

李治国,朱玲玲,张延伟,等. 基于 SPI 指数的近 55 年河南省干旱时空变化特征[J]. 江苏农业科学,2018,46(10):237-242.
doi:10.15889/j.issn.1002-1302.2018.10.060

基于 SPI 指数的近 55 年河南省干旱时空变化特征

李治国¹,朱玲玲¹,张延伟²,和鹏飞³

(1. 商丘师范学院测绘与规划学院,河南商丘 476000; 2. 济南大学商学院,山东济南 250022;

3. 河海大学水文水资源学院,江苏南京 210098)

摘要:基于河南省 17 个气象站点近 55 年的逐月降水量资料,计算各站点不同时间尺度的标准化降水指数(SPI),结合小波分析、Mann-Kendall 方法和 Hurst 指数,分析河南省干旱的时空演变特征。结果表明:1991—2000 年为干旱和连旱高发期,郑州、开封、商丘一带是持续 5 个月以上的连旱发生的集中地区。SPI-1、SPI-3、SPI-6、SPI-12 的主要周期分别为 4、16、16、24 个月,干旱频发。全年、春、夏、秋、冬的未来气候趋势分别为干旱化、干旱化、湿润化、干旱化、湿润化。

关键词:干旱;标准化降水指数;降水量;时空特征;河南省

中图分类号: P426.616;S423 **文献标志码:** A **文章编号:** 1002-1302(2018)10-0237-06

1900 年以来,全球超过 20 亿人受到干旱的影响,每年因干旱造成的经济损失高达 60 亿~80 亿美元^[1-2],严重破坏粮食安全和生态环境,制约社会经济稳定和发展。2011 年世界人口突破 70 亿,人口增长和消费增长急需稳定充足的食物供给。未来全球很多重要的农业区旱灾频率、强度和持续时间将增加^[3],威胁区域乃至全球的粮食生产和安全。因此,研究粮食产区的干旱时空变化特征非常重要。

标准化降水指数(standardized precipitation index, SPI)可以计算不同种类、不同时间尺度的干旱情况,且计算简单易行,在国内外区域干旱监测中得到了广泛应用^[4-6],揭示不同区域干旱时空变化规律和干旱演变过程的时空差异性。

河南省是黄淮海平原的重要组成部分和中原经济区的主体,是我国重要的农副产品和粮食生产基地。河南省过渡性的气候和地形造成干旱是河南省发生最为频繁、危害最大的自然灾害,在全球变化背景下旱灾呈增加趋势^[7-8],严重影响河南省粮食生产和国家粮食核心区建设。已有学者对河南省干旱的总体时空特征进行了较为深入的研究^[8-9],但在干旱的演变趋势、周期性和空间差异等方面仍有深化和拓展的空间。本研究选取 SPI 指数,结合 M-K 突变检验法、morlet 小波分析法和 Hurst 指数等分析河南省干旱的时间变化特征,并对未来趋势进行分析,在 Surfer11 软件支持下探究河南省干旱空间变化特征,对于深入探索河南省干旱时空演

化规律具有重要的现实意义。

1 研究区概况

河南省地处中国中东部,界于 110°21'~116°39'E 和 31°23'~36°22'N 之间(图 1),属暖温带和亚热带、湿润和半湿润的过渡气候,年均降水量 500~900 mm,由东南向西北逐渐减少^[8]。地形总的趋势是西高东低,西北和西部为太行山、伏牛山,南部为桐柏山、大别山,东部为大平原,境内的主要水系有黄河、海河、淮河和长江四大水系。特殊的地理位置和地貌格局使得河南省旱灾频发、时空分布较为复杂。

2 数据及方法

2.1 数据来源

使用 1961—2015 年河南省气象观测站逐月观测资料计算标准化降水指数,所用数据来自中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。选用 17 个监测连续的基准站(图 1)进行研究,这些站点在研究区均匀分布,具有较好区域代表性。

2.2 研究方法

2.2.1 SPI 计算与干旱等级划分 SPI 可以用于分析多时间尺度干旱特征,本研究主要分析 1、3、6、12 个月尺度的 SPI 值,分别用 SPI-1、SPI-3、SPI-6、SPI-12 表示。其中, SPI-3 分别选取 5 月、8 月、11 月至次年 2 月作为河南省季节尺度(春季为 3—5 月、夏季为 6—8 月,秋季为 9—11 月,冬季为 12 月至次年 2 月)的干旱特征分析, SPI-6 分别选取 8 月、次年 2 月的 SPI-6 作为河南省半年尺度(夏半年为 3—8 月、冬半年为 9 月至次年 2 月)的干旱特征分析, SPI-12 选取 12 月的 SPI-12 作为河南省年尺度的干旱特征分析。根据气象干旱等级标准^[10],并将重旱和特旱合并为重旱,对 SPI 计算结果进行划分:无旱($SPI > -0.5$),轻旱($-1.0 < SPI \leq -0.5$),中旱($-1.5 < SPI \leq -1.0$),重旱($SPI \leq -1.5$)。

2.2.2 干旱特征研究方法

2.2.2.1 干旱发生频率 干旱发生频率(P_i)是用来评价研究区某站近 55 年发生干旱的频繁程度,计算公式^[9]为:

收稿日期:2017-09-06

基金项目:国家自然科学基金(编号:41671072);河南省高校重点科研项目(编号:15A170011、15A180054);河南省高等学校青年骨干教师培养计划(编号:2016GGJS-130);河南省哲学社会科学规划项目(编号:2016CJ082、2014CJ087);河南省教师教育课程改革项目(编号:2014-JSJYZD-051);商丘师范学院青年骨干教师资助项目(编号:2013GGJS08、2016GGJS13);河南省科技厅科技攻关项目(编号:152102310354、142300410305);商丘师范学院青年科研基金(编号:2011QN20)。

作者简介:李治国(1979—),男,山东禹城人,博士,副教授,主要从事资源环境与区域发展研究。E-mail: lizhiguo999999@163.com。

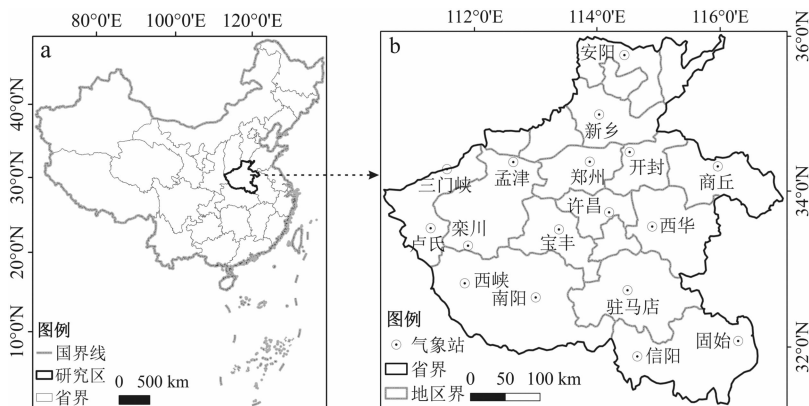


图1 研究区位置

$$P_i = n_i / N \times 100\% \quad (1)$$

式中: N 为计算总年数, $N=55$; n_i 为 i 站出现干旱的年数。根据不同干旱等级的发生年数计算各自的发生频率。

2.2.2.2 Mann-Kendall 趋势检验法 Mann-Kendall (M-K) 趋势分析法是世界气象组织推荐并被广泛用于实际研究的非参数检验方法, 是时间序列趋势分析方法之一。 $U>0$, 表示时间序列为上升趋势, 为湿润趋势; $U<0$, 表示时间序列为下降趋势, 为干旱趋势。本研究计算了 12 月的 SPI-12 的 M-K 值用来检验干旱趋势。

2.2.2.3 干旱趋势研究 英国水文专家 Hurst 在研究尼罗河多年水文观测资料时发现并提出该方法^[9], Hurst 指数可以表示为:

$$\lg(R/S) = H \lg \tau + H \lg \alpha \quad (2)$$

式中: α 为常数; H 为赫斯特指数, 可根据 R/S 重标极差序列和子区间长度 τ 值在双对数坐标系中用最小二乘法拟合回归方程得到。 $0.5 < H < 1$ 表明旱灾过程具有持续性; $0 \leq H < 0.5$ 表明时间序列的反持续性, 即将来变化的总体趋势与过去相反。

3 结果与分析

3.1 连旱事件分析

定义单次持续时间超过 3 个月的干旱事件为 1 次连旱。河南省各站点、各年代出现的连旱次数和持续时间计算结果见表 1。1961—1970 年有 1 个站点(南阳)无连旱, 29.4% 的站点出现 3 次以上的连旱, 且开封、商丘、西华、安阳、郑州、信阳等 6 个站点共出现了 8 次持续时间超过 5 个月的干旱; 29.4% 的站点出现 2 次连旱。1971—1980 年(1970s)有 4 个站点没有出现连旱, 70.6% 的站点为 2 次及以下连旱, 仅 1 个站点(信阳)出现了 3 次连旱, 但该年代每次连旱持续时间不超过 4 月。1981—1990 年(1980s)各站点均出现连旱, 有 29.4% 的站点出现了 3 次及以上的连旱, 70.6% 的站点有 2 次及以下连旱, 开封、郑州、孟津等 3 个站点共出现了 3 次持续时间超过 5 个月的干旱。1991—2000 年(1990s)有 1 个站点(孟津)无连旱, 有 52.9% 的站点出现了 3 次及以上连续干旱, 其中固始出现了 6 次连旱, 仅驻马店出现了持续时间超过 5 个月的连旱。2001—2010 年(2000s)各站点均出现连旱情况, 58.8% 的站点出现了 3 次及以上连旱, 商丘和信阳各出现 1 次持续时间超过 5 个月的连旱。2011—2015 年有 18% 的

站点出现连续干旱, 有 4 个站点没出现连续干旱。1990s 年均干旱次数和干旱月份值最高; 1970s 年均干旱次数和干旱月份值最低; 1960s 年均干旱次数和月数虽然较小, 但单次超过 5 个月连旱的数量和站点数量多。1990s 以来为连旱高发期。

近 55 年连旱发生次数最多和累计持续月数最多的是郑州站, 分别为 21 次、75 个月; 其次是固始站, 分别为 18 次、56 个月; 连旱发生次数最少的是新乡、南阳、三门峡, 均为 8 次; 连旱累计持续月数最少的是南阳站, 为 25 个月, 其次是三门峡站, 为 27 个月。历时最长的连旱为 7 个月, 分别发生在 1968 年的郑州站和 2001 年的固始站。持续干旱时间在 5 个月以上的连旱出现了 14 次, 其中商丘最多, 发生了 3 次; 其次是郑州、开封和信阳, 发生了 2 次, 郑州、开封、商丘一带是持续干旱发生的集中地区。

3.2 干旱周期分析

利用小波方法对各站 SPI-1、SPI-3、SPI-6、SPI-12 分别进行周期分析, 结果见表 2。SPI-1 出现 4~28 个月的周期, 4 月的较普遍; SPI-3 出现 7~28 个月的周期, 16 个月的较普遍; SPI-6 出现 16~32 个月的周期, 16 个月的较普遍; SPI-12 出现 2~7 年的周期, 2 年的较普遍。SPI-1、SPI-3、SPI-6、SPI-12 的短周期干旱均较多, 干旱频发。

3.3 干旱频率分析

3.3.1 干旱频率的时间变化 由图 2 可知, 干旱频率的最大值出现在 2011—2020 年(2010s)的栾川站, 干旱频率达到 46.7%; 最小值出现在 1960s 的新乡站, 为 24.2%。各年代际干旱频率平均值排序为: 2010s(36.57%) > 1990s(31.67%) > 1960s(30.29%) > 2000s(29.12%) > 1970s(28.77%) > 1980s(28.28%)。

3.3.2 干旱频率的空间变化规律 基于各站点 SPI-1 干旱统计的河南省近 55 年干旱频率及各等级干旱频率分布见图 3。图 3-a 显示, 近 55 年来干旱频率的高值区域主要位于郑州、栾川、卢氏一带(31.52%~33.64%), 豫北安阳(28.79%)、新乡(27.42%)发生干旱频率较其他地区较低, 但 17 个站点干旱频率平均值为 31%, 最低值 27%, 表明河南省各地受干旱影响比较大。分析发现, 轻旱频率在 13.03%~17.27% 之间波动, 高值区集中分布于孟津、宝丰、郑州和开封一带, 低值区分散位于南部的南阳和东部的商丘等地(图 3-b); 中旱频率在 6.97%~11.52% 之间波动, 高

表 1 各站点不同年代连旱次数和干旱持续的时间

站点	连旱次数(次)							干旱持续时间(月)						
	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2010s	小计	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s	2010s	小计
安阳	1	—	4	2	3	1	11	6	—	12	7	9	3	37
新乡	1	—	1	3	2	1	8	6	—	3	10	6	3	28
南阳	—	1	2	1	3	1	8	—	3	7	3	9	3	25
西峡	1	1	1	4	2	1	10	3	3	3	15	6	3	33
信阳	1	3	1	3	3	1	12	5	9	4	9	13	3	43
固始	2	2	3	6	4	1	18	7	6	9	19	12	3	56
驻马店	2	1	4	4	4	1	16	8	3	12	15	14	4	56
宝丰	1	2	1	2	3	2	11	3	6	3	6	9	8	35
卢氏	2	1	3	2	2	1	11	7	3	10	6	6	4	36
孟津	3	—	2	—	1	3	9	11	—	8	—	3	9	31
栾川	1	2	1	4	1	3	12	4	6	3	13	3	11	40
三门峡	3	—	1	2	2	—	8	11	—	3	6	7	—	27
开封	4	1	1	2	2	2	12	15	3	5	6	6	7	42
西华	2	2	2	3	4	—	13	8	6	6	9	13	—	42
商丘	3	1	1	3	4	—	12	14	3	3	9	14	—	43
郑州	5	2	4	4	3	3	21	20	7	15	14	9	10	75
许昌	2	1	1	2	3	—	9	7	3	3	6	9	—	28
年均	3.4	2.0	3.3	4.7	4.6	4.2	3.7	13.5	6.1	10.9	15.3	14.8	14.2	12.3

注:“—”表示无持续干旱事件。1961—1970、1971—1980、1981—1990、1991—2000、2001—2010、2011—2015 年分别以 1960s、1970s、1980s、1990s、2000s、2010s 表示。下表同。

表 2 不同时间尺度干旱周期

尺度	干旱周期																
	安阳	新乡	南阳	西峡	信阳	固始	驻马店	宝丰	卢氏	孟津	栾川	三门峡	开封	西华	商丘	郑州	许昌
SPI-1	15.7 个月	17.4 个月	17.5 个月	17.4 个月	17.4 个月	28.4 个月	17.4 个月	17.4 个月	15.2 个月	17.5 个月	17.4 个月	15.4 个月	16.4 个月	17.4 个月	16.4 个月	16.4 个月	17.4 个月
SPI-3	16.8 个月	17 个月	17 个月	18 个月	28.16 个月	28.16 个月	28.17 个月	16 个月	16 个月	17 个月	16 个月	16 个月	16.7 个月	17 个月	16 个月	16 个月	16 个月
SPI-6	16 个月	16 个月	18 个月	18 个月	28 个月	28.17 个月	28 个月	17.24 个月	18.22 个月	17.32 个月	16 个月	17 个月	16 个月	19 个月	32.16 个月	16 个月	16 个月
SPI-12	5.2 年	2.6 年	2.4 年	3.21 年	2.4 年	2.7 年	22.2 年	6.2 年	22.4 年	2.5 年	20.5 年	10.4 年	7.2 年	4.2 年	5.2 年	11.6 年	7.2 年

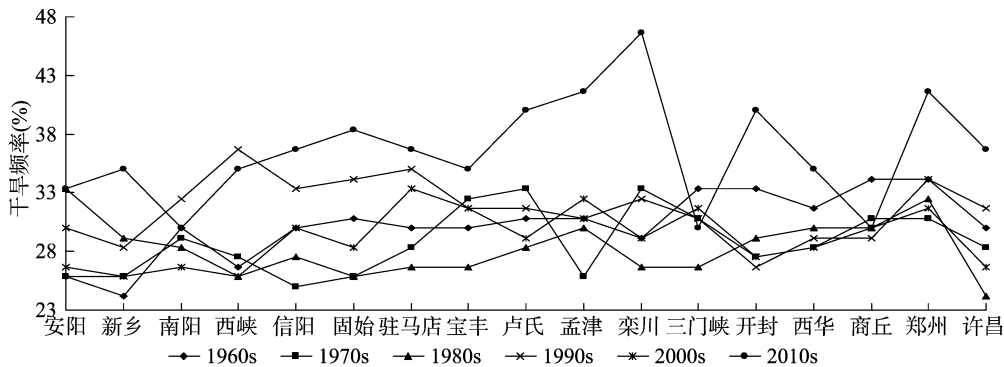


图 2 不同年代际干旱频率分布

值区分散分布于卢氏、郑州和商丘等地,低值区集中分布于以西华为中心连接新乡和南阳的地带(图 3-c);重旱频率在 4.55%~7.12% 之间波动,高值区集中分布于以西华为中心的东南部,低值区位于安阳、宝丰为中心的西北部(图 3-d)。1961—2015 年河南省春旱频率在 23.64%~36.36% 之间波动,除豫北新乡、豫南西峡春季干旱发生的频率较低外,其余地区干旱发生的频率均较高,最高值在宝丰(图 4-a)。轻旱波动范围为 7.27%~20.00%,从东向西高值与低值相间分布,最高值也出现在宝丰,最低值出现在西峡(图 4-b)。中旱波动范围为 3.64%~16.36%,许昌和驻马店一带是显著的高值区,低值分布在周围其他地区(图 4-c)。重旱频率

波动范围为 1.82%~12.73%,高值区分布在河南省西部边缘,最高值出现在西华,最低值出现在许昌(图 4-d)。1961—2015 年,河南省夏旱频率在 23.64%~38.18% 之间波动,总体呈南高北低的空间分布,最低值出现在豫西孟津,最高值出现在豫东西华(图 5-a)。轻旱波动范围为 7.27%~25.45%,总体也呈南高北低态势,最低值出现在孟津,最高值出现在南阳(图 5-b)。中旱波动范围为 5.45%~14.55%,西峡和宝丰是 2 个高值区,低值分布在信阳、南阳、栾川一带(图 5-c)。重旱波动范围为 3.64%~10.91%,高值区分布在郑州、开封一带,最低值出现在西峡、西华和三门峡(图 5-d)。

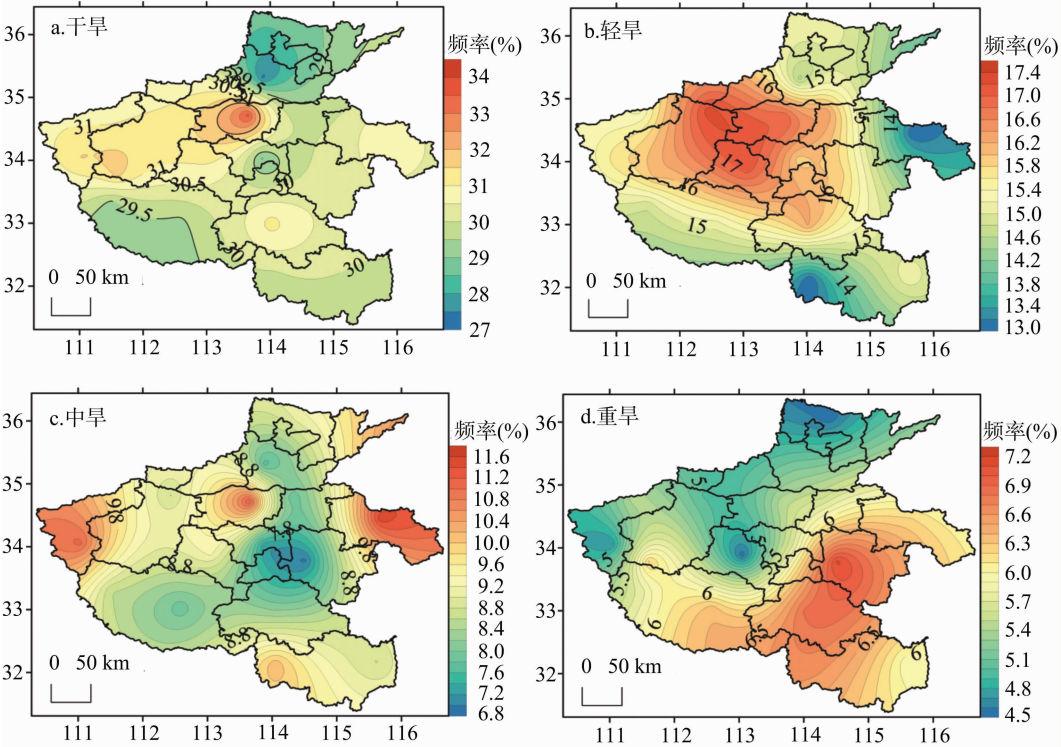


图3 1961—2015 年河南省干旱频率空间分布

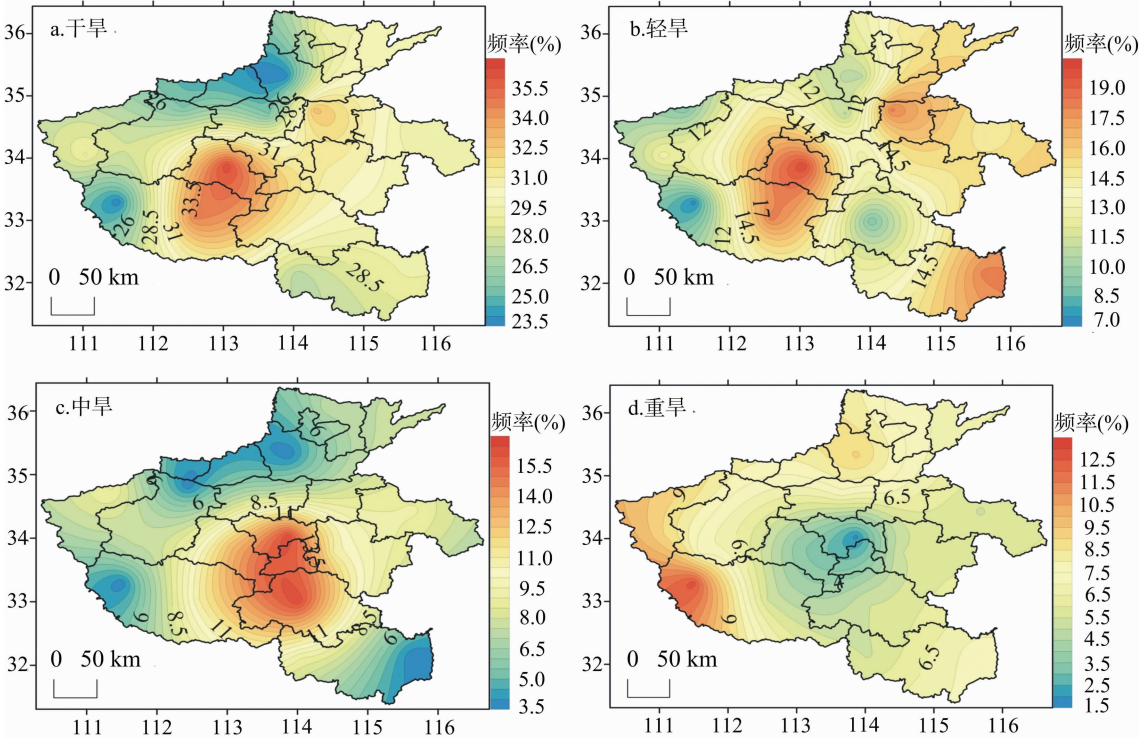


图4 1961—2015 年河南省春旱频率空间分布

1961—2015 年河南省秋旱频率在 23.64% ~ 40.00% 之间波动,西北高、东南低,最高值在卢氏、孟津,最低值在固始(图 6-a)。轻旱频率波动范围为 10.91% ~ 29.09%,西高东低,最高值在孟津,最低值在信阳(图 6-b)。中旱频率波动范围为 3.64% ~ 10.91%,孟津、新乡、安阳一带是高值集中分布区,另外 1 个高值在驻马店,最低值分布在许昌和固始

(图 6-c)。重旱波动范围为 3.64% ~ 9.09%,高值区分布在河南省东南的西华、固始,最低值出现在孟津、新乡、卢氏、栾川和南阳(图 6-d)。

1961—2015 年河南省冬旱频率在 25.45% ~ 34.55% 之间波动,中间低、两侧高,最高值在栾川,最低值在三门峡(图 7-a)。轻旱频率波动范围为 10.91% ~ 20.00%,也呈中

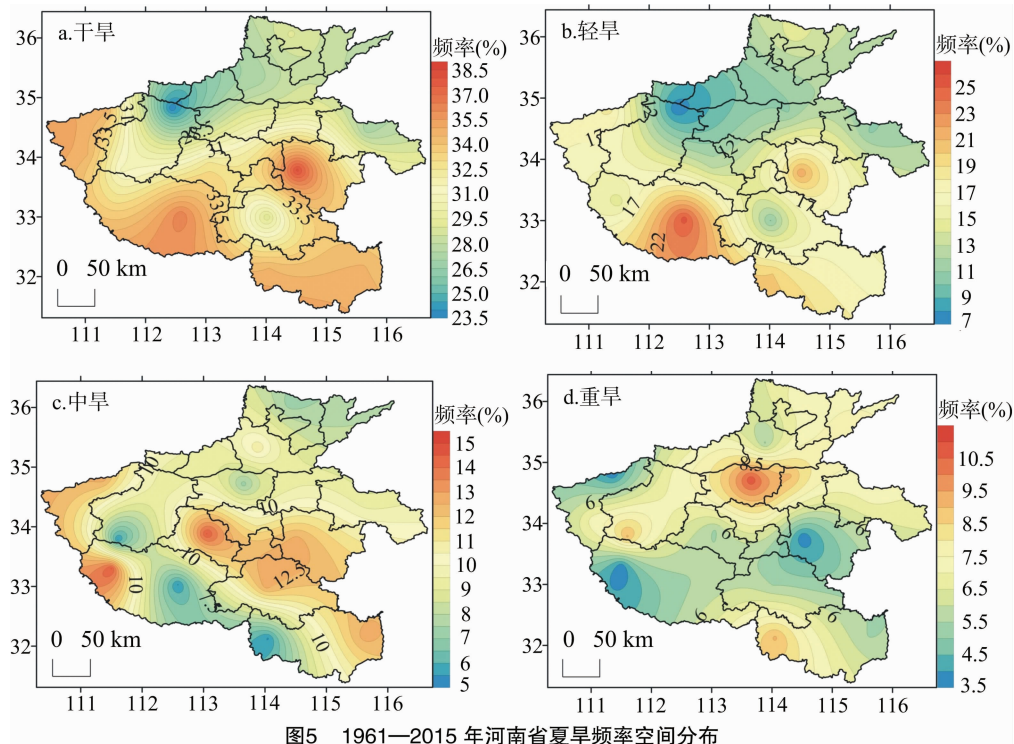


图5 1961—2015 年河南省夏旱频率空间分布

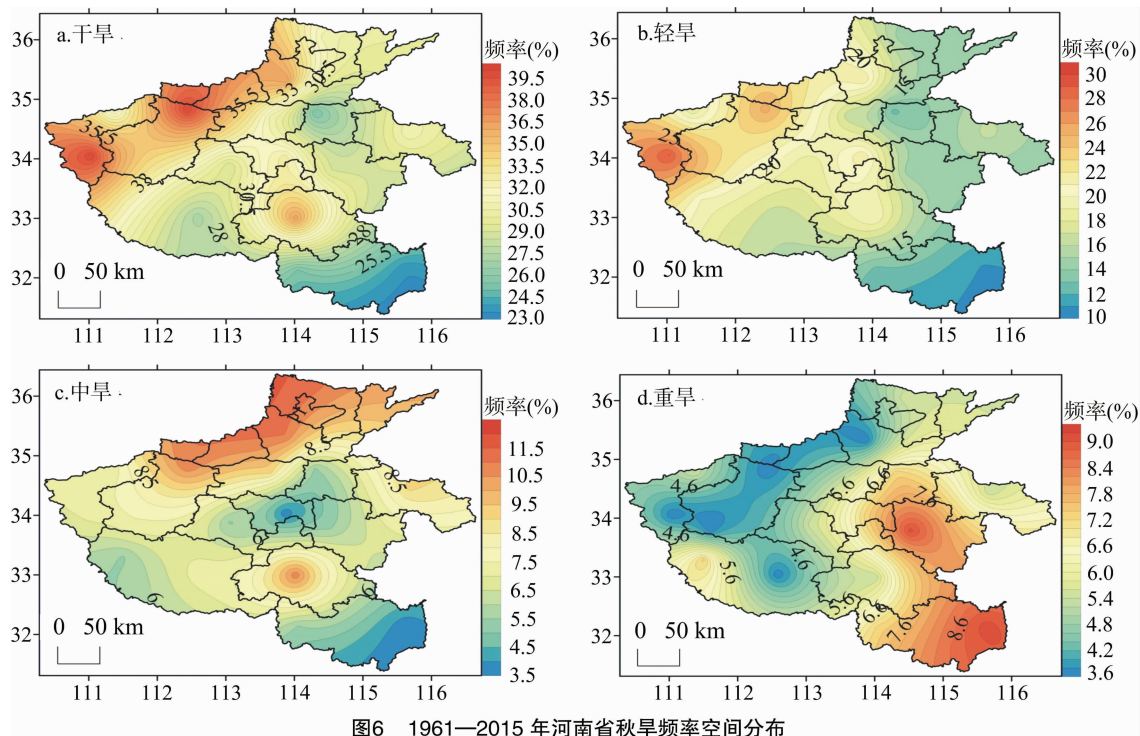


图6 1961—2015 年河南省秋旱频率空间分布

间低、两侧高趋势,最高值在豫东商丘,最低值在豫北安阳和豫南驻马店(图 7-b)。中旱频率波动范围为 0.00% ~ 10.91%,最高值出现在栾川和西峡,最低值出现在三门峡(图 7-c)。重旱频率波动范围为 5.45% ~ 10.91%,南北高、中间低,高值区分布在北部的安阳和西北的三门峡以及西华和驻马店,最低值出现在许昌和商丘(图 7-d)。

3.4 干旱趋势分析与预测

Mann-Kendall 趋势分析表明,河南省 17 个站点中有 12

个站点的 SPI-12 的 M-K 值均小于 0,分别通过了 0.05 的显著性检验,卢氏、商丘和西华 3 个站点的 SPI-12 的 M-K 值均大于 0,各站 SPI-12 的 M-K 平均值也小于 0,总体呈干旱化趋势。对各年代 SPI-12 的 M-K 值进行分析显示,1960s、1970s、1980s、1990s、2000s 以及 2011—2015 年分别有 82%、71%、53%、29%、35%、59% 站点出现干旱化趋势。M-K 与 Hurst 趋势判断综合判断结果见表 3,年、春、夏、秋、冬的总体趋势分别为干旱化、干旱化、湿润化、干旱化和湿润

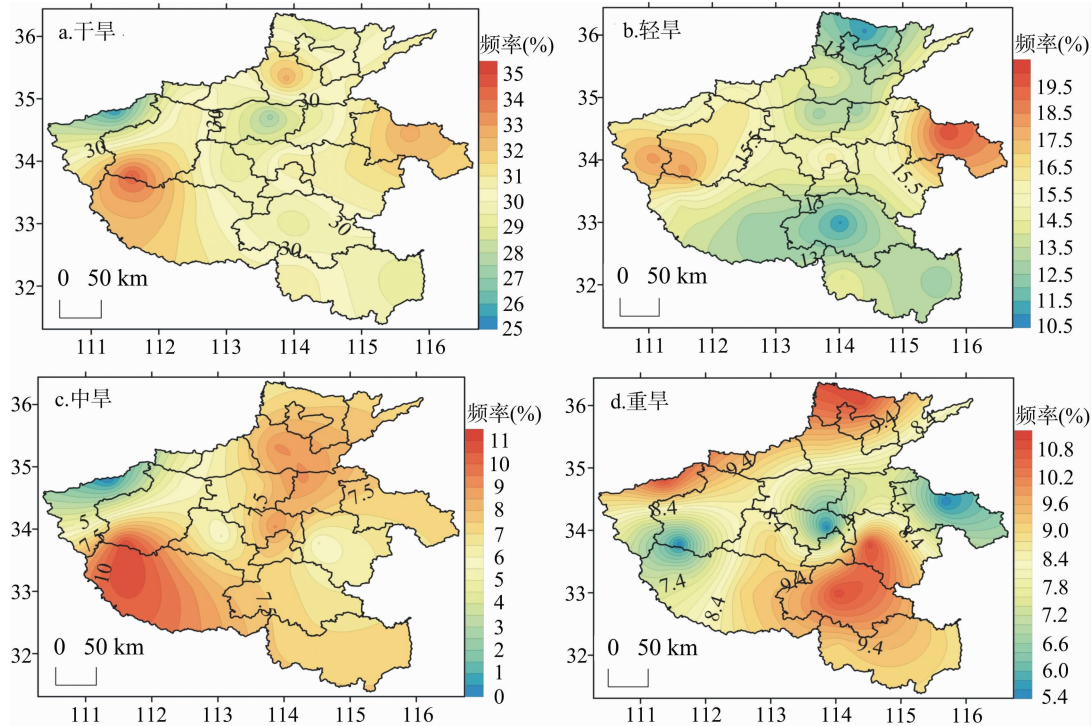


图7 1961—2015 年河南省冬旱频率空间分布

表 3 1961—2015 年河南省年和季节干旱趋势

时段	站点数(个)				总体趋势
	持续干旱	持续湿润	干旱转湿润	湿润转干旱	
全年	9	3	5	0	干旱化
春	9	5	2	1	干旱化
夏	7	9	1	0	湿润化
秋	17	0	0	0	干旱化
冬	5	9	3	0	湿润化

化,秋季所有站点都呈干旱化趋势,干旱特征显著。

4 结论

本研究表明,1961—2015 年河南省全年、春、夏、秋、冬干旱趋势分别为干旱化、干旱化、湿润化、干旱化和湿润化,秋季所有的站点都呈干旱化趋势,干旱特征显著。1990s 以来为连旱高发期,近 55 年连旱发生次数最多和累计持续月数最多的是郑州站,分别为 21 次、75 个月;连旱发生次数最少的是新乡、南阳和三门峡,均为 8 次;连旱累计持续月数最少的是南阳站,为 25 个月。郑州、开封、商丘一带是持续 5 个月以上的连旱发生的集中地区。各地市 SPI-1、SPI-3、SPI-6、SPI-12 的主要周期分别为 4、16、16、24 个月,短周期干旱较多,间隔时间短,干旱频发。土壤水分、连续无降水日、大气环流和 ENSO(厄尔尼诺与南方涛动的合称)对河南省干旱的影响有待进一步研究。

参考文献:

[1] Food U N, Agriculture Organization. UN lays foundations for more drought resilient societies[EB/OL]. (2013-03-15)[2017-03-06]. <http://fao.org/news/story/en/item/172030/icode>.
[2] Lobell D B, Roberts M J, Schlenker W, et al. Greater sensitivity to drought accompanies maize yield increase in the U. S. Midwest[J]. Science, 2014, 344(6183): 516-519.
[3] Dai A G. Increasing drought under global warming in observations and models[J]. Nature Climate Change, 2013, 3(1): 52-58.
[4] Buttafuoco G, Caloiero T, Coscarelli R. Analyses of drought events in Calabria (southern Italy) using standardized precipitation index[J]. Water Resources Management, 2015, 29(2): 557-573.
[5] Manatsa D, Mukwada G, Siziba E, et al. Analysis of multidimensional aspects of agricultural droughts in Zimbabwe using the standardized precipitation index (SPI)[J]. Theoretical and Applied Climatology, 2010, 102(3/4): 287-305.
[6] 张巧凤, 刘桂香, 于红博, 等. 基于标准化降水指数的锡林郭勒盟干旱特征分析[J]. 自然灾害学报, 2015, 24(5): 119-128.
[7] 唐 饶, 孙 睿. 基于气象和遥感数据的河南省干旱特征分析[J]. 自然资源学报, 2013, 28(4): 646-655.
[8] 史本林, 朱新玉, 胡云川, 等. 基于 SPEI 指数的近 53 年河南省干旱时空变化特征[J]. 地理研究, 2015, 34(8): 1547-1558.
[9] 刘 琳, 徐宗学. 西南地区旱涝特征及其趋势预测[J]. 自然资源学报, 2015, 29(10): 1792-1801.