

1960—2018年吉安地区干旱特征分析与短期预测

韩会明¹,刘喆玥²,刘成林^{1*},陈齐强¹,谢国栋¹

(1.南昌大学 建筑工程学院,南昌 330031; 2.江西省气象信息中心,南昌 330096)

摘要:【目的】深入探索吉安地区干旱的时空分布特征、演变趋势以及未来干旱状况。【方法】基于吉安地区13个区县气象站点1960—2018年降水量的不同时间尺度SPI值,利用反距离权重法对干旱频率进行空间插值,分析了年、四季干旱的空间分布特征;采用线性回归法、Mann-Kendall趋势检验法、干旱站次比和游程理论分析了干旱变化趋势、发生时序特征、影响范围和严重程度;通过加权Markov模型对降水量状态进行了预测。【结果】吉安地区年尺度干旱的频率和高频范围从轻旱到特旱逐渐减小;秋旱和冬旱较为严重,发生频率均在30%左右,夏旱地区分布差异大;多地春旱有加重倾向,夏旱呈减弱趋势;全流域干旱事件容易集中在短时间内发生,干旱范围以20 a为周期缩小明显,严重程度也有所减弱;最后,预测2019年和2020年偏枯的区县为6个和8个。【结论】吉安地区应重点做好秋冬季节的防旱工作,并且关注可能发生在21世纪20年代初期的大范围干旱事件。

关键词:干旱;吉安地区;标准化降水指数;分布特征;Markov

中图分类号:P333

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2019055

韩会明,刘喆玥,刘成林,等. 1960—2018年吉安地区干旱特征分析与短期预测[J]. 灌溉排水学报,2019,38(11):85-92.

0 引言

干旱是影响我国人民生活和经济发展的最主要自然灾害之一^[1]。我国幅员辽阔,南北跨度大,东西纵深长,降水量的时空分布差异大,导致干旱灾害频发,严重约束着国家经济的正常发展。干旱的形成是一个缓慢的变化过程^[2],并且持续时间长,波及范围广,由于干旱的起始和结束很难划定,这对干旱的提前预测、预报、预警增加了难度,使人们抗旱工作变得复杂和艰难^[3]。虽然干旱难以预测,但对干旱事件的研究为干旱风险管理提供了决策依据^[4]。因此许多学者通过不同指标对干旱进行研究^[5-9],寻求干旱发生、发展和衰亡的动态过程原理和规律^[10],以便采取及时有效的措施尽可能地减小灾害损失。

目前对于吉安地区干旱的相关研究较少。周玮^[11]通过SPI指数和距平率对吉安市年尺度干旱特征进行分析,指出了在未来10 a内吉安市干旱频率仍呈增加趋势;谢小华等^[12]通过雨量距平和连续无雨日对吉安地区比较典型的6次干旱事件进行分析,表明典型干旱年持续时间长、灾情重,与降水密切相关;显然有关吉安地区干旱研究工作还不够。为此,基于SPI指数,分析吉安地区1960—2018年干旱时空分布特征和干旱趋势,并采用加权Markov预测模型对未来干旱状态进行预测,以期为吉安地区更好的预防预报干旱提供一定理论依据。

1 材料与方法

1.1 研究区概况

吉安位于江西省的中部,赣江的中游,北边是赣抚平原,中间是吉泰平原,吉安市国土面积约占江西省的15.16%,地理位置为北纬25°58'—27°57',东经113°46'—115°56'。下辖10个县2个区和代管1个县级市。境内地貌多为山地和丘陵,东、南、西三面环山,溪流密布、水系众多,且以赣江为主流,由南向北穿过其间,

收稿日期:2019-05-14

基金项目:江西省研究生创新专项资金项目(YC2018-S121)

作者简介:韩会明(1994-),男,陕西商洛人。硕士研究生,研究方向为水文水资源。E-mail: 947348703@qq.com

通信作者:刘成林(1973-),男,江西玉山人。教授,主要从事3S技术在水文方向的应用研究。E-mail: liucl@ncu.edu.cn

把吉安分为东西两部分,地势从山地向赣江河谷逐渐变缓,物产丰富,植被茂盛。属于亚热带季风湿润性气候,日照充足,平均年日照时间达1 720~1 800 h;气候温和,吉安市多年平均气温18℃左右,多年平均无霜期达到281 d;雨量较为充足,多年年均降水量为1 524 mm,但年内分配极不均匀,每年3月中旬左右雨季开始,夏季风盛行,雨量迅速增加,持续到6月,期间降水量约占全年60%,伏秋季节常会发生干旱,冬季时常受到北方的干冷气团影响,降雨也很少。



图1 研究区内气象站点分布示意图

1.2 数据来源

本文所采用的数据资料来源于江西省水文局水情网。对吉安地区13个区县气象站点的1960—2018年累月降雨资料进行统计处理,其中春季为3—5月,夏季为6—8月,秋季为9—11月,冬季为当年12月一次年2月。

1.3 SPI的计算原理

SPI为标准化降水指数,该指标具有简单的结构,多时间尺度和空间一致的特征^[13],且降水量信息易于获取因而得到广泛应用,具体计算方法参考文献[14-16],SPI的干旱划分等级^[17]如表1所示。

1.4 干旱站次比

干旱站次比是描述干旱影响范围大小的一种方法,通过计算研究区内实际发生干旱的站点数占总站点数的比例对干旱进行分析^[18],计算式为:

$$P=\frac{n}{N}\times 100\%,\tag{1}$$

式中: N 为研究区内站点总数; n 为发生干旱的站点数;当 $P>66.7\%$ 时,称为全流域性干旱,说明区域内2/3以上的站点发生了干旱事件,干旱影响范围最大;当 $33.3\%<P\leq 66.7\%$ 时,称为区域性干旱,影响范围较大;当 $10\%<P\leq 33.3\%$ 时,称为局域性干旱,影响范围较小;当 $P\leq 10\%$ 时,说明地区内无明显干旱事件发生^[19]。

1.5 游程理论

研究干旱事件的特征属性也是一件有意义的工作,在一定程度上反映了干旱的严重性,以计算的SPI为基础,通过游程理论提取出干旱历时和烈度特征,干旱历时指一次干旱事件持续时间,干旱烈度为此次干旱事件SPI的累计值,为便于计算,干旱烈度取绝对值。游程理论的详细步骤可参考文献[20-21],在此只给出文中所选的干旱阈值: $R_0=0,R_1=-0.5,R_2=-1$ 。

1.6 加权 Markov 预测模型

Markov 过程常用于分析时间序列或空间序列状态的转移情况,这一过程最大的性质为无后效性,即事物在*i*+1时刻的状态只和*i*时刻的状态相关,而与*i*时刻之前的状态无关^[22-24]。

加权的 Markov 预测模型的基本思路是一列紧邻随机变量的各阶自相关系数反映了不同滞时状态下不同的相关性,依照过去一段时间内数值状态来预测,通过对前面各时段与该时段相关关系的强弱加权求和计算,根据各状态所占概率大小确定未来状态。其具体步骤如下:

1) 状态的划分

根据均值-方差划级法进行序列状态划分,确定样本的 Markov 链状态空间,当样本数据序列为 $X_1, X_2, \dots, X_n$ 时,令 $\bar{x}$ 为序列的均值, s 为序列的标准差,采用常用的指标值分类方法,将指标值的数值区间划分为 5 个区间段,分别表示为: $(-\infty, \bar{x} - \alpha_1 s)$ 、 $(\bar{x} - \alpha_1 s, \bar{x} - \alpha_2 s)$ 、 $(\bar{x} - \alpha_2 s, \bar{x} + \alpha_2 s)$ 、 $(\bar{x} + \alpha_2 s, \bar{x} + \alpha_1 s)$ 、 $(\bar{x} + \alpha_1 s, +\infty)$;其中 α_1 取值范围可为 $[1.0, 1.5]$, α_2 取值范围可为 $[0.3, 0.6]$ 。

2) 转移矩阵

k 步转移概率即样本的状态序列中,由 E_i 状态进行 k 次转移到 E_j 状态的概率,计算式为:

$$P_{ij}^{(k)} = P\{X(m+k)=E_j | X(m)=E_i\}, (E_i, E_j \in E)。 \quad (2)$$

所以样本的 k 步转移概率矩阵为样本中所有状态经过 k 步转移概率所形成的矩阵。计算式为:

$$P^{(k)} = \begin{pmatrix} P_{11}^{(k)} & P_{12}^{(k)} & \dots & P_{1n}^{(k)} \\ P_{21}^{(k)} & P_{22}^{(k)} & \dots & P_{2n}^{(k)} \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ P_{n1}^{(k)} & P_{n2}^{(k)} & \dots & P_{nn}^{(k)} \end{pmatrix}。 \quad (3)$$

转移矩阵 $P^{(k)}$ 有如下性质:①因为每个元素都是相对应的概率,所以每个元素都在 0~1 之间,即 $0 \leq P_{ij} \leq 1$;②每一行的元素的 k 步转移概率之和为 1。

3) 自相关系数和规范化处理,自相关系数计算式为:

$$r_k = \frac{\sum_{t=1}^{n-k} (x_t - \bar{x})(x_{t+k} - \bar{x})}{\sum_{t=1}^n (x_t - \bar{x})^2}, \quad (4)$$

式中: k 为滞时且 $k=1, 2, 3, \dots, n$; r_k 是滞时为 k 时的自相关系数; x_t 为序列 t 时段值; $\bar{x}$ 为状态序列的均值, n 为状态序列的长度。

对各阶自相关系数做规范化处理,得到不同滞时(步长)的 Markov 链的权重,规范化处理计算式为:

$$\omega_k = \frac{|r_k|}{\sum_{k=1}^m |r_k|}。 \quad (5)$$

4) 确定初始状态,结合转移概率矩阵计算各状态的概率 P_i 。

5) 将相同状态的 P_i 值加权求和,最终结果作为该状态的预测概率,计算式为:

$$P_i = \sum_{k=1}^m \omega_k P_i^{(k)} \quad (i \in E)。 \quad (6)$$

于是 i 时段状态的预测结果为: $\max\{P_i, i \in E\}$ 。

模型的可信度判定:加权马尔科夫链模型预测结果的可信度取决于状态序列为马尔科夫链的真实程度以及序列中状态的个数,实际情况往往通过对比预测值与实际值来检验其可信度^[10]。

2 结果与分析

2.1 SPI-12 年干旱分布特征

通过对吉安地区 13 个区县 1960—2018 年降水量做 SPI-12 指数计算,统计不同干旱等级下的干旱频率,然后采用 Arcgis 10.2 软件中的反距离权重法进行干旱频率的空间插值,得到不同干旱等级下的干旱频率空间分布如图 2 所示。由图 2 可知,不同干旱类型的空间分布差异较为明显,发生频率超过 20% 的轻旱主要集中在吉安中部和西南地区,这些地区轻旱呈多发状态,南部的遂川地区轻旱发生频率最少约为 6.8%。中旱的多发地主要为吉安市区和井冈山一带,最高频率超过 10%,比轻旱发生的最高频率减少近 1/2,中旱发生频率减少比较明显。重旱高发地区发生明显变化,从轻中旱多发的中部地区向边缘地带转移,且主要集中在西部地区,最高频率约 8.5%。特旱频率高发地区空间分布转变明显,分布地区集中在中东部,最高频率约

6.8%。综合4种不同程度干旱事件可以看出,轻旱到中旱发生频率减少较为明显,中旱到重旱、重旱到特旱发生频率依次有所减小,但降幅较小,中心盆地一带干旱发生更为频繁,这也与吉安地区东西南三面环山不利于水汽流通有关。

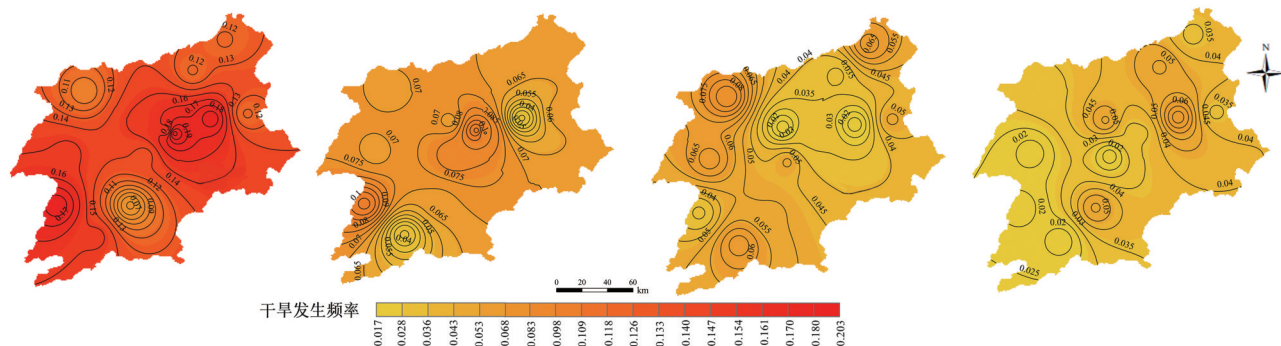


图2 SPI-12不同干旱等级的干旱频率空间分布图

2.2 SPI-3季节性干旱分布特征

图3为吉安地区1960—2018年不同季节的干旱频率时空分布图。由图3可知,吉安各地春季发生干旱的频率普遍在23.7%以上,吉安和泰和地区春旱频率最高,东南地区各地差别不大,北部和西南地区最小为23.7%。夏旱发生频率差异明显,西北部的安福地区夏旱频率接近39%,中部的吉安县一带频率最低为18.6%,其余各地夏旱频率相差无几。各地秋旱和冬旱的发生频率整体上都处于一个较高的频率,中部市区一带干旱发生频率最低为24%左右,其余各地都在30%上下。总体上看,秋冬季节发生干旱的频率较高,发生高频干旱的地区明显多于春夏二季,并且干旱频率也要高于春夏二季,说明该地区更容易发生秋旱和冬旱,伏旱发生也较为频繁。在此期间干旱频发主要因为7—9月受副热带高压控制降水从雨季迅速减少,期间少有的强降水过程多为雷阵雨或是由于台风来临;冬季节气候的转变,受到北方干冷气团南下的影响,降水量稀少。

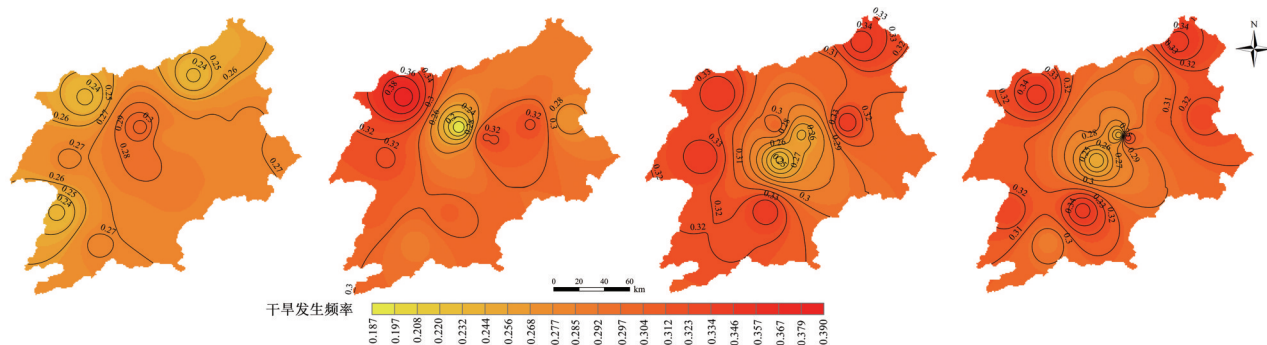


图3 不同季节的干旱频率空间分布图

2.3 干旱趋势分析

根据线性回归法分析吉安各区县SPI-12和SPI-3的干旱时序变化趋势。线性回归法的趋势线反映了干旱时间数据序列的长期变化趋势,回归方程斜率正和负表示一段时期内干旱趋势的减弱和增加,斜率的绝对值越大其干旱加重趋势越快。同时对干旱指数进行Mann-Kendall趋势显著性检验,分析结果见表2。

由表2可知,吉安地区SPI-12指数时序除遂川县、峡江县和井冈山市斜率小于0,干旱有增加的趋势,其余地区斜率均大于0说明干旱趋势减弱,但是均未通过显著性检验,说明吉安地区干旱增加或减弱的趋势不明显。研究区内SPI-3春指数时序斜率均小于0,说明各区县春旱均有不同程度的增加趋势,且遂川县和永丰县通过90%显著性水平检验,干旱指数以每年0.011的幅度增加,春季发生干旱的趋势增加明显。夏季干旱除了峡江县和井冈山市略微加重,其他各地都呈减轻趋势,且吉水县通过90%显著性水平检验减弱趋势较为明显,青原区、泰和县和永丰县通过95%显著性水平检验,夏旱减弱趋势十分明显。秋季干旱趋于加重地区为遂川县、泰和县、万安县和井冈山市,井冈山市干旱指数时序斜率通过了95%显著性水平检验,干旱加重明显。冬季干旱中安福县、吉州区、峡江县和吉安县都有不明显的增加趋势,其余各地冬旱减弱。

表2 不同时间尺度SPI值时序相关性分析结果

区县	时间尺度				
	年	春	夏	秋	冬
安福县	0.001	-0.010	0.007	0.001	-0.005
吉水县	0.006	-0.008	0.012 [*]	0.005	0.004
吉州区	0.002	-0.007	0.009	0.001	-0.001
青原区	0.008	-0.006	0.014 ^{**}	0.004	0.006
遂川县	-0.002	-0.011 [*]	0.007	-0.009	0.003
泰和县	0.007	-0.003	0.015 ^{**}	-0.004	0.006
万安县	0.002	-0.007	0.008	-0.005	0.007
峡江县	-0.002	-0.007	-0.001	0.004	-0.001
新干县	0.002	-0.009	0.007	0.009	0
永丰县	0.007	-0.011 [*]	0.017 ^{**}	0.002	0.006
永新县	0.007	-0.001	0.007	0.002	0.001
井冈山市	-0.007	-0.001	-0.002	-0.016 ^{**}	0.002
吉安县	0.005	-0.008	0.012 [*]	0.003	-0.003

注 *和**分别代表通过90%和95%显著性水平检验。

2.4 干旱站次分析

图4为吉安地区1960—2018年干旱站次比。从图4可知,1960—2018年发生全流域干旱事件12次,占到总年份的20.3%,分别为1963、1966、1967、1971、1974、1978、1986、2003、2007、2009、2011年,其中1963、1967、1971、1986和2003年干旱站次比达到100%,全流域干旱的年份占到干旱年份的40%,说明全流域性干旱发生频率较高;区域性和局域性干旱均发生9次;无旱年29次,站总年份的49.2%,说明该地区一半以上的年份发生了局域性及以上的干旱事件。此外,20世纪60、70年代全流域性干旱事件发生了7次,2003—2011年发生了4次,发生的时间间隔很短,说明全流域干旱更容易集中在一段时期内发生。从干旱站次比变化趋势可以看出,1960—2018年整体呈下降趋势,干旱影响范围趋于缩小;并且以20 a为周期呈明显的减小趋势,干旱影响范围在此期间明显减小,另一方面也说明周期初期大范围干旱较为严重,即将到来的2020年为下个周期的早期,应该格外引起注意,做好可能发生大范围干旱事件的预防工作,防患于未然。

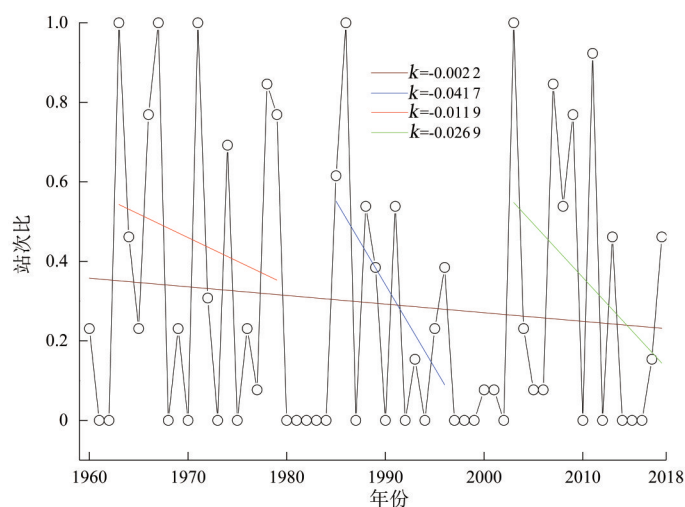


图4 吉安地区干旱站次比

2.5 干旱特征的游程分析

为了进一步了解吉安市干旱特征,通过游程理论识别干旱历时和干旱烈度,干旱历时和干旱烈度的年际变化情况反映了不同年份干旱的严重程度,这2个特征随时间的变化如图5所示。从图5可知,吉安地区干旱历时和干旱烈度变化保持一致,均呈下降趋势,表明了该地区干旱灾害造成的影响趋于减弱;干旱历时长的年份干旱烈度也较大,2003年干旱烈度最大为7.89,干旱历时持续6个月,对比干旱站次比可以发现,2003年干旱波及范围十分广,吉安各地都发生了较为严重的干旱。干旱历时、干旱烈度与干旱站次比总体趋势的一致降低,更有力的说明了吉安地区干旱有减弱的倾向。

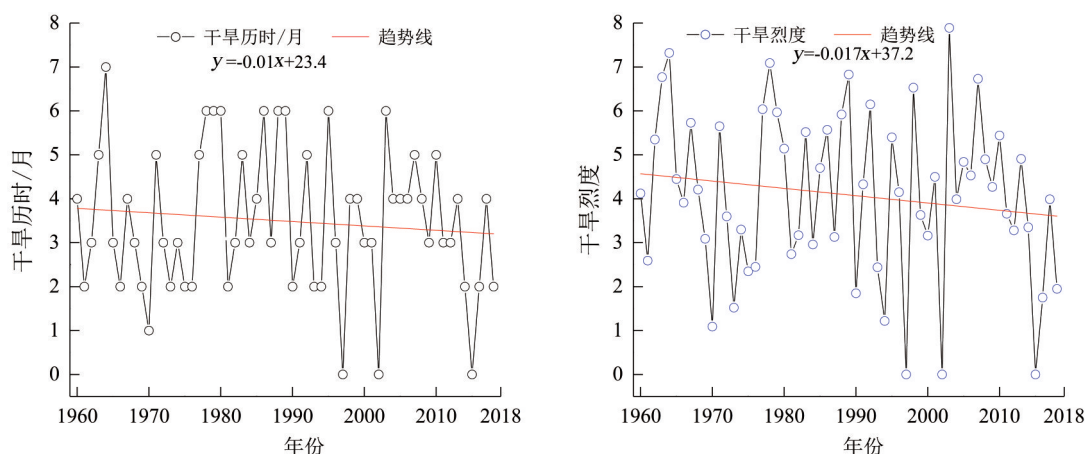


图5 吉安地区干旱历时与干旱烈度变化

2.6 降水状态预测

按2.4节中的步骤,以吉安县为例,以1960—2017年降水量数据为基础,对2018年的降水丰枯状态进行预测,并将预测结果与2018年真实降水量状态进行对比检验。根据表3所建立的年降水量状态划分标准,划分降水量序列状态。

根据降水量状态序列统计不同滞时的Markov链转移概率。为了减少统计量,这里给出步长为1~5的2017、2016、2015、2014年和2013年初始状态所对应的步长的转移概率,并将其组成新的概率矩阵 P :

$$P = \begin{bmatrix} 0.777 & 0.154 & 0.308 & 0.154 & 0.308 \\ 0.111 & 0.111 & 0.555 & 0.111 & 0.111 \\ 0.125 & 0.250 & 0.375 & 0.125 & 0.125 \\ 0 & 0.333 & 0.250 & 0.250 & 0.167 \\ 0.117 & 0.235 & 0.353 & 0.117 & 0.117 \end{bmatrix} \quad (7)$$

根据式(4)和式(5)计算出的结果并依据2013—2017年的降水量状态和新的转移概率矩阵 P 对2018年的降水量丰枯状态进行预测,通过2018年年降水量的真实状态对Markov模型预测结果进行检验,结果见表4。

表4 吉安县2018年降水量预测

年份	状态	步长	ω	E_1	E_2	E_3	E_4	E_5
2017	3	1	0.18	0.1	0.4	0.3	0.1	0.1
2016	5	2	0.002	0.111	0.111	0.555	0.111	0.111
2015	5	3	0.217	0.125	0.250	0.375	0.125	0.125
2014	3	4	0.463	0	0.333	0.250	0.250	0.167
2013	2	5	0.137	0.117	0.235	0.353	0.117	0.117

对相同状态下的各预测概率加权求和,再比较各种状态所处概率和的大小,得 $\max\{P_i, i \in E\} = P_2 = 0.313$,预测吉安县2018年降水量状态为 E_2 ,即2018年属于偏枯年,年降水量在1 197~1 441.4 mm之间,实际资料显示吉安县2018年降水量为1 260.6 mm,预测结果与实际情况相吻合。根据以上计算步骤,得到吉安地区2018年降水量状态预测结果和真实状态的对比情况,结果见表5。由表5可知,Markov模型对吉安地区2018年降水量状态预测的结果比较理想,13个区县中11个预测状态与真实状态相符,预测精度达到84.6%,进一步观察结果的差异性,发现该模型对安福县和吉州县所处的“旱”状态预测效果不理想,对极端干旱年的预测精度有待提高。不过整体来说该模型的预测结果的可信度还是较高的,所以采用该模型对2019和2020年降水量状态进行预测,预测结果见表6。从表6可以看出,2019年泰和县和永丰县的年降水量状态处于偏丰,吉安市区、遂川县、峡江县、永新县、吉安县在未来可能出现偏旱情况,其余各县为平水年;2020年安福县、泰和县、新干县和井冈山市都处于平水年,吉水县、万安县和永丰县年降水都转为偏枯状态,旱情有所加重,吉州区、青原区、遂川县、永新县和吉安县持续处于偏旱状态,偏枯年较2019年有所增加,干旱形势不容乐观。

表5 吉安地区2018年降水量预测

县名	安福县	吉水县	吉州区	青原区	遂川县	泰和县	万安县	峡江县	新干县	永丰县	永新县	井冈山市	吉安县
预测状态	2	2	2	3	3	2	3	3	2	2	2	3	2
实际状态	1	2	1	3	3	2	3	1	2	2	2	3	2

表6 吉安市各区县未来年降水量预测

县名	安福县	吉水县	吉州区	青原区	遂川县	泰和县	万安县	峡江县	新干县	永丰县	永新县	井冈山市	吉安县
2019年	3	3	2	2	2	4	3	2	3	4	2	3	2
2020年	3	2	2	2	2	3	2	4	3	2	2	3	2

3 讨论

周玮^[11]研究表明,吉安市干旱频率呈递增趋势,干旱较为严重的年份有1963、1965、1971、1978、1986、1998、2003年和2007年;谢小华等^[12]研究发现,降水量的时空分布不均与吉安市旱情加重的有明显的关系,严重的干旱总体在吉泰盆地,山区较轻。这些对吉安市年尺度干旱的研究与本文通过年尺度分析的结论基本一致,但上述研究未考虑吉安地处山区,降水量差异性较大或是仅对典型历史干旱事件进行分析,本文研究发现,吉泰盆地年尺度干旱的发生多于四周山区,井冈山市、遂川县和安福县等地区秋冬季节干旱频发,对该地区中晚稻的收成产生一定的影响,并且井冈山和遂川地区的秋旱频率有加重的倾向。干旱历时与干旱烈度呈现出减少趋势,其与干旱站次比趋势相一致,表明了吉安地区干旱总体趋于缓和。加权的Markov预测模型对未来降水状态做出预测,安福和峡江县发生了由枯转丰的变化,降水未来变化相对2018年有所增多,值得注意的是干旱站次比的结果表明了干旱事件在每轮周期的早期大范围干旱事件可能发生,对此需要提高警惕。

4 结论

1)轻旱和中旱主要发生在吉安中部和西南地区,重旱集中在吉安边缘地区,特旱多在中东部,轻旱到特旱发生频率依次减小。

2)春旱发生频率在23%~30%之间,安福地区夏旱发生频率最高接近39%,最低的吉安县为18%,地区差异明显,秋旱和冬旱整体上超过24%,其中大部分地区干旱发生频率超过30%。

3)年尺度干旱整体上有微弱的减轻趋势,季节尺度中,春旱趋于严重,遂川和永丰县干旱加重趋势较为明显,通过了90%显著性水平检验;夏季整体倾向于由干向湿转变,青原区、泰和县和永丰县趋势最为显著,通过了95%显著性水平检验。

4)研究区内全流域性干旱事件发生的年份较多,占干旱年的40%,并且偏向在短时间内集中发生,大约每20 a干旱范围明显减小,大范围干旱的发生时间多在20 a期间的早期,年干旱站次比及干旱历时与干旱烈度均呈下降趋势,表明吉安地区干旱范围缩小,干旱严重程度减小。

5)对吉安各地2019年和2020年降水量丰枯状态进行预测,对比2018年状态,安福、泰和、峡江和新干县未来干旱得到缓解,吉州、永新和吉安县将持续处于偏枯状态。

参考文献:

- [1] 屈艳萍,吕娟,苏志诚,等.抗旱减灾研究综述及展望[J].水利学报,2018,49(1):115-125.
- [2] 赵安周,刘宪锋,朱秀芳,等.基于SWAT模型的渭河流域干旱时空分布[J].地理科学进展,2015,34(9):1156-1166.
- [3] 王芝兰,李耀辉,王素萍,等.1901—2012年中国西北地区东部多时间尺度干旱特征[J].中国沙漠,2015,35(6):1666-1673.
- [4] 黄强,陈子荣,刘占明,等.珠江流域区域干旱风险评估[J].中山大学学报(自然科学版),2013,52(5):140-147.
- [5] SITI Nazahiyah Rahmat, NIRANJALI Jayasuriya, MUHAMMED A. Bhuiyan. Short-term droughts forecast using Markov chain model in Victoria, Australia[J]. Theor Appl Climatol, 2017(129):445-457.
- [6] 刘小刚,冷险险,孙光照,等.基于1961—2100年SPI和SPEI的云南省干旱特征评估[J].农业机械学报,2018,49(12):236-245,299.
- [7] 李红梅,王钊,高茂盛.CI指数的改进及其在陕西省的适用性分析[J].干旱地区农业研究,2015,33(3):260-266.
- [8] 郭小芹,李广,罗永忠.甘肃省季节性干旱综合指数的特征[J].干旱地区农业研究,2018,36(4):282-288.
- [9] 王帅兵,李常斌,杨林山,等.基于标准化降水指数与Z指数的洮河流域干旱趋势分析[J].干旱区研究,2015,32(3):565-572.
- [10] 顾颖,戚建国,李国文,等.信息同化融合技术在旱情评估预警中的应用[M].郑州:黄河水利出版社,2015.
- [11] 周玮.基于多种干旱指数的吉安市干旱特征分析[J].南方农业,2017,11(32):104-107,110.

- [12] 谢小华, 班磊. 吉安市历史典型干旱年农业旱情特点分析[J]. 江西水利科技, 2015, 41(1):53-57.
- [13] 左冬冬, 侯威, 颜鹏程, 等. 基于游程理论和两变量联合分布的中国西南地区干旱特征研究[J]. 物理学报, 2014, 63(23):53-64.
- [14] DAHAL Piyush, SHRESTHA Nicky Shree, SHRESTHA Madan Lal, et al. Drought risk assessment in central Nepal: temporal and spatial analysis [J]. Natural Hazards, 2016(80):1 913-1 932.
- [15] 孙秋慧, 徐国宾, 马超, 等. 基于 *SPI* 干旱指数的海口市干旱变化特征研究[J]. 南水北调与水利科技, 2018, 16(4):58-65.
- [16] 林洁, 夏军, 余敦先, 等. 基于马尔科夫链模型的湖北省干旱短期预测[J]. 水电能源科学, 2015, 33(4):6-9, 51.
- [17] 中国气象局, 气象干旱等级 GB20481—2017 气象干旱等级[M]. 北京: 中国标准出版社, 2017.
- [18] 王盈盈, 王志良, 张泽中, 等. 基于 *SPEI* 的贵州省分区干旱时空演变特征[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(6):119-128.
- [19] 梁丰, 刘丹丹, 王婉昭, 等. 基于 *SPEI* 的中国东北地区 1961—2014 年干旱时空演变[J]. 中国沙漠, 2017, 37(1):148-157.
- [20] 张向明, 栗晓玲, 张更喜. 基于 *SRI* 与 *Copula* 函数的黑河流域水文干旱等级划分及特征分析[J]. 灌溉排水学报, 2019, 38(5):107-113.
- [21] 吴冬平, 杨光, 金菊良, 等. 干旱频率计算的简化方法探讨: 以齐齐哈尔市为例[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(6):201-208.
- [22] 郭树龙, 温季, 姜新. 基于 *SPEI* 的 1960—2015 年江汉平原旱涝规律分析及预测[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(9):108-115.
- [23] 孙鹏, 张强, 涂新军, 等. 基于马尔科夫链模型的鄱阳湖流域水文气象干旱研究[J]. 湖泊科学, 2016, 27(6):1 177-1 186.
- [24] 张润润, 崔广柏. 基于马尔科夫链的降水异常等级预测[J]. 人民长江, 2010, 41(12):84-87.

Analysis of Drought Characteristics and Short-term Prediction in Ji'an Area during 1960—2018

HAN Huiming¹, LIU Zheyue², LIU Chenglin^{1*}, CHEN Qiqiang¹, XIE Guodong¹

(1.School of Civil Engineering and Architecture, Nanchang University, Nanchang 330031, China;

2. Jiangxi Meteorological Information Center, Nanchang 330096, China)

Abstract: 【Objective】The purpose of this paper is to further explore the drought condition of Ji'an area in terms of spatial and temporal distribution characteristics, evolution tendency and future situation of drought.【Method】The result of this paper was concluded based on the different time scale *SPI* values of precipitation during 1960—2018 among the 13 districts and counties of Ji'an city. The inverse distance weight method was adopted to interpolate the drought frequency. And the spatial distribution characteristics of annual and seasonal drought were analyzed in the research. Moreover, the trends, occurrence timing characteristics, impact range and severity of drought were analyzed by Linear regression method, Mann-Kendall trend test, drought station sub-ratio and run of theory; Precipitation status was also predicted by weighted Markov Model.【Result】The frequency and range of drought in Ji'an area decreased on the annual scale in terms of the light drought and extreme drought conditions. Droughts in Autumn and winter were more severe because the occurrence frequency was about 30%. However, drought in summer varied greatly on regional distribution. Overall, the spring drought had a tendency to increase in many places; while the summer drought was weakening. The whole basin drought events tended to occur intensively in a short period of time, and the drought area has been reduced obviously in a 20-year cycle, the severity of drought also have been reduced. In conclusion, it was predicted that 6 to 8 regions will be in the low level water condition in 2019 and 2020.【Conclusion】Ji'an area should focus on drought prevention work in the autumn and winter seasons, and pay attention to the large-scale drought events that may occur in the early 2020s.

Key words: drought; Ji'an area; standardized precipitation index; distribution characteristics; Markov

责任编辑: 陆红飞