

宋琳琳,张强,任余龙,等.PDSI及sc_PDSI干旱指数在中国西南地区适用性分析[J].中国沙漠,2021,41(2):242-252.

PDSI及sc_PDSI干旱指数在 中国西南地区适用性分析

宋琳琳^{1,2,3,4},张强^{4,5},任余龙⁶,李忆平⁶,韩兰英⁷,柳媛普⁶,王素萍⁶

(1.中国科学院大气物理研究所 大气科学和地球流体力学数值模拟国家重点实验室,北京 100029; 2.中国科学院大学,北京 100049; 3.中国气象局大气探测重点开放实验室,四川 成都 610225; 4.甘肃省气象局,甘肃 兰州 730020; 5.兰州大学 大气科学学院,甘肃 兰州 730000; 6.中国气象局兰州干旱气象研究所,甘肃 兰州 730020; 7.西北区域气候中心,甘肃 兰州 730020)

摘要:西南地区是中国干旱灾害频发地区,且在全球变暖背景下,干旱发生的频率和程度都有所增加,对农业生产和水资源安全造成威胁。帕默尔干旱强度指数(PDSI, Palmer Drought Severity Index)及在其基础上发展而来的自适应帕默尔干旱强度指数(sc_PDSI, self-calibrating Palmer Drought Severity Index)作为较成熟的干旱监测指标已得到广泛应用。本文利用土壤可含水量(AWC, Available Water Holding Capacity)地理空间模型中土种与AWC的对应关系,反演出西南地区更高分辨率的AWC分布,并采用中国西南70站温度月均值、月累积降水数据,分别计算了PDSI指数及sc_PDSI指数,进而比较分析两种指数的时间变化特征及统计分布性质,探讨二者在西南地区对于干旱监测的适用性。结果表明:(1)PDSI与sc_PDSI均反映了西南地区在1965—2010年变干的趋势,但PDSI时间序列振动幅度更大;(2)PDSI的频率分布出现“翘尾”现象,监测到的极端干旱/湿润事件的发生频率高于严重干旱/湿润事件,而sc_PDSI的频率分布则更接近于正态分布;(3)两种指数对2009/2010年西南地区干旱事件的监测结果表明,sc_PDSI对干旱落区和干旱级别的监测均一定程度上优于PDSI,与土壤湿度结果更为接近,而PDSI更易对旱情估计过重;(4)虽然整体上sc_PDSI对PDSI具有一定的调整作用及一定的优越性,但在个别区域(如热带季风气候)并没有体现出调整效果,应用时应当考虑区域因素。

关键词:西南地区; PDSI; sc_PDSI; 干旱指数

文章编号: 1000-694X(2021)02-242-11

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2021.00025

中图分类号: P429

文献标志码: A

0 引言

干旱指相对广阔的地区在长期无降水或降水异常偏少的气候背景下,水分供应严重不足的现象^[1-2]。陆地上1950年以来的降水、径流和干旱指数的历史记录均显示干旱加剧,而模式对未来30—90年的预测结果指示,由于降水减少和/或蒸发增加,许多地区将出现严重而普遍的干旱^[3]。中国降水分布极不平衡,水资源供需矛盾十分尖锐,平均2—3年就发生1次严重干旱灾害^[4]。中国同时是人口密集的农业国家,在季风气候的影响及全球变暖背景下,干旱事件频发^[5],对农业生产造成深远的负

面影响,并引起水资源短缺等一系列问题^[4,6]。

西南地区是中国干旱灾害频发地区^[7]。李韵婕等^[8]的研究表明,1960—2010年,由于降水量显著减少,西南地区区域性气象灾害事件的范围、强度和频次均显著增加。如1962年11月至1963年5月,西南地区南部发生冬春连旱;2009年8月至2010年4月,西南地区发生大范围、长时间的秋冬春三季连旱^[9]。因此对西南地区干旱的监测及发生机理的分析显得尤为重要。

干旱指标是干旱监测的基本手段,目前国内外相关研究已提出大量干旱评价指标和方法^[10-13]。其中Palmer^[14]提出的帕默尔干旱强度指数(PDSI,

收稿日期:2020-12-03; 改回日期:2021-03-03

资助项目:甘肃省青年科技基金计划项目(17JR5RA343);中国气象局大气探测重点开放实验室开放课题(KLAS201706)

作者简介:宋琳琳(1984—),女,辽宁辽阳人,博士研究生,主要从事数值天气预报、干旱气候与环境研究。

E-mail: songlinlin@mail.iap.ac.cn

Palmer Drought Severity Index)具有尤为重要的意义。PDSI综合考虑了水分平衡的各个要素(温度、降水、土壤类型等)^[15],并考虑了前期降水量和水分供求对后期的影响。但该指数最初应用于美国半干旱地区,因而在其他区域应用时具有一定的局限性^[16]。Wells等^[17]在PDSI的基础上发展了自适应帕默尔干旱强度指数(sc_PDSI, self-calibrating Palmer Drought Severity Index),计算时自动校正各站点的持续因子和气候权重因子,使计算结果依赖于站点的气候特征,对于湿情况有不同的敏感性,一定程度上提高了空间可比性及适用性。Dai^[18]通过修改潜在蒸发(PE, potential evapotranspiration)计算公式重新计算了PDSI和sc_PDSI,发现PE的选择只会对PDSI和sc_PDSI产生很小的影响,并使sc_PDSI在空间上比原始PDSI更具有可比性,但sc_PDSI的直方图在许多地方仍然不是高斯分布。实际上PDSI及sc_PDSI对土壤可含水量(AWC, Available Water Holding Capacity)的变化相当敏感^[19],更准确的AWC或能提高PDSI及sc_PDSI的计算精度。之前的研究主要着眼于全球等较大范围,因而其数据空间分辨率并不需要作较高要求,但在西南这一地形及气候复杂的区域,上述研究中的AWC数据精度并不能很好地体现各站点土壤性质的空间差异性,最终影响两种指数的计算结果精度。

为了得到适应于西南地区干旱监测的更高精度和更加准确的干旱指标,并分析两种指数在西南地区对于干旱监测的差异性,为该区域干旱监测提供更佳的理论支持,本文利用土壤可含水量(AWC)地理空间模型中土种与AWC的对应关系,反演出西南地区70个站点更高精度的AWC数值,计算了两种指数1965—2010年的结果,统计分析两种指数在该区域的时间及空间分布特征,并针对2009/2010年西南地区严重干旱事件,通过对比土壤湿度,尝试探讨PDSI及sc_PDSI在西南地区的适用性。

1 数据与方法

1.1 研究区域概况

西南地区涵盖云南省、四川省、贵州省和重庆直辖市,为中国主要粮油产区^[20]。该区土壤类型为热带和亚热带的地带性土壤,主要为红壤土。西南地区主要处于副热带高压带范围,受青藏高原影响,以亚热带季风气候为主,气候特征为冬季干旱

夏季多雨,干湿分明,年降水量900 mm以上。然而近年来由于极端天气气候事件发生频率的增加,越来越多的研究开始关注和研究该区域干旱事件的发生和影响^[13,21-22]。根据段海霞等^[23]的研究,2009年10月底至2010年春季,东亚冬季风强度持续偏强,西太平洋副热带高压较常年偏西偏南,西南地区长期受副高控制,气温持续偏高,印缅槽强度较常年偏弱,来自印度洋、孟加拉湾以及南海的水汽不足,致使降水偏少,西南地区干旱发生发展。

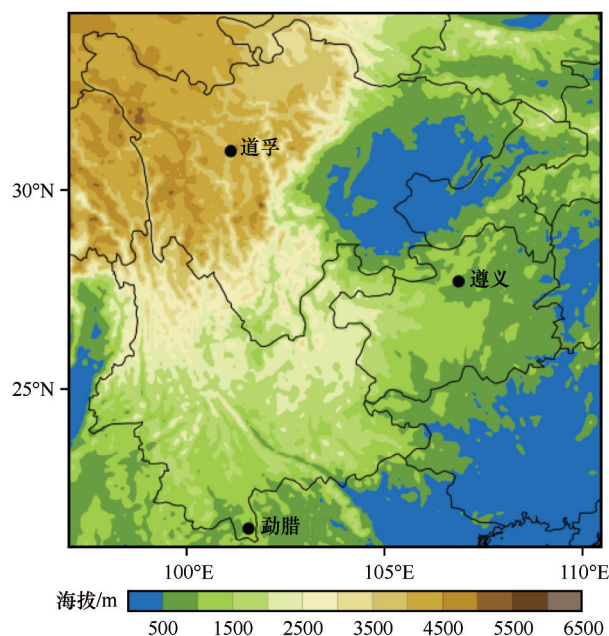


图1 研究区域海拔(单位:m)与代表站点(道孚、遵义、勐腊)位置

Fig.1 Study area terrain height (unit: m) and the locations of typical metrological stations (Daofu, Zunyi, Mengla)

1.2 数据来源

本文所使用的月平均温度和月降水数据分别为西南地区98个观测站1961—2012年的月均值及月累计量。数据中部分站点的某些月份值为缺测,因而经过剔除后,最终保留70个时间序列完整的观测站,用以计算PDSI及sc_PDSI指数。

西南地区土壤类型站点数据源自中国科学院南京土壤研究所土壤分中心,中国土壤数据库(<http://www.soil.csdb.cn/>)中的“中国土种数据库(新)”。各种类型土壤的可含水量数值来自基于土壤理化性质及GIS技术建立的中国土壤AWC地理空间模型^[24]。

土壤湿度格点数据来自ERA_Interim再分析资料^[25]。ERA_Interim资料由全球大气再分析系统输

出,时间由1979年1月开始,目前仍每日实时更新。该再分析系统包含12小时同化窗口的四维变分分析模块,垂直方向自地表至0.1 hPa共分为60层,输出模式层及气压层上各种气象信息场、地表数据以及基于日值计算的月均值产品。土层30 cm处含水率的变化情况对月尺度的干旱事件响应较好,可以指示作物受到干旱胁迫的程度^[26],因而本文采用ERA_Interim再分析资料输出的第二层(27—28 cm深度)土壤体积含水量数据,将其作为干旱程度的指示。第二层土壤体积含水量再分析资料的空间分辨率为 $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$ 。为与PDSI及sc_PDSI时间分辨率对应,土壤含水率采用日值的月平均结果。

1.3 分析方法

1.3.1 西南地区AWC数据构建

PDSI和sc_PDSI的计算结果对于AWC的取值均相当敏感^[17]。之前的研究多基于全球范围,如Dai等^[27]使用 2.58° 经纬度网格分辨率的全球陆地历史降水和温度数据,得出了1870—2002年的PDSI月度数据集。此分辨率数据集采用的AWC数据对分辨率要求不高^[28](如 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$)。而本研究关注中国西南地区4省区域,其范围较小、地形复杂、气候类型丰富,且土壤类型并不完全相同,因而上述研究中的AWC分辨率不能满足本区域的计算需求,需要利用其他方法提高AWC数据的精度。

周文佐^[24]基于土壤理化性质,通过拟合建立了

AWC的估算模型,并运用GIS技术构建了土壤AWC地理空间模型,给出了不同土种的AWC数据参考值,使反演西南地区各站点AWC数值成为可能。本文利用中国土种数据库(新),标记出西南地区70个测站的主要土壤类型,利用中国土壤AWC地理空间模型中土壤类型与AWC的对应关系,计算出70个测站各自的AWC数值,再应用于PDSI及sc_PDSI的计算,很大程度上提高了区域尺度上这两种干旱指数的精度,且可使得各站点实际存在的差异性得以保留和体现。

1.3.2 PDSI及sc_PDSI指数计算

PDSI定义的干旱在数月或数年内,水分供应持续低于气候上所期望的水分供给^[29]。计算时,根据水分平衡原理,考虑蒸发、径流和土壤含水量等因素,计算得到气候适宜降水量,之后计算出水分距平指数,在此基础上增加持续因子的影响,最终得到干旱指标^[14,30]。按照PDSI的结果将干旱分为9个等级(表1),负值越小表明干旱程度越重,正值越大表明湿润程度越高,其中当 $PDSI < -3$ 时,定义为严重或极端干旱。

sc_PDSI将PDSI中的经验气候因子以及持续因子(0.897和1/3)用基于某一具体位置上历史气候数据自动计算的数值代替。这样就使得计算结果依赖于当前所计算的站点气候特征,对于干湿状况有不同的敏感性,并使指数的空间可比性有所提高^[31]。

表1 PDSI指数等级划分
Table 1 Grade of PDSI index

PDSI指数值	等级	PDSI指数值	等级	PDSI指数值	等级
≥ 4.00	极端湿润	1.00—1.99	轻微湿润	-2.99—-2.00	中等干旱
3.00—3.99	严重湿润	-0.99—0.99	正常	-3.99—-3.00	严重干旱
2.00—2.99	中等湿润	-1.99—-1.00	轻微干旱	≤ -4.00	极端干旱

本文计算月PDSI时采用美国国家气候数据中心(NCDC, National Climatic Data Center)的计算程序,计算sc_PDSI时采用Wells等^[17]提出的校正程序,得到1965—2010年PDSI及sc_PDSI的月值序列。

2 结果与讨论

2.1 PDSI及sc_PDSI时间变化

图2A为PDSI及sc_PDSI两种指数1965—2010年逐月70站平均值结果序列。46年间,两种指数随

时间的变化趋势较为一致,即当PDSI出现相对高(低)值时,sc_PDSI亦出现高(低)值,两种指数的70站平均值时间序列的相关系数达到0.934($P < 0.01$)。这表明,虽然调整了算法,但sc_PDSI与PDSI的结果相关性仍然很高,变化趋势较为一致。从整体趋势上来看,70站平均数值显示2000年以来两种指数的下降趋势,表明西南地区干旱程度的增加。

但两种指数的变化幅度有明显的差异,整体来讲,在一些较为干旱/湿润的时段,即当PDSI出现较大负/正数值时,sc_PDSI的变化幅度较小,特别是指

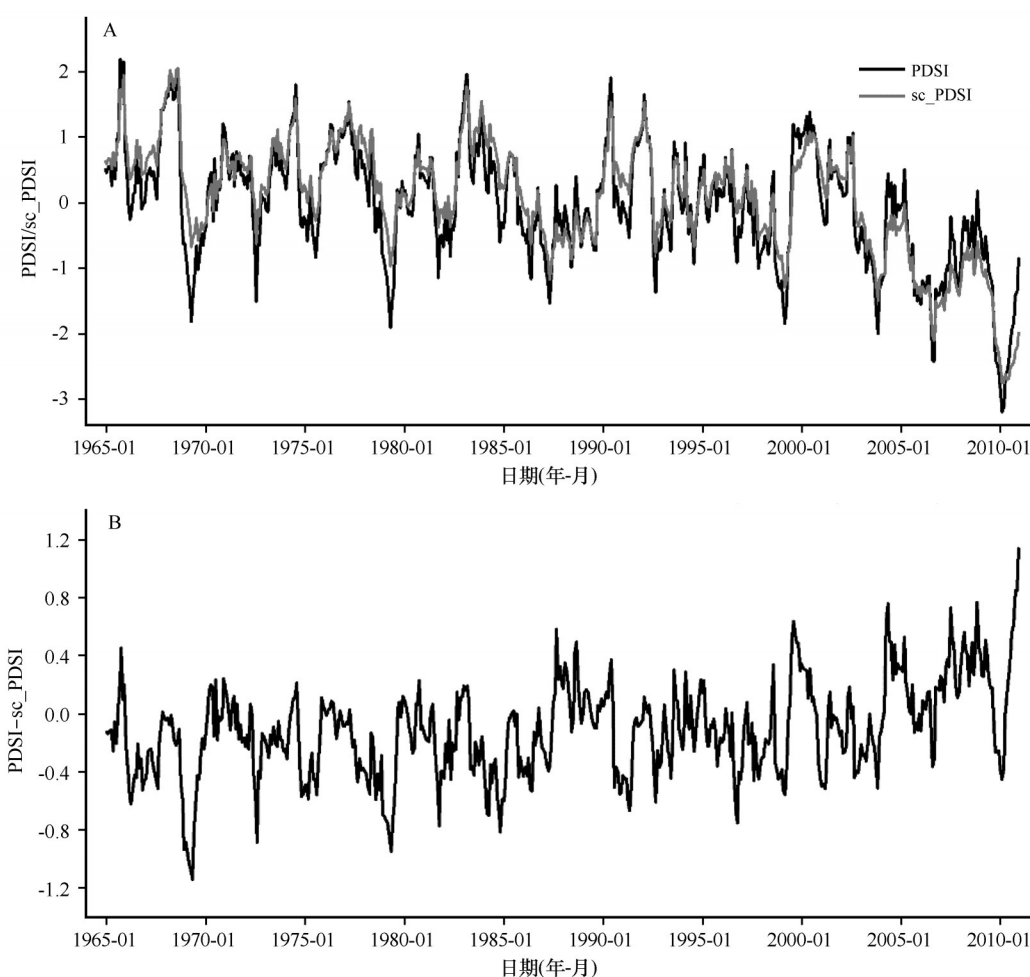


图2 70站PDSI、sc_PDSI区域平均值(A)及其差值(B)的时间序列

Fig.2 Time series of 70-station averaged PDSI and averaged sc_PDSI (A), as well as their bias (B)

数急剧变化时,sc_PDSI的震动幅度相对较小,曲线较为平滑。如在70站平均图上,1969年5月,PDSI的区域均值为-1.81,而sc_PDSI的区域平均仅为-0.67;1979年5月,PDSI的区域均值为-1.91,而sc_PDSI为-0.96;1999年9月,PDSI的取值达到一个相对高值,为1.03,但sc_PDSI仅为0.48;而在2010年2—12月,PDSI由-3.20上升到-0.84,而这期间sc_PDSI由-2.74上升到-1.98,极值及变化幅度均小于同期的PDSI。由两种指数的差值(图2B)来看,二者平均值的差值最低值出现在1969年5月份,为-1.14,而最高出现在2010年12月,为1.14,且差值随时间呈一定的上升趋势。

为了详细对比两种指数在西南地区的表现,选取了位于不同气候分区的3个站点为代表站进行分析。3个站点分别为位于高原高山气候区的道孚站、位于亚热带季风气候区的遵义站,以及位于热带季风气候区的勐腊站。图3为3个代表站PDSI及

sc_PDSI月值随时间的变化,以及二者的差值(PDSI-sc_PDSI)的时间序列。对于不同气候区的道孚站、遵义站和勐腊站,两种指数均表现出较好的一致性,二者的相关系数可分别达到0.973($P<0.01$)、0.93($P<0.01$)及0.84($P<0.01$),均为显著正相关。3个代表站的PDSI指数最大值均在6左右,但最小值有较大区别,道孚站PDSI最小值可达到-8.14(2008年7月),遵义站为-6.47(2006年10月),而勐腊站仅为-4.91(2004年8月)。这表明在高原高山气候区PDSI更易指示出严重干旱,而在热带季风气候区反映的旱情则相对较轻,不同地区的差异性较大。而sc_PDSI在不同气候区的最大值分别为4.87(1993年10月),5.09(1971年5月)以及6.29(2003年3月),而最小值均在-5左右。这表明sc_PDSI对于干旱的监测具有更好的空间一致性,但在湿润地区对湿润事件更为敏感。总体而言,当PDSI急剧变化时,3站的sc_PDSI变化幅度更小,这与70站平均

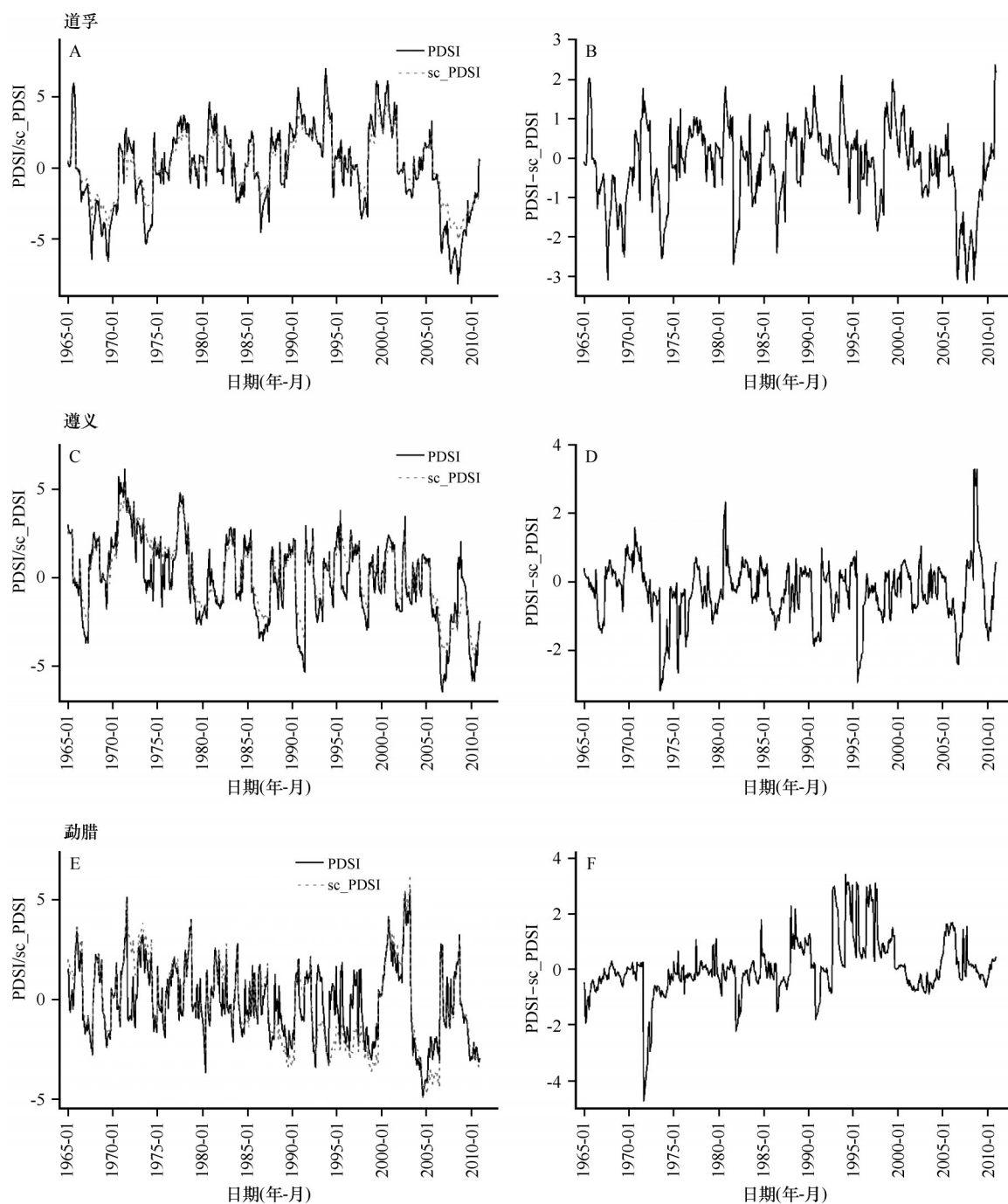


图3 西南干旱事件的3个代表站PDSI及sc_PDSI月值时间序列(列1),以及二者差值(列2)

Fig.3 Time series of PDSI and sc_PDSI (left column) of three stations involved in the 2009/2010 drought event in southwest area, and their biases (right column)

的总体趋势是一致的。如在道孚站,1967年9月、1969年5月,PDSI指数均出现低于-6的极值,但sc_PDSI指数在该时段附近的极值仍大于-4(1967年8月为-2.79,1969年5月为-3.79),即PDSI指示极端干旱,但sc_PDSI分别指示为中等及严重干旱;2008年7月PDSI指数为-8.14,而sc_PDSI为-4.14,二者均指示严重干旱,但前者大约为后者的两倍,

相差很大。在对湿润的指示上,PDSI及sc_PDSI在1993年10月均指示极端湿润,但前者出现了6.96的高值,而相同月份对应的sc_PDSI指数仅为4.87。

2.2 PDSI及sc_PDSI统计分析

除了时间序列的分析,我们也统计了PDSI及sc_PDSI的频率分布(图4)。由-4.5至4.5,每隔0.5

作为一个区间,分别统计两种指数在各区间出现的次数并计算频率。图4A—C分别为道孚、遵义及勐腊站两种指数的频率分布($n=552$),而图4D为区域70站所有月份两种指数取值的频率分布($n=39192$)。由图4D可见,在西南地区,PDSI正负4.0以外的范围频率较高,反映在图上即出现“翘尾”的现象,这一现象在道孚、遵义站均有体现。计算70站总体频率可知极端干旱事件的发生频率与严重干旱相近(分别为3.26%及4.39%),而在道孚、遵义代表站,1965—2010年出现极端干旱事件的频率分别为11.05%、5.8%,远高于出现严重干旱的频率(5.44%、3.99%)。但在勐腊站,PDSI监测到的极端干旱事件发生频率为1.45%,严重干旱事件发生频率为3.08%,较为合理,这可能与热带季风气候丰沛的降水气候背景有关。总体而言,PDSI频率分布的“翘尾”现象表示其监测到的极端干旱(湿润)事件出现的概率偏大,这与极端事件的定义似乎并不符合。亦有其他类似研究表明PDSI对于干旱事件的指示过于敏感,如段莹等^[10]对江淮流域的干旱过程研究也表明PDSI指数对干旱的指数存在偏差。而

sc_PDSI的频率分布更贴合正态分布特征,通过调整算法的调整,使得sc_PDSI无论是70站全部月份的统计还是在道孚及遵义两站,均避免了“翘尾”现象,使极端干旱/湿润事件发生概率的统计值处于更为合理的范围。相对来说,PDSI指数在代表极端干旱一侧的“翘尾”较极端湿润一侧更为明显,因而sc_PDSI对于极端干旱事件检测结果的调整效果更为明显。但对于勐腊站,sc_PDSI对于翘尾现象没有调整作用,甚至调高了检测到的极端干旱事件的频率,这或许是因为该区域特殊的气候背景引起,并且应该注意到,调整后sc_PDSI监测的极端干旱事件发生频率仍低于3%(2.54%),这与调整后的其他两站以及70站平均值接近,并不是异常的高值。因而总体来看,通过调整算法,sc_PDSI可以一定程度上避免PDSI普遍存在的“翘尾”现象,使得干旱指数的频率分布更为合理,但在热带季风性气候区域,并没有体现其调整作用。

除了“翘尾”现象的差异,在道孚和遵义两站,sc_PDSI频率分布在中心具有更高值,即sc_PDSI监测到的正常状态和轻度干旱/轻度湿润事件发生概

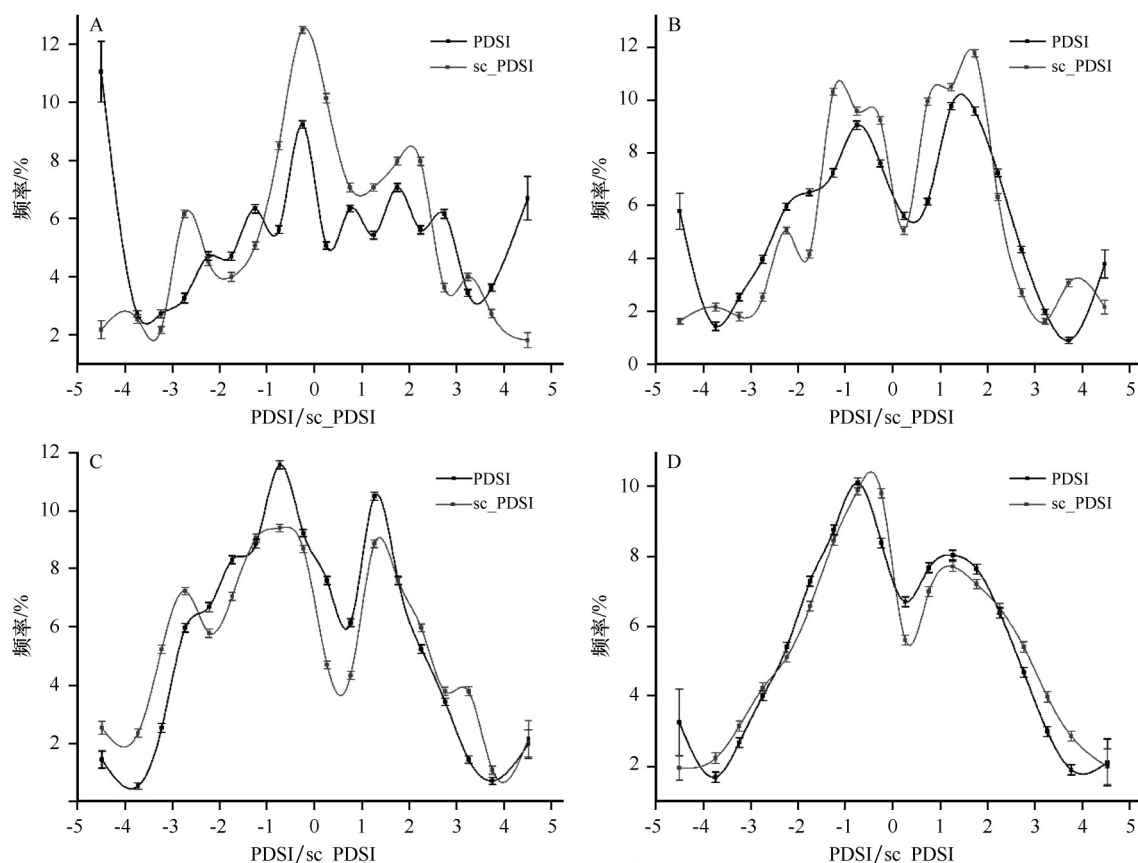


图4 道孚(A)、遵义(B)、勐腊(C)站及70站平均(D)的PDSI及sc_PDSI频率分布

Fig.4 PDSI and sc_PDSI frequency of Daofu (A), Zunyi (B), Mengla (C) stations and 70-station average (D)

率更高,而极端事件发生概率更低。但勐腊(热带地区)情况相反。70站平均后,处于正常状态和轻度干旱/轻度湿润状况时的频率相差不大。此外,无论PDSI及sc_PDSI在0—0.5取值范围的频率分布都出现了一个相对低值,表现在频率分布图上显示为一个相对的低谷,这在70站全部数据的统计和道孚、遵义、勐腊站均有出现。从全部数据的统计结果来看,sc_PDSI的低谷更为明显,但在道孚站,PDSI的低谷取值更低。这或许表明,PDSI及sc_PDSI指数的计算方法可能导致了这一结果,但在不同的站点,两种指数出现低谷的幅度并不相同,这也与Wells等^[17]对全球范围内的统计结果是一致的。

2.3 PDSI及sc_PDSI干旱监测对比

虽然前文分析了PDSI及sc_PDSI的时间变化特征以及统计分布性质,但由于最终评价干旱指标时仍要考虑指标本身对于干旱事件的指示效果,本文选取2009/2010年西南地区一次罕见的干旱过程来验证两种指标在干旱监测中的作用。

2009年9月至2010年3月,中国西南地区发生了严重的秋冬春连旱。此次干旱事件范围广、持续时间长、干旱情况严重,对西南地区的生产生活造成巨大影响^[23]。图5为土壤湿度、PDSI及sc_PDSI在此次西南地区干旱灾害持续过程中不同时间的空间分布,以及两种指数的频率统计。对此次过程,PDSI及sc_PDSI均能监测出干旱事件的发生、发展,但二者对干旱的具体描述仍有差别。本文采用的ERA_Interim数据的空间分辨率为 $0.75^{\circ} \times 0.75^{\circ}$,而由站点观测数据计算所得的PDSI及sc_PDSI指数具有更高的空间分辨率,因而仅将土壤湿度分布作为旱情的大体发展趋势进行对比分析。依据陈家宙等^[26]针对红壤进行的干旱试验结果,当无降水日累积到1月左右时,地面以下27 cm左右深度的土壤水体积比率约达到 $0.24 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 以下,因而此处界定干旱发生时该深度处土壤水体积比率的阈值取为 $0.24 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 。

图5A显示,2009年9月,四川省与重庆市交接处发生干旱,土壤水体积比率低于 $0.20 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 。此时PDSI(图5D)诊断出的干旱中心位置偏南,且达到极端干旱($\text{PDSI} < -5$)。而在四川与重庆交界处其数值为正值,并没有反映出干旱事件。sc_PDSI(图5G)诊断出的干旱中心位置亦偏南,但显示出的干旱等级相对PDSI要轻,为重度干旱($\text{sc_PDSI} < -3$),

这与干旱发生时情况更为相符。并且sc_PDSI在四川与重庆交界处数值为负值,负值区向北延伸,这与图5A中土壤湿度的分布情况更为接近。在云南地区土壤体积水分比率并没有显示有干旱事件发生,这或与模式的分辨率有关,但两种指数均显示有重度干旱出现,所不同的是,PDSI监测出云南西部和东部均出现了重旱,而sc_PDSI只显示云南西部边缘地带重旱发生。这表明,调整后的sc_PDSI指数可以一定程度上避免对干旱监测结果的高估。

图5B显示,2009年12月,云南北部与四川交界处以及四川东部小范围地区发生干旱。由图5E及图5H,两种指数对干旱的监测范围均超出实际干旱发生范围,且干旱中心偏东南,位于云南与四川交界处。两种指数的差别体现在干旱级别上,PDSI对旱情的估计更重,其数值达到-5.5,而sc_PDSI的数值(-3.5)更符合实际土壤湿度结果。此外,在四川境内土壤水体积比率低于 $0.24 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 的区域,PDSI显示为正值(较湿润),而sc_PDSI显示为负值(较干旱),与土壤湿度更为一致。因而在2009年12月,sc_PDSI对干旱的监测一定程度上优于PDSI。

图5C显示,2010年3月,西南地区发生严重干旱,四川东部及南部、重庆西部、云贵大部都有干旱发生,且土壤水体积比率最低达到 $0.18 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^{-3}$ 以下^[23-32]。干旱中心位于云南与四川交界、云南与贵州交界以及四川东部部分地区。整体来看,两种指数在云南境内监测到的干旱区域与实际情况大体吻合,或因数据空间分辨率的不同,与土壤水体积比率相比,干旱中心更为分散。但在量级上,sc_PDSI显示云南东、西部干旱等级相同(sc_PDSI均达到-5以下),这与土壤湿度的分布特征相符,而PDSI则显示云南东部的旱情要明显强于云南西部,与土壤湿度分布存在较大差异。此外在四川东部与重庆交界处发生了干旱事件,两种指数的监测结果均不理想,但sc_PDSI经调整后一定程度上纠正了不合理的正值区域。

而从频率分布上看(图5J—L),在干旱事件的开始阶段(2009年9月),两种指数显示频率的峰值均左偏(小于零),指示有干旱发生,但PDSI的峰值落在-1.5到-2之间,频率为22.86%,而sc_PDSI则落在-1—-1.5,频率为37.14%,且从整体上看,sc_PDSI的频率峰值左偏较弱,但更集中。这表明,sc_PDSI监测到的处于正常状态及轻旱状态的站点

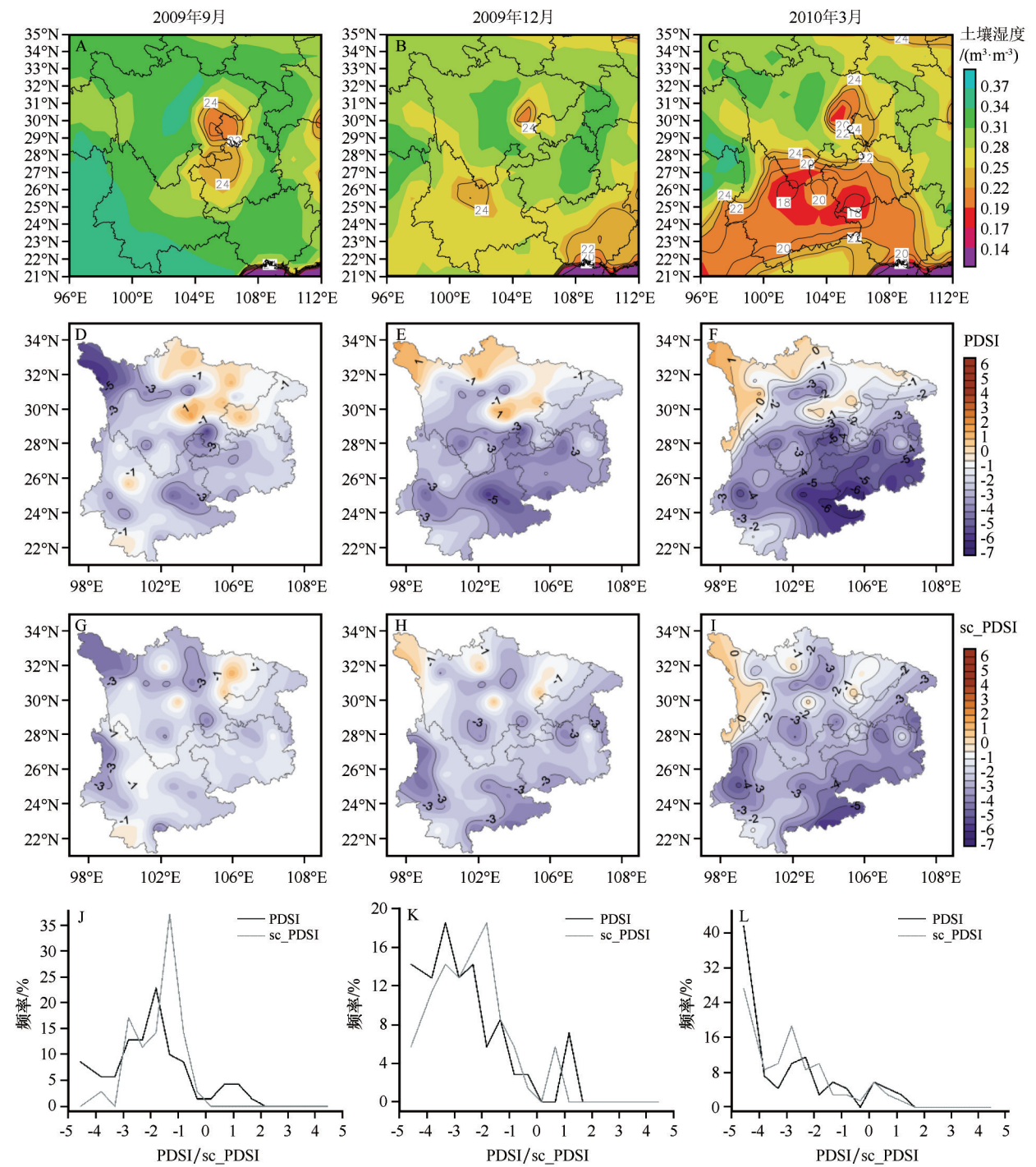


图5 2009—2010 干旱事件中土壤湿度、PDSI、sc_PDSI 及两种指数的频率分布

Fig.5 Soil moisture, PDSI, sc_PDSI and frequency distributions of the two indexes in 2009-2010 drought event

较 PDSI 更多,而严重干旱及极端干旱的站点更少,即 sc_PDSI 监测到的旱情较 PDSI 要弱,但处于湿润状态的站点为零(PDSI 显示有少部分站点处于轻度湿润状态)。在干旱发展阶段(2009 年 12 月),两种指数监测到的处于干旱状态的站点数增加,且干旱程度加深。但 PDSI 的峰值落在-3—-3.5,频率为 18.57%,而 sc_PDSI 的峰值落在-1.5—-2,频率也为

18.57%。整体上看,sc_PDSI 监测到的干旱较 PDSI 偏轻。在干旱全盛阶段,两种指数的频率分布较为一致,均显示出全区域明显的干旱状态,且处于极端干旱的站点比率大幅度增加。

两种指数在此次干旱灾害不同时间段的监测结果表明,经过算法的调整后,sc_PDSI 指数监测的干旱区域以及干旱等级均一定程度上更接近土壤湿

度的空间分布特征。且PDSI在干旱的发生和发展阶段可能过度地估计了旱情,而sc_PDSI指数或更加合理。这或可说明此次过程中,sc_PDSI在西南地区适用性更优。

3 结论

从时间序列来看,PDSI与sc_PDSI均反映了1965—2010年西南地区“变干”的事实,但PDSI振动幅度更大。

从频率统计结果来看,PDSI出现“翘尾”现象,即监测到的极端干旱/湿润事件的发生频率高于严重干旱/湿润事件,而sc_PDSI通过算法的调整避免了这一“翘尾”现象,其频率分布更接近于正态分布。

两种指数对2009/2010年的干旱事件监测结果表明,sc_PDSI在区和量级上均一定程度上优于PDSI,并且与再分析产品的27 cm深度处土壤水体积比率结果更为一致,而PDSI易对旱情估计过重。

虽然整体上sc_PDSI对PDSI具有一定的调整作用,具有一定的优越性,但在个别区域(如热带季风气候),并没有体现出调整效果,应用时应当考虑区域因素。

参考文献:

- [1] 王体健,高太长,张宏昇,等.新中国成立70年来的中国大气科学研究:大气物理与大气环境篇[J].中国科学:地球科学,2019,49(12):1833-1874.
- [2] 李亿平,李耀辉.气象干旱指数在中国的适应性研究进展[J].干旱气象,2017,35(5):709-723.
- [3] Dai A.Increasing drought under global warming in observations and models[J].Nature Climate Change,2012,3(1):52-58.
- [4] 张强,陈丽华,王润元,等.气候变化与西北地区粮食和食品安全[J].干旱气象,2012,30(4):509-513.
- [5] Zhang J, Sun F, Liu W, et al. Spatio-temporal patterns of drought evolution over the Beijing-Tianjin-Hebei region, China [J]. Journal of Geographical Sciences, 2019, 29 (6) : 863-876.
- [6] Leblois A, Philippe Q. Agricultural insurances based on meteorological indices: realizations, methods and research challenges [J]. Meteorological Applications, 2013, 20(1): 1-9.
- [7] 张强,姚玉璧,李耀辉,等.中国干旱事件成因和变化规律的研究进展与展望[J].气象学报,2020,78(3):500-521.
- [8] 李韵婕,任福民,李亿平,等.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,2014,72(2):266-276.
- [9] 任福民.中国干旱、强降水、高温和低温区域性极端事件[M].北京:气象出版社,2015.
- [10] 段莹,王文,蔡晓军.PDSI、SPEI及CI指数在2010/2011年冬、春季江淮流域干旱过程的应用分析[J].高原气象,2013,32(4):1126-1139.
- [11] 花婷,王训明,张彩霞,等.东亚干旱半干旱及半湿润区400年来帕尔默干旱指数的时空变化[J].科学通报,2014,59(21):2126.
- [12] 王劲松,黄玉霞,冯建英,等.径流量Z指数与Palmer指数对河西干旱的监测[J].应用气象学报,2009,20(4):471-477.
- [13] 熊光洁,王式功,李崇银,等.三种干旱指数对西南地区适用性分析[J].高原气象,2014,33(3):686-697.
- [14] Palmer W C. Meteorological Drought [M]. Washington D C: US Department of Commerce, Weather Bureau, 1965: 1-58.
- [15] 张强,张良,崔显成,等.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,2011,26(7):763-778.
- [16] Heim R R. A review of twentieth-century drought indices used in the United States [J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 2002, 83(8): 1149-1166.
- [17] Wells N, Goddard S, Hayes M J. A self-calibrating Palmer drought severity index [J]. Journal of Climate, 2004, 17 (12) : 2335-2351.
- [18] Dai A. Characteristics and trends in various forms of the Palmer Drought Severity Index during 1900-2008 [J]. Journal of Geophysical Research, 2011, 116: D12115.
- [19] Karl T R. Some spatial characteristics of drought duration in the United States [J]. Journal of Applied Meteorology and Climatology, 1983, 22(8): 1356-1366.
- [20] 韩兰英,张强,马鹏里,等.中国西南地区农业干旱灾害风险空间特征[J].中国沙漠,2015,35(4):1015-1023.
- [21] 李强子,闫娜娜,张飞飞,等.2010年春季西南地区干旱遥感监测及其影响评估[J].地理学报,2010,65(7):771-780.
- [22] 王佳津,孟耀斌,张朝,等.云南省Palmer旱度模式的建立:2010年干旱灾害特征分析[J].自然灾害学报,2012,21(1):190-197.
- [23] 段海霞,王劲松,刘芸芸,等.2009/2010年我国西南秋冬春连旱特征及其大气环流异常分析[J].冰川冻土,2013,35(4):1022-1035.
- [24] 周文佐.基于GIS的我国主要土壤类型土壤有效含水量研究[D].南京:南京农业大学,2003.
- [25] Dee D P, Uppala S M, Simmons A J, et al. The ERA-Interim reanalysis: configuration and performance of the data assimilation system [J]. Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society, 2011, 137(656): 553-597.
- [26] 陈家宙,吕国安,王石,等.红壤干旱过程中剖面水分特征与土层干旱指标[J].农业工程学报,2007(4):11-16.
- [27] Dai A, Trenberth K E, Qian T. A global dataset of Palmer drought severity index for 1870-2002: relationship with soil moisture and effects of surface warming [J]. Journal of Hydro-meteorology, 2004, 5(6): 1117-1130.
- [28] 姚远,陈曦,钱静.定量遥感尺度转换方法研究进展[J].地理科学,2019,39(3):367-376.
- [29] 刘珂,姜大膀.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,2014,38(2):309-321.

- [30] 杨小利,王丽娜.4种干旱指标在甘肃平凉地区的业务适应性分析[J].干旱气象,2013,31(2):419-424.
- [31] 俞胜宾.基于修订的自适应Palmer指数的中国干旱变化规律的研究[D].北京:中国气象科学研究院,2007.
- [32] 韩兰英,张强,姚玉璧,等.近60年中国西南地区干旱灾害规律与成因[J].地理学报,2014,69(5):632-639.

The applicable analysis of PDSI and self_calibrating PDSI drought indices in southwest China

Song Linlin^{1,2,3,4}, Zhang Qiang^{4,5}, Ren Yulong⁶, Li Yiping⁶,
Han Lanying⁷, Liu Yuanpu⁶, Wang Suping⁶

(1.State Key Laboratory of Numerical Modeling for Atmospheric Sciences and Geophysical Fluid Dynamics, Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China; 2.University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China; 3.Key Laboratory of Atmosphere Sounding, China Meteorological Administration, Chengdu 610225, China; 4.Meteorology Bureau of Gansu, Lanzhou 730020, China; 5.College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China; 6.Laboratory of Arid Monitoring, Warning and Prediction, Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China; 7.Northwest Regional Climate Center, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The southwestern region is one of the areas where drought disasters frequently occur in China. Under the background of global warming, the frequency and degree of droughts have increased, posing threats to agricultural production and water security. The Palmer drought Severity Index (PDSI) and the self-calibrating Palmer Drought Severity Index (sc_PDSI), which was developed based on PDSI have been widely used as mature ones. In this paper, the correspondence between soil species and available water holding capacity (AWC) included in the soil AWC geospatial model was used to inverse the high resolution AWC distribution in the southwest region. And the monthly mean temperature, as well as the monthly cumulative precipitation data of 70 stations in Southwest China were also used to calculate the PDSI index and sc_PDSI Index. Further comparative analysis of time-varying characteristics of the two indexes themselves and the statistical distribution properties, as well as the discussion of the applicability of both drought indexes in the Southwest area drought monitoring, were also included. The results show that: (1) Both PDSI and sc_PDSI reflect the “drought trend” of Southwest area during 1965–2010, but PDSI is of greater fluctuation amplitude; (2) There’s ‘tail’ phenomenon in PDSI frequency distribution, showing that the frequency of extreme drought / moist event it monitored is higher than that of severe drought / wet event, while the frequency distribution of sc_PDSI is closer to normal distribution; (3) The monitoring results of the two indexes during the 2009/2010 drought event in southwest area show that, to a certain extent, sc_PDSI is superior to PDSI in the monitoring of drought area and drought level, and is more consistent with soil moisture results, while PDSI is more likely to over-estimate the drought; (4) Although in general sc_PDSI adjusts PDSI to some extent, which makes sc_PDSI as superior, there’s no adjustment in the specific area (tropical monsoon climate). So area factor should be taken into account in any application of these indexes.

Key words: southwest China; PDSI; sc_PDSI; drought index

《中国沙漠》青年编委会即将成立,诚邀您的加入

为加强沙漠科学领域青年学者学术交流,助推沙漠科学领域青年学者成长和《中国沙漠》发展,经主管领导提议、主编同意,《中国沙漠》编辑部决定成立青年编委会。诚挚欢迎沙漠科学各研究领域的优秀青年学者加入。

青年编委名额:

初步计划 50 名左右,最终根据收到的符合要求的“《中国沙漠》第一届青年编委邀请表”份数决定名额。

青年编委条件:

1. 年龄 45 周岁以下。
2. 以第一作者在核心期刊发表中文论文 5 篇以上,发表 SCI/EI 论文 5 篇以上。

青年编委任期:

每届 5 年左右。青年编委履行任期义务,年龄符合要求,且没有转为编委者,自动续任。

青年编委义务:

每届青年编委于任期内在《中国沙漠》以第一作者发表代表自己学术水平的论文不少于 2 篇,或策划组织一个能代表自己学术水平的专辑(论文不少于 5 篇)。

编辑部义务:

1. 颁发青年编委聘书。
2. 在网站发布青年编委名单,在期刊刊登青年编委名单。
3. 每两年组织一次青年编委会会议。
4. 推荐优秀青年编委转聘为编委。
5. 优先刊登青年编委被录用稿件。
6. 向青年编委寄发纸质样刊或数字版期刊。
7. 免除每名青年编委每个任期 1 篇青年编委作为第一作者稿件的版面费。
8. 为青年编委发表的每篇论文提供个性化的推送、宣传。

遴选流程:

4 月 30 日前,申请人填写“《中国沙漠》第一届青年编委邀请表”(有意者请电子邮件联系获取邀请表),发送到编辑部邮箱 caiedit@lzb.ac.cn。

5 月,《中国沙漠》编辑部组织遴选。

6 月,公布《中国沙漠》第一届青年编委名单。

7 月,举行《中国沙漠》青年编委会成立仪式,邀请相关领导为与会青年编委颁发聘书。

编辑部联系电话:0931-8267545

