



基于 SPEI 的河南省冬小麦生育期干旱时空特征分析

摘要

利用河南省 24 个地面气象站 1961—2009 年逐日降水和气温资料计算 SPEI(标准化降水蒸散指数),并按照 SPEI 的标准界值将干旱强度划分为轻度干旱、中度干旱和极端干旱。根据河南省冬小麦的生长特点将小麦生育期划分为生育前期、分蘖期和返青-抽穗-成熟期。采用 Meteoinfo 软件、Morlet 小波分析方法、线性回归研究不同生育期干旱变化趋势、覆盖范围、发生频率、周期及空间分布,结果表明,冬小麦各个生育阶段均出现过不同程度的干旱,只是不同地区、不同年份发生的频率和强度不同,但各阶段均存在着轻度干旱发生的概率最大,而极端干旱发生的概率最小的特点。驻马店地区在各阶段发生干旱的概率都较大。对河南省冬小麦全生育期的 SPEI 分析表明,全生育期干旱出现概率的极值中心有显著的 10 a 左右的周期变化特征,近年来干旱指数呈逐渐增大的趋势。

关键词

小麦;生育期;降水;蒸散指数;干旱;年际变化

中图分类号 P49

文献标志码 A

收稿日期 2014-02-13

资助项目 江苏省高校自然科学研究面上项目(13KJB170013);2012 江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师培养对象

作者简介

闫研,女,硕士生,主要研究天气预报与应用气象.yanyan83518@126.com

李忠贤(通信作者),男,博士,副教授,主要研究方向为海气相互作用与短期气候预测.lizhongxian@nuist.edu.cn

0 引言

冬小麦是河南省的主要农作物,是我国第三大主要粮食作物。小麦生育期内各个阶段遭遇干旱,都会对作物的产量产生不利影响。20 世纪 80 年代中期以来,河南省农业干旱灾害发生的频次和强度呈明显的增强趋势^[1],因此研究干旱对河南省冬小麦生长发育的影响对确保粮食产量有重大意义。

根据研究对象和目的不同,干旱的定义和指标也多种多样^[2],干旱指数中 WAP 指数^[3]、Palmer 指数(Palmer Drought Severity Index, PDSI)^[4]、SPI(Standardized Precipitation Index)^[5]和 SPEI(Standardized Precipitation Evapotranspiration Index)^[6-8]是近年来常用的气象干旱指数。梁成等^[9]利用 WAP 指数对长江流域及其以南地区的干旱进行分析。Palmer 指数重点关注干旱强度对水分条件的响应,选取因子是降水、径流和蒸发量等,在预测、分析区域干旱方面效果较好,但 Palmer 指数是基于固定时间尺度进行的研究,所以无法分析干旱的时空变化特点。SPI 弥补了 Palmer 指数在表征时空变化方面的缺陷,能在时空背景上反映降水异常^[10],但没有考虑气温变化带来的影响。在全球气候变化背景下,气温升高已成为加剧干旱过程的重要因子之一^[11],因此需要综合考虑降水、气温以及蒸散作用对干旱的影响。为了解决上述指标的缺陷,Vicente-Serrano 等^[6-8]提出了 SPEI,SPEI 有机结合了 Palmer 指数对温度的灵敏性和 SPI 多时空的特性,已成为国内外学者监测研究干旱演变趋势和干旱化强度的新指标^[10],该指数也被应用于干旱评估、水文干旱分析^[12]等。在研究冬小麦对干旱的响应方面,宋艳玲等^[13]认为春季降水和干旱与小麦产量呈显著相关。就河南省而言,张建平^[14]指出干旱发生的阶段与程度不同,造成作物的减产率也不尽相同。

国内虽然已有不少学者在干旱指标以及干旱对小麦造成的影响方面做了不少研究,但利用 SPEI 对河南冬小麦生育期干旱特征进行研究的并不多见。

1 资料与方法

1.1 资料

本研究选用了河南省 24 个地面气象站(图 1)1961—2009 年逐日降水和气温资料,资料来源于国家气象信息中心。

1 南京信息工程大学 气象灾害预报预警与评估协同创新中心,南京,210044

2 河南省商丘市气象局,商丘,476000

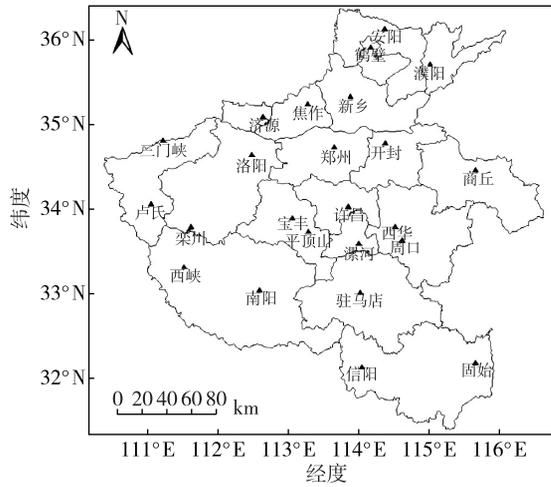


图1 河南省24个地面气象站分布

Fig. 1 Distribution of 24 meteorological stations in Henan province

1.2 干旱强度指数的定义

SPEI 考虑了降水、温度变化和地表蒸发潜力对干旱的影响,其计算方法以简单水循环理论为基础,计算过程可分为以下几步:

1) 将选取的地面气象站的逐日气候资料处理成逐月气候资料,利用某站点的月平均温度和月降水量总量(P)用 Thornthwaite 方法计算月潜在蒸发量(PET),随后计算月降水量与月潜在蒸发量的差值即月累积水分盈缺量 D .

2) 构建不同时间尺度的水分盈缺量累积序列,可根据式 $D_i^k = \sum_{i-k+1}^i (P_i - P_{i,ET})$ 来计算,其中 k 为时间尺度(月), $k = 1, \dots, 48$, i 为时间序列的样本数, $i = 1, \dots, n$.

3) 计算出 α, β, γ 的函数值, $\beta = \frac{2w_1 - w_0}{6w_1 - w_0 - 6w_2}$, $\alpha = \frac{(w_0 - 2w_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)}$, $\gamma = w_0 - \alpha\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \times \Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)$. 其中, $w_s = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(1 - \frac{i - 0.35}{N}\right)^s D_i$, $s = 0, 1, 2$, 由此计算各站点的 w_0, w_1 和 w_2 , N 是 D_i 的个数, D_i 的概率分布函数 $F(x) = \left[1 + \left(\frac{\alpha}{x - \gamma}\right)^\beta\right]^{-1}$.

4) 最后计算 SPEI 指数.

记 Log-Logistic 拟合分布超过某个 D_i 值的累积概率 $P_{D_i} = 1 - F(x)$, W 为概率加权矩, $W = \sqrt{-2\ln(P_{D_i})}$.

闫研,等.基于 SPEI 的河南省冬小麦生育期干旱时空特征分析.

当 $P_{D_i} \leq 0.5$ 时, $P_{D_i} = 1 - F(x)$, $I_{SPEI} = W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3}$;

当 $P_{D_i} > 0.5$ 时, $P_{D_i} = 1 - P_{D_i}$, $I_{SPEI} = -\left(W - \frac{C_0 + C_1 W + C_2 W^2}{1 + d_1 W + d_2 W^2 + d_3 W^3}\right)$.

其中 $C_0 = 2.515517$, $C_1 = 0.802853$, $C_2 = 0.010328$, $d_1 = 1.432788$, $d_2 = 0.189269$, $d_3 = 0.001308$. 具体过程参见文献[15].

在分析某站点某时期干旱情况时,可先根据时间尺度选择某月 SPEI,再依据干旱等级标准判断 SPEI 值属于哪个干旱等级,由此进行干旱情况判断.如选择 k 个月为时间尺度,则某月的水分盈缺累积量为前 $k-1$ 个月与当月水分盈缺量 D 之和.当诊断 3—5 月的干旱情况时,选取以 3 个月为时间尺度的 5 月的 SPEI 值,即 3、4、5 月水分盈缺量 D 之和,在本文中简称 May-SPEI-3, May-SPEI-3 数值位于何种干旱等级的数值区间内,即为出现了该等级的干旱.同理,诊断 1—12 月的干旱情况,选取以 12 个月为时间尺度的 12 月的 SPEI 值,就等于 1—12 月水分盈缺量 D 之和.

在本文中全生育期指从播种到收获的整个过程.全生育期的概念参考了中国气象局指定的《小麦灾害干旱等级》^[16]和文献[17-20].全生育期的 SPEI 与全年的 SPEI 不同在于:全生育期的对应时段是当年 7 月—次年 6 月共 12 个月,全生育期的 SPEI 指以 12 个月为时间尺度的 6 月的 SPEI,而全年的对应时段是当年 1—12 月共 12 个月,全年的 SPEI 指以 12 个月为时间尺度的 12 月的 SPEI.

1.3 干旱等级的划分

考虑到 SPEI 的计算原理与 SPI 相似, SPEI 与干旱发生频率和干旱程度的对应关系,参照文献[21-22]提出的标准,对干旱等级进行划分(表 1).当 SPEI 值界于 $(-\infty, -2.0]$ 时为极端干旱,界介于 $(-2.0, -1.2]$ 时为中度干旱,界于 $(-1.2, -0.49]$ 时为轻度干旱,界于 $(-0.49, 0.5)$ 时为正常年份.

表 1 SPEI 干旱等级划分与发生累积概率
Table 1 SPEI grades for drought and corresponding cumulative probabilities

	极端干旱	中度干旱	轻度干旱	正常年份
SPEI	$(-\infty, -2.0]$	$(-2.0, -1.2]$	$(-1.2, -0.49]$	$(-0.49, 0.5)$
累积概率/%	1.85	16.08	32.04	50.01

1.4 冬小麦生育期的划分

关于冬小麦关键生育期的农谚中曾有“麦收八、十、三场雨”的说法,即指农历8月(阳历9月)、农历10月(阳历11月)和农历3月(阳历4月)这3个时期的旱涝状况对冬小麦的生长发育影响最为关键,以此将河南省冬小麦的发育期分为3个阶段:

1) 生育前期,包括播种前期底墒状况、播种期、出苗期.一般河南冬小麦最早在10月4日播种,9月前后的土壤水分对小麦产量关系极大,故在本文中选取8—10月作为分析时段,因此生育前期的SPEI选取以3个月为时间尺度的10月的SPEI(Oct-SPEI-3)表示.

2) 分蘖期,一般冬小麦平均在11月11日进入分蘖期;以11月一次年1月作为分析时段,因此分蘖期的SPEI选取以3个月为时间尺度的1月的SPEI(Jan-SPEI-3)表示.

3) 返青-抽穗-成熟期,河南冬小麦进入返青期的平均日期是2月19日,期间冬小麦生长速度最快、生长量最大,起身期过后冬小麦进入拔节期,5月下旬到6月上旬收获,以2—6月作为分析时段,因此返青-抽穗-成熟期的SPEI选取以5个月为时间尺度的6月的SPEI(Jun-SPEI-5)表示.

4) 全生育期,包括小麦生长的所有生育时期,即

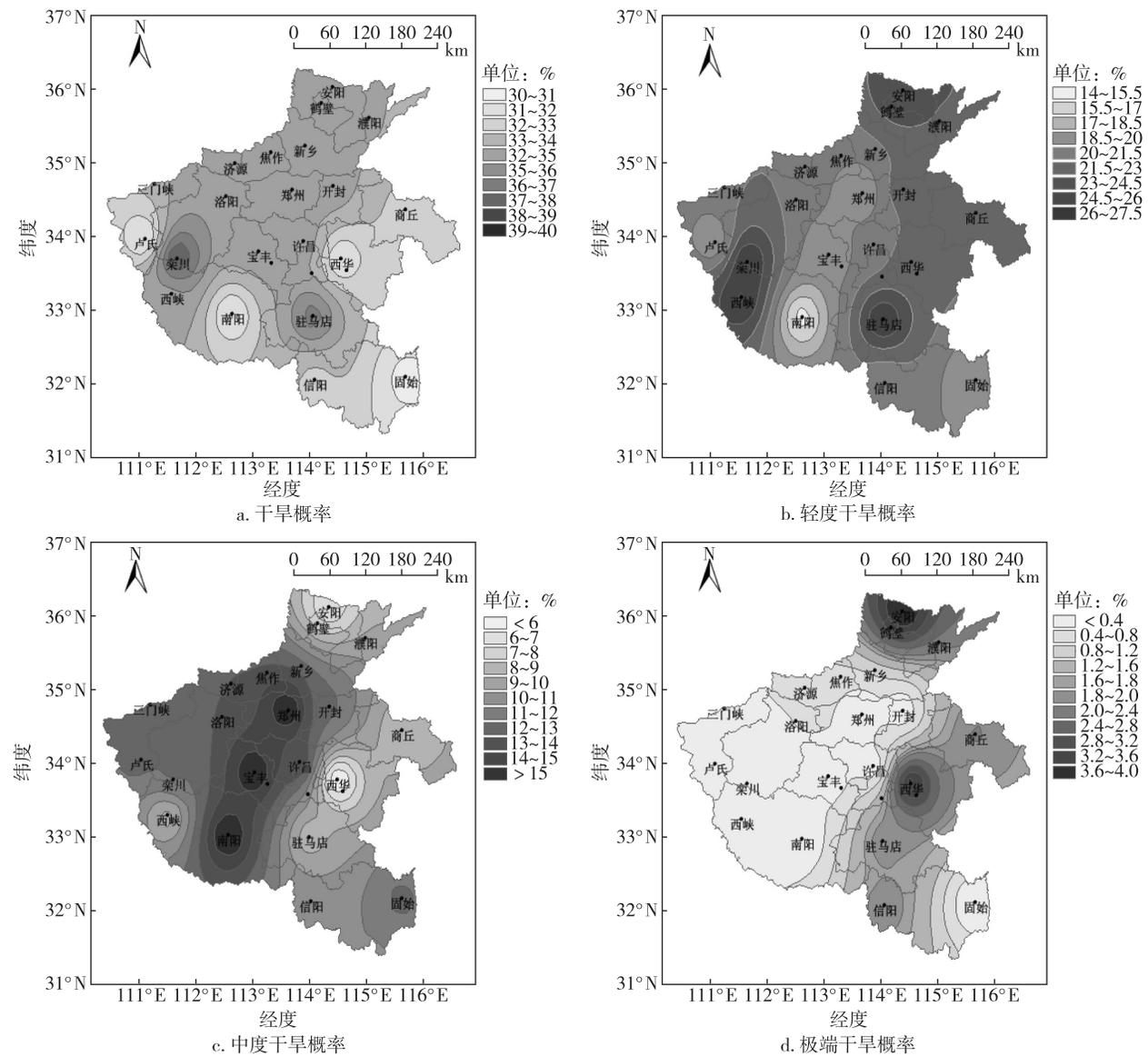


图2 生育前期发生各类干旱的概率的空间分布

Fig. 2 Spatial distribution characteristics of drought probability during the early growth period, with for drought, for slight drought, for moderate drought, and for extreme drought

生育前期、分蘖期和返青-抽穗-成熟期.干旱是一个持续性的积累过程,某时期的干旱与当时的降水量、前期降水的累积效应、土壤墒情等要素相关^[23].而冬小麦生长及发育不仅与不同生育期的水分盈亏有关,也与非生育期的水分情况相关,所以在本文中选取当年7月至次年6月共12个月作为全生育期,因此全生育期的SPEI选取以12个月为时间尺度的6月的SPEI(Jun-SPEI-12)表示.

2 结果与分析

2.1 生育前期干旱时空分布

在本文中,干旱包括轻度、中度和极端3个等

级,发生概率指发生某个等级的干旱的次数占发生干旱总次数的百分率.干旱概率(图2a)总体呈现自西北向东南递减的趋势,栾川最大值为38.8%,西华、南阳和固始最小值为30.6%.就干旱等级看,轻度干旱(图2b)发生的概率基本为14.3%~26.5%,较其他等级的干旱都多,而极端干旱发生的概率最小,低于4.1%.轻度干旱呈现两边多中间少的分布特点,即豫西、新乡、开封、驻马店一线以东的地区概率较高,驻马店最高达26.5%,而在南阳中部、宝丰、郑州概率较小(14.3%).中度干旱(图2c)主要集中在郑州、宝丰、南阳一带,但极端干旱(图2d)这一地区发生概率较小.极端干旱相对较高的区域有安阳

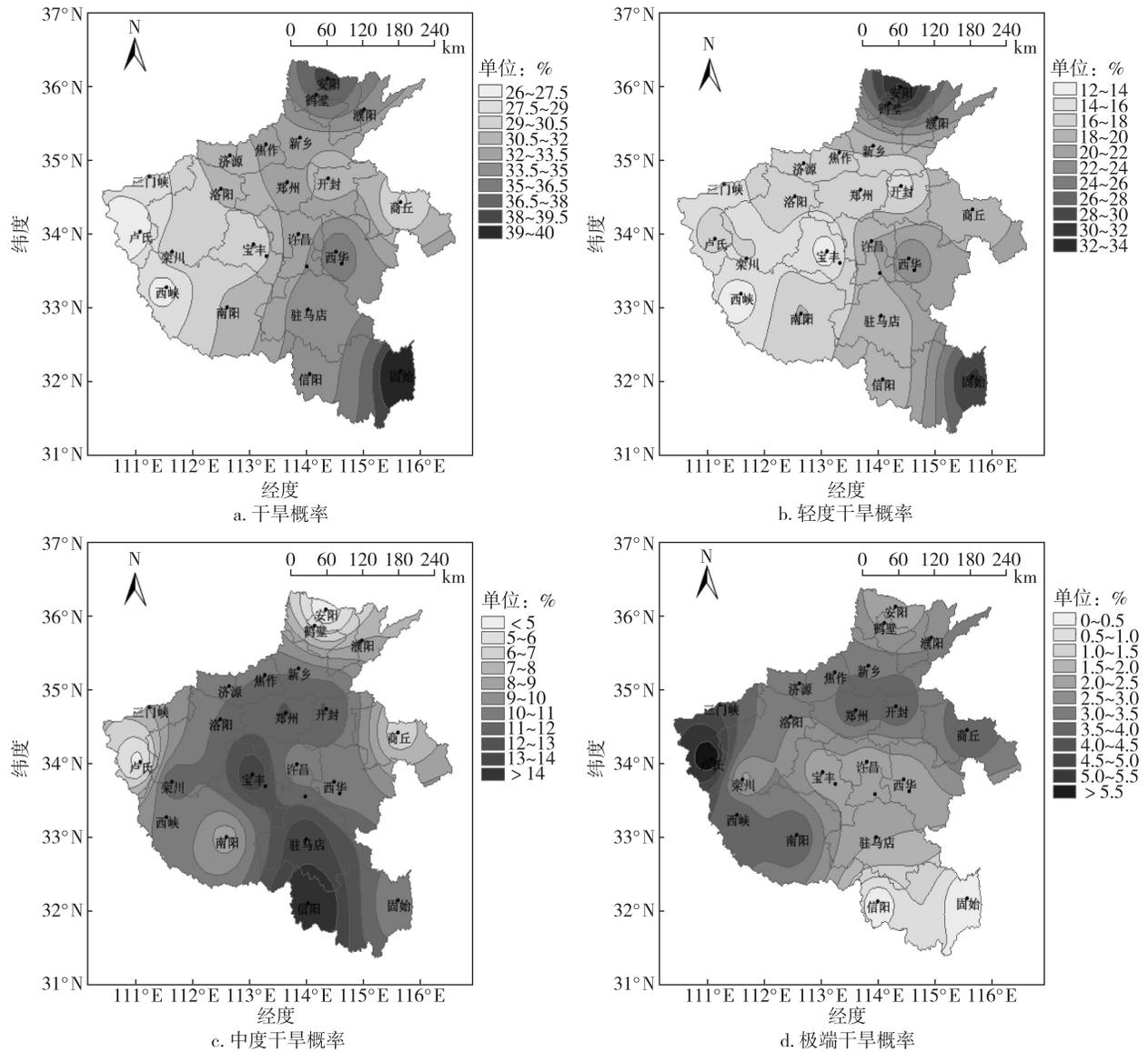


图3 分蘖期发生各类干旱的概率的空间分布

Fig. 3 Spatial distribution characteristics of drought probability during the tillering stage,with for drought, for slight drought, for moderate drought, and for extreme drought

和西华,发生概率均达到 4.1%.

2.2 分蘖期干旱时空分布

干旱概率(图 3a)较大的地区主要集中在豫北的安阳和豫东南的固始,分别为 38.8%和 40.8%,在豫西、豫东发生概率较小(26.5%).轻度干旱发生的概率较多,为 12.2%~32.6%(图 3b),中度干旱呈现向四周递减的趋势(图 3c).极端干旱发生概率出现了两极分化,由豫西向豫东逐渐减小,在豫西卢氏达到最大值 6.1%,而在豫东南的固始和信阳接近于 0(图 3d).

2.3 返青-抽穗-成熟期干旱时空分布

在小麦返青-抽穗-成熟期,由图 4 分析可看出,发生干旱概率最大和最小的地区分别在南阳中部(38.8%)和信阳的固始(24.5%),其他地区都在 27%~33%之间.本时期同其他时期都存在轻度干旱发生的概率较其他等级的干旱多,而极端干旱发生概率最小的特点.豫北及郑州、信阳(14.3%~16.3%)发生轻度干旱概率较小,发生极端干旱概率较高(4.1%),豫西南中度干旱发生概率较高(12.2%),发生极端干旱发生概率最小(2.0%).

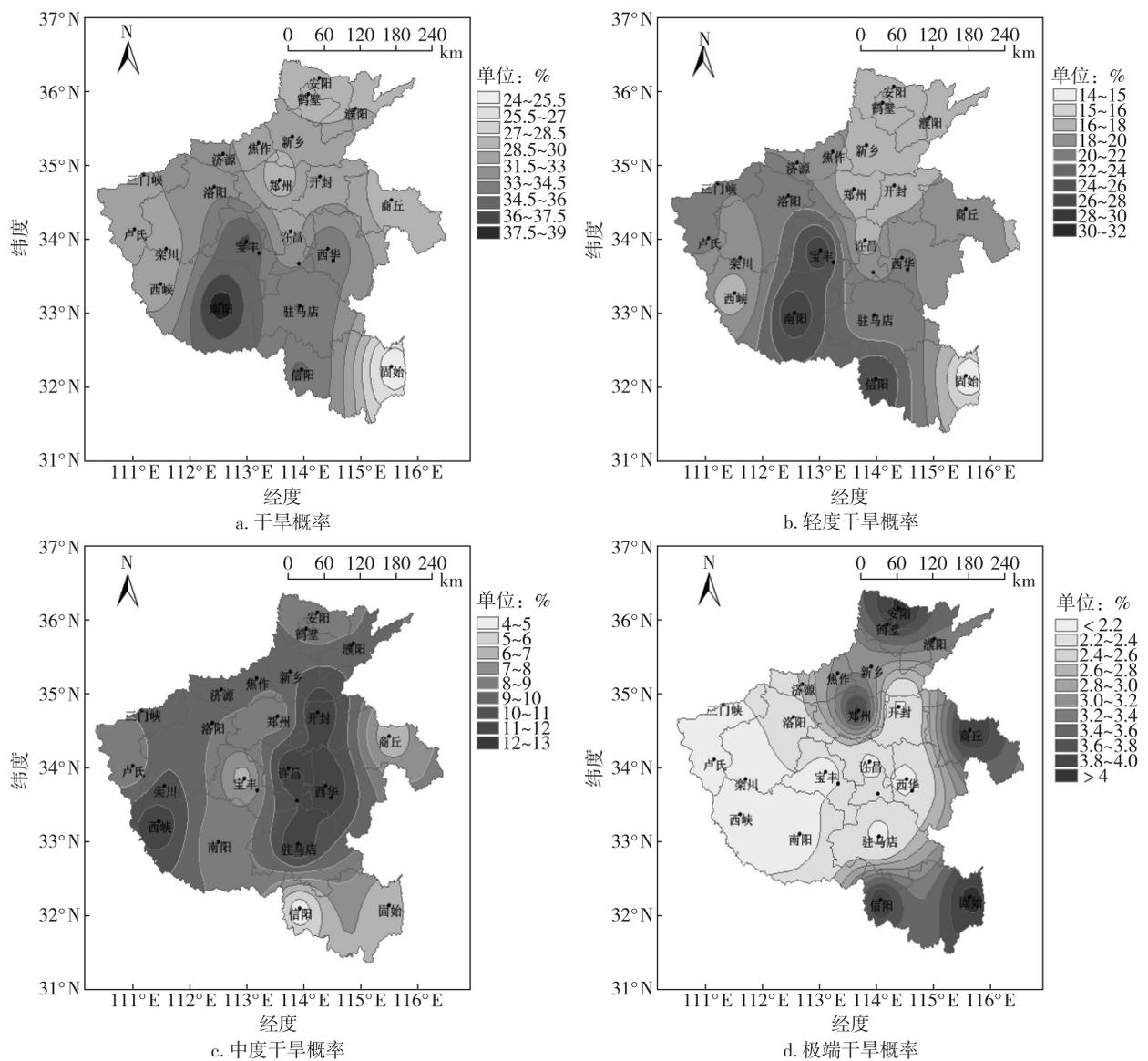


图 4 返青-抽穗-成熟期发生各类干旱概率的空间分布

Fig. 4 Spatial distribution characteristics of drought probability during the turning green-heading-maturity period, with for drought, for slight drought, for moderate drought, and for extreme drought

2.4 全生育期干旱的变化特征和时空分布

2.4.1 周期分析

Morlet 小波分析方法经常用于分析序列的周期和突变特征^[24],本文采用该方法,对 SPEI-12 进行了周期分析.

图 5 给出了 SPEI-12 的小波变换系数.由图 5 可见,河南省 SPEI-12 的周期变化表现出多时间尺度的复杂变化.从年代际尺度看,1961—2009 年期间 SPEI-12 存在着 4 个明显偏高中心和 4 个明显偏低中心,这 4 个明显偏高中心分别是 1973、1983、1994 和 2004 年,而 4 个明显偏低中心分别是 1966、1979、1989 和 1999 年,极值中心的变化体现出了显著的以 10 a 为主周期的周期变化特征,这说明干期和湿期交替出现,具体的干期出现时间是:20 世纪 60 年代中期到末期、70 年代中期到 80 年代初期,80 年代中期到 90 年代初期、90 年代中期到 21 世纪初期.2009 年之后处于干旱指数偏小的时期.

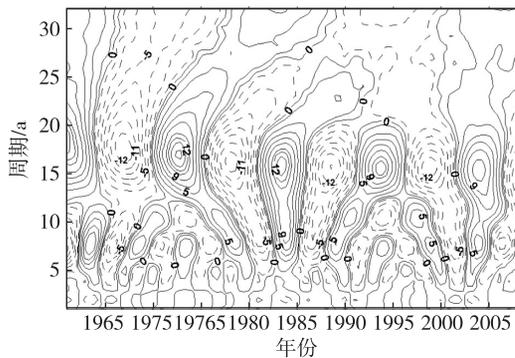


图 5 全生育期干旱指数的 Morlet 小波变换系数

Fig. 5 Morlet wavelet transform plane of SPEI-12 during the whole growth period

2.4.2 趋势分析

对全生育期 SPEI-12 进行趋势分析,结果如图 6 所示.由图 6 可见,1961—2009 年全生育期 SPEI-12 呈增加趋势,上升趋势值为 $0.25/(10 \text{ a})$.

2.4.3 空间分布

由图 7 a 可以看出,河南省冬小麦全生育期极端干旱概率最大的地区分布在豫中、豫西以及豫东南,概率较大的地区分别是郑州、栾川、南阳和固始,为 2.3%~2.6%.中度干旱的概率分布(图 7 b)较极端干旱概率分布有同有异,豫中地区是发生中度干旱(11%)和极端干旱(2.6%)的概率都较高的地区,与其他地区相比,信阳和商丘发生极端干旱概率较低(1%),但发生中度干旱概率较高,分别为 9.7%和

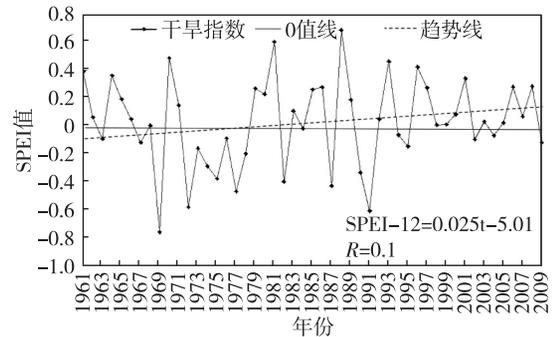


图 6 全生育期干旱指数的线性趋势分析

Fig. 6 Linear trend for SPEI-12 during the whole growth period

10.2%.而轻度干旱(图 7c)出现概率较大的地区分布在商丘、西华、驻马店、信阳和栾川,为 24.0%左右.豫西地区干旱正常年份出现的概率相对较高(图 7d).

3 结论与讨论

通过对河南省冬小麦关键生育期(生育前期、分蘖期、返青-抽穗-成熟期和全生育期)出现各等级干旱概率特征进行诊断,结果表明:河南省冬小麦各个生育阶段均出现过不同程度的干旱,不同生育期发生的频率和强度存在区域和年际差异,但各阶段均存在着轻度干旱发生的概率最大,而极端干旱发生的概率最小的特点.从干旱出现概率的空间分布上看,驻马店地区在各阶段发生干旱的概率都较大,在生育前期、分蘖期、返青-抽穗-成熟期干旱发生的概率分别为 36.7%、34.7%和 38.8%.

对河南省冬小麦全生育期的 SPEI-12 进行周期变化、干旱趋势的诊断分析表明:全生育期干旱概率极值中心的变化体现出了显著的以 10 a 左右的周期变化特征,干期和湿期交替出现,近年来干旱指数呈逐渐增加的趋势.

参考文献

References

- [1] 周迎平,胡正华,崔海玲,等.1971—2010 年气候变化对河南省主要作物需水量的影响[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2013,5(6):515-521
ZHOU Yingping, HU Zhenghua, CUI Hailing, et al. Effect of climate change on main crop water requirements in Henan province during 1971—2010 [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2013, 5(6): 515-521
- [2] 阿帕尔,尹建新,叶尔克江,等.昌吉地区旱涝特征分析[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2011,3

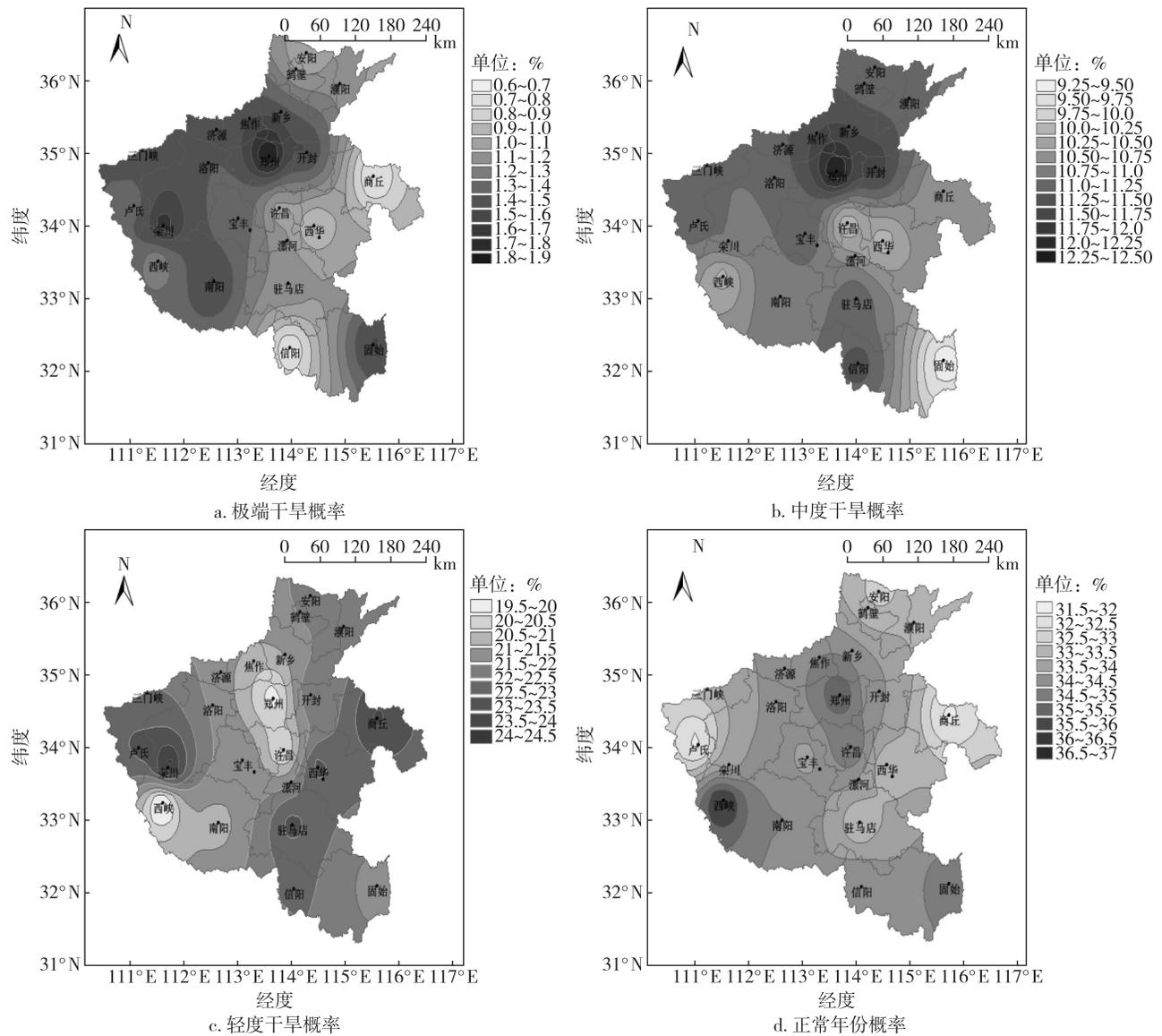


图7 全生育期发生于旱概率的空间分布

Fig.7 Spatial distribution characteristics of drought probability during the whole growth period, with for drought, for slight drought, for moderate drought, and for extreme drought

(4):354-359

Apar, YIN Jianxin, Erkejan, et al. Research on climatological drought and flood index of Changji areas [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2011, 3(4): 354-359

[3] Lu E. Determining the start, duration, and strength of flood and drought with daily precipitation: Rationale [J]. Geophysical Research Letters, 2009, 36(12): L12707, doi:10.1029/2009GL038817

[4] Palmer W C. Meteorological drought [M]. Washington D C: Department of Commerce Weather Bureau, 1965

[5] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The relationship of drought frequency and duration to time scales [C] // Eighth Conference on Applied Climatology. Anaheim: American Meteorological Society, 1993: 179-184

[6] Vicente-Serrano S M, Beguería S, López-Moreno J I. A multi-scalar drought index sensitive to global warming: The standardized precipitation evapotranspiration index [J]. Journal of Climate, 2010, 23(7): 1696-1718

[7] Vicente-Serrano S M, Beguería S, López-Moreno J I, et al. A new global 0.5° gridded dataset (1901—2006) of a multiscalar drought index: Comparison with current drought index data-sets based on the Palmer Drought Severity Index [J]. Journal of Hydrometeorology, 2010, 11(4): 1033-1043

[8] Vicente-Serrano S M, López-Moreno J I, Lorenzo-Lacruz J, et al. The NAO impact on droughts in the Mediterranean region [M] // Hydrological, Socioeconomic and Ecological Impacts of the North Atlantic Oscillation in the Mediterranean Region. Springer Netherlands, 2011:

闫研,等.基于 SPEI 的河南省冬小麦生育期干旱时空特征分析.

- 23-40
- [9] 梁成,申双和.基于 WAP 指数的长江流域及其以南地区干旱气候特征分析[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2010,2(2):166-174
LIANG Cheng, SHEN Shuanghe. Climatic features of the drought in the Yangtze River Basin and regions to its south disclosed by WAP index [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2010, 2(2): 166-174
- [10] 李伟光,陈汇林,朱乃海,等.标准化降水指标在海南岛干旱监测中的应用分析[J].中国生态农业学报,2009,17(1):178-182
LI Weiguang, CHEN Huilin, ZHU Naihai, et al. Analysis of drought monitoring on Hainan Island from standardized precipitation index [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2009, 17(1): 178-182
- [11] Dai A G. Drought under global warming: A review [J]. Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 2011, 2(1): 45-65
- [12] Jaranilla-Ssanchez P A, Lei W, Koike T. Modeling the hydrologic responses of the Pampanga River Basin, Philippines: A quantitative approach for identifying droughts [J]. Water Resources Research, 2011, 47(3): W03514, 21, doi: 10. 1029/2010WR009702
- [13] 宋艳玲,董文杰.1961—2000 年干旱对我国冬小麦产量的影响[J].自然灾害学报,2006,15(6):235-240
SONG Yanling, DONG Wenjie. Influence of drought on winter wheat yield in China during 1961—2000 [J]. Journal of Natural Disasters, 2006, 15(6): 235-240
- [14] 张建平,赵艳霞,王春乙,等.不同发育期干旱对冬小麦灌浆和产量影响的模拟[J].中国生态农业学报,2012,20(9):1158-1165
ZHANG Jianping, ZHAO Yanxia, WANG Chunyi, et al. Impact simulation of drought disaster at different developmental stages on winter wheat grain-filling and yield [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2012, 20(9): 1158-1165
- [15] 庄少伟,左洪超,任鹏程,等.标准化降水蒸发指数在中国区域的应用[J].气候与环境研究,2013,18(5):617-625
ZHUANG Shaowei, ZUO Hongchao, REN Pengcheng, et al. Application of standardized precipitation evapotranspiration index in China [J]. Climatic and Environmental Research, 2013, 18(5): 617-625
- [16] 中国气象局.QX/T 81—2007 小麦干旱灾害等级[S].北京:中国标准出版社,2007
China Meteorological Administration. QX/T 81—2007 Disaster grade of drought for wheat [S]. Beijing: China Standard Press, 2007
- [17] 段晓凤,刘静,张晓煜,等.基于旱灾指数的宁夏小麦产量分析[J].干旱气象,2012,30(1):71-76
DUAN Xiaofeng, LIU Jing, ZHANG Xiaoyu, et al. Analysis of wheat yield based on drought index in Ningxia [J]. Journal of Arid Meteorology, 2012, 30(1): 71-76
- [18] 张玉芳,王明田,刘娟,等.基于水分盈亏指数的四川省玉米生育期干旱时空变化特征分析[J].中国生态农业学报,2013,21(2):236-242
ZHANG Yufang, WANG Mingtian, LIU Juan, et al. Spatio-temporal characteristics of drought at different maize growth stages in Sichuan Province as determined by water budget index [J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2013, 21(2): 236-242
- [19] 许玲燕,王慧敏,段琪彩,等.基于 SPEI 的云南省夏玉米生长季干旱时空特征分析[J].资源科学,2013,35(5):1024-1034
XU Lingyan, WANG Huimin, DUAN Qicai, et al. The temporal and spatial distribution of droughts during summer corn growth in Yunnan province based on SPEI [J]. Resources Science, 2013, 35(5): 1024-1034
- [20] 秦鹏程,姚凤梅,张佳华,等.基于 SPEI 指数的近 50 年东北玉米生长季干旱演变特征[C]//第 28 届中国气象学会年会,2011
QIN Pengcheng, YAO Fengmei, ZHANG Jiahua, et al. The temporal and spatial distribution of droughts during summer corn growth in northeast China based on SPEI in recent 50 years [C]//The 28th Chinese Meteorological Society Annual Meeting, 2011
- [21] 中国气象科学研究院,国家气象中心,中国气象局预测减灾司.GB/T 20481—2006,气象干旱等级[S].北京:中国标准出版社,2006
Chinese Academy of Meteorological Sciences, National Meteorological Center, Department of Forecasting Services and Disaster Mitigation at CMA. GB/T 20481—2006 Classification of meteorological drought [S]. Beijing: China Standard Press, 2006
- [22] 李星敏,杨文峰,高蓓,等.气象与农业业务化干旱指标的研究与应用现状[J].西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(7):111-116
LI Xingmin, YANG Wenfeng, GAO Bei, et al. Study and application of the operational meteorology and agriculture drought indexes in China [J]. Journal of Northwest A & F University: Natural Science Edition, 2007, 35(7): 111-116
- [23] 何敏,郑日荣,阮经文,等.基于小波提升算法的脑电节律提取[J].南京信息工程大学学报:自然科学版,2013,5(1):60-63
HE Min, ZHENG Rirong, RUAN Jingwen, et al. EEG extraction based on wavelet lifting scheme [J]. Journal of Nanjing University of Information Science & Technology: Natural Science Edition, 2013, 5(1): 60-63
- [24] 吕少宁,李栋梁,文军,等.全球变暖背景下青藏高原气温周期变化与突变分析[J].高原气象,2010,29(6):1378-1385
LÜ Shaoning, LI Dongliang, WEN Jun, et al. Analysis on periodic variations and abrupt change of air temperature over Qinghai-Xizang plateau under global warming [J]. Plateau Meteorology, 2010, 29(6): 1378-1385
- [25] 李芬,于文金,张建新,等.山西近 50 a 初霜冻的气候变化特征及其周期分析[J].大气科学学报,2012,35(6):754-761
LI Fen, YU Wenjin, ZHANG Jianxin, et al. Analysis of the climate change characteristics and periodicity of the first frost in Shanxi province in the past 5 decades [J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2012, 35(6): 754-761
- [26] 孙卫国,程炳岩.河南省近 50 年来旱涝变化的多时间

- 尺度分析[J].南京气象学院学报,2000,23(2):251-255
 SUN Weiguo, CHENG Bingyan. Multiple time scale analysis of drought and flood variations in Henan during the last 50 years[J]. Journal of Nanjing Institute of Meteorology, 2000, 23(2): 251-255
- [27] Torrence C, Compo G P. A practical guide to wavelet analysis[J]. Bulletin of the American Meteorological Society, 1998, 79(1): 61-78
- [28] Ma Z G, FU C B. Some evidence of drying trend over northern China from 1951 to 2004[J]. Chinese Science Bulletin, 2006, 51(23): 2913-2925
- [29] 祁海霞, 智协飞, 白永清. 中国干旱发生频率的年代际变化特征及趋势分析[J]. 大气科学学报, 2011, 34(4): 447-455
 QI Haixia, ZHI Xiefei, BAI Yongqing. Interdecadal variation and trend analysis of the drought occurrence frequency in China [J]. Transactions of Atmospheric Sciences, 2011, 34(4): 447-455
- [30] 邹旭恺, 张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究[J]. 应用气象学报, 2008, 19(6): 679-687
 ZOU Xukai, ZHANG Qiang. Preliminary studies on variations in droughts over China during past 50 years [J]. Journal of Applied Meteorological Science, 2008, 19(6): 679-687
- [31] 符淙斌, 王强. 气候突变的定义和检测方法[J]. 大气科学, 1992, 16(4): 482-493
 FU Conghin, WANG Qiang. The definition and detection of the abrupt climatic change [J]. Scientia Atmospherica Sinica, 1992, 16(4): 482-493
- [32] 马开玉, 丁裕国, 屠其璞, 等. 气候统计原理与方法[M]. 北京: 气象出版社, 1993: 46-236
 MA Kaiyu, DING Yuguo, TU Qipu, et al. Theory and method for climatic statistics [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1993: 46-236
- [33] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术[M]. 北京: 气象出版社, 1999: 77-82
 WEI Fengying. Statistic analysis and forecast technique of modern climate [M]. Beijing: China Meteorological Press, 1999: 77-82

Temporal and spatial variation characteristics of drought trend at growth stage of winter wheat in Henan province based on SPEI index

YAN Yan^{1,2} LI Zhongxian¹

1 Collaborative Innovation Center on Forecast and Evaluation of Meteorological Disasters,

Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing 210044

2 Shangqiu Meteorological Bureau of Henan Province, Shangqiu 476000

Abstract Based on the precipitation, air temperature and evaporation data in Henan province during 1961—2009, the Standardized Precipitation Evapotranspiration Index (SPEI) was calculated, hence the strength of drought during different growth stage of winter wheat in Henan province was graded by the SPEI and divided into slight, moderate and extreme droughts. According to the growth characteristics, the growth period of winter wheat in Henan province are divided into early growth period, tillering stage, and turning green-heading-maturity period. The drought characteristics including interdecadal trend, coverage area, frequency, period and spatial distribution were analyzed and compared using Meteoinfo software, Morlet wavelet analysis, and linear regression method. Results show that the characteristics of drought in different growing stages of winter wheat were different, and the drought's frequency and intensity were various in different regions or years. But the slight drought takes up the maximum probability, while the extreme drought has the minimum probability, which is a common feature during all growth periods. The drought occurrence in Zhumadian City has the maximum probability in every growth period. The major periods of extreme point for drought during the whole growth period were about 10a. The SPEI increased in Henan in recent years, indicating a drought trend in future for Henan province.

Key words winter wheat; growth stage; precipitation; evapotranspiration index; drought; interannual variation