

基于连续无有效降雨日数指标的 江西省干旱时空分布特征

吴少强^{1,2,3} 汤崇军^{2,3} 郑太辉^{2,3} 陈晓安^{2,3} 何小武¹¹

(1. 江西农业大学 国土资源与环境学院, 江西 南昌 330045;

2. 江西省水土保持科学研究院, 江西 南昌 330029;

3 江西省土壤侵蚀与防治重点实验室, 江西 南昌 330029)

【摘要】: 全球气候变化的背景下, 由于降雨不均发生的干旱问题已严重威胁作物生长和粮食安全, 探究江西省干旱特征为防灾抗旱和农作物生长提供理论参考。利用江西省 15 个气象台站 1957~2015 年的逐日降水资料, 以连续无有效降水日数为指标, 分别计算了不同季节的干旱频率、干旱站次比和干旱持续天数, 得到干旱频率的空间分布特征, 并分析干旱站次比和干旱持续天数的年际变化趋势; 同时引入逐日干旱频率, 研究江西省不同站点的逐日干旱动态变化。结果表明: (1) 江西省各地区夏旱和秋旱频发, 以 7~11 月伏秋旱最为严重; (2) 春旱主要发生在赣南, 夏旱高发地区主要在鄱阳湖平原和赣州南部, 全省只有较少地区秋旱轻微, 其他大部分地区秋旱较为严重, 冬旱呈现由北向南逐渐增大的趋势, 一年中赣州都是干旱发生较为严重的区域, 为江西省干旱重灾区; (3) 江西省与各子区域的变化趋势基本一致。春旱和秋旱年际变化呈增加趋势, 仅赣南地区干旱强度略有减小; 夏旱呈降低趋势; 冬季干旱范围虽有增加趋势, 但干旱强度有减轻的趋势; 赣南地区干旱情况总体呈减弱的趋势, 仅冬季干旱强度有增强的趋势。

【关键词】: 干旱 江西省 时空特征 连续无有效降水日数

【中图分类号】: S166 **【文献标识码】:** A **【文章编号】:** 1004-8227(2022)04-0903-12

近年来, 全球极端干旱区面积增长了两倍多。干旱灾害作为我国最主要的自然灾害之一, 具有影响区域广、出现次数多、损失程度重等特点^[1,2]。受不同的气候条件和自然地理因素影响, 我国各地干旱的成因和特点不仅表现出较大的空间变异, 而且表现为明显的季节差异^[3,4,5]。研究表明, 长江中下游地区、西南地区的春旱和秋旱有加重的趋势, 华北、华南以及西北地区东部的干旱在冬春两季明显比夏秋两季偏多, 华东地区夏季干旱在一年中尤为突出^[6,7], 干旱已经成为南方农作物生长和南方粮食生产的主要障碍^[8,9,10,11], 给人民生活产生了很大的影响^[12,13,14]。因此, 开展针对季节干旱的时空特征分析, 对了解我国干旱的成因, 采取有针对性的防灾减灾措施具有重要的意义^[15,16]。

作者简介: 吴少强(1995~), 男, 硕士研究生, 主要研究方向为季节性干旱下的水土保持效应. E-mail:wushaoqiang1995@163.com; 汤崇军, E-mail:tangchongjun@126.com

基金项目: 国家自然科学基金项目(41867016); 江西省水利科技项目(202124ZDKT07, 202123YBKT13)

江西省位于南方红壤区,红壤分布范围广,约占全省面积 56%。江西省是重要的粮食产区,粮食作物播种面积占作物总播种面积的 60%~70%。其中水稻常年播种面积约占粮食作物播种面积的 85%~90%。但降水年际变化大,多雨与少雨年份相差几近一倍;年内降水不均,4~6 月约占 42%~53%。并且,丘陵多为山坡地,灌溉条件差。因此,江西极易发生季节性干旱^[17,18,19]。张斌等人发现南方红壤区降雨一般集中在 3~6 月,占年降雨量 60%左右,8~9 月高温少雨,伏旱秋旱严重,降雨量仅有年降雨量 10%左右^[20]。而王明珠等的研究表明相对于降雨分布的蒸发量则存在滞后性,一般降水量的季节变化超前于潜在蒸发量变化一个月。一旦春夏雨季结束,随即进入伏秋高温和蒸发高峰期,蒸发量明显高于降水量^[21]。黄国勤指出江西每年 6 月底前后进入久晴少雨干旱期,此外还可能出现秋旱、冬旱和春旱^[22],一般在 7~8 月,月降水量只有 100mm 左右,而月蒸发量可达 200mm 以上,干旱持续期一般为 20~30d,最长可达 40~50d^[23]。以江西省为例,研究红壤区季节性干旱,对农业高产,粮食安全及可持续发展有重要意义^[24,25,26]。

前人多用标准化降水指数^[27,28,29]、降水距平百分率^[30,31]等农业干旱等级指标来分析干旱变化特征^[32,33],无雨日数最初用来研究降水特征^[34,35,36],后来用作干旱指标来分析干旱特征^[37,38,39],关于用连续无雨日数研究江西省干旱变化特征鲜有报道。连续无有效降雨日数指标考虑到无降水日数对干旱的影响,从逐日的角度使干旱监测评估更加精细化^[40,41],弥补了标准化降水日数等指标只从月尺度分析干旱的短板。事实上降水达到一定量级才能被植物利用,而连续无有效降雨日数(Continuous Days Without Available Precipitation, Dnp)是指作物生长季内降水量小于有效降水临界值的天数,综合了植物需水量和降雨的影响因素^[42]。本文选取无有效降水日数指标,从时间和空间上分析江西省的干旱特征,为农作物种植和防灾抗旱方面提供科学依据。

1 资料与方法

1.1 研究区域和资料来源

本文所用的气象资料是中国气象局中心提供的中国地貌气候资料日值数据集,依据中华人民共和国水利行业标准(SL424-2008)旱情等级标准中连续无降雨日数旱情等级划分标准,研究区为江西,包括赣北地区:南昌、玉山、修水、景德镇、贵溪、庐山、波阳、樟树;赣中地区:吉安、南城、宜春、广昌;赣南地区:赣县、遂川、寻乌等 3 个子区域 15 个站点近 59 年(1957~2015 年)平均气温、最高、最低平均气温、日照时数、降雨量、相对湿度、风速等资料。

1.2 研究方法

1.2.1 连续无有效降水日数(Dnp)计算

连续无有效降水日数(Dnp)是表征农田水分补给状况的重要指标之一,指作物生长季内降水量小于有效降水临界值的持续天数,以日数(d)表示,连续无有效降水(降雪、积雪)日数计算公式如下^[43]:

$$Dnp = \sum_{i=1}^n Dnp_i \quad (1)$$

式中: Dnp 为连续无有效降水日数, d;n 为日降水量小于有效降水量的总日数, d;Dnp_i 为日降水量小于有效降水量的降水日数, d,可由以下公式得到:

$$Dnp_i = \begin{cases} 1, & P < P_0 \\ 0, & P \geq P_0 \end{cases} \quad (2)$$

式中：P 为日降水量，mm； P_0 为日有效降水临界值，考虑到不同季节气候以及作物需水量的差异性，对判断日雨量是否为有效降雨规定如下：在冬季(12~2月)、春季(3~5月)和秋季(9~11月)，日雨量小于3毫米的降雨视为无有效降雨，此时 $P_0=3\text{mm}$ ；夏季(6~8月)，日雨量小于5mm的降雨视为无有效降雨，此时 $P_0=5\text{mm}$ 。

1.2.2 干旱强度分级

基于文献[44, 45]中的分级标准，根据不同季节的干旱特点，结合不同季节保水抗旱条件对干旱持续天数(D_{np})影响，定义干旱指数(I)：

$$I = D_{np}/G \quad (3)$$

式中：I 为干旱指数，四舍五入取整数，取值为1、2、3、4，分别表示轻旱、中旱、重旱、特旱； D_{np} 为干旱持续天数(d)，由公式(1)和(2)计算可得；G 为干旱等级划分的天数(d)，根据不同季节对干旱强度等级影响：春季和秋季 $G=15$ ，夏季 $G=10$ ，冬季 $G=20$ ，具体干旱指数和干旱持续天数等级划分见下表：

表1 累计干旱持续天数分级(d)

干旱等级	分级名称	春季(3~5月) 秋季(9~11月)	夏季(6~8月)	冬季(12~2月)
1	轻度干旱	10~20	5~10	15~25
2	中度干旱	21~45	11~15	26~45
3	重度干旱	46~60	16~30	46~70
4	特大干旱	>60	>30	>70

计算不同干旱程度干旱频次统计表时，如轻度干旱统计表，当月一次干旱记录1，当月二次干旱记录2。当某场次干旱跨月份，哪个月份干旱的天数多就统计到哪个月，另外一个月不能再计算；当某场次干旱跨月份，两个月份天数都相等时按照下列规则计算：1和2月相等跨度时算2月，2和3月相等跨度时算3月，3和4月相等跨度时算4月，4和5月相等跨度时算5月，5和6月相等跨度时算6月，6和7月相等跨度时算7月，7和8月相等跨度时算8月，8和9月相等跨度时算8月，9和10月相等跨度时算9月，10和11月相等跨度时算10月，11和12月相等跨度时算11月，12和1月相等跨度时算12月。

1.2.3 干旱评估指标

为了更好地反映较大范围内的区域干旱发生程度，在这里引入干旱发生频率，并定义干旱发生站次比和干旱强度。

(1) 干旱频率(P_i)。

P_i 是用来评价某站有资料年份内发生干旱频繁程度，计算公式如下：

$$P_i = \left(\frac{n}{N} \right) \times 100\% \quad (4)$$

式中：N 表示某站有气象资料的总年数；n 表示该站发生干旱的年数；下标 i 指代区别不同站代号。按不同程度的干旱发生年数计算不同程度干旱频率。为了方便分析比较，本文把轻旱(含轻旱以上)发生的年份均记为干旱，中旱(含中旱以上)发生的年份均记为中旱，以此类推。

(2) 干旱站次比(P_j)。

P_j 是用某一区域内干旱发生站数多少占全部站数的比例来评价干旱影响范围的大小，可用以下公式表示：

$$P_j = \left(\frac{m}{M} \right) \times 100\% \quad (5)$$

式中：M 表示研究区域内总气象站数；m 表示发生干旱的站数；下标 j 指代不同年份的代号。干旱发生站次比(P_j)表示一定区域干旱发生的范围的大小，也间接反映干旱影响范围的严重程度。

(3) 变化趋势率。

变化趋势率，即气候倾向率，一般以历年气候要素变化过程的拟合直线的斜率的 10 倍即为气候倾向率，表征多年气象数据序列变化倾向度。在统计上，用 x_i 表示样本量为 n 的某一气候变量，用 t_i 表示 x_i 所对应的时间，建立 x_i 与 t_i 之间的一元线性回归方程：

$$\hat{x}_i = a + b t_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \text{ 年} \quad (6)$$

式中：a 表示回归常数；b 表示回归系数；a 和 b 可以用最小二乘法进行估计^[24]。以 a 的 10 倍作为气候要素倾向率。在实际计算中，可以计算结果按时间建立序列，在 Excel 中用 Slope 函数拟合计算。

2 结果与分析

2.1 基于连续无有效降水日数季节干旱频率空间特征分析

通过计算不同季节的干旱频率，用 ArcGIS 空间图表达，得到基于连续无有效降水日数(Continuous Days Without Available Precipitation, Dnp)的季节干旱频率空间分布图(图 1)。

2.1.1 江西省春季干旱频率分析

总体上呈现赣中<赣北<赣南的趋势(图 1a)，赣中和赣北地区基本为干旱发生较轻的地区，干旱频率<50%，以景德镇、上饶市西部和九江西部地区干旱频率较高，在 50%左右。赣南以吉安市南部和赣州市地区较为严重，干旱频率在 75%以上，为春季干旱发生严重地区，由以上分析可知，江西省春季干旱主要以赣南地区为主。

2.1.2 江西省夏季干旱频率分析

总体呈现由外向内干旱逐渐加重的趋势(图 1b),内部干旱较为严重,北部以吉安市、宜春市东部、抚州北部、南昌市和上饶市西部为主,其中尤以上饶市西部和吉安市较为严重,干旱频率在 75%以上。南部片区主要为赣州南部地区,干旱频率高达 75%。江西省外部地区干旱频率都在 33%左右,为夏季发生干旱频率较低的地区。从结果上看,江西省夏季干旱主要在吉安市、宜春市东部、抚州北部、南昌市、上饶市西部和赣州南部地区。

2.1.3 江西省秋季干旱频率分析

总体呈现出全省只有少部分地区干旱较轻,其他地区干旱较严重(图 1c)。由图上可以看出,只有九江市北部地区和吉安市西南部地区干旱频率在 20%以下,其他地区干旱频率都在 50%以上,尤以宜春、九江西部地区、南昌、赣州等地区干旱较为严重,在 75%以上,由以上分析可得,江西省秋季干旱全省只有较小部分地区干旱轻微,其他大部分地区干旱较为严重。

2.1.4 江西省冬季干旱频率分析

总体呈现由北向南干旱频率逐渐增大的趋势(图 1d),江西省东北部地区干旱较轻,频率在 33.3%以下,中部地区干旱频率略大,但在 50%以下,向南到吉安市南部和赣州地区干旱加重,在 50%以上,尤以赣州南部地区干旱最严重,频率高达 75%以上,由结果看出,江西省冬季干旱频率呈现由北向南逐渐增大的趋势。

综上,基于连续无有效降雨日数(Dnp)指标的干旱频率显示,江西省春季干旱主要发生在赣州,夏季干旱主要发生在鄱阳湖平原地区和赣州南部,秋季干旱全省都较为严重,尤以宜春、九江西部地区、南昌、赣州等地最为严重,冬季干旱主要发生在赣州地区。另外,一年四季中赣州都是干旱发生较为严重的区域,为江西省干旱重灾区。

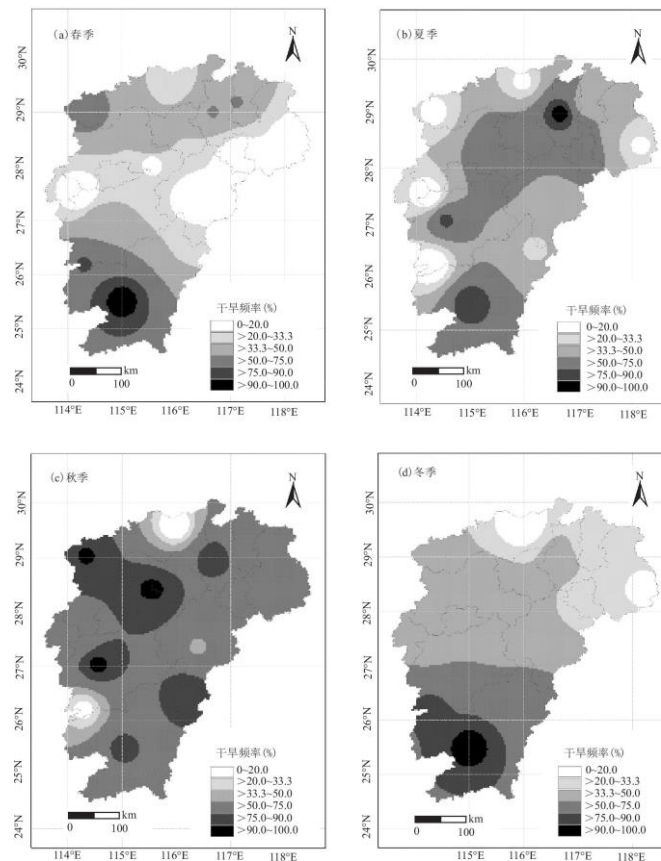


图 1 江西省基于连续无有效降水日数 (Dnp) 的季节性干旱频率分布

2.2 基于连续无有效降水日数逐日干旱频率动态变化

连续无有效降水日数是基于逐日尺度的干旱指标,与 SPI、SPEI 指标相比较, SPI、SPEI 指标是在月、季尺度对干旱情况进行评估的指标,连续无有效降水日数可从逐日尺度评估干旱的持续状态和动态变化,较准确记录干旱的发生时段。依据无有效降水日数计算干旱发生的频率,统计历年来各个站点每日发生干旱过程年次数与统计资料年数之比^[6]。

依据 2.1 干旱频率的空间分析,我们选取赣北西部修水,中部南昌和东部玉山 3 个站点,赣中地区的吉安、宜春和南城 3 个站点,赣南地区的赣县、遂川和寻乌 3 个站点,分析这些站点的逐日干旱频率,分别计算赣北、赣中、赣南 3 个子区域的多站平均逐日干旱频率,结果见图 2。为了便于分析比较,将逐日干旱频率在 10%、20%、35%、50%和 67%以上时段分别称为干旱较明显、明显、多发、高发和频发。

2.2.1 赣北地区

图 2a 为江西省赣北地区站点逐日干旱频率变化。南昌站 3 月上旬春旱明显,5 月末干旱明显且急剧加重;到 6 月夏旱高发为主,伴随多发;7、8 月夏旱频发,旱情达到顶峰;9、10、11 和 12 月秋旱和初冬旱高发,9 月下旬和 10 月秋旱频发,干旱严重;1 和 2 月上旬冬旱明显,2 月中下旬冬旱较明显。修水站逐日干旱频率与南昌站变化基本类似,不作过多赘述,仅 7 和 8 月夏旱频发,9 月上旬秋旱多发,较南昌站干旱情况稍弱。玉山站逐日干旱频率与南昌站也基本类似,仅 3 月上半月初春旱较明显,9 月秋旱高发,较南昌站干旱情况也稍弱。综上站点结合赣北地区多站逐日干旱频率平均可以得出:赣北地区夏旱和秋旱高发、频发,夏、秋旱严重,尤以 7~11 月伏秋旱最重,冬旱和初春旱明显。南昌较其他站点旱情较重。

2.2.2 赣中地区

图 2b 为江西省赣中地区站点逐日干旱频率变化。南城站 3 月份前半月较明显;5 月末旱情急剧上升,6 月夏旱多发,7、8 月夏旱频发,到达顶峰,干旱严重;9、10、11 月秋旱高发,其中 10 月频发,干旱较严重;12 月干旱持续减弱,1 月冬旱明显,2 月较明显。吉安站逐日干旱频率与南城站变化基本类似,其整体干旱频率曲线较南城站略有抬升,干旱较南城站稍重。宜春站逐日干旱变化频率也与南城站变化基本类似,其整体干旱频率曲线较南城站略有下沉,干旱较南城站稍弱,仅 7 月干旱为高发,呈先下降后上升的趋势。综上站点分析结合赣中地区多站逐日干旱频率平均可以得出:赣中地区初夏旱、伏秋旱严重,冬旱和初春旱明显。

2.2.3 赣南地区

图 2c 为江西省赣南地区站点逐日干旱频率变化。赣县站 3 月上半月初春旱明显,下半月干旱较明显,5 月末干旱频率上升;6 月干旱多发,7 月干旱频发,8 月干旱高发,8 月末逐日干旱频率急剧下降,9 月干旱频率急剧上升;10 月干旱频发,11 月干旱高发;12 月干旱频率下降,1 月干旱多发,2 月干旱明显。遂川站逐日干旱频率与赣县站变化基本类似,较赣县站干旱频率曲线略有下沉,干旱较赣县站稍弱。寻乌站干旱频率与赣县站变化也基本类似,仅冬旱较重,达到高发。综上站点分析结合赣南地区多站逐日干旱频率平均可以得出:赣南地区夏旱和秋旱频发,干旱严重;春旱明显;冬旱多发,较赣北、赣中地区稍严重。

2.3 江西省干旱范围及干旱强度年代际变化趋势

分别计算了 1957~2015 年江西省赣北、赣中和赣南地区四季的干旱站次比和干旱持续天数,干旱站次比表征地区干旱发生的范围大小,干旱持续天数表征地区干旱强度的大小,这里列出站次比和干旱持续天数的变化趋势率(以 10a 计),分析各个地区

四季的干旱范围和干旱强度的变化趋势。

2.3.1 江西省春季干旱范围和干旱强度的变化

依据 1957~2015 年江西省基于日尺度的春季干旱站次比和持续天数的变化趋势来看,江西省春季干旱站次比略有增加,变化趋势率为 0.17%,干旱范围有增大的趋势。从各子区域来看,赣北和赣中地区站次比趋势率都略有增加,分别为 0.412%和 0.476%,干旱范围有增大的趋势,但赣南地区呈略减的趋势,变化趋势率为-0.621%,干旱范围有减小的趋势。江西省春季干旱持续天数呈增加的趋势,变化趋势率为 0.67%,干旱强度加剧,从各子区域的变化趋势率来看,赣北和赣中地区干旱持续天数也有增加的趋势,干旱强度有加重的趋势,但赣南地区呈减小的趋势,干旱强度有减弱的趋势。

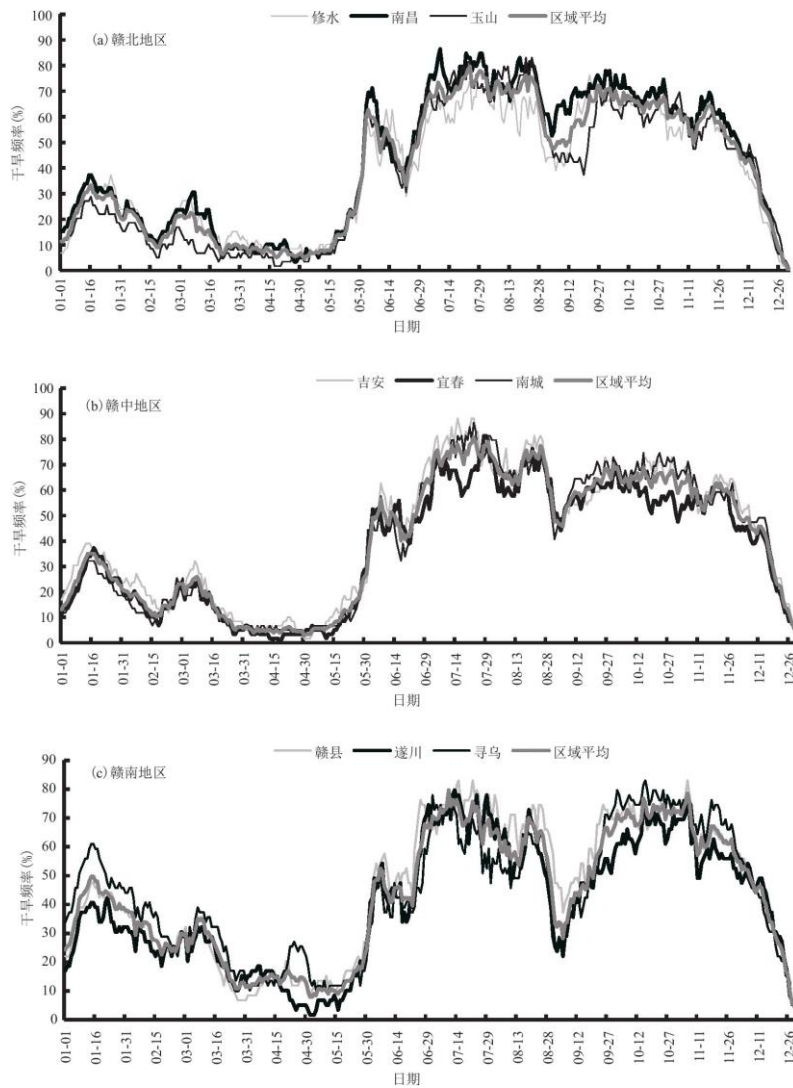


图 2 江西省各区域站点及区域平均逐日干旱频率动态变化

2.3.2 江西省夏季干旱范围和干旱强度的变化

依据 1957~2015 年江西省基于日尺度的夏季干旱站次比和持续天数的变化趋势来看,江西省干旱站次比基本没有变化,在近 60a 来的各地区各站点几乎都有干旱发生,干旱范围基本覆盖了所有站点,没有变化的趋势。江西省夏季干旱持续天数有明显

减小的趋势，变化趋势率为-1.78%，并通过 $P<0.05$ 的显著性检验，干旱强度有加重的趋势。从各子区域来看，赣北地区干旱持续天数有显著增加的趋势，通过了 $P<0.01$ 的显著性检验，赣中地区干旱持续天数有增加的趋势，通过 $F=0.1$ 显著性检验，干旱强度都有显著增加的趋势，但赣南地区干旱持续天数略有减少，干旱强度有降低的趋势。

表 2 江西省各地区基于连续无有效降水日数的干旱站次比和持续天数的变化趋势率

地区		赣北		赣中		赣南		江西	
		倾向率	趋势	倾向率	趋势	倾向率	趋势	倾向率	趋势
春季	站次比 (%)	0.412	略增	0.476	略增	-0.621	略减	0.17	略增
	持续天数 (%)	1.358	增加	0.131	略增	-0.758	减小	0.67	增加
夏季	站次比 (%)	0	无变化	0	无变化	0	无变化	0	无变化
	持续天数 (%)	-1.848**	减小	-1.436	减小	-0.31	略减	-1.78*	减小
秋季	站次比 (%)	0	无变化	0	无变化	0	无变化	0	无变化
	持续天数 (%)	0.66	增加	1.068	增加	-0.224	略减	1.1	增加
冬季	站次比 (%)	0.2	略增	1.23	增加	-0.622	略减	0.11	略增
	持续天数 (%)	-0.839	减小	0.104	增加	0.782	增加	-0.58	略减

注：*和**分别表示通过 $P<0.05$ 显著性检验和 $P<0.01$ 极显著性检验。

2.3.3 江西省秋季干旱范围和干旱强度的变化

依据 1957~2015 年江西省基于日尺度的秋季干旱站次比和持续天数的变化趋势来看，江西省干旱站次比基本没有变化，在近 60a 来的各地区各站点几乎都有干旱发生，干旱范围基本覆盖了所有站点，没有变化的趋势。江西省秋季干旱持续天数呈增加的趋势，变化趋势率为 1.1%，干旱强度有加重的趋势。从各子区域变化趋势来看，赣北和赣中干旱持续天数有增加的趋势，变化趋势率分别为 0.66% 和 1.068%，干旱强度呈加重趋势，但赣南地区干旱持续天数略有减小，变化趋势率为-0.224%，干旱强度有减弱的趋势。

2.3.4 江西省冬季干旱范围和干旱强度的变化

依据 1957~2015 年江西省基于日尺度的冬季干旱站次比和持续天数的变化趋势来看，江西省干旱站次比略有增加，变化趋势率为 0.11%，干旱范围有增加的趋势。从各子区域来看，赣北和赣中地区都有增加的趋势，变化趋势率分别为 0.2% 和 1.23%，干旱范围也呈增大趋势，但赣南地区干旱站次比略有减小，变化趋势率为 0.622%，干旱范围也呈略减的趋势。江西省干旱持续天数略有减少，变化趋势率为-0.58%，干旱强度略有减弱。从各子区域来看，赣北地区干旱持续天数也呈减少的趋势，变化趋势率为-0.839%，干旱强度呈减弱的趋势，但赣中和赣南地区干旱持续天数呈增加的趋势，变化趋势率分别为 0.104% 和 0.782%，干旱强度呈加重的趋势。

综上根据历年来干旱站次比和干旱强度反映的干旱范围和干旱强度的变化看，江西省与各子区域的变化趋势基本一致，即

春季江西省干旱范围和干旱强度都有所增加,仅赣南地区干旱范围和干旱强度略有减少;江西省夏季干旱强度显著减小;秋季干旱强度呈增大的趋势,仅赣南地区干旱强度略有减小;冬季干旱范围有增加的趋势,仅赣南地区有减小的趋势;冬季干旱强度有减小的趋势,赣北干旱强度有减小的趋势,但其他地区干旱强度呈增加的趋势。通过趋势分析得出,江西省春季和秋季干旱加重;夏季干旱减轻;冬季虽干旱范围有所扩大,但干旱强度有所减轻;赣南地区四季的干旱都有减弱的趋势,仅冬季干旱范围有增加趋势。

3 讨论

贾秋洪通过两种判别方法对鹰潭市干旱研究表明,7~9月该地旱情最为严重,为干旱多发月^[46]。黄道友通过研究我国典型红壤丘陵区40年季节性干旱结果表明7~8月和11~12月为年内两个高发期,年际干旱有加重趋势^[47]。而本文研究结果为江西省伏秋旱尤其严重,干旱主要发生在7~11月,人们认为南方总体降水多于北方,不存在干旱,而一些学者研究发现南方干旱频率高,强度大,干热同步^[48],一旦春夏雨季结束,随即进入伏秋高温和蒸发高峰期,蒸发量明显高于降水量^[21]。也有学者发现7月的厄尔尼诺现象通过大气环流和水分输送对江西的干旱有很大影响^[49],旱涝灾害的发生在厄尔尼诺较强或较弱的年份和太阳黑子活动峰年有较明显的响应,造成极端天气事件,进而使江西伏秋旱严重^[50]。江西省伏秋旱严重也有记载,如2003年江西省出现严重伏秋冬连旱,夏季出现历史罕见的特大伏旱,9~12月降水量比常年同期偏少4~7成^[51];2007年出现2次明显的干旱过程,伏旱、秋季和初冬连旱,其中秋季旱情最严重,省内5大河入鄱阳湖为 $549\text{m}^3/\text{s}$,仅为多年同期均值的45%,创历史新低^[52]。

本文从年际变化趋势看,春季和秋季干旱呈增加趋势,夏季干旱呈减轻趋势,冬季干旱强度也有减轻的趋势。有研究指出长江中下游流域春季和秋季呈干旱化趋势,春季干旱化趋势显著,鄱阳湖流域春旱频率在21世纪初达到高峰,干旱范围与强度显著增加^[49],江西省近30a旱涝表现为增趋势^[53],与本文研究结果相吻合。空间上江西省区域性和阶段性干旱严重,主要出现在中南部,旱灾受灾率总体呈北少南多的区域分布特征^[49]。

4 结论

本文以连续无有效降雨日数为指标在时间和空间上对江西省的干旱分布特征做了具体的分析,利用长时间的、大量的数据总结了江西省自1957~2015年近60a干旱发生的趋势、主要地区和时段,从逐日的角度使干旱监测评估更加精细化,弥补了标准化降水日数等指标只从月尺度分析干旱的短板,更能从日尺度看出干旱发生的情况。主要结论如下:

(1)江西省各地区夏旱和秋旱频发,以7~11月伏秋旱最为严重。

(2)春旱主要发生在赣南;夏旱高发地区主要在鄱阳湖平原和赣州南部;全省只有较小部分地区秋旱轻微,其他大部分地区秋旱较为严重;冬旱呈现由北向南逐渐增大的趋势;一年四季中赣州都是干旱发生较为严重的区域,为江西省干旱重灾区。

(3)江西省春旱和秋旱年际变化呈增加趋势,夏旱和冬旱呈降低趋势。赣南地区干旱情况总体呈减弱的趋势,仅冬季干旱强度有增强的趋势。

(4)从逐日干旱频率的分析也可看出,江西省干旱存在明显的季节性差异,干旱持续时间长短也有所不同,在不同区域的季节性干旱强度也有所不同,可根据江西省各区域干旱发生的时间合理安排作物种植,如在冬旱多发的赣南地区,可适当调减或不种植小麦、油菜等越冬作物,可在最大程度上先保证农业生活用水。

本文依据连续无有效降水日数从年、季、日时间尺度较详细的分析了干旱发生范围及干旱强度的变化趋势,并明确了干旱高发期,在空间尺度上分析了干旱的变化特征,可以为作物种植和防灾抗旱方面提供理论依据。由于资料可用到的站点数据不是很多,在GIS做图和干旱站次比计算上产生一定误差,降低了结果的准确度,如果能获取更多站点的数据,研究结果可能更精确。

连续无有效降雨日数指标主要关注无降水日数给干旱带来的影响，而未考虑前期土壤含水量对干旱发生及程度的影响，需要开展进一步研究来探讨前期土壤含水量及无降水日数对区域干旱的综合影响效应。

参考文献:

- [1]张利利,周俊菊,张恒玮,等.基于SPI的石羊河流域气候干湿变化及干旱事件的时空格局特征研究[J].生态学报,2017,37(3):996-1007.
- [2]徐杰.我国的主要气象灾害及其经济损失[J].科技与企业,2014(24):100.
- [3]BI S B, BI S J, LU Y, et al. Temporal and spatial characteristics of droughts and floods in northern China from 1644 to 1911[J]. Journal of Earth System Science, 2019, 128(4).
- [4]张亚宁,张明军,王圣杰,等.1961-2015年中国降水面积变化特征研究[J].干旱区地理,2019,42(4):762-773.
- [5]胡子瑛,周俊菊,张利利,等.中国北方气候干湿变化及干旱演变特征[J].生态学报,2018,38(6):1908-1919.
- [6]黄晚华,杨晓光,李茂松,等.基于标准化降水指数的中国南方季节性干旱近58a演变特征[J].农业工程学报,2010,26(7):50-59.
- [7]黄晚华,隋月,杨晓光,等.气候变化背景下中国南方地区季节性干旱特征与适应. III. 基于降水量距平百分率的南方地区季节性干旱时空特征[J].应用生态学报,2013,24(2):397-406.
- [8]高琳慧.基于SPEI的中国南方秋季干旱变化特征及其可能原因分析[D].南京信息工程大学,2017.
- [9]ZHANG Q, YAO Y B, WANG Y, et al. Characteristics of drought in Southern China under climatic warming, the risk, and countermeasures for prevention and control[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2019, 136(3-4).
- [10]李维京,左金清,宋艳玲,等.气候变暖背景下我国南方旱涝灾害时空格局变化[J].气象,2015,41(3):261-271.
- [11]邢淑莲,姚艳丽,徐磊,等.中国南方地区旱作农业发展概况与对策分析[J].中国农学通报,2014,30(17):175-179.
- [12]YE Z X, CHENG W M, ZHAO Z Q, et al. Spatio-temporal characteristics of drought events and their effects on vegetation: A case study in Southern Tibet, China[J]. Remote Sensing, 2020, 12(24).
- [13]方红远,甘升伟,余莹莹.我国区域干旱特征及干旱灾害应对措施分析[J].水利水电科技进展,2005(5):20-23.
- [14]窦炜.南方水稻干旱风险处理策略研究[D].华中农业大学,2004.
- [15]赵海燕,张文千,邹旭恺,等.气候变化背景下中国农业干旱时空变化特征分析[J].中国农业气象,2021,42(1):69-79.
- [16]陶然,张珂.基于PDSI的1982-2015年我国气象干旱特征及时空变化分析[J].水资源保护,2020,36(5):50-56.

-
- [17]吴高伟,方少文,吴海真,等.江西省农业干旱特征及抗旱策略研究[J].宁夏农林科技,2013,54(9):111-112,117.
- [18]ZHANG X P,LI R F,LEI S,et al.The study of dynamic monitor of rice drought in Jiangxi Province with remote sensing[J].Procedia Environmental Sciences,2011,10:1874-1853.
- [19]陆叔鸣.江西省伏、秋旱时空分布特征及其预测[J].气象,1992(5):26-31.
- [20]张斌,张桃林.南方东部丘陵区季节性干旱成因及其对策研究[J].生态学报,1995(4):413-419.
- [21]王明珠,姚贤良,张佳宝,等.低丘红壤区伏秋旱的成因、特征及抗旱体系的研究[J].自然资源学报,1997(3):55-61.
- [22]黄国勤.江西干旱灾害研究[J].灾害学,2001(1):66-71.
- [23]黄国勤,钱海燕.江西省近年来的农业自然灾害及其防治对策[J].灾害学,2005(2):61-65.
- [24]陈自瑞.南方红壤区季节性干旱时空特征及其对作物生产的影响[D].华中农业大学,2020.
- [25]陈昌春.变化环境下江西省干旱特征与径流变化研究[D].南京大学,2013.
- [26]ZHANG X P,LI R F,LEI S,et al.The study of dynamic monitor of rice drought in Jiangxi Province with remote sensing[J].Procedia Environmental Sciences,2011,10.
- [27]张芯瑜,张琪,韩佳昊.基于SPI指数的当前及未来中国东北地区干旱时空演变特征分析[J].气象科学,2021,41(1):136-142.
- [28]ZUO D D,HOU W,WU H,et al.Feasibility of Calculating Standardized Precipitation Index with Short-Term Precipitation Data in China[J].Atmosphere,2021,12(5):603-617.
- [29]ZHAO W J,YAN T T,PENG S Z,et al.Drought and flood characteristics evolution in peninsular region of Shandong Province based on standardized precipitation index[J].IOP Conference Series:Earth and Environmental Science,2020,601(1),012021.
- [30]吴英杰,李玮,王文君,等.基于降水量距平百分率的内蒙古地区干旱特征[J].干旱区研究,2019,36(4):943-952.
- [31]李雪纯,赵君,徐进超.基于降水距平百分率的安徽省近50a干旱时空分布特征分析[J].中国农村水利水电,2018(9):133-136,143.
- [32]LIU C H,YANG C P,YANG Q,et al.Spatiotemporal drought analysis by the standardized precipitation index (SPI) and standardized precipitation evapotranspiration index (SPEI) in Sichuan Province,China[J].Scientific Reports,2021,11(1).
- [33]WANG Q F,ZENG J Y,QI J Y,et al.A multi-scale daily SPEI dataset for drought characterization at observation stations over mainland China from 1961 to 2018[J].Earth System Science Data,2021,13(2).

-
- [34]段丽瑶, 刘爱霞, 史珺. 1918-2010年天津降水指数变化特征[J]. 气候变化研究进展, 2012, 8(3):171-177.
- [35]唐红玉, 杨小丹, 王希娟, 等. 三江源地区近50年降水变化分析[J]. 高原气象, 2007(1):47-54.
- [36]冯丽文. 北京1724-1979年生长季干旱特征及其多年变化[J]. 地理学报, 1982(2):194-205.
- [37]庄晓翠, 赵正波, 杨森, 等. 新疆阿勒泰地区暖季S干旱指数变化特征分析[J]. 中国农业气象, 2011, 32(3):444-450.
- [38]XU X C, GE Q S, ZHENG J Y, et al. Agricultural drought risk analysis based on three main crops in prefecture-level cities in the monsoon region of east China[J]. Natural Hazards, 2013, 66(2).
- [39]徐新创, 葛全胜, 郑景云, 等. 区域农业干旱风险评估研究——以中国西南地区为例[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7):883-890.
- [40]李龙, 徐玲玲, 方军. 三种气象干旱等级评价方法的比较与改进[J]. 中国农业气象, 2009, 30(S2):310-312.
- [41]李炳辉, 杨礼祥. 湖南省旱情评价指标体系研究[J]. 人民长江, 2007(8):160-161, 184.
- [42]黄晚华, 隋月, 杨晓光, 等. 基于连续无有效降水日数指标的中国南方作物干旱时空特征[J]. 农业工程学报, 2014, 30(4):125-135.
- [43]袁育枝. 试论华北半湿润半干旱地区降水资源的农业气候评价——以海河平原为例[J]. 气象学报, 1984, 42(4):440-448.
- [44]中华人民共和国水利部. 旱情等级标准: SL424-2008[S]. 北京: 中国水利水电出版社, 2008:8.
- [45]中国气象局政策法规司. 气象干旱等级: GBT20481-2006[S]. 北京: 国家气候中心, 2006:4.
- [46]贾秋洪, 景元书, Buaphean Ruthaikarn. 亚热带红壤丘陵区季节性干旱判别研究[J]. 江西农业大学学报, 2015, 37(4):749-758.
- [47]黄道友, 王克林, 黄敏, 等. 我国中亚热带典型红壤丘陵区季节性干旱[J]. 生态学报, 2004(11):2516-2523.
- [48]王明珠, 陈学南. 低丘红壤区花生持续高产的障碍及对策[J]. 花生学报, 2005(2):17-22.
- [49]曾小军, 刘芬, 周军, 等. 江西农业气象灾害的时空演变及其对 ENSO 特征值的响应[J]. 自然灾害学报, 2017, 26(2):177-184.
- [50]蔡哲, 章毅之, 何拥凤, 等. 江西省干旱洪涝的时空变化特征分析[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(2):144-149.
- [51]宋连春. 中国气象灾害年鉴[Z]. 气象出版社, 2004:4.
- [52]董文杰. 中国气象灾害年鉴2007[Z]. 北京, 气象出版社, 2007:97-171.

[53]曹博, 张勃, 马彬, 等. 基于 SPEI 指数的长江中下游流域干旱时空特征分析[J]. 生态学报, 2018, 38(17):6258-6267.