谢五三，田红，王胜，等. 2013. 基于 CI 指数的淮河流域干旱时空特征研究. 气象，39(9)：1171-1175.

基于 CI 指数的淮河流域干旱时空特征研究*

谢五三 田 红 王 胜 唐为安
安徽省气候中心，合肥 230031

提 要： 本文运用淮河流域 170 个气象台站 1961—2010 年共 50 年逐日气温、降水资料以及历史干旱灾情资料，研究 CI 指数在淮河流域的区域适应性，并以此为基础运用多种统计方法分析淮河流域近 50 年的干旱时空特征。结果表明：基于 CI 指数计算得到的历年干旱日数与受灾面积和成灾面积的相关性通过了 0.01 的显著性水平检验，表明 CI 指数在淮河流域具有较好的区域适应性。淮河流域年均干旱日数基本呈纬向空间分布，流域北部多于南部；流域东部和西部的干旱日数略有增多趋势，而中部和北部的干旱日数有减少趋势，但均未通过 0.05 的显著性水平检验；EOF 前 3 个模态累积方差贡献达 94.4%，前 3 个分布型依次为全流域干旱日数一致多或少型、南北相反型以及东西相反型；1961 年以来干旱日数共经历了由少到多 4 个循环交替，目前正处于相对偏少期；M-K 突变检验表明近 50 年来淮河流域干旱日数没有明显的突变。

关键词： CI 指数，干旱特征，适应性，淮河流域
中图分类号： P467 **文献标志码：** A **doi：** 10.7519/j.issn.1000-0526.2013.09.012

Study on Spatial-Temporal Characteristics of Drought in Huaihe River Basin Based on CI Index

XIE Wusan TIAN Hong WANG Sheng TANG Weian
Anhui Climate Centre, Hefei 230031

Abstract: By using daily precipitation and temperature data in 170 meteorological stations and historical drought disaster information in the Huaihe River Basin from 1961 to 2010, this paper studies the adaptability of the CI index, and then analyzes the spatial-temporal characteristics of drought in the recent 50 years with a variety of statistical methods. The results show that the correlation coefficient between drought days calculated by CI index and drought disasters has past the 0.01 significance level test, indicating that the CI index has good regional adaptability in the Huaihe River Basin. The spatial distribution of the average drought days which descends from north to south is latitudinal. The trend of drought days ascends in the east and west, and descends in the central and north of the basin, but they all have not passed the 0.05 significance level test. The cumulative percent variance of the EOF first three modes reaches 94.4%, the first distribution pattern is consistent within the whole basin, the second is contrary between south and north, and the third is contrary between east and west. The drought days have experienced four circulations since 1961, and now are in the period less than normal. The Mann-Kendall mutation test shows that there is no obvious mutation point of drought days in the Huaihe River Basin in the recent 50 years.

Key words: CI index, drought characteristics, adaptability, Huaihe River Basin

* 干旱气象科学研究基金项目(IAM201107)和淮河流域气象开放研究基金项目(HRM201101)共同资助
2012 年 6 月 27 日收稿； 2013 年 1 月 6 日收修定稿
第一作者：谢五三，主要从事极端天气气候事件监测及气候影响评估工作. Email：xiewusan_2008@sina.com

引 言

在气候变暖背景下，干旱是我国主要的自然灾害之一，其特点是发生频率高、影响范围大、持续时间长（叶笃正等，1996；邹旭恺等，2008；王晓敏等，2012），如 2008 年底至 2009 年初，30 年未遇的秋冬连旱袭击我国北方冬麦区，造成严重的经济损失。近年来，国内外不少专家和学者致力于干旱指标、区域干旱气候特征、干旱监测诊断及预警技术的研究（侯威等，2012；杨小利，2007；赵一磊等，2013），张存杰等（1998）根据旱涝实际分布概率对 Z 指数界限值进行了修正并以此研究出我国西北地区的旱涝变化；鞠笑生等（1998）利用干旱指数研究我国华北地区和长江流域的旱涝特征；吴洪宝（2000）利用 NCEP/NCAR 资料以及我国 160 站近 50 年气温和降水资料研究指出中国东南部夏季干旱指数的变率可分为 4 个型并阐述了各干旱型与夏季风之间的关系；白永清等（2010）运用标准化降水指数（SPI）研究出我国南方干旱的强度及周期等特征；李永华等（2006）在 Z 指数的基础上定义一种区域旱涝指标并研究出重庆旱涝气候变化特征；刘惠敏等（2010）利用 MODIS 资料开展安徽省晴空遥感干旱监测研究。国家气候中心于 2006 年制定发布了《气象干旱等级》国家标准（张强等，2006），给出了综合气象干旱指数（CI 指数）的计算公式及各干旱等级标准，目前针对 CI 指数在我国的干旱监测区域适应性的研究还相对较少。淮河流域地处我国南北气候过渡带，气候条件复杂，水旱灾害频繁（吴永祥等，2011），因此基于 CI 指数研究淮河流域的干旱时空分布特征是很有意义的。

1 资料与方法

本文选用淮河流域 170 个气象台站 1961—2010 年共 50 年逐日气温和降水资料，气象站点分布见图 1，由图可见，流域四省（河南、安徽、山东和江苏）内的气象站点分布均匀，资料具有代表性，满足研究需要。

干旱指标采用《气象干旱等级》国家标准（张强等，2006）中给出的综合气象干旱指数（CI 指数），它是利用近 30 天（相当月尺度）和近 90 天（相当季尺度）标准化降水指数，以及近 30 天相对湿润度指数

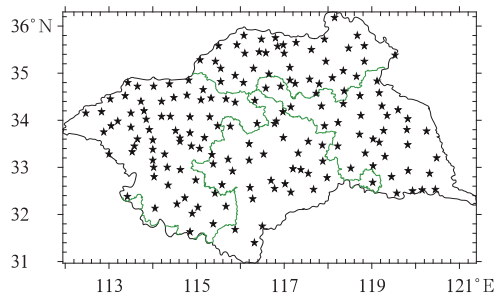

图 1 淮河流域气象台站分布图

Fig. 1 Distribution of meteorological stations in Huaihe River Basin

综合而得，该指数既反映短时间尺度（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，CI 的计算见下式：

$$CI = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30}$$

式中：Z_{30}、Z_{90} 分别为近 30 天和近 90 天标准化降水指数 SPI 值；M_{30} 为近 30 天相对湿润度指数。基于 CI 指数计算淮河流域 170 个国家气象站近 50 年的逐日气象干旱值并建立时间序列，利用淮河流域历史典型大旱年灾情资料以及历年旱灾受灾面积和成灾面积对比分析 CI 指数在淮河流域的适用性，再运用趋势分析、EOF 分析、小波分析及 Mann-Kendall（M-K）检验（魏凤英，2007）等多种统计方法研究淮河流域近 50 年的干旱时空特征。

2 CI 指数的适应性分析

利用淮河流域 170 个国家气象站逐日气温和降水资料及 CI 指数计算公式，计算淮河流域各站 1961—2010 年逐日 CI 指数值，根据气象干旱等级国标规定，当 CI 指数连续 10 天为轻旱以上等级，则确定为发生一次干旱过程（张强等，2006），干旱过程开始到结束期间的时间为干旱持续天数，提取淮河流域各站近 50 年的所有干旱过程，进而计算得到淮河流域 1961—2010 年逐年干旱日数演变图（图 2）。由图可见，淮河流域典型旱年有 1966、1968、1976、1978、1981、1986、1988、1995、1997、1999 和 2001 年等，查阅中国气象灾害大典河南卷（温克刚等，2007b）、安徽卷（温克刚等，2007d）、山东卷（温克刚等，2007c）和江苏卷（温克刚等，2007a）有关淮河流域历史干旱灾情记录可知，这与淮河流域历史典型旱年非常吻合，表明 CI 指数能较好地诊断出淮河流域典型旱年。

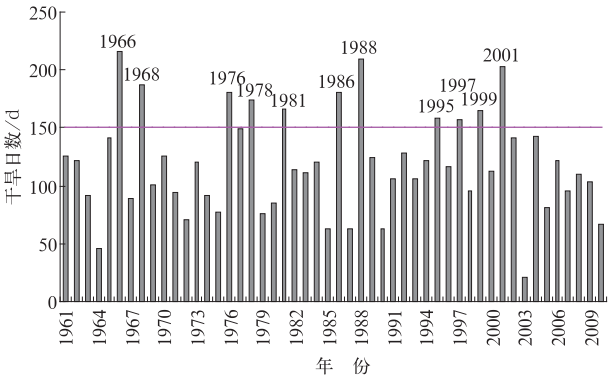

图 2　淮河流域近 50 年干旱日数历年演变

Fig. 2　Evolution of drought days in Huaihe River Basin in the recent 50 years

为了更好地了解 CI 指数在淮河流域的适应性，从安徽水旱灾害（安徽省水利厅，1998）中收集到安徽省淮河流域 1961—1994 年共 34 年的历年干旱受灾面积和成灾面积。为使资料相互匹配，从淮河流域 170 站中相应提取出安徽省境内的所有气象台站，统计 1961—1994 年历年干旱日数，并与干旱受灾面积和成灾面积对比见图 3。由图可见，干旱受灾面积和成灾面积较重的年份与干旱日数较多的年份较为吻合，计算其相关系数可知，干旱日数与受灾面积和成灾面积的相关系数分别为 0.48 和 0.54，通过了 0.01 的显著性水平检验，表明 CI 指数在淮河流域干旱监测中有较好的适应性。

3　干旱的时空特征分析

3.1　空间分布

根据干旱过程的定义，提取淮河流域各站 1961 年以来所有的干旱过程，进而计算得到各站近 50 年年均干旱日数空间分布（图 4）。由图可见，淮河流域年均干旱日数基本呈纬向空间分布，流域北部多于南部，南北相差 2 倍多，其中北部年均干旱日数 140～155 d，南部 65～100 d，其他地区 100～140 d。

3.2　趋势分析

对淮河流域 170 站各站 50 年干旱日数进行线性趋势分析，得到淮河流域 1961—2010 年干旱的气候变化趋势（图 5）。由图 5 可见（虚线表示减少趋势，实线表示增多趋势），流域东部和西部的干旱日数略有增多趋势[1～6 d·(10 a)$^{-1}$]，流域中部和北部的干旱日数有减少趋势[1～12 d·(10 a)$^{-1}$]；趋势系数（阴影部分）表明，流域所有台站气候变化趋势均未通过 0.05 的显著性水平检验，表明淮河流域各地的干旱日数增多或减少趋势不显著。

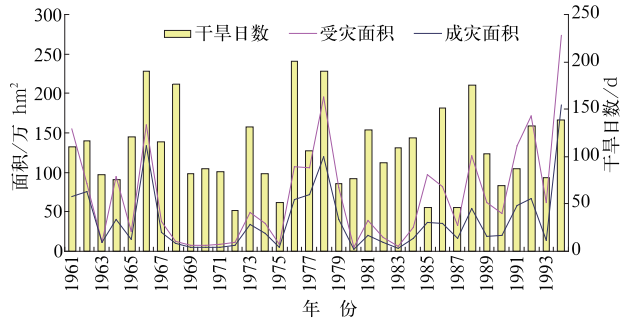

图 3　安徽省淮河流域 1961—1994 年历年干旱日数与干旱灾情对比

Fig. 3　Comparison of drought days and drought disasters in Huaihe River Basin in Anhui Province from 1961 to 1994

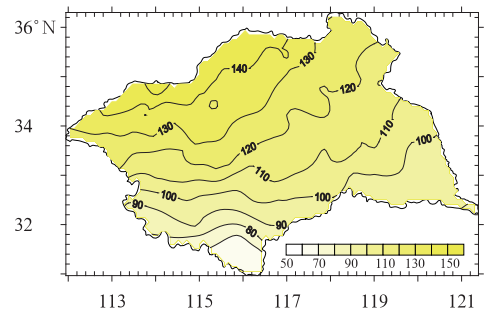

图 4　淮河流域近 50 年年均干旱日数空间分布（单位：d）

Fig. 4　Spatial distribution of annual average drought days in Huaihe River Basin in the recent 50 years (unit: d)

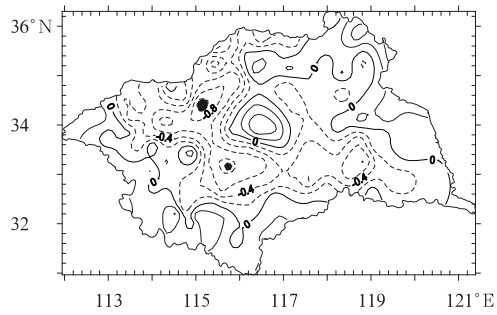

图 5　淮河流域干旱日数线性倾向（单位：d·a^{-1}）及趋势系数

Fig. 5　Linear trend (unit: d·a^{-1}) and trend coefficient of drought days in Huaihe River Basin

3.3 EOF 分析

为了解淮河流域干旱的空间分型，对淮河流域170 个气象台站 1961—2010 年共 50 年的干旱日数作EOF 分析，EOF 展开前 3 个模态方差贡献见表 1。

表 1 EOF 前 3 个模态的方差贡献(单位：%)

Table 1 Variance contribution of the EOF first three modes (unit: %)

	第一模态	第二模态	第三模态
方差贡献	91.5	1.9	1.0
累积方差贡献	91.5	93.4	94.4

前 3 个模态的空间分布及时间系数见图 6，由第一模态(图 6a_1)可知，全流域一致为正，表明淮河流域干旱日数分布一致多或少，其空间分布基本呈纬向，数值上北部大于南部；第二模态(图 6b_1)零线横向从中间将淮河流域分为南北两部分，北部为负，南部为正，数值相当，表明淮河流域南部和北部干旱日数呈相反的分布型式，北多(少)南少(多)；第三模态(图 6c_1)零线纵向从中间将淮河流域分为东西两部分，东部为负，西部为正，数值相当，表明淮河流域干旱日数还有东多(少)西少(多)的分布型。

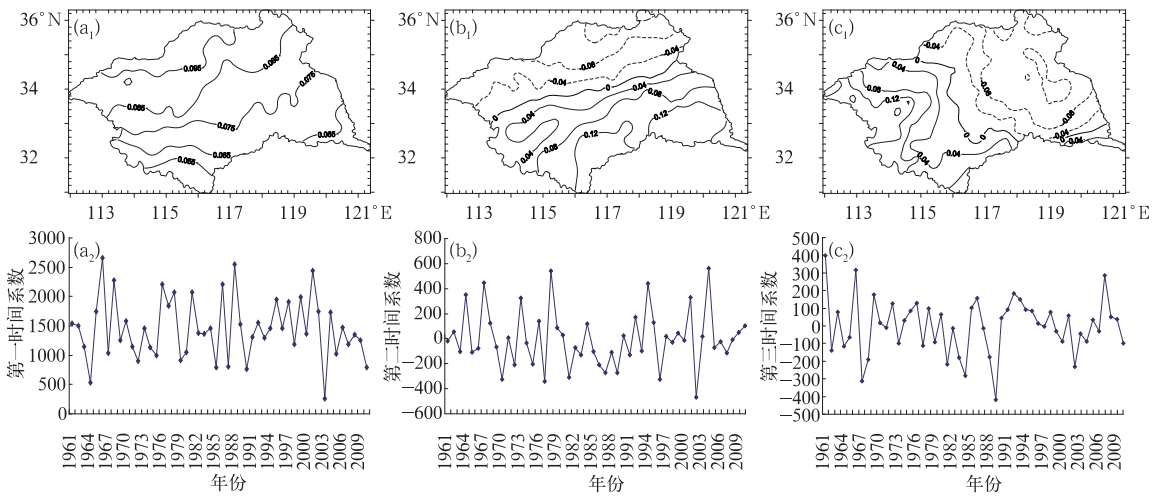

图 6 淮河流域干旱日数 EOF 前 3 个模态的空间分布(a_1，b_1，c_1)及时间系数(a_2，b_2，c_2)

Fig. 6 Spatial distributions (a_1, b_1, c_1) and time coefficients (a_2, b_2, c_2) of the EOF first three modes of drought days in Huaihe River Basin

3.4 小波分析

小波变换方法是一种时频分析方法，既可以了解时间序列不同时间的频率特征，又可以了解不同频率的时间分布特征。图 7 为淮河流域干旱日数的小波变换图(虚线为负值，实线为正值，阴影部分为通过 0.05 的显著性水平检验的区域，粗虚线为边缘效应线)，由图可见，6～8 a 的周期较为明显；此外，在 20 世纪 90 年代之前，10～12 a 也是一个较为明显的周期；在 10～12 a 的时间尺度上，1961 年以来淮河流域干旱日数经历了由少到多共 4 个循环交替，1965—1969、1976—1978、1986—1989 和 1994—2002 年为干旱期，由图中的 0 线可推知，目前淮河流域干旱日数处于相对偏少期。

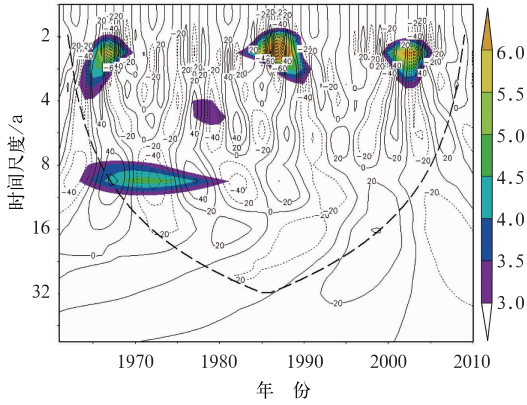

图 7 淮河流域干旱日数小波变换

Fig. 7 Wavelet transform of drought days in Huaihe River basin

3.5 突变检验

Mann-Kendall(M-K)检验是一种非参数统计检验方法，当 UF(正序列)值大于 0 表明序列呈上升趋势，小于 0 则表明呈下降趋势，当它们超过0.05显著性水平检验的临界线时(±1.96 线)，则上升或下降趋势显著。对淮河流域 1961—2010 年干旱日

数做 M-K 突变检验，结果表明（图 8）：UF 线于 20 世纪 90 年代之前在 0 线上下波动，没有明显的增多或减少趋势，90 年代之后略有增多趋势，但未通过 0.05 的显著性水平检验；由 UF、UB（逆序列）及 ±1.96 显著线可知，1961 年以来淮河流域干旱日数没有明显的突变。

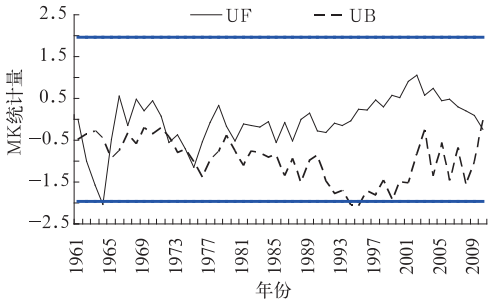

图 8　淮河流域干旱日数 M-K 突变检验

Fig. 8　Mann-Kendall mutation test of drought days in Huaihe River Basin

4　结论与讨论

（1）本文基于 CI 指数及淮河流域 170 个国家气象站逐日气温和降水资料，计算得到淮河流域历年干旱日数演变，利用流域 4 省的灾害大典有关流域历史干旱灾情记录以及安徽省淮河流域共 34 年的干旱受灾面积和成灾面积检验表明，CI 指数在淮河流域干旱监测中有较好的区域适应性。

（2）淮河流域年均干旱日数基本呈纬向空间分布，流域北部多于南部，其中北部年均干旱日数 140～155 d，而南部仅为 65～100 d，南北相差 2 倍多。干旱日数的线性趋势表明：流域东部和西部的干旱日数略有增多趋势，而中部和北部的干旱日数有减少趋势，但均未通过 0.05 的显著性水平检验。

（3）EOF 前 3 个模态累积方差贡献达 94.4%，前 3 个分布型依次为全流域干旱日数一致多或少型、南北相反型以及东西相反型。干旱日数 6～8 a 的周期较为明显，此外，在 20 世纪 90 年代之前，10～12 a 也是一个较为明显的周期；1961 年以来干旱日数共经历了由少到多 4 个循环交替，目前处于相对偏少期。M-K 突变检验表明近 50 年来淮河流域干旱日数没有明显的突变点，在 20 世纪 90 年代之后存在不显著的增多趋势。

干旱是一个非常复杂的科学问题，它与大气环流、下垫面、农作物、土壤以及人工措施等多方面因素有关。淮河流域气候条件、地形地貌、土壤类型以及农作物等状况复杂，旱灾频繁，要更深入地了解流域的干旱灾害，需要结合流域下垫面状况、季节因素、农作物生育期及防汛抗旱设施等因素，这有待于更进一步的研究。

参考文献

安徽省水利厅. 1998. 安徽水旱灾害. 北京：中国水利水电出版社，182-184.

白永清，智协飞，祁海霞，等. 2010. 基于多尺度 SPI 的中国南方大旱监测. 气象科学，30(3)：292-300.

侯威，张存杰，高歌. 2012. 基于气候系统内在层次性的气象干旱指数研究. 气象，38(6)：701-711.

鞠笑生，邹旭恺，张强. 1998. 气候旱涝指标方法及其分析. 自然灾害学报，7(3)：51-57.

李永华，毛文书，高阳华，等. 2006. 重庆区域旱涝指标及其变化特征分析. 气象科学，26(6)：638-644.

刘惠敏，马小群，孙秀帮. 2010. 安徽省 MODIS 干旱监测技术研究. 气象，36(4)：111-115.

王晓敏，周顺武，周兵. 2012. 2009/2010 年西南地区秋冬春持续干旱的成因分析. 气象，38(11)：1399-1407.

魏凤英. 2007. 现代气候统计诊断与预测技术. 北京：气象出版社.

温克刚，卞光辉. 2007a. 中国气象灾害大典江苏卷. 北京：气象出版社，124-159.

温克刚，庞天荷. 2007b. 中国气象灾害大典河南卷. 北京：气象出版社，7-82.

温克刚，王建国，孙典卿. 2007c. 中国气象灾害大典山东卷. 北京：气象出版社，9-119.

温克刚，翟武全. 2007d. 中国气象灾害大典安徽卷. 北京：气象出版社，10-73.

吴洪宝. 2000. 我国东南部夏季干旱指数研究. 应用气象学报，11(2)：137-144.

吴永祥，姚惠明，王高旭，等. 2011. 淮河流域极端旱涝特征分析. 水利水运工程学报，4：149-153.

杨小利. 2007. 西北地区气象干旱监测指数的研究和应用. 气象，33(8)：90-96.

叶笃正，黄荣辉. 1996. 长江黄河流域旱涝规律和成因研究. 济南：山东科学技术出版社，387.

赵一磊，任福民，李栋梁，等. 2013. 基于有效降水干旱指数的改进研究. 气象，39(5)：600-607.

张存杰，王宝灵，刘德祥，等. 1998. 西北地区旱涝指标的研究. 高原气象，17(4)：381-389.

张强，邹旭恺，肖风劲，等. 2006. 气象干旱等级. GB/T20481-2006，中华人民共和国国家标准. 北京：中国标准出版社，1-17.

邹旭恺，张强. 2008. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究. 应用气象学报，19(6)：679-687.