

文章编号: 1108-2786-(2016)3-282-08

DOI: 10.16089/j.cnki.1008-2786.000129

基于标准化径流指数的区域水文干旱 指数构建与识别

吴杰峰¹ 陈兴伟^{1,2,3*} 高路^{1,2,3} 林志东¹

(1. 福建师范大学地理科学学院, 福建 福州 350007; 2. 福建省陆地灾害监测评估工程技术研究中心, 福建 福州 350007;

3. 湿润亚热带山地生态国家重点实验室培育基地, 福建 福州 350007)

摘 要: 为了进一步探讨应用标准化径流指数(Standardized Runoff Index, SRI)进行水文干旱识别时存在的干旱等级划分及其临界值如何确定问题, 构建了新的区域水文干旱指数, 并应用于典型区水文干旱识别。即以东南沿海晋江流域为研究区, 利用该流域 2 个水文站和 3 个气象站 1960—2006 年逐月径流和降水数据, 结合径流距平百分比和降水距平百分比, 构建了区域水文干旱指数 SHI(Standardized Hydrology Index), 获得了相应的干旱等级发生频率, 进而以 SHI 累计频率确定了区域水文干旱指数 SHI 各干旱等级临界值。结果表明, 基于 SRI 和区域水文干旱指数 SHI, 可以较好地识别过去 47 a 中晋江流域发生的主要水文干旱事件, 且 SHI 临界值较 SPI(Standardized Precipitation Index)临界值对重要水文干旱事件识别更为敏感, 结果更为合理。

关键词: 水文干旱; SRI(标准化径流指数); SHI(区域水文干旱指数); 晋江流域; 临界值

中图分类号: P33 P343

文献标志码: A

干旱通常是因长期无降水或降水偏少而造成水分收支或供求失衡形成水分亏缺, 它具有发生频率大、持续时间长、波及范围广的特点^[1]。通常把干旱分为气象干旱、农业干旱、水文干旱和社会经济干旱^[2-3]。Linsley 等^[4]把水文干旱定义为“在一定的水资源管理系统下, 河川径流在一段时间内满足不了供水需要”。通常情况下, 水文干旱要晚于气象干旱和农业干旱, 是气象、农业干旱的延续与发展, 因此以径流量为干旱指标的水文干旱被认为是最彻底的干旱^[5]。水文干旱作为水文极值现象, 一旦发生将对区域水资源系统平衡造成不可估量的影响; 因此, 对水文干旱进行有效的监测、分析和评估, 是对流域水资源合理管理与高效利用的重要前提^[6]。

近年来, 涌现了一系列以地下水、地表水及河川径流量的水文干旱评价方法, 如径流 Z 指数^[7]、Palmer 水文干旱强度指数(PHDI)^[8]、标准干旱严重指数(SWDWI)^[9]、地下水亏缺指数(GRI)^[10]和标准化径流指数(Standardized Runoff Index, SRI)^[11]等。由于 SRI 计算方法与标准化降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)^[12]类似, 方法简单, 可以进行多时间尺度分析(1、3、6、12 个月等) 且适用于资料缺乏、地形复杂的区域, 目前在水文干旱识别研究中应用较多^[13-16]。但当前国内外在利用 SRI 进行水文干旱识别研究时, 干旱等级临界值通常直接采用 SPI 气象干旱等级临界值, 且考虑指标因素较单一^[17-18], 从而对识别结果具有一定的影响。针对指标因素单一问题, 周玉良等^[19]参照综合

收稿日期(Received date): 2015-06-23; 改回日期(Accepted): 2015-08-07。

基金项目(Foundation item): 福建省高校产学研合作科技重大项目(2015Y4002)。[Supported by the Science and technology plan key projects of Fujian province(2015Y4002).]

作者简介(Biography): 吴杰峰(1991-), 男, 安徽阜阳人, 硕士研究生。主要研究方向: 水文与水资源。[Wu Jiefeng(1991-), male(Han), born in Fuyang, Anhui Province, master candidate, majored in hydrology and water resource.] E-mail: Jiefengwu987@163.com

* 通信作者(Corresponding author): 陈兴伟(1963-), 男, 博士, 教授。主要研究方向: 水文水资源与水环境。[Chen Xingwei(1963-), male, PH D, professor, major in hydrology, water resource and water environment.] E-mail: cxwchen215@163.com

气象干旱指数的构造方式,以土壤含水量和径流量为指标,构建了区域综合水文干旱指数(HDI);Kao等^[17]利用Copula联合分布函数,结合降水、径流指标构建了多变量联合的水文干旱指数(JDI);Ma等^[20]在此基础上,加入土壤水、地下水指标,丰富和发展了JDI指数。Hao等^[21]通过参数与非参数耦合方法,将SSI(Standardized Streamflow Index)^[22]与SPI进行耦合,构建了多变量标准水文干旱指数(MSDI)。多指标耦合的水文干旱指数弥补了指标因素较单一的不足,相比于只用径流量单一指标,能更好地反映区域干旱驱动机制。但总体来看,上述研究仍然存在不足,即水文干旱判别临界值未根据所研究区水文、气象特征对干旱等级临界进行重新界定,从而识别结果具有一定的不确定性。

综上所述,SRI是进行水文干旱识别的重要方法,但相应的干旱判别指标及其临界值的确定仍有待进一步研究。因此,本文基于SRI计算方法,以东南沿海晋江流域为例,结合径流距平百分比^[23-24]、降水距平百分比^[25]干旱等级,构建区域水文干旱指数SHI并确定各干旱等级临界值;在此基础上,对晋江流域主要水文干旱事件进行识别,并与实际发生的干旱事件进行比较,以期为区域水文干旱的监测与管理提供有效方法。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

晋江流域位于我国东南沿海福建省泉州市(图1),地理位置位于117°44′~118°47′E,24°31′~25°

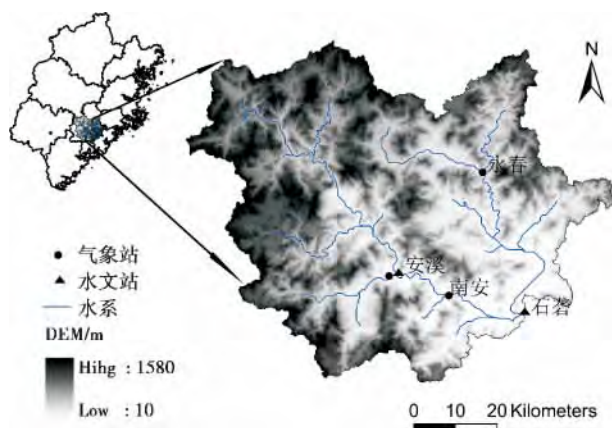


图1 研究区位置及水文气象站点分布

Fig. 1 Location of study area and distribution of hydrologic and meteorological stations

32°N,流域面积5 629 km²,占泉州市土地总面积的53.8%,其中干流长182 km,是福建省第三大河流。流域内有东溪、西溪两大支流,并汇流于下游石碇水文站。本文利用石碇水文站以上的流域为研究区,流域控制面积占整个流域的90%。流域气候属于亚热带湿润气候区,多年平均气温20~21℃,季风气候显著,降水较丰沛,但时空分布不均,降水变率大,丰水期主要集中在3—9月,7个月的降水量占全年降水总量的83.8%,而枯水期5个月的降水量只占全年降水总量的16.2%^[26]。该地区多年平均水资源总量为68×10⁸ m³(含外来水),人均水资源拥有量约994 m³,仅为全省平均值的30%,全国平均值的45%^[27],水资源严重不足,属于绝对贫水区,尤其是春季和夏季,干旱经常发生,为福建省干旱最为严重的区域^[28-29],干旱的频繁发生成为影响泉州市社会经济可持续发展的重要因素。

1.2 研究方法

1.2.1 标准化径流指数

目前国内外采用SRI进行水文干旱识别研究,计算方法与标准化降水指数类似(SPI)^[12],即在确定一定时间内径流量适合的概率分布类型后,进行正态标准化得到标准化径流指数SRI^[11],具体计算方法如下:

假设某一时间段的径流量 x 满足 T 分布概率密度函数 $f(x)$ 为:

$$f(x) = \frac{1}{\gamma^\beta T(\beta)} x^{\beta-1} e^{-\frac{x}{\gamma}} \quad (1)$$

式中 γ 、 β 分别是形状和尺度参数, $x > 0$ 、 $\gamma > 0$ 、 $\beta > 0$, γ 、 β 可用极大似然法计算,一定时间尺度的径流量 x 的累积概率:

$$F(x) = \int_0^x f(x) dx \quad (2)$$

对 T 分布概率进行正态标准化得到:

$$SRI = S \frac{t - (c_2 t + c_1) t + c_0}{((d_3 t + d_2) t + d_1) t + 1.0} \quad (3)$$

$$t = \sqrt{2 \ln(F)} \quad (4)$$

当 $F > 0.5$ 时, $S = 1$;当 $F \leq 0.5$ 时, $S = -1$,其中 $c_0 = 2.515517$, $c_1 = 0.802853$, $c_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$ 。

1.2.2 区域水文干旱指数(SHI)

水文干旱形成于下垫面全部物理过程后,即可以通过自然水循环过程体现气象干旱,也可通过“自然-人工”水循环的缺水过程反映旱灾的驱动机制^[19]。当一场水文干旱正在发生发展时,其干旱

过程不仅受到短时期降雨的影响,还受到前期降雨残留的影响(土壤水、地下水等)^[30],且研究区径流与降水关系密切^[31]。因此,由水文、气象双因素共同作用构成的水文干旱指数能更好的反映区域实际干旱状况^[16,49]。此外,由于干旱成因复杂影响因素较多,制约了表征干旱指数及干旱等级判别标准在不同时空条件下的通用性,而SPI干旱等级临界值的确定只考虑了降水单一因素,如果直接利用SPI干旱等级临界值来判断水文干旱的严重程度,很难做到精准、客观。Shukla也指出,一个较好的水文干旱监测指数受到流域气象、水文双因素共同的影响^[11]。因此,亟需构建能够反映区域水文亏缺量及气象因子对水文干旱程度影响的干旱指数。而SRI是表征某时段径流量出现的概率多少的指数,该指数适用于月尺度以上时间尺度相对当地水文状况的干旱监测与评估;径流距平百分比和降水距平百分比都是反映一段时间内某地区水文、气象较常年值偏多或偏少的物理量。

为了进一步探讨基于SRI算法水文干旱等级临界值的合理划分,削弱直接利用SPI干旱等级临界值进行水文干旱识别所造成的不确定性影响,结合《水文情报预报规范》(SL250-2000)中的径流距平百分比(记为Q)^[23]和国家《气象标准汇编》(GB/T 20481-2006)中的降水距平百分比(记为P)^[25]干旱等级(表1),通过计算各干旱等级发生频率,以SRI值累积频率所对应的指数值获取SHI干旱等级临界值,进而对水文干旱程度进行判别。SHI指数建立的步骤为:1)通过连接研究区水文、气象两个物理量,消除单一指标进行干旱判别的不确定性,并采用Q和P干旱等级标准,获取SHI各干旱等级发生频率;2)基于SRI计算方法,采用分布函数对SRI频率分布进行拟合,并利用Kolmogorov-Smirnov(K-S)检验方法^[32]对拟合效果进行检验,然后获取SRI值序列累积频率曲线,结合SHI累积频率所对应的SRI指数值获取SHI干旱等级临界值。

SHI干旱等级发生频率计算公式为:

$$SHI = \frac{\sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m Q^2} + \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n P^2}}{2} \quad (5)$$

$$Q = \frac{x - \bar{x}}{\bar{x}} \quad \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (6)$$

式中 x 为逐月径流量 \bar{x} 为多年逐月径流量的平均值; P 的算法与 Q 相似,其中 \bar{x} 和分别换做逐月降雨量和多年逐月降雨量的平均值进行计算, m 、 n 分别为时间步长。通过以上分析可知,SHI是基于SRI计算方法,利用区域水文、气象双因素进行水文干旱识别,以两个干旱判别标准(径流距平百分比和降水距平百分比)获取干旱等级临界值,进而对区域旱情严重程度进行描述的指数。此外,SHI指数构建方式与福建省综合干旱指数中的单点多指标构造方法类似^[33],能够较好的反映区域实际旱情。

2 结果分析

2.1 SHI 临界值划分

对晋江流域2个水文站和3个气象站1960—2006年的实测径流和降水数据分别进行距平计算,通过径流距平百分比、降水距平百分比干旱等级标准及公式(5)、(6)计算得到区域水文干旱指数SHI特旱、重旱、中旱、轻旱、无旱各等级出现的频率分别为6.0%、17.1%、14.7%、12.0%、50.2%,由各干旱等级出现的频率依次累加得到区域水文干旱指数SHI干旱等级的累积频率为6.0%、23.1%、37.8%、49.8%、100%。基于SRI方法,计算得到SRI序列频率分布直方图,并采用正态分布函数进行拟合(K-S检验结果为0.0208,通过0.01的显著性检验)结果见图2(a)。通过SRI值频率分布直方图获取SRI累积频率曲线,进而得到SHI各干旱等级的临界值为-1.38、-0.75、-0.38、-0.11[图2(b)]结果见表1。

表1 干旱等级临界值

Tab. 1 Threshold of drought level

等级	类型	径流距平百分比/%	降水距平百分比/%	SPI 值	SHI 值
1	无旱	-20 < Q	-40 < P	-0.5 < SPI	-0.11 < SHI
2	轻旱	-40 < Q ≤ -20	-60 < P ≤ -40	-1.0 < SPI ≤ -0.5	-0.38 < SHI ≤ -0.11
3	中旱	-60 < Q ≤ -40	-80 < P ≤ -60	-1.5 < SPI ≤ -1.0	-0.75 < SHI ≤ -0.38
4	重旱	-80 < Q ≤ -60	-95 < P ≤ -80	-2.0 < SPI ≤ -1.5	-1.38 < SHI ≤ -0.75
5	特旱	Q ≤ -80	P ≤ -95	SPI ≤ -2.0	SHI ≤ -1.38

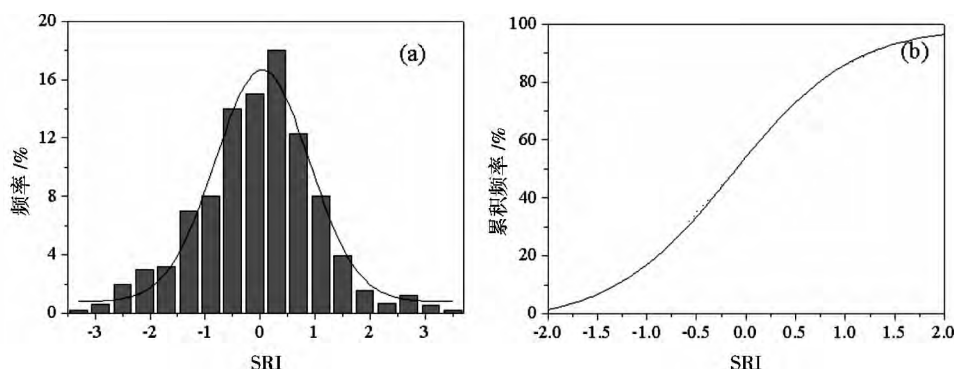


图2 SRI 频率分布曲线

(a) 频率分布直方图及正态分布曲线; (b) 累积频率分布曲线

Fig. 2 Frequency distribution curve of SRI

(a) Frequency distribution histograms and normal distribution curve; (b) Cumulative frequency curve

2.2 SRI 对水文干旱的识别

根据福建省气候特征,划分自然天气季节为:春季3—6月、夏季7—9月、秋季10—11月、冬季12—次年2月^[25]。根据气象学中常用的方法,以1、4、7、10月分别代表冬、春、夏、秋四季干旱情况^[17]。考虑到该区域对干旱事件的记载多为季节尺度的干旱,而3个月尺度的SRI对季节干旱识别比较敏感^[34-35],因此本文采用3个月尺度的SRI(即SRI-3)对晋江流域水文干旱进行分析。图3为晋江流域下游石碇水文站1960—2006年SRI-3值变化序列图,根据SRI-3序列值和SHI干旱等级临界值,获取晋江流域下游石碇水文站近47年来春、夏、秋、冬四季干旱等级分布状况,结果见图4。

从图3中可以看出,SRI-3值较为频繁的在-0.11上下波动,其中以1960年代、1970年代末到1980年代中期水文干旱较为频繁,而1960年代最严重,几乎每年都有不同程度的干旱发生;2003—2004年也有较严重的干旱发生;此外,该流域发生过几次明显的季节连旱,如1963—1968年几乎每年都有季节连旱的发生,而1971—1972年、1978—1979年、1980—1981年、1981—1982年、1983—1984

年、2004—2005年也分别发生了不同程度的秋冬春连旱情况。

从图4中可以看出,晋江流域水文干旱发生的季节差异较为明显,春季发生水文干旱的频次较夏季、秋季、冬季多,四者发生的频率依次为56.5%、47.8%、45.6%、47.8%,且重旱程度以上的干旱在春季发生的频率也高于其他季节(10次),其中春季发生特旱的年份有1963年、1965年、1971年和1991年;夏季发生特旱的年份有1991年、2003年和2004年;秋季发生的特旱年份有1963年、1967年和1986年;冬季发生特旱年份有1963年、1965年和1967年。此外,从图4中干旱等级趋势变化可以看出,晋江流域水文干旱程度在夏季有增加趋势,而秋季、冬季、春季下降趋势较明显,尤其是1980年代后更加显著。

2.3 不同方法识别结果与实际干旱事件比较

为了进一步比较不同方法揭示的干旱结果,从图4中选取了本方法识别出的特旱、重旱事件列入表2的第二栏,从图3中选取直接应用SPI临界值所识别的特旱、重旱事件列于表2的第三栏,第四栏为福建省统计局对该省1960—1995年间记载的重要

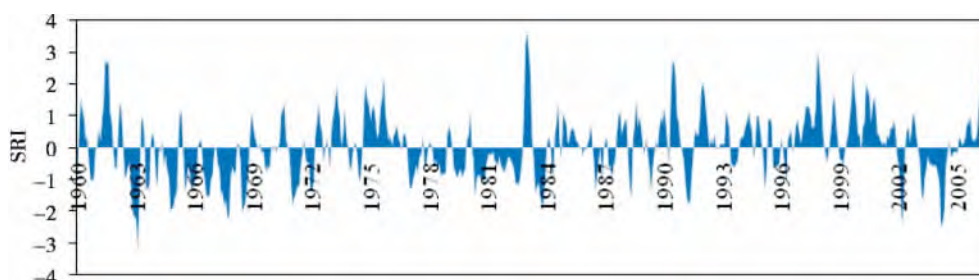


图3 1960—2006年晋江流域SRI-3值变化图

Fig. 3 SRI-3 from the Jinjiang River Basin from 1960—2006

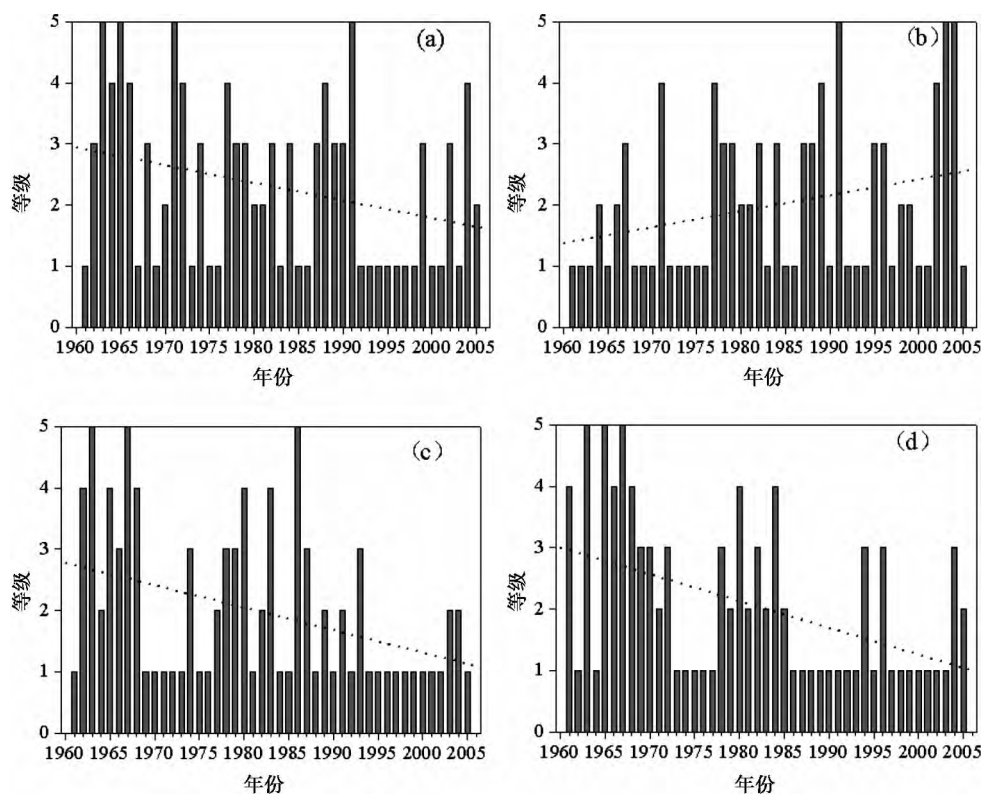


图4 不同季节干旱等级趋势变化

(a) 春季; (b) 夏季; (c) 秋季; (d) 冬季

Fig. 4 Trend and level of drought at seasons

(a) Spring; (b) Summer; (c) Autumn; (d) Winter

干旱年份,并查阅相关资料、文献得到1999年、2003年、2004年干旱情况^[25,36];由于干旱现象的复杂性及记载的干旱类别不明确,识别的干旱事件与实际干旱事件其含义不完全一致,但也有一定的可比性。此外,晋江流域地处沿海,人均水资源拥有量仅为全省平均值的30%,当地水资源严重不足,属于福建省水资源最贫乏的区域^[26],该地区的旱情与全省的旱情关系密切。如相关资料对典型干旱年份描述为“1963年为福建省历史上罕见特旱年,由于旱期内雨水稀少,全省旱情严重;到5月底,九龙江北溪流量仅为上年同期的三分之一,晋江流量为上年同期的四分之一,晋江、九龙江不少河流徒步而过,许多地方山泉枯竭,水库干涸,溪河断流”;“1971年是干旱比较严重的一年,不但春旱严重,夏旱也很严重,闽江口及东南沿海地区旱情达到特旱级”;“2003年夏季福建省遭遇近50 a罕见的持续高温少雨天气,从6月下旬至8月份,全省性受旱,其中泉州、厦门、漳州、莆田等地市旱情较严重”^[25];限于篇幅,本文对其他典型干旱年份不作具体描述。因此,通过SPI临界值与SHI临界值识别的水文干旱事件

与福建省记载的实际干旱事件对比,初步判别干旱识别的合理与否。

通过比较表2中的结果,表明本文的方法识别出了实际发生的大部分重要干旱事件,较直接利用SPI干旱等级临界值有一定改进。而直接利用SPI临界值进行水文干旱识别只有1963年春季、1968年冬季和2004年夏季发生特旱事件,重旱事件也较少。与福建省统计局对1960—1995年该省重要干旱事件记载及相关文献资料记载对比可知^[25,36],只有1964年和2002年与SHI识别出的干旱情况差别较大;此外,1990年、1993年、1994年、1995年虽然未被识别为重旱等级以上的干旱事件,却被识别为不同程度的中旱等级事件(图4)。而1964年与2002年识别结果与实际记载不一致,这种差异可能由于干旱识别方法不同造成的;王劲松、刘占明等^[17,37]通过不同干旱指数区域适用性研究分析得到,由于干旱评估指标侧重点及计算方法的不同会导致对实际干旱监测结果存在差别。通过以上对比可知,本文利用SHI识别出的主要水文干旱事件虽然部分与实际干旱事件有所不同,但基本上一致且

表 2 不同临界值水文干旱识别与实际重要干旱事件对比

Tab. 2 Identification of hydrologic drought at varied thresholds and their comparison with actual drought events

年份	SHI 临界值		SPI 临界值		福建省重要干旱事件
	特旱	重旱	特旱	重旱	记载年份
1962		秋季			√
1963	春季、秋冬季		春季		√
1964		春季			
1965	春季、冬季	秋季		春、冬季	√
1966		春季、冬季			√
1967	秋冬季	夏季		春、秋季	√
1968		秋冬季	冬季	秋季	√
1971	春季	夏季		春季	√
1972		春季			√
1977		春季、夏季			√
1978		秋冬季			√
1980		秋季、冬季			√
1983		秋季			√
1984	冬季				√
1986	秋季	秋冬季			√
1988		春季			√
1989		夏季			√
1990					√
1991	春季、夏季			春季	√
1993					√
1994					√
1995					√
1999					√
2002		夏季		夏季	
2003	夏季			夏季	√
2004	夏季	春季	夏季		√

注: √为有干旱事件记载。 Note: √Drought event is recorded.

较直接利用 SPI 临界值更优。

3 结论

1) 基于标准化径流指数(SRI) 计算方法 ,利用径流距平百分比和降水距平百分比干旱等级 ,构建的区域水文干旱指数 SHI ,所识别的水文干旱与实际干旱事件基本一致。表明 SHI 兼顾了 SRI 多尺度分析的优点及区域水文、气象特征 ,较直接利用 SPI 干旱等级临界值进行水文干旱识别有一定改进 ,能够有效地监测流域内水文干旱事件 ,可进一步推广应用。

2) 根据区域水文干旱指数临界值 ,对晋江流域

下游石碇水文站进行水文干旱识别。结果表明 ,晋江流域水文干旱比较频繁 ,春季发生干旱频次较其他季节高 ,季节连旱以秋冬连旱为主 ,其中 1960 年代、1970 年代末到 1980 年代中期比较严重; 1980 年代后夏季干旱程度有加重的趋势 ,秋季、冬季、春季干旱程度降低明显。

参考文献(References)

[1] 张强. 华北地区干旱指数的确定及其应用[J]. 灾害学 ,1998 , 13(4) : 34 - 38 [Zhang Qiang. Reserch on determination of drought index in north China and its application[J]. Journal of Catastrophology ,1998 ,13(4) : 34 - 38]

[2] Wilhite D A ,Glantz M H. Understanding the drought phenomenon: the role of definitions[J]. Water International ,1985 ,10(3) : 111 -

120

- [3] 杨胜天, 刘昌明, 孙睿. 黄河流域干旱状况变化的气候与植被特征分析[J]. 自然资源学报, 2003, 18(2): 136–141+257 [Yang Shengtian, Liu Changming, Sun Rui. The analysis of drought related climatic and vegetative features in the Yellow River basin[J]. Journal of Natural Resources, 2003, 18(2): 136–141+257]
- [4] Linsley R, Kohler M, Paulhus J. Hydrology for Engineers(third edition) [M]. New York: McGraw – Hill, 1982.
- [5] 耿鸿江, 沈必成. 水文干旱的定义及其意义[J]. 干旱地区农业研究, 1992, 10(4): 91–94 [Geng Hongjiang, Shen Bicheng. Definition and significance of hydrologic droughts[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 1992, 10(4): 91–94]
- [6] Shokooi A, Morovati R. Basinwide Comparison of RDI and SPI within an IWRM framework [J]. Water Resources Management, 2015, 29(6): 2011–2026
- [7] W. C. Palmer. Meteorological drought Research Paper No. 45 [M]. Washington, DC: U. S. Department of Commerce Weather Bureau, 1965.
- [8] Shafer B A, Dezman L E. Development of a Surface Water Supply Index(SWSI) to assess the severity of drought conditions in Snow-pack Runoff Areas [G]//Preprints, Western Snow Conf, Reno, Nv, Colorado State University, 1982: 164–175
- [9] Feng Ping, Han Song, Li Shaofei. Method of distinguishing hydrologic drought for water supply system[J]. Transactions of Tianjin University, 2005, 11(5): 371–375
- [10] Mendicino G, Senatore A, Versace P. A Groundwater Resource Index(GRI) for drought monitoring and forecasting in a Mediterranean climate [J]. Journal of Hydrology, 2008, 357(3–4): 282–302
- [11] Shukla S, Wood A W. Use of a standardized runoff index for characterizing hydrologic drought [J]. Geophysical Research Letters, 2008, 35(2): 41–46
- [12] McKee B T, Nolan J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales [G]//The Eighth Conference on Applied Climatology, Anaheim California, 1993: 179–184
- [13] 陈子燊, 刘占明, 黄强. 西江水文干旱历时与强度的遭遇概率分析[J]. 湖泊科学, 2013, 25(4): 576–582 [Chen Zishen, Liu Zhanming, Huang Qiang. Probability of hydrologic drought duration and intensity of Xijiang River[J]. Journal of Lake Sciences, 2013, 25(4): 576–582]
- [14] 孙鹏, 张强, 白云岗, 等. 基于马尔科夫模型的新疆水文气象干旱研究[J]. 地理研究, 2014, 33(9): 1647–1657 [Sun Peng, Zhang Qiang, Bai Yungang, et al. Transitional behaviors of hydrometeorological droughts in Xinjiang using the Markov chain model, 2014, 33(9): 1647–1657]
- [15] Trambauer P, Maskey S, Werner M. Identification and simulation of space – time variability of past hydrological drought events in the Limpopo River basin, southern Africa. Hydrology and Earth System Sciences [J]. 2014, 18(8): 2925–2942
- [16] Vu MT, Raghavan VS, Liong SY. Ensemble Climate Projection for Hydro – Meteorological Drought over a river basin in Central Highland, Vietnam [J]. KSCE Journal of Civil Engineering, 2015, 19(2): 427–433
- [17] Kao S – C, Govindaraju RS. A copula – based joint deficit index for droughts [J]. Journal of Hydrology, 2010, 380(1–2): 121–134
- [18] 王劲松, 李忆平, 任余龙, 等. 多种干旱监测指标在黄河流域应用的比较[J]. 自然资源学报, 2013, 28(8): 1337–1349 [Wang Jinsong, Li Yiping, Ren Yulong, et al. Comparison among Several Drought Indices in the Yellow River Valley [J]. Journal of Natural Resources, 2013, 28(8): 1337–1349]
- [19] 周玉良, 周平, 金菊良, 等. 基于供水水源的干旱指数及在昆明干旱频率分析中应用[J]. 水利学报, 2014, 45(9): 1038–1047 [Zhou Yuliang, Zhou Ping, Jin Juliang, et al. Establishment of hydrological drought index based on sources of regional water supply and its application to drought frequency analysis for Kunming [J]. Journal of Hydrology Engineering, 2014, 45(9): 1038–1047]
- [20] Ma M, Ren L, Singh VP, Tu X, Jiang S, Liu Y. Evaluation and application of the SPDI – JDI for droughts in Texas, USA [J]. Journal of Hydrology, 2015, 521: 34–45
- [21] Hao Z, Agha Kouchak A. A nonparametric multivariate multi – index drought monitoring framework [J]. Journal of Hydrology, 2014, 15(1): 89–101
- [22] Vicente – Serrano S M, Lopez – Morebo J I, Beguerua S, et al. Accurate computation of a streamflow drought index [J]. Journal of Hydrologic Engineering, 2010, 17(2): 318–332
- [23] 水利部水利信息中心. 水文情报预报规范(SL250 – 2000) [S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000: 25–26 [The Information Centre of Water Ministry. Standard for hydrological information and hydrological forecasting(SL250 – 2000) [S]. Beijing: China Water Power Press, 2000: 25–26]
- [24] 周玉良, 袁潇晨, 金菊良, 等. 基于 Copula 的区域水文干旱频率分析[J]. 地理科学, 2011, 31(11): 1383–1388 [Zhou Yuliang, Yuan Xiaochen, Jin Juliang, et al. Regional hydrological drought frequency based on Copulas [J]. Scientia Geographica Sinica, 2011, 31(11): 1383–1388]
- [25] 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. [Standardization Administration of People’s Republic of China. Classification of Meteorological drought Category(GB/T20481 – 2006) [S]. Beijing: China Standard Publishing House, 2006.]
- [26] 鹿世瑾, 王岩. 福建气候 [M]. 北京: 气象出版社, 2012: 155–156+173–174 [Lu Shijin, Wang Yan. The climate of Fujian [M]. Beijing Meteorological Press, 2012: 155–156+173–174]
- [27] 黄明聪. 闽东南地区水资源短缺调控机制研究 [D]. 西安理工大学, 2007. [Huang Mingcong. Research on regulation mechanism of water shortage [D]. Xi An University of Technology, 2007.]
- [28] 潘卫华, 陈家金, 陈惠, 等. 基于 MODIS 数据的福建省干旱遥感动态监测分析[J]. 中国农业生态学报, 2008, 16(4): 1015–1019 [Pan Weihua, Chen Jiajin, Chen Hui, et al. Dynamic monitoring of drought in Fujian Province from MODIS remote sensing data [J]. Chinese Journal of Eco – Agriculture, 2008, 16(4): 1015–1019]
- [29] 陈家金, 林晶, 陈惠, 等. 福建省干旱的时空分布及其对农业生

- 产的影响[J]. 自然灾害学报, 2006, 15(6): 265 – 269 [Chen Jiajin, Lin Jing, Chen Hui, et al. Spatiotemporal distribution characteristic of drought in recent 44 years in Fujian Province and its impact on agricultural production [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(6): 265 – 269]
- [30] 蒋桂芹. 干旱驱动机制与评估方法研究[D]. 北京: 中国水利水电科学研究院, 2013. [Jiang Guiqin. Study on driving mechanism and assessment methods of drought [D]. Beijing: China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2013.]
- [31] 林木生, 陈兴伟, 陈莹. 晋江西流域洪水与暴雨时空分布特征的相关分析[J]. 资源科学, 2011, 33(12): 2226 – 2231 [Lin Musheng, Chen Xingwei, Chen Ying. Regression analysis of flood response to the spatial and temporal variability of storm in the Jinjiangxixi watershed [J]. Resources Science, 2011, 33(12): 2226 – 2231]
- [32] Melesse A, Abtew W, Dessalegne T, Wang X. Low and high flow analyses and wavelet application for characterization of the Blue Nile River system [J]. Hydrological Processes, 2010, 24: 241 – 252
- [33] 陈斌. 福建省水旱灾害防治技术研究[M]. 福州: 福建科学技术出版社, 2011: 107 – 108 [Chen Bin. Study to prevent and harness the flood and drought of Fujian province [M]. Fuzhou: Fujian Science and Technology Publishing House, 2011: 107 – 108]
- [34] Patel N R, Chopra P, Dadhwal V K. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index. Meteorological Applications [J]. Meteorological Applications, 2007, 14(4): 329 – 336
- [35] Ji L, Peters AJ. Assessing vegetation response to drought in the northern great Plains using vegetation and drought indices. Remote Sensing of Environment [J]. 2003, 87(1): 85 – 98
- [36] 海香, 李强, 徐刚, 等. 泉州市干旱时空分布特征及防灾减灾措施[J]. 水土保持研究, 2007, 14(4): 133 – 136 [Mei Xiang, Li Qiang, Xu Gang, et al. Temporal – spatial distribution of drought and the hazard mitigation measure in Quanzhou city [J]. Research of Soil and Water Conservation, 2007, 14(4): 133 – 136]
- [37] 刘占明, 陈子燊, 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 [Liu Zhanming, Chen Zishen, Huang Qiang, et al. Comparative analysis of seven drought evaluation indices in the Beijiang River basin, Guangdong [J]. Resources Science, 2013, 35(5): 1007 – 1015]

Construction and Recognition of Regional Hydrological Drought Index Based on Standardized Runoff Index

WU Jiefeng¹, CHEN Xingwei^{1 2 3}, GAO Lu^{1 2 3}, LIN Zhidong¹

(1. College of Geographical Sciences, Fujian Normal University, Fuzhou 350007, China;

2. Fujian Provincial Engineering Research Center for Monitoring and Assessing Terrestrial Disasters, Fuzhou 350007, China;

3. State Key Laboratory Breeding Base of Humid Subtropical Mountain Ecology, Fuzhou 350007, China)

Abstract: In order to further explore the application of the standardized runoff index (SRI) and the existence of the drought hierarchy and threshold certain problems to identifying hydrological drought, this paper constructed a new regional hydrologic index and applied to typical areas for hydrological drought identification, taking the Jinjiang River Basin in southeastern China as study area. This paper refined the drought threshold of SRI based on the percentages of runoff and precipitation anomalies using monthly runoff and precipitation data obtained from two hydrological stations and three weather stations from 1960 to 2006. It built a regional hydrological drought index SHI and obtained the corresponding frequency drought grade. Redistrict SRI drought level threshold by combining with SHI cumulative frequency value and then confirm SHI drought level threshold. According to the threshold of standardized runoff index (SRI), the regional hydrological drought Index (SHI) as well as the drought levels were determined. Results show that the majority of hydrological drought events over the past 47 years in the Jinjiang River can be identified well on the basis of SRI and SHI. The threshold of SHI is more sensitive to reflect great hydrological drought events as compared with the threshold of SPI (Standardized Precipitation Index), and the result from SHI is more reasonable.

Key words: hydrological drought; SRI (Standardized Runoff Index); SHI (Standardized Hydrology Index); Jinjiang River Basin; threshold