

基于 GIS 的安徽省江淮分水岭区域气象干旱研究

王孟和¹, 何桂芳², 徐建辉³, 汪光胜³, 吴 见³

(1. 南京市测绘勘察研究院股份有限公司, 南京 210019; 2. 华东冶金地质勘查局物探队, 安徽 芜湖 241000; 3. 滁州学院 安徽地理信息集成应用协同创新中心, 安徽 滁州 239000)

摘 要: 为了解江淮分水岭地区的气象干旱情况, 利用 30 年逐日降水数据, 根据信息熵理论, 计算了均态尺度和变化尺度下的标准降水指数, 并进行叠加分析, 统计了 30 年间逐日干湿等级事件数量, 从而分析了江淮分水岭地区干旱发生的时空变化特点。结果表明: (1) 在两种尺度叠加情况下, 江淮分水岭地区“特别干”和“特别湿”等级事件缺失, 干湿等级事件总体呈正态分布, 越趋向极端的干湿等级事件发生的概率越小, 其中, “正常”事件发生的概率均在 50% 以上, 其他事件发生的概率均小于 20%; (2) 各月份中西部地区气象干旱日数占比较高, 春季、冬季干事件主要发生在南部, 夏秋季节干事件主要发生在西部; (3) 从干湿等级发生区域来看, 西部、南部易发生“轻微干”事件, 西部易发生“严重干”事件。可为江淮分水岭地区的防灾减灾提供一定的科学依据。

关键词: 气象干旱; 标准降水指数; 信息熵; 江淮分水岭

中图分类号: S423

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)04-0162-06

Research of Meteorological Drought in Jianghuai Watershed Area of Anhui Province Based on GIS

WANG Menghe¹, HE Guifang², XU Jianhui³, WANG Guangsheng³, WU Jian³

(1. Nanjing Institute of Surveying, Mapping & Geotechnical Investigation, Co., Ltd., Nanjing 210019, China; 2. Geophysical Exploration Team of East China Metallurgical Bureau of Geology and Exploration, Wuhu, Anhui 241000, China; 3. Anhui Center for Collaborative Innovation in Geographical Information Integration and Application, Chuzhou University, Chuzhou, Anhui 239000, China)

Abstract: In order to understand the conditions of meteorological drought in Jianghuai Watershed Area, using the daily precipitation data of 30 years and according to the information entropy theory, we calculated the standard precipitation index based on the homogeneous state intrinsic scale and variational state intrinsic scale. The results showed that in the case of superposition of two scales, the level event of especially wet and special dry is missing in Jianghuai Watershed Area; the overall level of dry and wet events normally distributes. The more extremely the level of wet and dry tended to, the smaller the probability of events happened. The probability of the normal events is over 50% and other event probability is less than 20%. In each month, the midwest area accounts for a higher share of days of meteorological drought in Jianghuai Watershed Area. The southern area is the main area of dry event occurrence in the spring and winter. And the westward area is the main area of dry event occurrence in summer. From the point of dry and wet level area, lightly dry event is easy to occur in the western and southern areas, and the western area is prone to severely dry events. These results can provide scientific basis for research on meteorological drought for disaster prevention and mitigation in Jianghuai watershed area.

Keywords: meteorological drought; standardized precipitation index; information entropy; Jianghuai Watershed Area

干旱是指在长达一定时间无有效降水的气候背景下, 水分收支失衡而导致水分短缺的现象, 是全球

最主要的气象灾害之一, 在全球造成了重大的人员伤亡和财产损失, 旱灾在中国发生频繁, 在自然灾害中

占有相当高的比例^[1]。对于干旱的研究一直是国内热点课题,Heim^[2]回顾了二十世纪各种干旱指数在美国的使用;王兆礼等^[3]基于改进后的帕默尔干旱指数,对中国气象干旱的时空演变规律进行了研究;明博等^[4]基于SPI和SPEI研究了北京地区干旱对作物产量的影响。

江淮分水岭地区因其独特的地理环境和气候条件,拥有丰富的农业资源,是安徽省乃至全国重要的油粮棉基地,但同时旱涝灾害多发。杨书运等^[5]从降水分布、蒸发和干燥度角度研究了江淮分水岭地区干旱情况;袁媛等^[6]采用Z指数的方法,利用GIS技术,研究了江淮分水岭区域旱涝灾害的时空变化规律。赵宗权等^[7]选取旱灾评价指标,对江淮分水岭地区的旱灾风险进行评估。标准降水指数(Standardized Precipitation Index, SPI)是以降水量为基础的一种气象干旱指数^[8],计算简便,能够进行多尺度的干旱监测^[9],可以较好地反映干旱强度和持续时间。国内外有众多学者^[10-14]进行了基于标准降水指数(SPI)的区域干旱研究,验证了标准降水指数(SPI)在干旱研究中具有优越性。因此,本文基于江淮分水岭及其周边共15个站点的30 a逐日降水数据,采用多尺度叠加标准降水指数,对于干湿等级情况进行研究,促进对该区域气象干旱发生规律的了解,以期对江淮分水岭地区的干旱防治提供科学依据。

1 研究区概况及资料来源

1.1 研究区概况

本研究选取江淮分水岭位于安徽省境内的部分为研究区,位于长江淮河之间,该区域以丘陵岗地为主,海拔多为100~300 m,地形相对破碎。气候上属于东部季风区,是亚热带季风气候与温带季风气候过渡区,季风气候明显,降水多集中在夏季,年均降水量在900 mm左右。耕地面积在30%以上,农业以传统农业生产为主,易受自然条件影响。

1.2 资料来源

降水数据来源于各省、市、自治区气候资料处理部门逐月上报的《地面气象记录月报表》的信息化资料,本文选取了研究区及其周边区域共15个站点的1980—2009年逐日降水数据,包括阜阳、寿县、滁州、六安、霍山、合肥、蚌埠、巢湖和安庆9个在江淮分水岭区域的气象站点和盱眙、固始、南京、高邮、英山、芜湖6个分布在研究区域之外的站点,分布于研究区域之外的站点数据作为空间插值的数据。数据精度为

0.1 mm,选取的数据缺测日数年均少于7 d,对缺测日数据进行简单的插值处理,即以该站点多年的缺测日平均降水量插补缺测日降水数据。

2 研究方法

2.1 信息熵

信息熵理论是由Shannon^[15]借助热力学的概念提出的,用于度量系统的稳定程度。通常,一个信源发送出的符号是不确定的,根据其出现的概率可以来衡量它。概率越大,出现机会也就越多,不确定性就越小;反之不确定性就越大。不确定性函数 f 是概率 p 的单调递减函数;两个独立符号所产生的不确定性应等于各自不确定性之和,即 $f(p_1, p_2) = f(p_1) + f(p_2)$,这称为可加性。同时满足这两个条件的函数 f 是对数函数,即:

$$f(p) = \log_n \frac{1}{p} = -\log_n p \quad (1)$$

在信源中,考虑的不是某一个符号发生的不确定性,而是要考虑这个信源所有可能发生情况的平均不确定性。若信源符号有 n 种取值: $U_1, \dots, U_i, \dots, U_n$,对应概率为: $p_1, \dots, p_i, \dots, p_n$,且各种符号的出现彼此独立,即满足:

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1 \quad (2)$$

这时,信源的平均不确定性应当为单个符号不确定性的 $-\log_n p(x_i)$ 统计平均值(E),可称为信息熵,即:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_n p(x_i) \quad (3)$$

上式中:对数一般取2为底,即得:

$$H(X) = -\sum_{i=1}^n p(x_i) \log_2 p(x_i) \quad (4)$$

变量具有越大的不确定性,熵也就越大,弄清楚它需要的信息量也就需要越大,因此,其最优解,也就是使熵最大解的那个。

2.2 多尺度叠加

2.2.1 均态尺度与变化尺度 根据侯威等^[8]学者的研究,基于信息熵理论,从某一站30 a逐日降水序列、逐日降水距平序列和年际日尺度下的降水均值序列中,找到使得信息熵达最大值的尺度,即最能够突出气候态演变和逐日降水变化状况的尺度,即均态尺度及变化尺度。均态尺度及变化尺度计算过程详见参考文献^[8],计算结果见表1。由计算结果可知,江淮分水岭区域内各站点变化尺度在8~11 d,均态尺度为9~11 d,站点间差异较小。

2.2.2 尺度叠加 在均态尺度和变化尺度的叠加尺

度下,对降水量的年际日尺度气候态和逐日变化的演变研究,更能反映降水量与干旱的相关情况。基于标准降水指数(SPI)的标准算法^[16],在均态尺度和变化尺度下,采取逐日滑动的计算方法,计算 30 a 的逐日 SPI。均态尺度下的 SPI 记为 SPI_1 ,变化尺度下的 SPI 记为 SPI_2 ,将均态尺度与变化尺度下的 SPI 叠加,得叠加的标准降水指数 $TSPI=(SPI_1+SPI_2)/2$,TSPI 越大,说明在均态尺度和变化尺度的叠加尺度下相对越湿润;反之,TSPI 越小,说明在均态尺度和变化尺度的叠加尺度下相对越干燥。

表 1 区域内站点均态尺度和变化尺度计算结果 d

站点	变化尺度	均态尺度
安庆	11	11
巢湖	9	10
霍山	8	9
寿县	9	10
六安	8	9
合肥	8	9
滁州	9	9
蚌埠	10	11

TSPI 是将 SPI 的两种尺度叠加值进行均值化。因此,对于 TSPI 的划分参照 SPI 的划分原则。根据标准降水指数划分标准,将干湿划分成特别湿、严重湿、中等湿、轻微湿、正常、轻微干、中等干、严重干和特别干 9 个不同干湿程度等级,对 TSPI 进行等级划分,见表 2。

表 2 TSPI 等级划分及其等级符号

等级符号	等级划分	干湿等级
1	$-2.0 \geq TSPI$	特别干
2	$-1.5 \geq TSPI > -2.0$	严重干
3	$-1.0 \geq TSPI > -1.5$	中等干
4	$-0.5 \geq TSPI > -1.0$	轻微干
5	$0.5 > TSPI > -0.5$	正常
6	$1.0 > TSPI \geq 0.5$	轻微湿
7	$1.5 > TSPI \geq 1.0$	中等湿
8	$2.0 > TSPI \geq 1.5$	严重湿
9	$TSPI \geq 2.0$	特别湿

3 江淮分水岭地区干旱时空特征

3.1 各站点各干湿等级日数比例特征

使用两种尺度叠加下的标准降水指数及其干湿等级划分方法,对 1980—2009 年各个站点逐日干湿等级进行统计,计算出各干湿等级的日数占比(图 1)。由图 1 可看出,各干湿等级的日数百分比基本呈正态分布。“特别干”和“特别湿”等级的干湿事件发生的概率均为

0,这说明在均态尺度和变化尺度的叠加尺度下,1980—2009 年江淮分水岭地区未出现特别等级的极端天气事件。此外,结合各站点不同干湿等级日数比例统计结果,“正常”等级的干湿事件发生的概率最高,在 50%~66%;“轻微干”和“轻微湿”等级的干湿事件发生的概率较高,“轻微干”等级事件概率在 11%~20%，“轻微湿”等级事件概率在 7%~13%;“中等干”和“中等湿”等级的干湿事件发生的概率较低,“中等干”等级事件概率在 0.9%~3.1%，“中等湿”等级事件概率在 8.9%~12%;“严重干”和“严重湿”等级的干湿事件发生的概率最低,“严重干”等级事件概率在 0.05%~0.5%，“严重湿”等级事件概率在 2.2%~4.6%。总体来说,湿润等级发生的概率略高于干旱等级发生的概率,平均约高出 6%。说明研究区总体上是湿等级天数比例多于干等级天数。

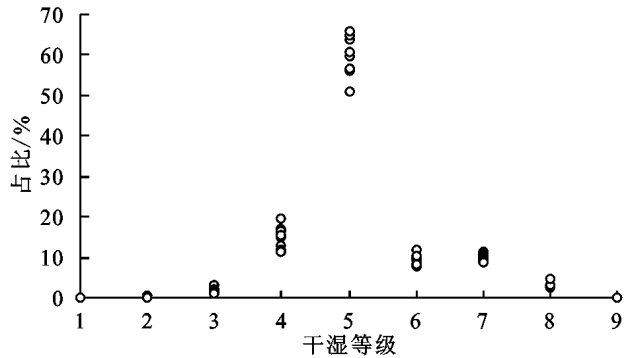


图 1 1980—2009 年各站点逐日 TSPI 序列
各干湿等级日数占比

3.2 不同等级干事件概率的季节变化特征

对各站点 1980—2009 年逐日 TSPI 序列不同干等级的日数进行统计,计算各个月份不同干等级事件的发生概率。由于“特别干”事件的发生为 0,所以在此只对“轻微干”、“中等干”和“严重干”等级事件进行统计(图 2)。

由图 2 可看出,“轻微干”事件中,持续时间较长的是春季(3 月、5 月)、夏季(6 月、7 月、8 月)、秋季(9 月),均超过平均日数百分比(15.06%),其他月份均低于平均水平;“中等干”事件中,持续时间较长的是春季(3 月)、夏季(7 月、8 月),均超过平均日数百分比(1.82%);“严重干”事件中,持续时间较长的是春季(3 月)、夏季(7 月、8 月)、秋季(10 月)、冬季(12 月、1 月),均超过平均日数百分比(0.21%)。

将各等级不同月份干事件日数占比统一来看,3 月、7 月、8 月的“轻微干”、“中等干”、“严重干”等级日数比例均较高,这 3 个月份的干旱持续时间较长、影响较重,且 3 月是冬小麦等越冬作物的生长期,7 月、

8 月份是夏季作物的生长期。就本研究而言, 这段时间的干旱对农作物的影响最大, 应注重这几个月份的旱灾防范工作。冬季干旱以“严重干”为主, 但持续时间较短, 对农作物的影响较小。其他月份主要以“轻微干”为主, 且持续时间都较短, 对农业的影响有限。

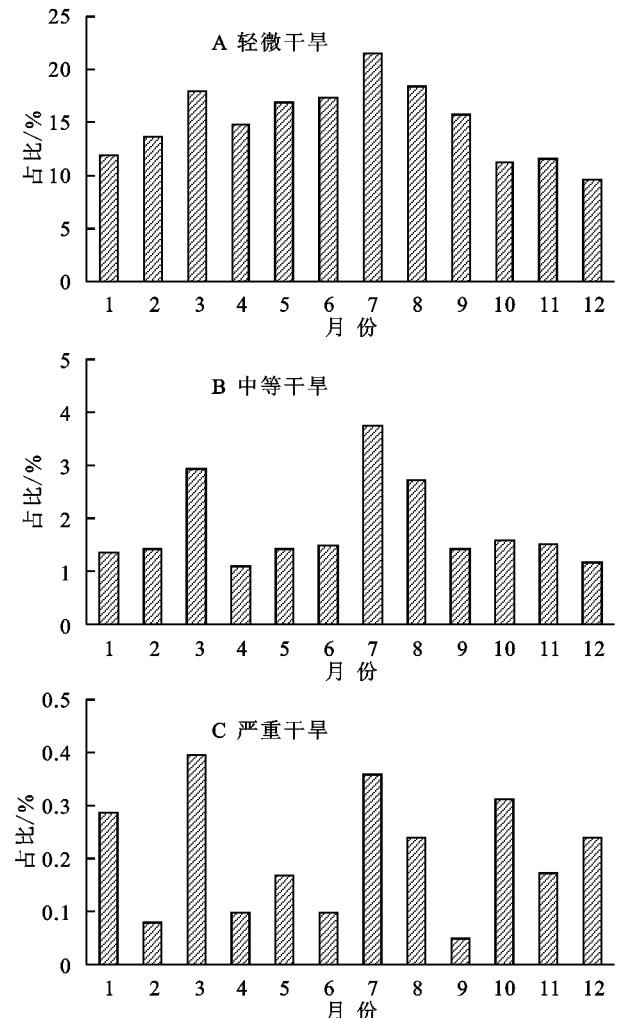


图 2 1980—2009 年 9 个站点逐日 TSPI 序列
不同等级干日数各月的占比

3.3 不同等级干事件概率空间分布特征

由图 3 可以看出“严重干”等级在霍山、六安和滁州地区所占的比重较大, 3 个站点总比重超过了 55%, “严重干”等级事件在这 3 个地区相对集中发生, 其中霍山所占比重超过了 25%, 是“严重干”等级事件的最集中发生区, “严重干”事件对其影响的持续时间最长; 而在其他地区, 所占比重均较小, 其中, 蚌埠和阜阳地区的占比均小于 5%, “严重干”在这两个地区发生的概率最小。 “中等干”和“轻微干”等级事件均在霍山、巢湖、安庆、六安等地的比重较高, “中等干”和“轻微干”等级事件在这些地区发生的概率相对较大。 9 个站点“严重干”等级占比相差最大, 最高占比与最低占比相差超过了 24 个百分点, 说明“严重干”等级的相对分布差异较为明显。而“中等干”最大

差约为 12 个百分点, “轻微干”最大差约为 5 个百分点。 “中等干”和“轻微干”事件在区域站点内相对分布较为均衡。

3.4 不同等级干事件概率时间、空间综合特征

根据各月份各站点逐日 TSPI 序列不同等级干日数占比统计, 计算出各季节各站点逐日 TSPI 序列不同等级干日数占比, 利用 ArcGIS 软件中的空间插值工具, 制作江淮分水岭地区各季节不同等级干日数占比分布图(图 4)。

由图 4 可以看出: (1) 对于“轻微干”事件, 春季主要集中在南部地区, 呈现从南向北递减的趋势, 总体概率较高; 夏季主要分布在西部地区, 呈现西高东低的趋势, 绝大多数地区超过 50%。秋季与夏季分布趋势相近, 但秋季总体概率较小, 绝大多数地区在 40% 以下; 与秋季相同, 冬季多数地区低于 40%, 但冬季中部、南部普遍较北部高。综合对比四季, “轻微干”等级事件夏季分布差异较小但范围最广且持续时间最长。(2) 对于“中等干”事件, 春季集中分布在霍山、巢湖、安庆等地区, 整体上南部较高; 夏季集中在中北部地区, 南部和东部地区较低, 且有逐渐下降的趋势; 秋季主要分布在霍山及其周边地区, 分布较为集中, 向东部、南部和东北部递减, 东部地区, 巢湖形成一个较高中心, 其他地区较低; 冬季普遍较低, 只有六安、霍山和巢湖等个别地区较小范围内出现相对较高的值。总体来说, “中等干”等级事件四季总体较低, 夏季略高, 冬季变化较小。(3) 对于“严重干”事件, 春季在霍山地区形成集中向东北部急剧递减向东部南部缓慢递减; 夏季分布与春季类似, 霍山地区比较集中, 但变化幅度相对减小, 东部地区整体较低, 只有滁州地区相对较高; 秋季整体变化缓和, 西高东低, 南部出现低值中心; 冬季中部、西部较高, 东北部和南部较低。总体看来, “严重干”等级事件春季、夏季变化较大, 总体影响较大; 秋季、冬季变化较小, 影响也较小。

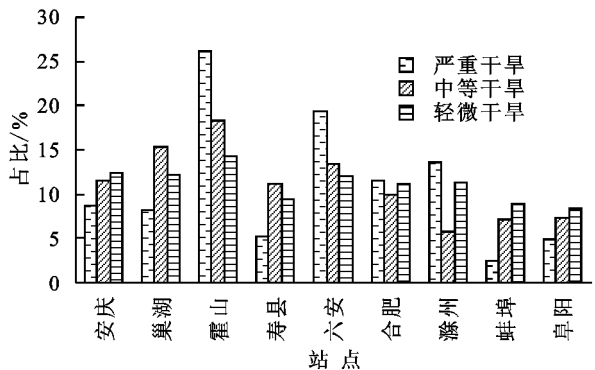


图 3 1980—2009 年 9 个站点各干等级日数
在各干等级总日数中的比例

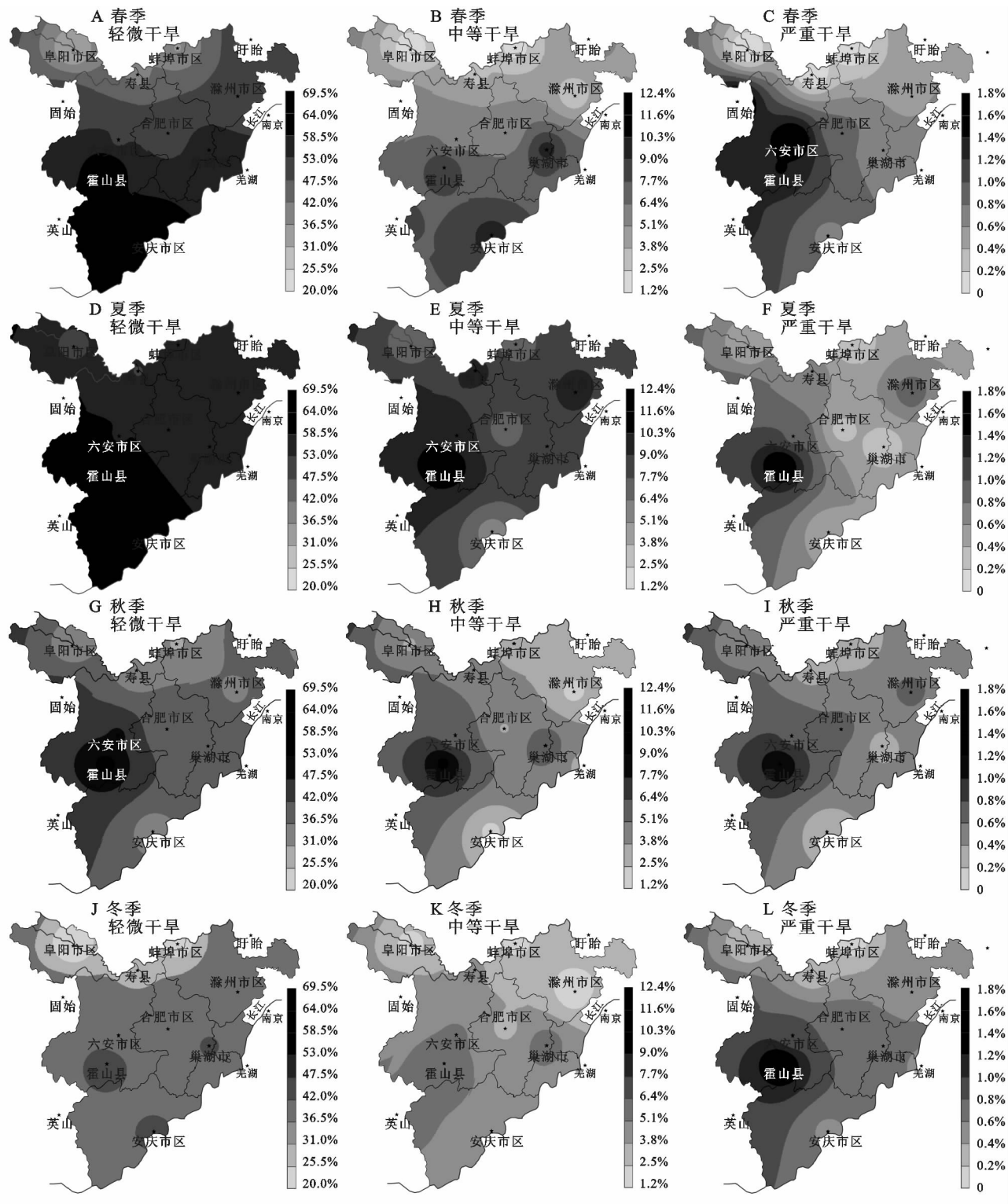


图 4 1980—2009 年江淮分水岭地区各季节轻微干、中等干、严重干事件日数比率空间分布

4 个例检验

根据 2001—2010 年的安徽省电子版统计年鉴, 统计出安庆市 2000—2009 年农业干旱受灾面积, 将其与 2000—2009 年安庆市干等级日数占比相比较(图 5)。

由图 5 可以看出 2000—2009 年除 2003 年和

2005 年外, 受灾面积增减情况均与干等级日数占比变化趋势相吻合, 经相关性分析二者相关性系数为 0.52, 相关性较强。干旱受灾面积会受到多种因素的影响, 但最重要的影响因子是降水, 在同等情况下, 干旱事件发生的频率增高, 农业受灾面积也会增加, 说明多尺度叠加干旱监测适用于江淮分水岭区域的干旱研究。

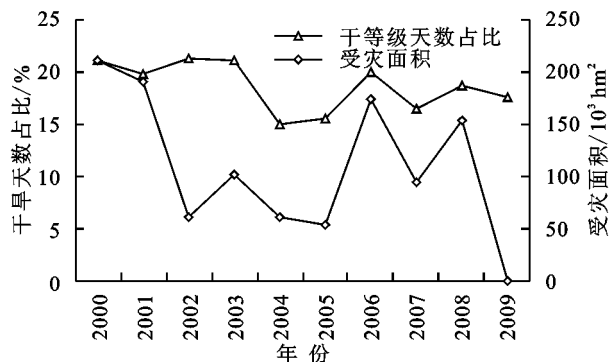


图5 安庆市2000—2009年间逐年干等级日数占比和逐年干旱受灾面积

5 结论

(1) 江淮分水岭地区,各干湿等级的分布有明显的正态分布的特点,即干湿事件的等级越趋向“正常”,其发生的概率就越大;趋向极端的事件,其发生的概率逐渐降低。该研究区湿等级事件发生的概率略高于干等级事件,干等级事件的发生集中在“轻微干”事件上。

(2) 从时间上看,春季(3月、5月)、夏季(6月、7月、8月)、秋季(9月)持续时间较长,且春季(3月)和夏季(7月、8月)的干旱程度最深,对农业生产特别是对江淮分水岭地区越冬和春耕作物的不利影响较为明显,此段时间为农业防旱的重点时段;秋季(9月)的干事件的时间较长,但程度较浅,对农业的影响有限,而对于农业上的秋收是有利的。

(3) 从空间分布上看,总体上江淮分水岭西部地区干旱日数占比较高,向东、南、北方向有下降的趋势,霍山地区形成一个干事件发生日数的峰值。在同等情况下,霍山及其周边地区是防旱相对重点的区域。

本文使用的是两种尺度叠加下的标准降水指数,对单一化标准降水指数进行了改进,并以安庆市为个例,初步验证了其适用性。但是相关尺度的研究还很少,对于其适用性和可靠性还缺乏更多的检验,需要更多的研究来提供理论支撑。本文是从均态尺度和变化尺度两个尺度进行研究的,未对其他尺度下的降水指数进行综合研究,还需要更多种尺度下的综合研究,来提升研究的可靠性。本文研究区域内只有9个站点,研究时间为30 a,研究数据还不够丰富,研究时间跨度相对较短,缺乏对该研究区域更广泛、更长时间的干旱变化的规律性研究。

参考文献:

- [1] 郑远长. 全球自然灾害概述[J]. 中国减灾, 2002, 10(1): 14-19.
- [2] 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.
- [3] 王兆礼, 李军, 黄泽勤, 等. 基于改进帕默尔干旱指数的中国气象干旱时空演变分析[J]. 农业工程学报, 2016, 32(2): 161-168.
- [4] 明博, 陶洪斌, 王璞. 基于标准化降水蒸散指数研究干旱对北京地区作物产量的影响[J]. 中国农业大学学报, 2013, 18(5): 28-36.
- [5] 杨书运, 马成泽, 袁东海. 江淮分水岭地区干旱分析[J]. 中国农业气象, 2003, 24(4): 29-32.
- [6] 袁媛, 王心源, 雷能忠, 等. 基于GIS的江淮分水岭地区旱涝灾害时空分析[J]. 水文, 2007, 27(6): 36-38, 49.
- [7] 赵宗权, 周亮广. 江淮分水岭地区旱灾风险评估[J]. 水土保持研究, 2017, 24(1): 370-375.
- [8] 侯威, 张存杰, 高歌. 基于标准降水指数的多尺度叠加干旱监测指标及其等级划分[J]. 干旱区研究, 2013, 30(1): 74-88.
- [9] 刘彤, 闫天池. 我国的主要气象灾害及其经济损失[J]. 自然灾害学报, 2011, 20(2): 91-95.
- [10] Parel N R, Chopra P, Dadhwal V K. Analyzing spatial patterns of meteorological drought using standardized precipitation index [J]. Meteorological Applications, 2007, 14(4): 329-336.
- [11] 黄生志, 黄强, 王义民, 等. 基于SPI的渭河流域干旱特征演变研究[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(1): 15-22.
- [12] 郝秀平, 张振伟, 马建琴, 等. 基于标准降水指数的河南省干旱时空演变规律分析[J]. 水电能源科学, 2013, 31(9): 4-7.
- [13] 李剑锋, 张强, 陈晓宏, 等. 基于标准降水指标的新疆干旱特征演变[J]. 应用气象学报, 2012, 23(3): 322-330.
- [14] 何福力, 胡彩虹, 王纪军, 等. 基于标准化降水指数、径流指数的黄河流域近50年气象水文干旱演变分析[J]. 地理与地理信息科学, 2015, 31(3): 69-75.
- [15] Shannon C E. A mathematical theory of communication[J]. Bell System Technical Journal, 1948, 27: 379-433, 623-659.
- [16] 袁文平, 周广胜. 标准化降水指标与Z指数在我国应用的对比分析[J]. 植物生态学报, 2004, 28(4): 523-529.