

谢五三,田红,王胜. 改进的 CI 指数在安徽省应用研究[J]. 气象,2011,37(11):1402-1408.

# 改进的 CI 指数在安徽省应用研究<sup>\*</sup>

谢五三 田 红 王 胜

安徽省气候中心,合肥 230031

**提 要:** 运用安徽省 77 个气象台站 1961—2009 年的逐日气温和降水资料以及安徽省所有测墒站建站至 2009 年的土壤墒情资料,研究分析改进的 CI 指数在安徽省的应用情况。结果表明:在统计特征、与土壤墒情的相关性以及干旱的空间分布等方面,改进的 CI 指数 NCC2CI 保持了原来的 CI 指数 OldCI 的优点;但在干旱过程的逐日演变诊断方面,NCC2CI 指数较 OldCI 指数有了诸多改进。对于安徽省干旱监测业务来说,NCC2CI 明显优于 OldCI。

**关键词:** CI 指数,气象干旱,对比分析,墒情

## Study on the Application of the Improved CI Index in Anhui Province

XIE Wusan TIAN Hong WANG Sheng

Anhui Climate Centre, Hefei 230031

**Abstract:** By using not only the daily precipitation and temperature data at 77 stations of Anhui Province during 1961—2009, but also the soil moisture data in all stations from the start of the record to 2009, this paper analyzes the application of the improved CI index in Anhui Province. The results show that in the aspects of statistic characteristics, its correlation to soil moisture, the spatial distribution of drought and so on, the improved CI (NCC2CI) index inherits the advantages of the OldCI index, but in the aspect of diagnosis of the daily evolution of the drought process, the NCC2CI index has much improvements compared with the OldCI index. As to the drought monitoring in Anhui Province, the NCC2CI index is superior over the OldCI index obviously.

**Key words:** CI index, meteorological drought, comparative analysis, soil moisture data

### 引 言

在气候变暖背景下,干旱是我国主要的自然灾害之一,特点是发生频率高、影响范围大、持续时间长<sup>[1]</sup>,如 2008 年 11 月至 2009 年 1 月,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、干旱监测诊断及预警技术的研究<sup>[2-7]</sup>,并取得了突破性进展,为干旱监测与评估业务奠定了基础。安徽省为农业大省,地处中纬度地带,属暖温带向亚热带的过渡型气候,天气复杂多变,灾害频繁,干旱

是最常见的主要气象灾害之一,每年都会造成较大经济损失,2009 年全省因干旱造成的经济损失超过 25 亿元,因此对于干旱指标在安徽省的应用情况做研究显得尤为重要。国家气候中心于 2006 年制定发布了《气象干旱等级》国家标准<sup>[8]</sup>,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的阈值,2010 年 8 月,就 CI 指数在气象干旱实时监测中存在的问题,国家气候中心提出了降水量按线性递减权重方法计算 CI 指数的气象干旱监测指标改进方案,给出了改进的 CI 指数。本文主要研究 OldCI 及 NCC2CI 两种干旱监测指标在安徽省的应用情况。

<sup>\*</sup> 安徽省气象局业务建设类项目《安徽省干旱灾害风险区划研究》及《安徽省极端天气气候事件指标体系研究及业务化应用》共同资助  
2010 年 10 月 30 日收稿; 2011 年 2 月 18 日收修定稿  
第一作者: 谢五三,主要从事极端气候事件监测及影响评估工作. Email: xiewusan\_2008@sina.com

1 资料与方法

《气象干旱等级》国家标准(GB/T 20481—2006)<sup>[8]</sup>中给定的综合气象干旱指数 CI,它是利用近 30 天(相当月尺度)和近 90 天(相当季尺度)降水量标准化降水指数,以及近 30 天相对湿润指数进行综合而得,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 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,标准化降水指数(SPI)及相对湿润度指数(MI)详细计算公式见《气象干旱等级》国家标准<sup>[8]</sup>。为了克服 CI 指数在气象干旱实时监测中存在的问题,国家气候中心提出了降水量按线性递减权重方法计算 CI 指数,即在计算过去 30 和 90 天 SPI 及 30 天 MI 时,总降水量的计算不是过去 30 天或 90 天逐日降水量等权重

的累加,而是采用线性递减的方法给逐日降水量赋予不同的权重,越靠近目前的降水量对当前干旱缓和作用越大,赋予的权重也越大,而随着时间的往前推移,过去的降水对当前的干旱缓和作用逐渐减小,即改进的 CI 指数 NCC2CI。本研究是针对国家标准中给定的综合气象干旱指数(OldCI)及改进的 CI 指数(NCC2CI)在安徽省干旱监测业务中作对比分析(表 1),比较两种指标的优劣及异同点。气象资料为安徽省 77 个气象台站 1961—2009 年共 49 年的逐日气温和降水资料,土壤墒情资料为安徽省所有测墒站建站至 2009 年的墒情资料。

各站历年干旱日数及各月干旱日数是通过计算其干旱过程而得到的,干旱过程是指:当干旱指标连续 10 天为轻旱以上等级,则确定为发生一次干旱过程,干旱过程的开始日为第 1 天干旱指标达轻旱以上等级的日期,在干旱发生期,当干旱指标连续 10 天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 次干旱指标达无旱等级的日期。

表 1 OldCI 与 NCC2CI 计算公式  
Table 1 The calculation formula of the OldCI and NCC2CI

指标	计算公式	说明
OldCI	$a \times \text{SPI}_{30\_old} + b \times \text{SPI}_{90\_old} + c \times \text{MI}_{30\_old}$	国家气候中心原来计算方案, $a$ 、 $b$ 和 $c$ 分别为 0.4、0.4 和 0.8
NCC2CI	$a \times \text{SPI}_{30\_new} + b \times \text{SPI}_{90\_new} + c \times \text{MI}_{30\_new}$	改进方案,SPI 和 MI 均按线性递减非等权重方法计算, $a$ 、 $b$ 和 $c$ 分别为 0.4、0.4 和 0.8

2 对比分析

2.1 统计特征比较

在安徽省四片中(淮北、江淮之间、沿江、江南)各选一个代表站,统计 OldCI 与 NCC2CI 频率分布(图 1),由图可见,四个代表站的 OldCI 与 NCC2CI 频率分布非常一致,即改进后的 CI 指标的频率分布与 OldCI 保持了很好的一致性,总体上没有改变干旱的频率分布特征。

图 2 为安徽省 77 个气象台站 1961—2009 年共 49 年的 OldCI 与 NCC2CI 历年总干旱日数演变图,由图可见,OldCI 与 NCC2CI 的历年总干旱日数也保持了很好的一致性,干旱日数较多的年份分别是 1966、1968、1976、1978、1988、1994、1997、2001 和 2004 年等,查阅中国气象灾害大典(安徽卷)<sup>[9]</sup>可

知,这与安徽省历史典型大旱年记录非常吻合,表明 OldCI 与 NCC2CI 均能很好地诊断出安徽省历史典型大旱年。此外,由 NCC2CI 与 OldCI 的差值可知,基本上所有的值均为正,表明 NCC2CI 计算出的干旱日数总体上比 OldCI 计算出的干旱日数要多。

图 3 为安徽省 77 个气象台站 1961—2009 年共 49 年的 OldCI 与 NCC2CI 历年各月平均干旱日数演变图,由图可见,OldCI 与 NCC2CI 的历年各月平均干旱日数也保持了很好的一致性,均表明安徽省秋旱最多,夏旱次之,冬春旱相对较少,这与中国气象灾害大典(安徽卷)<sup>[9]</sup>关于安徽省各个季节的干旱描述是一致的,表明 OldCI 与 NCC2CI 对各个季节的干旱诊断与实际是非常吻合的。此外由图 3 也可以看出,NCC2CI 计算出的干旱日数总体上比 OldCI 计算出的干旱日数要多。

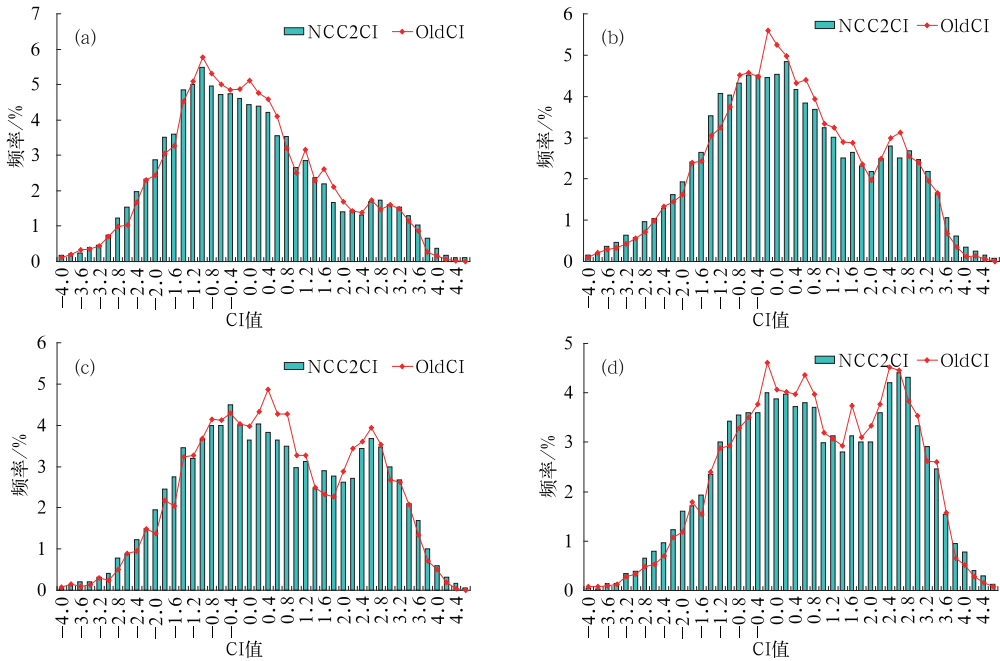


图 1 OldCI 与 NCC2CI 频率分布变化比较

(a) 砀山, (b) 合肥, (c) 安庆, (d) 屯溪

Fig. 1 The comparison of frequency distributions between OldCI and NCC2CI indices at Dangshan (a), Hefei (b), Anqing (c) and Tunxi (d)

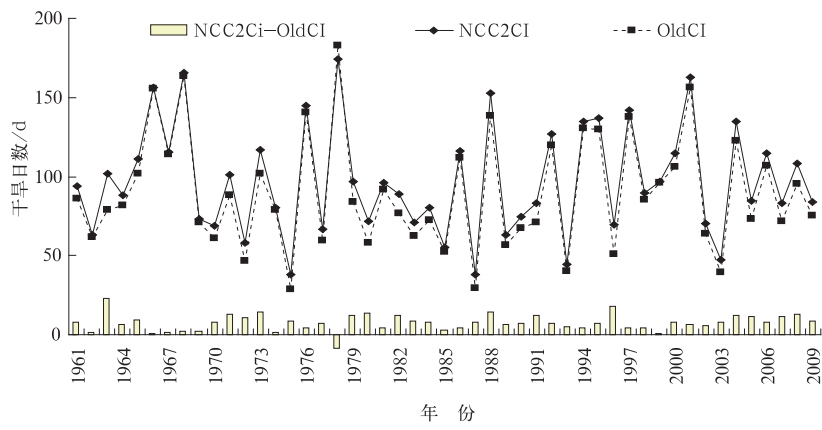


图 2 OldCI 与 NCC2CI 历年总干旱日数演变

Fig. 2 The variation in yearly drought days of the OldCI and NCC2CI indices

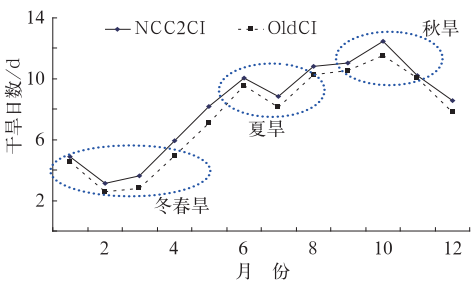


图 3 OldCI 与 NCC2CI 历年各月平均干旱日数演变  
Fig. 3 The monthly variation in average drought days of the OldCI and NCC2CI indices

2.2 典型干旱过程典型站对比分析

根据中国气象灾害大典(安徽卷)<sup>[9]</sup>选取安徽省 1961 年以来的典型干旱年的典型干旱过程,共挑出 8 个典型干旱过程并选取典型代表站(表 2),典型代表站的选取考虑了地域分布,沿淮淮北、江淮之间及沿江江南均有代表站。

由安徽省的 8 个典型干旱过程(图 4)不难看出:  
(1)对于干旱指标对降水的反应敏感性来说,NCC2CI 反应更为敏感,当出现明显降水后,NCC2CI 曲线陡

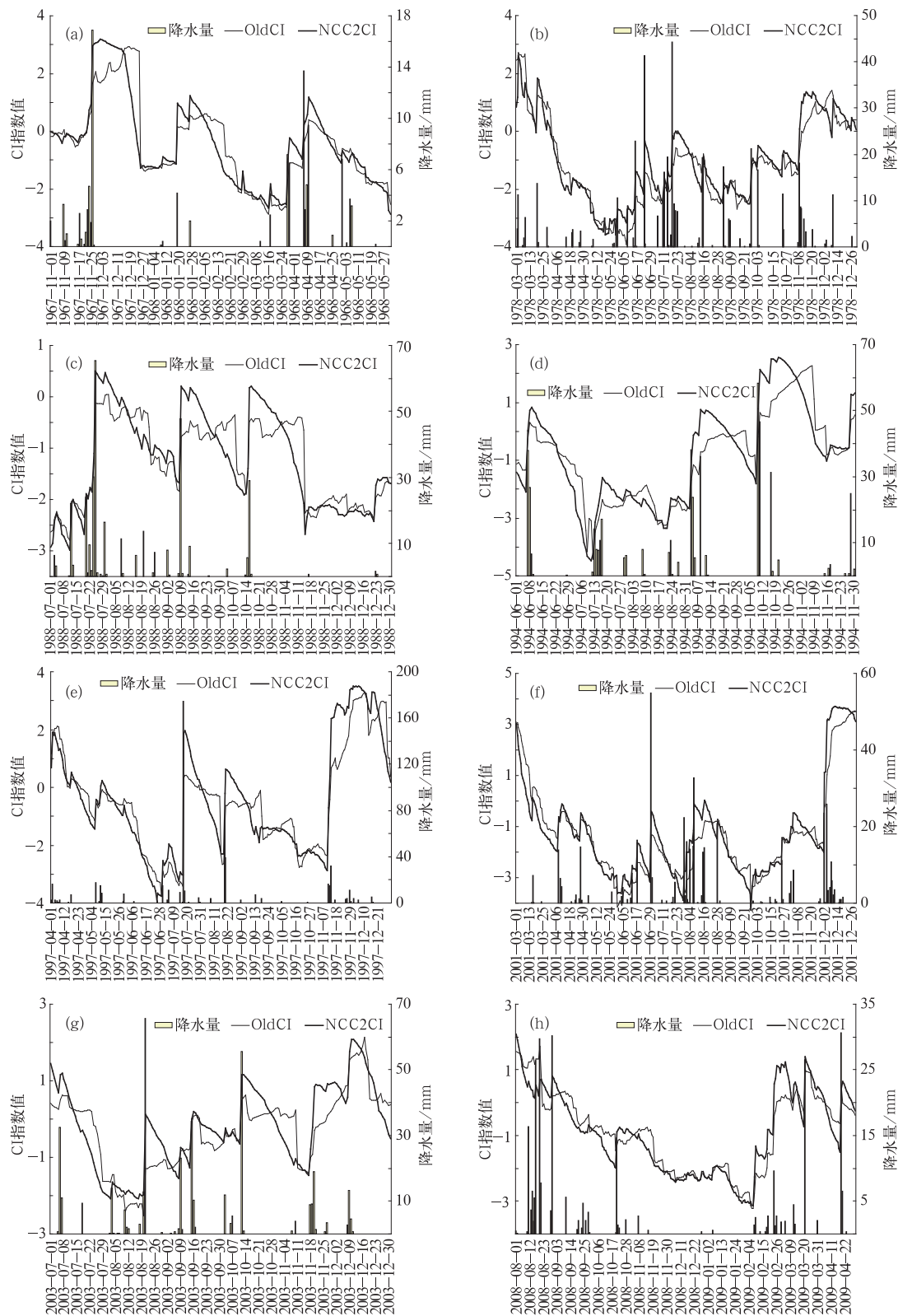


图 4 典型干旱过程典型站对比分析

(a)~(h)依次为:1968年砀山、1978年定远、1988年蒙城、1994年寿县、1997年萧县、2001年凤阳、2003年黟县、2008年底至2009年初亳州

Fig. 4 The comparison of typical drought processes at representative meteorological stations

(a)~(h) in sequence of Dangshan in 1968, Dingyuan in 1978, Mengcheng in 1988, Shouxian in 1994, Xiaoxian in 1997, Fengyang in 2001, Yixian in 2003, Bozhou from the end of 2008 to the beginning of 2009

表 2 典型干旱过程及典型代表站

Table 2 Typical drought processes and its representative meteorological stations

年份	旱灾受灾时段	典型代表站	年份	旱灾受灾时段	典型代表站
1968 年	1—5 月	砀山	1997 年	9 月中旬至 11 月上旬	萧县
1978 年	3 月中旬至 12 月	定远	2001 年	3—7 月	凤阳
1988 年	7—8 月、9 月下旬至 12 月下旬	蒙城	2003 年	7—8 月	黟县
1994 年	6 月中旬至 8 月中旬	寿县	2008 年底至 2009 年初	2008 年 11 月至 2009 年 2 月上旬	亳州

峭,反应敏感,而 OldCI 曲线相对平缓,反应相对迟钝。(2)在无明显降水的情况下,OldCI 常常会出现一些波动,甚至会出现干旱减轻的不合理现象(如蒙城县 1988 年 11 月 20 日至 12 月 10 日、寿县 1994 年 10 月 25 日至 11 月 10 日、萧县 1997 年 10 月 20 日至 11 月 5 日等均无降水出现,但干旱有所缓和),而 NCC2CI 基本都表现出干旱逐渐发展的特点。(3)在干旱演变过程中,OldCI 由于大的降水过程移出 30 天或 90 天的监测时段时,常出现干旱突然发生或发展的剧烈变化,这与干旱的发生机制是不相吻合的,而改进后的 NCC2CI 演变相对平缓,基本反映出干旱逐渐发生发展的过程。总体来说,对于典型干旱过程的监测,NCC2CI 比 OldCI 更能反映

干旱发生发展的机制。

### 2.3 不合理跳跃次数比较

根据气象干旱的发生发展机制,认为气象干旱的解除是可以跳跃性的,但发展应当是渐进性的,即气象干旱可以快速解除,但发生发展是一个缓慢渐进的过程。当出现轻度以上干旱(即当天 CI 指数 $<-0.6$ ),且相邻两天干旱等级增加 1 级以上(即当天与前一天的 CI 指数之差 $\leq-0.6$ ),则认为是一次不合理的跳跃。在安徽省沿淮淮北、江淮之间、沿江及江南各选 2 个代表站(共 8 个站),计算 1961—2009 年逐日的 OldCI 及 NCC2CI 值,并统计各站历年总的不合理跳跃次数(表 3)。

表 3 1961—2009 年安徽省 4 片 8 个代表站 OldCI 及 NCC2CI 不合理跳跃次数					
Table 3 The unreasonable jump of the OldCI and NCC2CI at the eight meteorological stations of four portions in Anhui Province from 1961 to 2009					
站点	OldCI 不合理跳跃次数/次	NCC2CI 不合理跳跃次数/次	站点	OldCI 不合理跳跃次数/次	NCC2CI 不合理跳跃次数/次
砀山	48	0	芜湖	34	1
阜阳	44	1	安庆	35	2
寿县	39	1	宣城	27	0
合肥	43	0	屯溪	38	1

由表 3 可知,OldCI 不合理跳跃次数为 27~48 次之间,而 NCC2CI 不合理跳跃次数很少,最多为安庆市,仅出现 2 次,其他地区几乎没有出现,因此,OldCI 与 NCC2CI 比较来说,NCC2CI 的不合理跳跃次数有了明显改善。究其原因,不难看出主要是因为降水的等权重与不等权重考虑的原因,由于 OldCI 指数中降水量是等权重考虑的,当大的降水过程移出 30 天的监测时段,导致 SPI30 和 MI30 的不合理跃变,而对于降水量的线性递减不等权重方案,越靠近目前的降水量对当前干旱缓和作用越大,赋予的权重也越大,随着时间的往前推移,过去的降水对当前的干旱缓和作用逐渐减小,即降水对当前干旱的缓和效应逐渐衰减,因而计算得到的 SPI30 不合理跳跃次数大大减少,同时采用降水量和蒸散量不等权重计算方案得到的 MI30 不合理跳跃次数

也大为减少,因此 NCC2CI 的不合理跳跃次数明显减少。对于实际干旱监测业务来说,NCC2CI 明显要优于 OldCI。

### 2.4 与土壤墒情比较

为比较 OldCI、NCC2CI 与土壤墒情的对应关系,在安徽省北部(亳州)、中部(寿县)、南部(休宁)各选一个代表站的典型干旱过程与土壤墒情作相关分析(图 5),总体来说,OldCI、NCC2CI 与土壤墒情的相关性都较好,均通过了 0.01 的显著性水平检验,NCC2CI 与 OldCI 相比,NCC2CI 与土壤墒情的相关性略好于 OldCI 与土壤墒情的相关性。

### 2.5 空间分布比较

图 6 和图 7 为安徽省两个典型干旱过程的干旱

最严重时刻的空间分布图,由图可见,无论是干旱的范围,还是干旱的程度,OldCI 与 NCC2CI 在空间分布上高度一致,且都与降水量对应得较好,表明改进

的 CI 指数 NCC2CI 保持了 OldCI 在干旱的空间分布上的诊断能力。

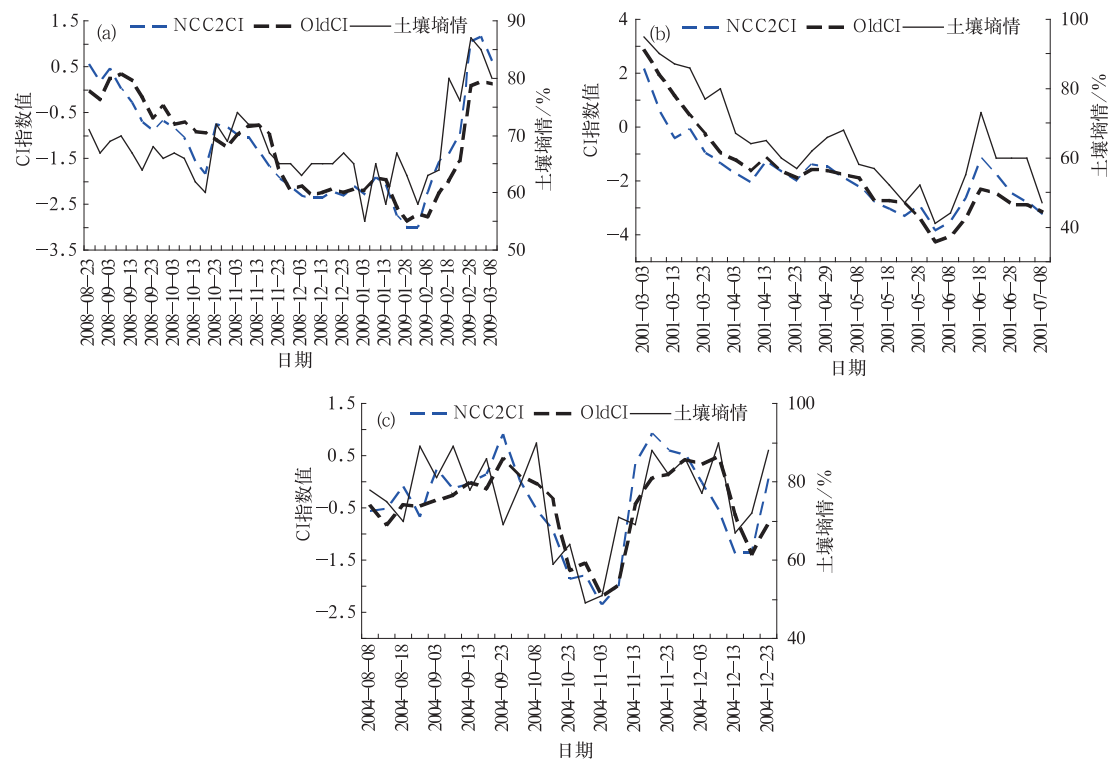


图 5 OldCI、NCC2CI 与土壤墒情相关分析

(a)亳州( $R_{NCC2CI}=0.7,R_{OldCI}=0.5$ ), (b)寿县( $R_{NCC2CI}=0.9,R_{OldCI}=0.8$ ),  
(c)休宁( $R_{NCC2CI}=0.6,R_{OldCI}=0.6$ )

Fig. 5 Correlation analyses of the OldCI, NCC2CI and soil moisture,  
at (a) Bozhou ( $R_{NCC2CI}=0.7, R_{OldCI}=0.5$ ), (b) Shouxian ( $R_{NCC2CI}=0.9, R_{OldCI}=0.8$ )  
and (c) Xiuning ( $R_{NCC2CI}=0.6, R_{OldCI}=0.6$ )

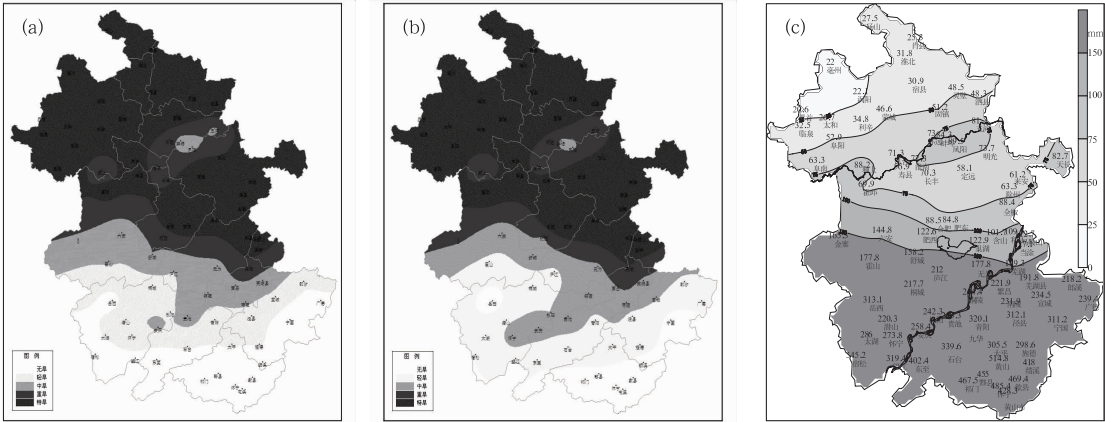


图 6 1978 年 5 月 25 日气象干旱综合指数

(a) OldCI, (b) NCC2CI 及 1978 年 2 月 25 日至 5 月 25 日降水实况 (c)

Fig. 6 The CI indices for OldCI (a) and NCC2CI (b) on May 25, 1978 and  
the precipitation (c) from February 25 to May 25 in 1978

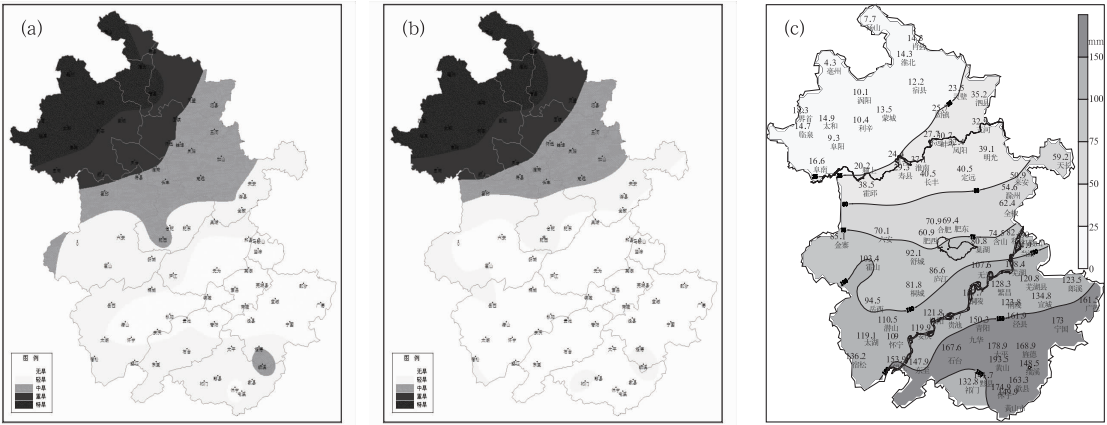


图 7 2009 年 2 月 6 日气象干旱综合指数 (a) OldCI, (b) NCC2CI 及 2008 年 11 月 6 日至 2009 年 2 月 6 日降水实况 (c)

Fig. 7 The CI indices for OldCI (a) and NCC2CI (b) on February 6, 2009, and the precipitation (c) from November 6, 2008 to February 6, 2009

3 结论与讨论

(1)改进的 CI 指数 NCC2CI 基本上保持了原来的 CI 指数 OldCI 所反映的干旱的频率分布、历年干旱日数分布、不同月份(季节)干旱分布、与土壤墒情的相关性以及干旱的空间分布等特征。

(2)对于指标对降水的反应敏感性来说, NCC2CI 反应更为敏感, 当出现明显降水后, NCC2CI 曲线陡峭, 反应敏感, 而 OldCI 曲线相对平缓, 反应相对迟钝。在无明显降水的情况下, OldCI 常常会出现一些波动, 甚至会出现干旱减轻的不合理现象, 而 NCC2CI 基本都表现出干旱逐渐发展的特点。

(3)在干旱演变过程中, OldCI 由于大的降水过程移出 30 天或 90 天的监测时段时, 常出现干旱突然发生或发展的剧烈变化, 这与干旱的发生机制是不相吻合的, 而改进后的 NCC2CI 演变相对平缓, 基本反映出干旱逐渐发生发展的过程。

(4)对于不合理跳跃点来说, NCC2CI 认为越靠近目前的降水量对当前干旱缓和作用越大, 赋予的权重也越大, 随着时间的往前推移, 过去的降水对当前的干旱缓和作用逐渐减小, 即降水对当前干旱的缓和效应逐渐衰减, 因此 NCC2CI 较 OldCI 的不合理跳跃次数明显减少。

(5)较 OldCI 指数来说, NCC2CI 指数有了诸多改进, 究其原因, 是由于 NCC2CI 指数采用线性递减的方法给逐日降水量赋予不同的权重, 越靠近目

前的降水量对当前干旱缓和作用越大, 赋予的权重也越大, 而随着时间的往前推移, 过去的降水对当前的干旱缓和作用逐渐减小, 即降水对当前干旱的缓和效应逐渐衰减, 这显然更加符合干旱的形成机制。然而 NCC2CI 指数与农业干旱(土壤墒情)有时存在监测结果不一致的情况, 特别是在冬季, 因此气象干旱指数与土壤墒情内在关系还有待进一步研究, 不断优化气象干旱监测指标因子构成及权重系数, 使气象干旱监测结果与土壤墒情保持一致。

参考文献

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

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

[3] 邹旭恺, 张强, 王有民, 等. 干旱指标研究进展及中美两国国家级干旱监测[J]. 气象, 2005, 31(7): 6-9.

[4] 张强, 鞠笑生, 李淑华. 三种干旱指标的比较和新指标的确定[J]. 气象科技, 1998, 2: 48-52.

[5] 樊高峰, 苗长明, 毛裕定. 干旱指标及其在浙江省干旱监测分析中的应用[J]. 气象, 2006, 32(2): 70-74.

[6] 庞万才, 周晋隆, 王桂芝. 关于干旱监测评估指标的一种新探讨[J]. 气象, 2005, 31(10): 32-34.

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

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

[9] 温克刚, 翟武全. 中国气象灾害大典安徽卷[M]. 北京: 气象出版社, 2007.