

# 基于 CI 指数的河南省近 40 a 干旱特征分析

李树岩<sup>1,2</sup>, 刘荣花<sup>1,2</sup>, 师丽魁<sup>1,2</sup>, 马志红<sup>1,2</sup>

(1. 河南省气象科学研究所, 河南 郑州 450003; 2. 中国气象局农业气象保障与应用技术重点开放实验室, 河南 郑州 450003)

**摘要:** 基于河南省 113 个气象站 1970~2007 实测气象资料, 利用气象干旱综合指数对河南省近 40 a 的干旱特征进行了统计分析。首先计算了历史逐日的 CI 指数, 统计近 40 a 各站点出现的干旱过程、各时段的干旱事件, 在此基础上统计了河南省历年各地区干旱发生的频率、覆盖范围, 分析了干旱发生范围的年际变化和不同强度干旱的空间分布特征。分析结果表明: 河南省伏旱发生频率最高为 63.6%, 冬季干旱发生频率最低为 48.8%, 春旱和秋旱发生频率相近, 分别为 55.4% 和 56.9%; 全省大范围干旱发生的年份春季和秋季较多分别有 9 a, 冬季最少只有 5 a; 春季豫北各等级干旱发生天数均较高, 夏季和秋季全省易发生大范围轻旱, 重旱发生较少, 冬季轻旱和中旱呈显著的纬向分布, 南少北多, 和降水的分布有较好的负相关性。

**关键词:** 气象干旱综合指数; 干旱特征; 河南省

**中图分类号:** S423

**文献标识码:** A

## 引言

河南省地处我国中东部的中纬度内陆地区, 气候存在着自南向北由北亚热带向暖温带气候过渡、自东向西由平原向丘陵山地气候过渡的 2 个过渡性特征<sup>[1]</sup>。降水时空分布极其不均, 干旱发生频率高, 持续时间长, 波及范围大, 对国民经济特别是对农业生产造成严重的影响<sup>[2-4]</sup>, 历史上就有“十年九旱”之说。随着全球气候变暖, 极端天气现象越发频繁, 干旱发生频率和危害程度均呈上升趋势<sup>[5-8]</sup>。尤其 2008 年, 我国北方发生大面积干旱, 冬小麦生长受到严重威胁。自 2008 年 11 月 1 日至 2009 年 1 月 28 日, 全省平均降水量仅为 10.7 mm (常年平均 50.2 mm), 较常年同期偏少近 8 成, 为 1961 年以来同期次少值; 全省平均温度为 4.7 °C, 较常年同期偏高 0.9 °C。降水少、温度高、空气干燥, 可能造成全省 2009 年小麦减产<sup>[9]</sup>。

干旱是一个缓慢的累积过程, 某月的旱涝程度不仅与当月降水量有关, 而且与前期降水的累积效应、土壤水分变化等因素有关<sup>[10]</sup>。各个部门或学科对于干旱概念的定义不尽相同, 一般把干旱分为气象干旱、水文干旱、农业干旱和社会经济干旱, 气象干

旱是其他各类干旱发生的主要原因<sup>[11]</sup>。很多学者从降水、蒸发等方面对气象干旱指标做了大量的研究工作, 提出了很多衡量气象干旱的指标, 如降水距平百分率、Z 指数、相对湿度指数 ( $M_i$ ) 等<sup>[12-15]</sup>, 并利用干旱指标针对各地情况进行干旱发生及分布特征的分析<sup>[16-19]</sup>, 产生了重要的理论和应用价值。本文亦从气象干旱角度出发, 引入气象干旱综合指数 CI, 计算了河南省近 40 a 来的气象干旱综合指数, 并运用该指数对河南省干旱发生频率、覆盖范围及年际变化和不同强度干旱的空间分布特征等进行分析, 为开展干旱预报、预警业务, 指导抗旱减灾及制定减缓干旱影响的适应性对策提供参考和依据。

## 1 资料与方法

### 1.1 资料

所用资料为河南省 113 个气象站 1970~2007 近 40 a 的逐日气温、降水气象观测数据, 对个别站点的缺测数据进行插值处理。

### 1.2 综合气象干旱指数的计算方法

气象干旱综合指数 CI 是利用近 30 d (相当月尺度) 和近 90 d (相当季尺度) 标准化降水指数, 以及

收稿日期: 2009-04-27; 改回日期: 2009-05-13

基金项目: 行业(气象)科研专项(GYHY200806008)及河南省气象局科研项目(Z200806)资助

作者简介: 李树岩(1979-), 女, 河北唐山人, 工程师, 硕士, 主要从事应用气象研究. E-mail: lsy\_126@126.com

近 30 d 相对湿润指数进行综合计算而得。该指标既反映短时间尺度(月)和长时间尺度(季)降水量气候异常情况,又反映短时间尺度(影响农作物)水分亏欠情况。指标既适合实时气象干旱监测又可以进行历史同期气象干旱评估<sup>[20]</sup>。

参考气象干旱等级国家标准(GB/T 20481 - 2006),综合气象干旱指数  $CI$  的计算公式为:

$$CI = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30} \quad (1)$$

式中: $Z_{30}$ 、 $Z_{90}$ 分别为近 30 d 和近 90 d 标准化降水指数  $SPI$  值; $M_{30}$ 为近 30 d 相对湿度指数; $a$ 为近 30 d 标准化降水系数,平均取 0.4; $b$ 为近 90 d 标准化降水系数,平均取 0.4; $c$ 为近 30 d 相对湿度系数,平均取 0.8。

通过(1)式,利用前期平均气温、降水量数据可以滚动计算出每天的干旱综合指数  $CI$ ,根据  $CI$  值的大小划分干旱等级见表 1,进行干旱分析评估。

表 1 综合气象干旱等级的划分

Tab. 1 The meteorological drought grades based on meteorological drought composite index

等级	类型	$CI$
1	无旱	$-0.6 < CI$
2	轻旱	$-1.2 < CI \leq -0.6$
3	中旱	$-1.8 < CI \leq -1.2$
4	重旱	$-2.4 < CI \leq -1.8$
5	特旱	$CI \leq -2.4$

### 1.3 干旱过程的确定

当综合气象干旱指数  $CI$  连续 10 d 为轻旱以上等级,则确定为发生 1 次干旱过程。干旱过程的开始日为第 1 天  $CI$  指数达轻旱以上等级的日期。在干旱发生期,当  $CI$  连续 10 d 为无旱等级时干旱解除,同时干旱过程结束,结束日期为最后 1 次  $CI$  指数达无旱等级的日期。干旱过程开始到结束期间的的时间为干旱持续时间。干旱过程内所有天的  $CI$  指数为轻旱以上的干旱等级之和,表示干旱过程强度,其值越小干旱过程越强。

当某一时段内至少出现 1 次干旱过程,并且累积干旱持续时间超过所评价时段的 1/4 时,则认为该时段发生干旱事件,其干旱强度由时段内  $CI$  值为轻旱以上的干旱等级之和确定。本文主要以季节作为研究时段,季节定义为:1、2 月和上年的 12 月为

冬季,3~5 月为春季,6~8 月为夏季,9~11 月为秋季。

### 1.4 干旱发生频率计算

在近 40 a 中,分季节统计有干旱事件的发生年份(即在此季节中出现了至少 1 次轻旱以上的干旱过程),利用公式(2)计算干旱发生频率:

$$P = n/N \times 100\% \quad (2)$$

式中: $n$ 为实际有干旱事件发生的年数, $N$ 为资料年代序列数,1970~2007 年共 38 a 数据,但由于  $CI$  指数的计算是向后滚动的,带入资料计算所得的  $CI$  值是从 1971 年开始,所以  $N$  取 37。

### 1.5 干旱覆盖范围和干旱强度的统计

干旱覆盖范围:分季节统计每年有干旱事件发生的站点数量,计算其占总站点数的百分比,本文总站点数为 113。

## 2 结果分析

### 2.1 干旱发生频率

如图 1(a)所示,春旱发生频率豫北最高,大部分地区在 72% 以上;豫中和豫东的大部分地区春旱发生频率在 55%~72% 之间;豫西稍低;豫南信阳、驻马店地区最低。春旱的发生整体呈南少北多的分布。除豫南的信阳、驻马店外,河南伏旱发生频率均较高,绝大部分地区在 55% 以上,其中以豫中部分地区最高 >70%,如图 1(b)所示。河南省多伏旱发生,威胁较大。如图 1(c)所示,秋旱发生频率的分布空间差异不显著,全省干旱发生频率在 41%~66% 之间,平均约 2 a 一遇。如图 1(d)所示,冬季是全年干旱发生频率最低的季节,呈显著的纬向分布,南少北多。其中豫北、豫中北地区及豫西部分地区干旱发生频率 >55%,其余县市均较低,尤其豫南驻马店、信阳地区大多是 5 a 一遇。

### 2.2 干旱覆盖范围

#### 2.2.1 干旱覆盖范围

春季和秋季全省有大范围干旱的年份较多,分别有 9 a(按全省 90% 以上县站发生轻旱以上等级的干旱统计),见表 2。冬季发生大范围干旱的年份最少,只有 5 a,且多集中在 20 世纪 70 年代和 90 年代后期。

与河南省农作物实际受旱面积作对比分析,结果表明,表 2 中全年 90% 以上县市发生干旱的年份中,除 1976 年外,其它年份都是干旱发生面积广、受灾重

的年份,作物实际受旱面积均在 3 000 kha 以上。气象干旱发生范围与实际受旱面积的相关分析表明,二

者呈显著正相关,相关系数为 0.357,通过了 0.05 的显著性检验,二者年际变化具有较好的一致性。

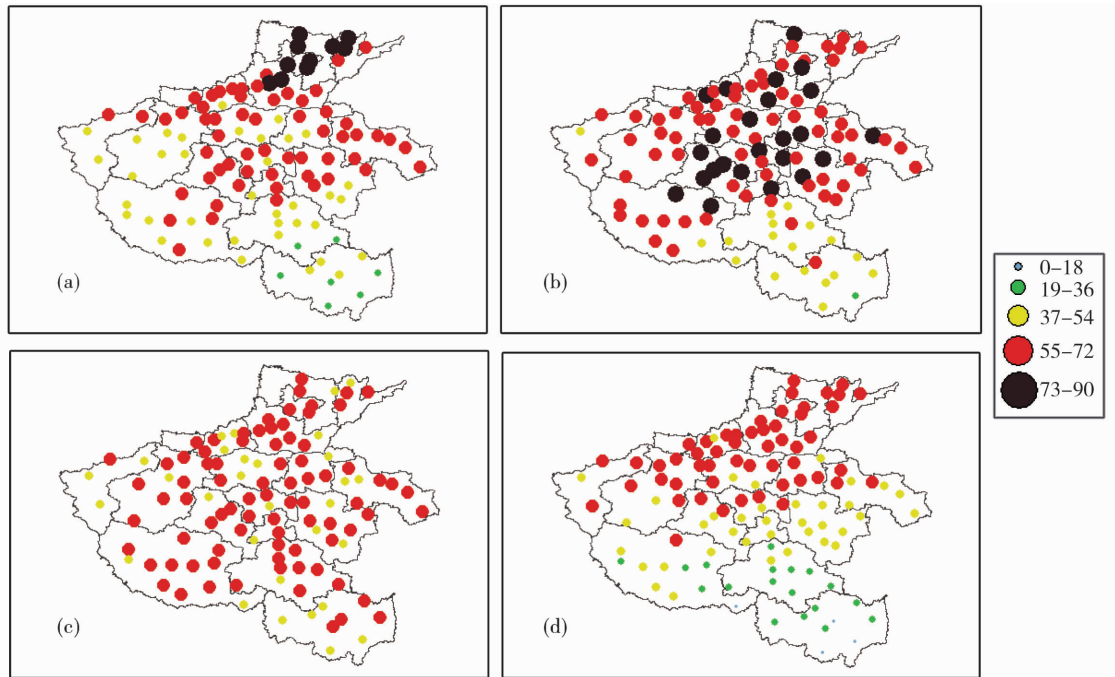


图 1 河南省春(a)、夏(b)、秋(c)、冬(d)干旱发生频率分布  
 Fig. 1 The spatial distribution of drought occurrence frequency in spring (a), summer (b), autumn (c) and winter (d) in He'nan Province

表 2 河南各季节 90% 以上县站发生干旱的年份  
 Tab. 2 The drought occurrence years statistics in different season in over 90 percent meteorological stations in He'nan Province

时段	年份
春季	1978, 1982, 1984, 1986, 1995, 1996, 2000, 2001, 2004
夏季	1976, 1978, 1981, 1986, 1997, 1999, 2001
秋季	1978, 1979, 1991, 1993, 1997, 1998, 2001, 2002, 2006
冬季	1973, 1976, 1977, 1998, 1999
全年	1976, 1978, 1986, 1995, 1997, 2001

2.2.2 干旱覆盖范围的年际变化趋势

春季:2000、2001 年是河南省春旱发生范围最广的年份,均达到 100%,即全省各地至少都有一次轻旱以上的干旱事件发生,1984、1986 年干旱范围也达到 98% 以上,如图 2(a) 所示。干旱覆盖范围的线性变化趋势为每 10 a 增加 0.9%,近 40 a 整体变化趋势不明显。

夏季如图 2(b) 所示,1976、1997、2001 年伏旱发生范围最广,达到 98% 以上;除 1989、1990 等个

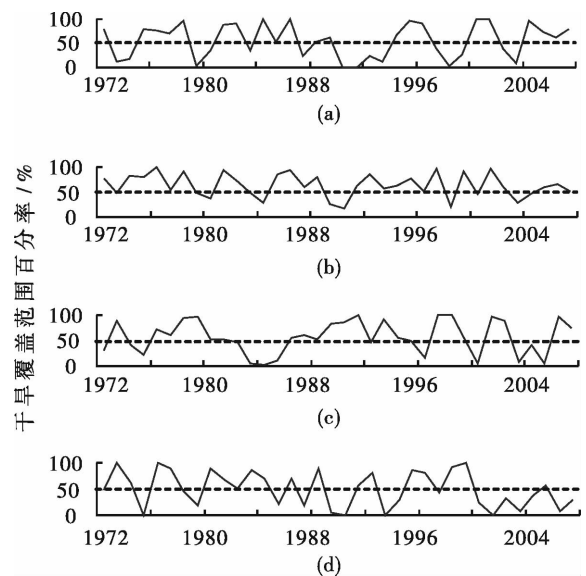


图 2 河南各季节干旱覆盖范围的年际变化  
 Fig. 2 The annual variation of drought occurrence area in different season in He'nan Province

别年份夏旱发生的范围较小外,近 40 a 中均有 50% 以上的地区有干旱发生。也说明夏季是各地干旱的

多发季节。从变化趋势来看,河南省夏旱覆盖范围呈减少的趋势,平均每 10 a 减少 4.4%。

秋季如图 2(c) 所示,1991、1997、1998 秋旱发生范围最广,达到 99% 以上,20 世纪 80 年代没有大范围的干旱发生。河南省秋旱覆盖范围呈不太显著的增加趋势,平均每 10 a 增加 1.7%。

1973、1976、1999 年冬季干旱发生范围在 99%

以上。河南省冬季干旱覆盖范围呈较快的减少趋势,如图 2(d),平均每 10 a 减少 9.8%。

### 2.3 各季节不同强度干旱空间分布特征

采用 *CI* 干旱指数和确定的干旱指标,统计了 1971~2007 年河南省各季节不同等级干旱出现天数的多年平均,如图 3 所示。春季干旱分布特征由图 3a 可见,除豫南外,全省其它大部分地区轻旱发

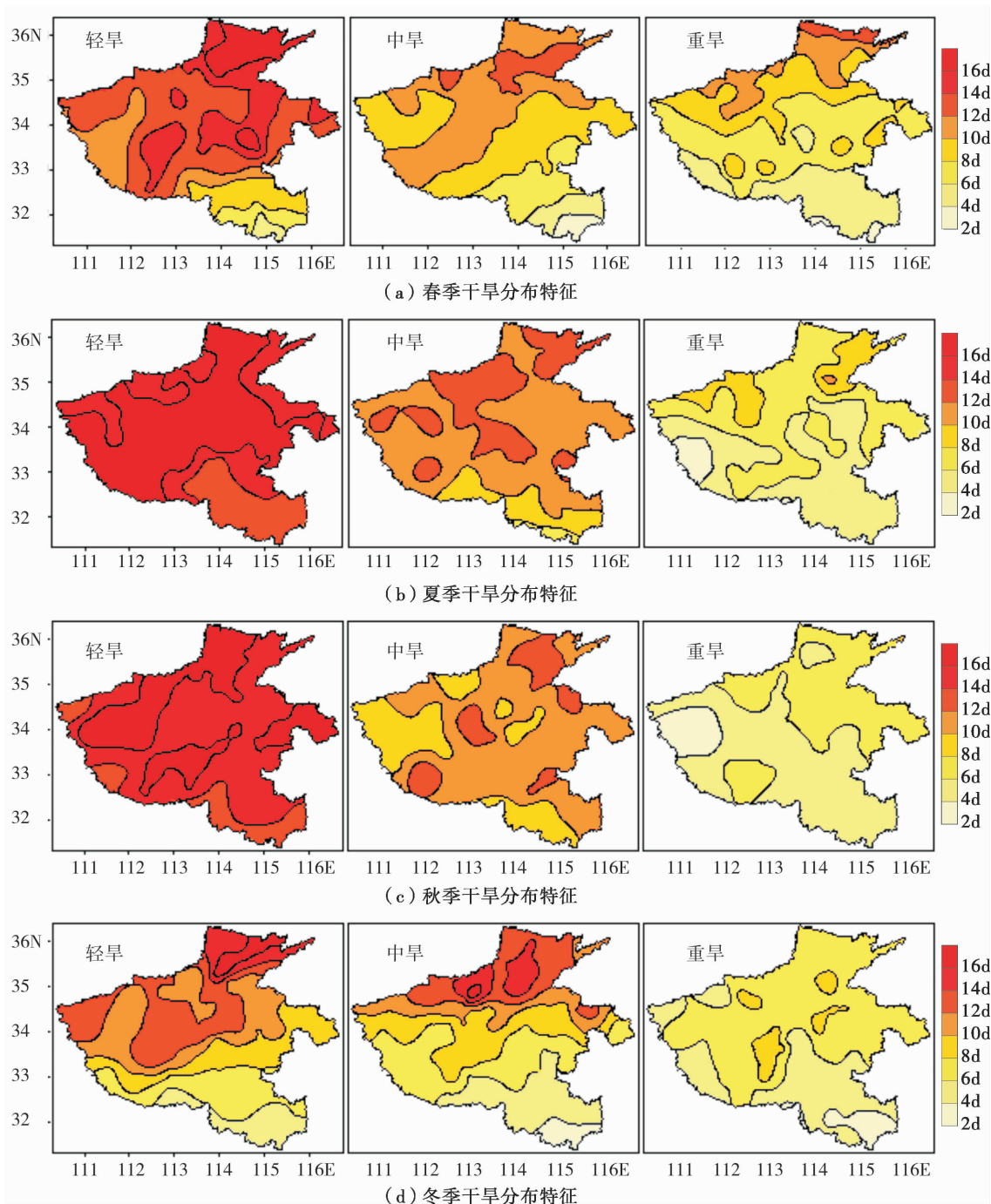


图 3 河南省各季节不同等级干旱空间分布特征

Fig. 3 The spatial distribution of different grade drought in different season in He'nan Province

生的天数在10 d以上,其中豫北、豫东南2个中心最大,多年平均>16 d;豫北、豫西北和豫西南的部分地区易发生中旱,多年平均在10~12 d,其它地区<10 d;重旱分布特征呈较明显的纬向分布,约北纬34°以北的大部分地区较易发生重旱,多年平均>8 d,豫南一般<6 d。综上分析,豫北春季各等级干旱发生天数都是较高的,而豫南各级干旱发生均较少,这和河南降水量的南多北少是紧密相关的。

夏季干旱分布情况如图3b所示,全省范围内轻旱发生天数较多,多年平均基本都在12 d以上,其中豫中、豫西南部分地区>20 d,说明夏季由于气温高、蒸发量大,全省都易发生一定程度的轻旱;夏季中旱发生天数>10 d的范围也很广,分布在除豫南和豫西南小部分地区外的全省范围内,高值中心主要分布在豫西北焦作、郑州北部地区;夏季重旱分布在豫东北有一个高值中心,多年平均发生天数>10 d,其他全省绝大部分地区<8 d,说明夏季不易发生重旱。整体上夏季是全省各地区降水最丰沛的季节,各等级干旱分布没有显著的南北差异。

秋季干旱分布情况如图3c所示,全省大部分地区轻旱发生天数在12 d以上,豫西北、豫西及豫西南部分地区为高值区,个别站点>18 d;秋季中旱天数基本在8~12 d,豫西、豫南较小;秋季重旱分布全省较为一致且基本<6 d,是重旱发生最轻的季节。

冬季干旱分布情况如图3d所示,冬季轻旱和中旱呈显著的纬向分布,干旱发生天数南少北多,和降水量的空间分布有较好的负相关性;全省大部分地区重旱天数在4~8 d,说明冬季一般也不会出现特别严重的干旱。整体上来说,在冬季豫北、豫中北会发生一定的轻旱或中旱,但全省发生大范围的严重干旱可能性不大,尤其是北纬34°以南的广大地区冬季发生干旱较少。

### 3 小结与讨论

(1)河南省干旱发生频率总体上以伏旱发生频率最高为63.6%;春旱和秋旱发生频率相近,分别为55.4%和56.9%;冬季干旱发生频率最低为48.8%。

(2)全省有大范围干旱发生的年份春季和秋季较多分别有9 a,冬季最少只有5 a。2000、2001年是春旱发生范围最广的年份,均达到100%,近40 a整体变化趋势不明显;1976、1997、2001年伏旱发生范围最广,达到98%以上,多年变化呈减少趋势,平

均每10 a减少4.4%。;1991、1997、1998秋旱发生范围最广,达到99%以上,多年变化呈不太显著的增加趋势,平均每10 a增加1.7%;1973、1976、1999冬季干旱发生范围在99%以上,多年变化呈较快的减少趋势,平均每10 a减少9.8%。

(3)空间分布上,豫北春季各等级干旱发生天数均较高,而豫南较少;伏旱和秋旱各等级干旱分布没有显著的南北差异,全省都易发生大范围轻旱,而严重干旱发生较少,尤其秋季是重旱发生最轻的季节;冬季轻旱和中旱呈显著的纬向分布,干旱发生天数南少北多,和降水量的空间分布有较好的负相关性,尤其是北纬34°以南的广大地区冬季发生干旱较少。

气象干旱综合指数的计算只需输入逐日气温和降水,是各台站地面气象观测的基本要素,很容易获得,便于该干旱指数在业务服务中应用。分析结果可以为以后研究河南干旱的影响因子及发生机理提供基本的统计资料和诊断结果,并可以为开展干旱预报、预警及制定减缓干旱影响的适应性对策提供依据。另外,由于气象干旱综合指数仅从气象角度分析干旱的发展及分布特征,并未考虑灌溉、耕作等人为因素,不能完全反映干旱对农业生产的影响。所以,文中气象干旱覆盖范围和作物实际受旱面积的对比也不可能具有完全一致变化特征,但从气象为农业生产服务的角度出发,气象干旱综合指数可作为一项重要的气象指标,辅助指导农业生产。

#### 参考文献:

- [1] 程炳岩. 河南气候概论[M]. 北京:气象出版社,1995. 1-1.
- [2] 钟兆站,李克煌,阎育华. 河南省境内淮河流域历史时期旱涝等级序列的重建[J]. 河南大学学报(自然科学版), 1994, 8(3): 67-71.
- [3] 朱业玉,程炳岩,王记芳. 河南旱涝灾害的演变特征分析[J]. 灾害学, 2006, 21(3): 93-98.
- [4] 李维京,赵振国,李想,等. 中国北方干旱的气候特征及其成因的初步研究[J]. 干旱气象, 2003, 21(4): 1-5.
- [5] 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.
- [6] 成林,刘荣花,申双和,等. 河南省冬小麦干旱规律分析[J]. 气象与环境科学, 2007, 30(4): 3-6.
- [7] 刘荣花,朱自玺,方文松,等. 华北平原冬小麦干旱灾损风险区划[J]. 生态学杂志, 2006, 25(9): 1068-1072.
- [8] 孙淑清. 近50年来华北地区旱涝特征与全球变化的研究及对未来的探讨[J]. 高原气象, 1999, 18(4): 541-551.
- [9] 李树岩,马志红,师丽魁. 基于CI指数的2008年河南省麦播后气象干旱演变分析[J]. 气象与环境科学, 2009, 32(1): 11-15.
- [10] 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.
- [11] 王劲松,郭江勇,周跃武,等. 干旱指标研究的进展与展望[J]. 干旱区地理, 2007,30(1): 61-67.
- [12] 朱自玺,刘荣花,方文松,等. 华北地区冬小麦干旱评估指标研究[J]. 自然灾害学报, 2003, 12(1): 145-150.
- [13] 朱业玉,王记芳,武鹏. 降水 Z 指数在河南旱涝监测中的应用[J]. 气象与环境科学, 2006,4: 20-22.
- [14] 王劲松,郭江勇,倾继祖. 一种 K 干旱指数在西北地区春旱分析中的应用[J]. 自然资源学报, 2007,22(5): 709-717.
- [15] 杨小利,刘庚山,杨兴国,等. 甘肃黄土高原帕尔默旱度模式的修订[J]. 干旱气象, 2005, 23(2): 8-12.
- [16] 马晓群,吴文玉,张辉. 利用累积湿润指数分析江淮地区农业旱涝时空变化[J]. 资源科学, 2008,30(3): 371-377.
- [17] 杨绚,李栋梁. 中国干旱气候分区及其降水量变化特征[J]. 干旱气象, 2008, 26(2): 17-24.
- [18] 景怀玺,李富洲,白虎志. 白银市近 48 a 地表干湿状况及变干趋势[J]. 干旱气象, 2006, 24(3): 52-56.
- [19] 姚玉璧,董安祥,王毅荣,等. 基于帕默尔干旱指数的中国春季区域干旱特征比较研究[J]. 干旱区地理, 2007, 30(1): 22-29.
- [20] 气象干旱等级中华人民共和国国家标准 GB/T 20481—2006

## Analysis on Drought Characteristic of He'nan in Recent 40 Years Based on Meteorological Drought Composite Index

LI Shuyan, LIU Ronghua, SHI Likui, MA Zhihong

( Institute of Meteorological Sciences of He'nan Province, Zhengzhou 450002, China)

**Abstract:** In this paper, the characteristics of the spatial and temporal variations of drought in He'nan province were statistically analyzed based on observed data from 1970 to 2007 of 113 stations by using the meteorological drought composite index. Firstly, the historical day-to-day CI was calculated, and on the basis of the statistics on drought events in each station and each stage in recent 40 years in He'nan, the occurrence frequency and coverage area of drought in each station were calculated, then the annual variation of coverage area and spatial distribution of different classification of drought were analyzed. The results show that drought occurred in the highest frequency (63.6%) in summer and the lowest (48.8%) in winter, and in spring and autumn the frequency were 55.4% and 56.9%, respectively; The large area drought in whole province occurred mostly in spring and autumn but least in winter during the period of 1970 to 2007; In summer and autumn the large area light drought occurred easily in the whole province but the heavy drought occurred little; In winter the light and middle drought occurrence presented obvious latitude distribution with little in south and more in north, which had negative correlation with precipitation distribution.

**Key words:** meteorological drought composite index; characteristics of drought; He'nan