区域性干旱的评价更加全面、客观,且更具操作性。

(3) 1961—2015年云南共发生区域性干旱事件121次,其发生的频次、累积强度和累积影响站次均呈现上升趋势,且年际差异大。特别地,在2011—2015年的近5年中,干旱发生频次、累计强度和累积影响站次均已超过了各指标在前面各年代统计极值的50%以上,表明近年来,云南的区域性干旱事件有发生频数、影响范围和灾害强度同时增强的趋势。

(4) 云南在冬、春季节的12、1和3月发生干旱最多,雨季的7、8月干旱发生最少;干旱持续天数集中在15~45 d,峰值为15~30 d,超过150 d的干旱较少发生,最长的可达222 d。云南多发全省性的旱情,在全省125个气象站中,一次干旱事件一般影响110~125站次,且多发中、重度干旱,有近96%的干旱事件平均强度能达中旱和重旱。

(5) 云南中部区域干旱偏多、偏重发生,滇西北、滇东北和滇东南的部分区域干旱程度相对较轻。在严重的干旱事件中,根据平均中心位置可分为中部型、西部型、东部型和南部型,其中,中部型发生频次最多。

(6) 云南所处的特殊的地理环境与气候变暖背景下大气环流的异常、年际变率加大是导致云南地区干旱事件频率和强度逐渐增大的主要原因。

本文以逐日综合干旱指数为基础对云南地区近55年来的区域性干旱事件的持续时间、影响范围、累积强度等灾害表征量进行了客观的统计分析,弥补了用常规旬月气象资料无法准确描述气象干旱事件开始、发展及结束的不足,同时也为区域性干旱事件进行成因诊断提供了相对可靠的参考。但就云南干旱监测与预测理论研究及灾害预警技术的提高而言,不同的干旱监测技术在云南地区的适用性分析仍需加强;同时,在气候变暖背景下,南亚季风的年际变化与云南地区干旱的年际变率的规律及其影响的物理机制等尚不明确,需要进一步后续研究。

致谢: 本文所用到的区域性干旱识别方法的选取及参数化方案的确定曾得到中国气象科学研究院研究员任福民老师、国家气候中心高级工程师龚志强老师的悉心指导和无私帮助,资料的获取得到了国家气候中心侯威高级工程师的大力支持,对三位老师表示最诚挚的谢意!

参考文献

- 安莉娟,任福民,李韵婕,等,2014.近50年华北区域性气象干旱事件的特征分析[J].气象,40(9):1097-1105.
- 程建刚,解明恩,2008.近50年云南区域气候变化特征分析[J].地理科学进展,27(5):19-26.
- 程建刚,晏红明,严华生,等,2009.云南重大气候灾害特征和成因分析[M].北京:气象出版社:40-85.
- 崔冬林,2010.近50年中国区域持续性气象干旱事件的客观识别及变化研究[D].兰州:兰州大学.
- 丁一汇,孙颖,刘芸芸,等,2013.亚洲夏季风的年际和年代际变化及其未来预测[J].大气科学,37(2):253-280.
- 段旭,陶云,郑建萌,等,2012.气象干旱时空表达方式的探讨[J].高原气象,31(5):1332-1339.
- 过霁冰,徐祥瑞,施晓晖,等,2012.青藏高原冬季积雪关键区视热源特征与中国西南春旱的联系[J].高原气象,31(4):900-909.
- 韩兰英,张强,姚玉璧,等,2014.近60年中国西南地区干旱灾害规律与成因[J].地理学报,69(5):632-639.
- 胡学平,王式功,许平平,等,2014.2009—2013年中国西南地区连续干旱的成因分析[J].气象,40(10):1216-1229.
- 黄荣辉,杜振彩,2010.全球变暖背景下中国旱涝气候灾害的演变特征及趋势[J].自然杂志,32(4):187-195.

- 况雪源,王遵娅,张耀存,等,2014.中国近50年来群发性高温事件的识别及统计特征[J].地球物理学报,57(6):1782-1791.
- 李维京,左金清,宋艳玲,等,2015.气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化[J].气象,41(3):261-271.
- 李韵婕,任福民,李忆平,等,2014.1960—2010年中国西南地区区域性气象干旱事件的特征分析[J].气象学报,72(2):266-276.
- 廖要明,张存杰,2017.基于MCI的中国干旱时空分布及灾情变化特征[J].气象,43(11):1402-1409.
- 刘珂,姜大勝,2014.中国夏季和冬季极端干旱年代际变化及成因分析[J].大气科学,38(2):309-321.
- 彭贵芬,刘瑜,张一平,2009.云南干旱的气候特征及变化趋势研究[J].灾害学,24(4):40-44.
- 陶云,黄玮,郑建萌,等,2014.云南冬季降水的演变特征及成因分析[J].高原气象,33(1):130-139.
- 王静爱,孙恒,徐伟,等,2002.近50年中国旱灾的时空变化[J].自然灾害学报,11(2):1-6.
- 王晓敏,周顺武,周兵,2012.2009/2010年西南地区秋冬春持续干旱的成因分析[J].气象,38(11):1399-1407.
- 王学锋,2012.区域动态气象干旱强度指数及其应用[J].气象科技,40(4):601-605.
- 王宇,2006.云南山地气候[M].昆明:云南科技出版社:13-42.
- 温克刚,刘建华,2006.中国气象灾害大典·云南卷[M].北京:气象出版社:47-96.
- 袭祝香,孙力,刘实,2009.吉林省单站暴雨特征分析及评估方法[J].气象科学,29(2):230-234.
- 肖子牛,石文静,段玮,2016.云南夏季降水量在21世纪初的突变减少及原因分析[J].气象,42(3):261-270.
- 晏红明,程建刚,郑建萌,等,2012.2009年云南秋季特大干旱的气候成因分析[J].大气科学学报,35(2):229-239.
- 晏红明,梁红丽,金燕,等,2015.冬季欧亚大陆热力变化特征及其与大气环流变化的关系[J].大气科学学报,38(5):577-587.
- 《云南未来10—30年气候变化预估及其影响评估报告》编写委员会,2014.云南未来10—30年气候变化预估及其影响评估报告[M].北京:气象出版社:12-22.
- 张强,韩兰英,张立阳,等,2014.论气候变暖背景下干旱和干旱灾害风险特征与管理策略[J].地球科学进展,29(1):80-91.
- 张强,韩兰英,郝小翠,等,2015a.气候变化对中国农业旱灾损失率的影响及其南北区域差异性[J].气象学报,73(6):1092-1103.
- 张强,姚玉璧,李耀辉,等,2015b.中国西北地区干旱气象灾害监测预警与减灾技术研究进展及其展望[J].地球科学进展,30(2):196-213.
- 张强,王劲松,姚玉璧,等,2017a.干旱灾害风险及其管理[M].北京:气象出版社:2-5.
- 张强,姚玉璧,王莺,等,2017b.中国南方干旱灾害风险特征及其防控对策[J].生态学报,37(21):7206-7218.
- 张强,张良,崔显成,等,2011.干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战[J].地球科学进展,26(7):763-778.
- 张强,邹旭凯,肖风劲,2006.气象干旱等级:GB/T20481-2006[S].北京:中国标准出版社:1-17.
- 张万诚,郑建萌,任菊章,2013.云南极端气候干旱的特征分析[J].灾害学,28(1):59-64.
- 邹旭凯,张强,2008.近半个世纪我国干旱变化的初步研究[J].应用气象学报,19(6):679-687.
- Dai Aiguo,2011. Drought under global warming: a review[J]. WIREs Clim Change,2(1):45-65.
- Qian Weihong, Shan Xiaolong, Zhu Yafen,2011. Ranking regional drought events in China for 1960—2009[J]. Adv Atmos Sci,28(2):310-321.
- Ren Fumin, Cui Donglin, Gong Zhiqiang, et al,2012. An objective identification technique for regional extreme events[J]. J Climate,25(20):7015-7027.