

赵海燕, 高歌, 张培群, 等. 综合气象干旱指数修正及在西南地区的适用性. 应用气象学报, 2011, 22(6): 698-705.

综合气象干旱指数修正及在西南地区的适用性

赵海燕¹⁾²⁾* 高歌³⁾ 张培群³⁾ 延晓冬¹⁾

¹⁾(中国科学院大气物理研究所, 北京 100029)

²⁾(中国科学院研究生院, 北京 100049) ³⁾(国家气候中心, 北京 100081)

摘 要

以我国西南地区为例, 在用加权降水量(W_{AP})改进标准化降水指数的基础上, 对综合气象干旱指数(I_C)进行了修正, 定义为 I_{CW} 。通过对比指数修正前后在干旱频率、年干旱强度和干旱发展过程中的不连续加重、以及与同期土壤湿度相关性的差异, 分析了 I_{CW} 在修正后的改进效果及在西南地区的适用性。结果表明: 修正前后的综合气象干旱指数在多年干旱频率和年干旱强度两方面没有显著差异, 但 I_{CW} 减少了干旱发展过程中的不连续加重现象, 且与同期土壤湿度有更好的相关性, 即 I_{CW} 比 I_C 更加接近实际干旱的演变规律, I_{CW} 比 I_C 更适合在西南地区实时干旱监测业务中使用。然而, 由于该研究未对 I_C 中的相对湿度指数进行修正, 而相对湿度指数的突变同样可以导致不连续加重的出现, 因此, I_{CW} 只是在一定程度上减少了不连续加重的影响。

关键词: 综合气象干旱指数 I_C ; 加权降水量 W_{AP} ; 西南地区

引 言

由于干旱形成的复杂性与干旱影响的广泛性和深远性, 长期以来干旱一直为研究热点。为了更好地研究干旱, 各国学者提出了专门用于干旱监测的指数, 主要有降水距平百分率、相对湿度指数、标准化降水指数和帕尔默干旱指数等^[1]。标准化降水指数是由 McKee 等^[2-3] 在评估美国科罗拉多干旱状况时提出的, 它适用于月以上尺度相对当地气候状况的干旱监测与评估, 能较好地反映干旱强度和持续时间, 而且具有多时间尺度应用特性, 因而得到广泛应用。标准化降水指数仅反映降水概率, 没有考虑蒸散对干旱的作用。帕尔默干旱指数是表征在一段时间内, 该地区实际水分供应持续少于当地气候适宜水分供应的水分亏缺, 其基本原理是土壤水平衡原理^[4]。王越等^[5] 用帕尔默指数对西北地区的冬小麦旱涝进行评估, 结果表明: 帕尔默指数比较符合实际的农作物旱涝情况; 安顺清等^[6]、刘巍巍等^[7] 和郭安红等^[8] 先

后针对中国的情况将帕尔默指数进行了修正, 将修正后的帕尔默指数值与一些文献记载的实际旱涝灾情相照验证, 结果表明: 帕尔默干旱指数能较为准确评估较长时段的旱涝情况。帕尔默干旱指数同时考虑了降水和蒸散对干旱的影响, 但帕尔默干旱指数简化的水分传输导致与实际干旱发生偏差^[9-10], 且帕尔默干旱指数需要土壤资料较多, 大多数台站缺乏这样的数据, 因此很难应用于实时业务, 并且帕尔默干旱指数也是适合月及以上尺度的干旱监测。

张强等^[11] 发展了一个以标准化降水指数和湿润度指数为基础的综合气象干旱指数 I_C , 该指数不仅考虑了降水和蒸散对当前干旱的累积效应, 且所需资料为常规气象观测数据, 易于获得, 国家气候中心和各省气候中心等单位的干旱监测、影响评估及其预警系统和服务中采用了 I_C , 取得较好效果, 并于 2006 年作为国家标准推广使用^[12]。邹旭恺等^[13] 利用 I_C 对全国干旱面积进行统计, 结果表明: 东北和华北地区干旱化趋势显著, 且干旱化趋势最显著的地区与气温幅度最大的地区有很好的—致性。

2011-02-25 收到, 2011-06-22 收到再改稿。

资助项目: 国家科技支撑计划课题(2007BAC29B02), 公益性行业(气象)科研专项(GYHY200906019)

* E-mail: zhaohy@cma.gov.cn

I_C 与其他气象干旱指标相比,虽然逐日滚动监测也考虑了近期(30 d)降水和长期(90 d)降水对当前旱涝的作用,还考虑了近期蒸散对旱涝的作用,但 30 d 和 90 d 内的日降水量对干旱发展贡献等权重。一般情况下,实际干旱的发展是渐变的过程,而用 I_C 进行逐日干旱监测过程中,干旱程度往往会出现不连续加重现象(Uncontinurous Enhancement of Drought)。Lu^[14] 提出的加权降水量 W_{AP} 是一个非等权重近期降水量,认为降水量的作用随时间呈指数衰减。 W_{AP} 反映的干旱加重具有缓慢变化特点,适合用于实时旱涝监测。但由于我国降水量的地区差异和季节显著,不同地区和不同季节 W_{AP} 值会有很大差异。因此,不利于对不同地区和不同季节的旱涝状况进行对比分析,而标准化降水指数中的概率统计方法可以很好地解决这个问题。本文将 W_{AP} 非等权重思想应用到 I_C 中,在对标准化降水指数进行改进的基础上,修正 I_C 。修正后的 I_C ,即 I_{CW} ,是否可以吸取 I_C 和 W_{AP} 各自的优点,是否可以解决 I_C 存在的问题,需要从干旱频率、年干旱强度、干旱发展不连续加重现象以及与土壤湿度的相关性等方面对修正前后的指数进行比较分析。

1 资料与方法

1.1 资料

本文所用资料为 1961 年 1 月 1 日—2010 年 5 月 10 日西南地区 268 个气象站的逐日降水量和平均气温;1993 年 1 月—2010 年 5 月上旬云南陆良、四川西昌、贵州六盘水和广西百色站 4 个代表站的 10 cm 和 20 cm 的土壤湿度。资料由国家气象信息中心提供,均经过质量检验。

1.2 方法

修正后的 I_C 定义为 I_{CW} ,它的算法主要分为 3 步:第 1 步,计算逐日加权降水量(W_{AP});第 2 步,将 W_{AP} 替代累积降水量计算标准化指数 Z_{65} ;第 3 步,将 Z_{65} 和相对湿度指数 M_{30} 相加求 I_C 的修正指数 I_{CW} 。详细过程如下。

第 1 步,求 W_{AP} ^[14]。

$$W_{AP} = (1 - a) \sum_{n=0}^N a^n P_{-n}, \quad (1)$$

式(1)中, P 是降水量; N 是考虑影响当日旱涝的天

数; $-n$ 表示“前 n 天”; a 为系数,可以取 0.9, 0.8, 0.7 等,经试验, a 越大, $\sum_{n=0}^N a^n P_{-n}$ 越大,但 $\sum_{n=0}^N a^n P_{-n}$ 的系数 $(1-a)$ 越小,所以 a 的大小对 W_{AP} 影响不大,本研究取 a 为 0.9; W_{AP} 的单位与降水量相同。

W_{AP} 可以综合反映当日降水和前期降水持续时间、降水强度及前期降水间断时间对当日旱涝的影响^[14]。由式(1)可知,近期逐日降水对当日的旱涝影响呈指数递减,当日的的作用占 10%,第 43 天对当日旱涝的作用减小至 1%,第 65 天对当日旱涝的作用减小至 0.1%,所起的作用微乎其微,因此本文在利用式(1)计算 W_{AP} 时,取 N 为 65(表 1)。

表 1 近期逐日降水量的权重
Table 1 Daily precipitation weights of recent 65 days

相距日数	权重
0	0.100
1	0.090
2	0.081
3	0.073
4	0.066
5	0.059
6	0.053
7	0.048
14	0.023
30	0.004
43	0.001
65	0.0001

第 2 步,求 Z_{65} 。

假设逐日 W_{AP} 为随机变量,由于 W_{AP} 的分布一般不是正态分布,而是一种偏态分布。所以标准化 W_{AP} 指标(Z_{65})参考标准化降水指数的做法,在计算出 W_{AP} 的 Γ 分布概率后,再进行正态标准化处理^[11]。

第 3 步,求 I_{CW} 。

单站逐日滚动干旱监测指标综合气象干旱指数 I_C 由近 30 天标准化降水指数 Z_{30} 、近 30 天相对湿度指数 M_{30} 、近 90 天标准化降水指数 Z_{90} 指标综合获得。

$$I_C = a_1 Z_{30} + b_1 Z_{90} + c_1 M_{30}, \quad (2)$$

式(2)中, Z_{30} , Z_{90} 分别为近 30 天和近 90 天标准化降水指数; M_{30} 为近 30 天相对湿度指数; a_1 为近 30 天标准化降水系数,由达轻旱以上级别 Z_{30} 的平

均值除以历史出现的 Z_{30} 最小值得到, 平均取 0.4; b_1 为近 90 天标准化降水系数, 由达轻旱以上级别 Z_{90} 的平均值除以历史出现的 Z_{90} 最小值得到, 平均取 0.4; c_1 为近 30 天相对湿润系数, 由达轻旱以上级别 M_{30} 的平均值, 除以历史出现 M_{30} 最小值得到, 平均取 0.8。

本文用 Z_{65} 替代 Z_{30} 和 Z_{90} , I_{CW} 可由式(3)计算得到,

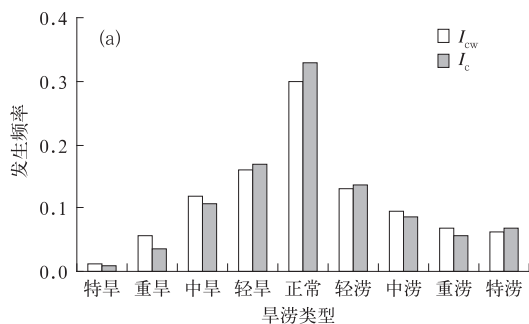
$$I_{CW} = a_2 Z_{65} + b_2 M_{30} \quad (3)$$

式(3)中, Z_{65} 为标准化后的 W_{AP} 。由表 1 可知, 65 天之前的降水对当前的旱涝作用非常微小, 所以本文对近 65 天 W_{AP} 进行标准化; M_{30} 为近 30 天相对湿润度指数; b_2 为近 30 天相对湿润度指数的系数, 为了与 I_C 更好地比较, b_2 取 0.8, 与 I_C 的 c_1 值相同; a_2 为 Z_{65} 系数, 因为 Z_{65} 代替了原有的 Z_{30} 和 Z_{90} , 所以 a_2 取 Z_{30} 与 Z_{90} 的系数和, 即 0.8。

由于 I_{CW} 算法和取值范围与 I_C 都类似, 所以 I_{CW} 的干旱等级划分沿用修正前的 I_C 干旱等级划分方法^[11](表 2)。

表 2 I_{CW} 干旱等级的划分

等级	类型	I_{CW} 范围
1	无旱	$-0.6 < I_{CW}$
2	轻旱	$-1.2 < I_{CW} \leq -0.6$
3	中旱	$-1.8 < I_{CW} \leq -1.2$
4	重旱	$-2.4 < I_{CW} \leq -1.8$
5	特旱	$I_{CW} \leq -2.4$



2 结果分析

2.1 干旱频率分布

云南陆良逐日 I_{CW} 与 I_C 的统计形态分布相似, 均呈偏态, 干旱发生频率多少的顺序依次为轻旱、中旱、重旱、特旱; 陆良 I_C 与 I_{CW} 的偏旱、正常和偏湿的频率分别为 32.2%, 32.9%, 34.9% 和 34.5%, 29.9%, 35.6%。用逐日 I_C 与 I_{CW} 按月统计干旱发生 ($I_{CW} \leq -0.6$ 或 $I_C \leq -0.6$) 的频率, 结果表明: I_C 与 I_{CW} 统计的易旱月份基本一致, 为 12 月至次年 4 月, 其中 3 月最易发生干旱, 发生频率超过 50%; 不易旱月份为 6—8 月, 其中 7 月最不易发生干旱, 发生频率低于 20% (图 1)。11 月—次年 4 月是云南陆良的干季, 5—10 月是陆良的雨季, 1—12 月干旱频率分布表明, 干季更易发生干旱^[15-16]。四川西昌、贵州六盘水和广西百色的逐日 I_C 和 I_{CW} 不同旱涝等级的频率分布与云南陆良相似, 不同季节的干旱频率分布也与云南陆良相似 (图略)。这表明, I_{CW} 与 I_C 在多年干旱频率方面没有显著差异。

2.2 干旱强度的年际变化

根据气象干旱等级国家标准^[11] 识别干旱过程, 累加年内发生的几次干旱过程的干旱强度 (干旱过程中 I_C 或 I_{CW} 的累加值), 分别定义为年干旱强度。用 I_{CW} 和 I_C 统计的年干旱强度都没有显著的变化趋势 (图 2), 平均 I_{CW} 年干旱强度与平均 I_C 年干旱强度非常接近, 符淙斌等^[17]、邹旭恺等^[13] 的研究结果也表明西南地区变干趋势不显著。

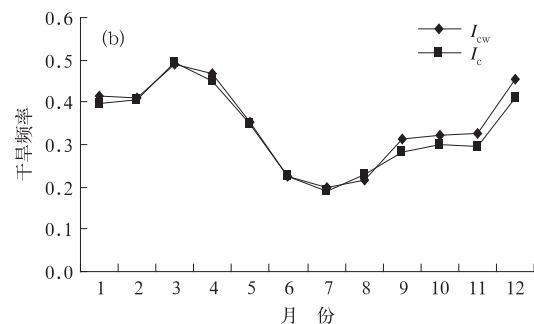


图 1 1961—2009 年云南陆良逐日 I_C 与 I_{CW} 不同旱涝等级和干旱频率分布

(a) 不同旱涝等级频率分布, (b) 不同月份偏旱频率分布

Fig. 1 Frequencies of different flood and drought categories and monthly variation based on daily I_{CW} and I_C at Luliang of Yunnan from 1961 to 2009

(a) frequencies of different flood and drought categories,

(b) monthly frequencies of drought

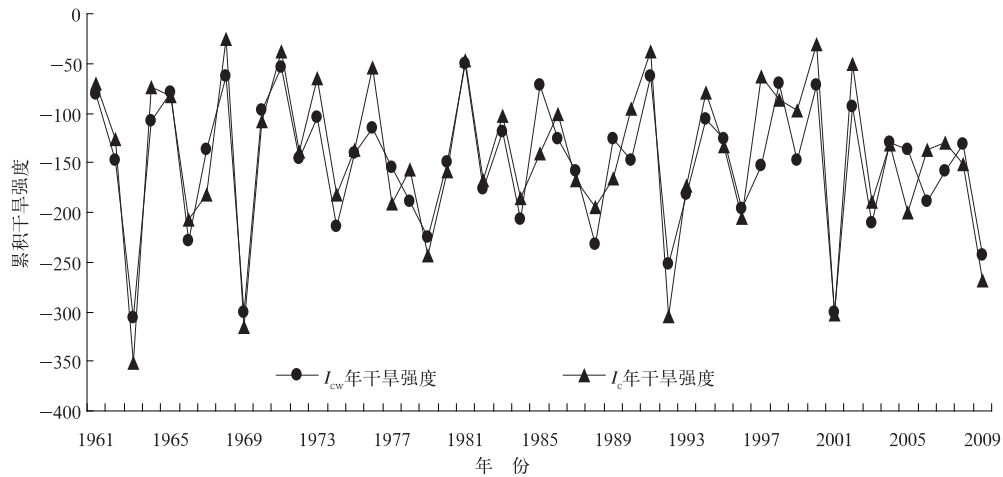


图 2 1961—2009 云南陆良年干旱强度变化

Fig. 2 Annual drought intensity at Luliang of Yunnan from 1961 to 2009

用 I_{cw} 统计的年干旱强度与 I_c 的统计结果非常接近,其中 2009 年云南陆良年干旱强度在 1961—2009 年为第 5 位,该结果与用 I_c 统计的结果完全一致(表 3)。四川西昌、贵州六盘水和广西百色的用 I_{cw} 统计的年干旱强度的历史前 5 位也与 I_c 比较接近(表略)。

表 3 1961—2009 年云南陆良各年干旱强度排名
Table 3 Ranking of annual drought intensity at Luliang of Yunnan from 1961 to 2009

年份	I_{cw}	I_c	年份	I_{cw}	I_c
1961	41	40	1986	33	33
1962	24	30	1987	17	18
1963	1	1	1988	6	10
1964	36	39	1989	32	19
1965	42	37	1990	22	35
1966	7	7	1991	46	47
1967	27	15	1992	4	3
1968	47	49	1993	15	16
1969	2	2	1994	37	38
1970	39	31	1995	31	27
1971	48	46	1996	12	8
1972	25	24	1997	20	42
1973	38	41	1998	45	36
1974	9	14	1999	23	34
1975	26	25	2000	44	48
1976	35	43	2001	3	4
1977	19	11	2002	40	44
1978	14	21	2003	10	12
1979	8	6	2004	30	28
1980	21	20	2005	28	9
1981	49	45	2006	13	26
1982	16	17	2007	18	29
1983	34	32	2008	29	22
1984	11	13	2009	5	5
1985	43	23			

2.3 干旱指数在干旱发展过程中的不连续加重

在干旱发展过程中 I_c 值变化较不稳定,会出现突然变小的现象,如广西百色 2010 年 2 月 21—22 日(2010 年第 52 天—第 53 天), I_c 指数从无旱突变为中旱,日变化达到 2 个干旱等级(图 3a)。 I_c 出现以上问题的原因是在计算 Z_{30} 和 M_{30} 时没有考虑当日降水和前期降水对当日旱涝的不同作用,例如 2010 年第 22 天和第 23 天的降水量分别为 16.1 mm 和 25 mm,2010 年第 24 天至第 53 天的累积降水量仅为 3.7 mm,当计算 2010 年第 53 天 Z_{30} 和 M_{30} 时,由于近 30 天降水量不包含 2010 年第 23 天的降水, Z_{30} 和 M_{30} 的值会突然变小,干旱突然加重(图 3b)。究其原因,计算 Z_{30} 和 M_{30} 时,前 1 日和前 30 日的降水量对当前的旱涝权重相等,事实上,前 1 日降水量的作用远远大于前 30 日降水量的作用。本文提出的 I_{cw} 旨在解决 I_c 这方面的问题。

本文将前 1 日 $I_{cw} \leq 0.6$ 或 $I_c \leq 0.6$,且日变化加重 1 个等级以上的点定义为干旱发展过程中的不连续加重。1961 年 1 月 1 日—2010 年 5 月 10 日云南陆良, I_{cw} 日变化加重 1 个等级的不连续加重现象出现从 I_c 的 134 次减小为 58 次,日变化加重 2 个等级的不连续加重现象出现从 I_c 的 12 次减小为 1 次(表 4)。修正后的 I_{cw} 很大程度上避免了不连续加重的发生。同样,四川西昌、贵州六盘水和广西百色的不连续加重也有不同程度的减小(表 4)。不连续加重的变化表明: I_{cw} 反映的干旱发展较 I_c 更稳定,修正后的 I_{cw} 更加符合干旱缓慢发展的特点。事实上不连续加重的出现表明:不连续加重出现前

一段时期的 I_C 变化滞后于气象干旱的变化,这种现象的出现将会影响干旱监测和影响评估的准确性,最终会影响气象服务的时效性。但修正后仍然存在不连续加重,这是因为 M_{30} 由近 30 天累积降水量与可能蒸散量决定^[11]因此近 30 天累积降水量的突变

会反映在 M_{30} 的变化上,如计算 2010 年第 53 天 M_{30} 时,由于近 30 天累积降水量不包含 2010 年第 23 天的较大降水量,所以第 53 天的 M_{30} 突然变小, I_{CW} 也相应突然变小。

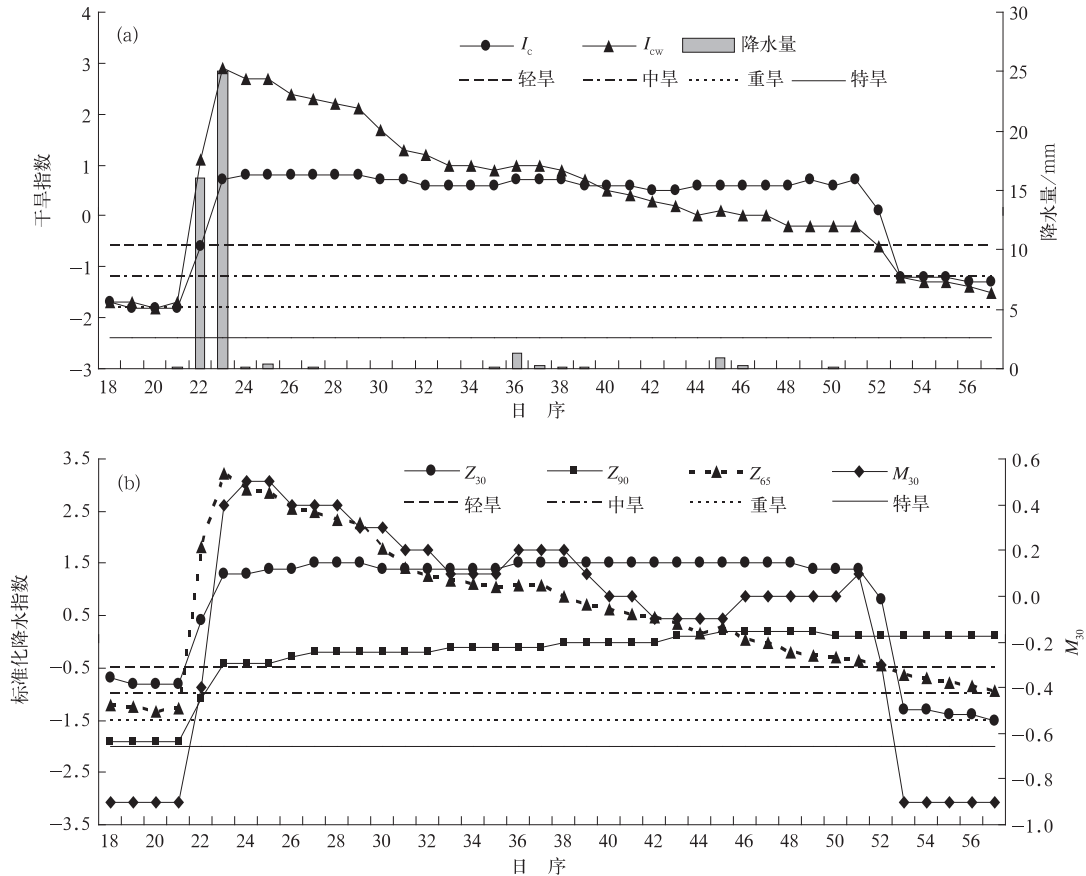


图3 2010年1月18日—2010年2月26日广西百色 I_{CW} 与 I_C 逐日变化

(a) I_C, I_{CW} 与降水量, (b) Z_{30}, Z_{90}, Z_{65} 和 M_{30}

Fig. 3 Daily evolution of I_{CW} and I_C at Baise of Guangxi from 18 Jan 2010 to 26 Feb 2010

(a) I_C, I_{CW} and precipitation, (b) Z_{30}, Z_{90}, Z_{65} and M_{30}

表4 1961年1月—2010年5月上旬
干旱发展过程中的不连续加重

Table 4 Uncontinuous enhancement of drought during the development process of the drought from Jan 1961 to the first ten days of May 2010

地点	日变化加重达1个等级		日变化加重达2个等级	
	I_{CW}	I_C	I_{CW}	I_C
云南陆良	58	134	1	12
四川西昌	53	208	0	17
贵州六盘水	89	198	10	26
广西百色	40	150	0	8

在 2009 年秋季开始的西南干旱期间,由于计算 2009 年 12 月 21 日—2010 年 1 月 18 日的各站点逐日 Z_{30} 时,2009 年 12 月 20 日的降水量被赋予相等

权重,因此对于 2009 年 12 月 21 日—2010 年 1 月 18 日无明显降水的站点,同时段内逐日滚动的近 30 天累积降水量不变, I_C 值变化较小;当计算 2010 年 1 月 19 日的 I_C 时,2009 年 12 月 20 日的降水量(图 4i)移出 Z_{30} 的统计时段,所以在 2009 年 12 月 20 日有明显降水的站点,由于降水量的移出,2010 年 1 月 19 日的 I_C 出现突然减小现象,该现象反映在区域上为 2010 年 1 月 19 日重旱和中旱的面积比 2010 年 1 月 18 日都有较大的增加, I_C 在局部地区 3 d 内干旱加重 2 个等级,出现明显的跳跃(图 4b, 4c)。而当计算 2009 年 12 月 21 日—2010 年 1 月 19 日的各站点逐日 I_{CW} 时,2009 年 12 月 20 日的降

水量在 Z_{65} 统计时段内的权重逐渐减小,因此 I_{Cw} 在同一时段内未出现明显的跳跃(图 4d,4e 和 4f),表明 I_{Cw} 对气象干旱逐渐发展的演变过程反映更为合理。

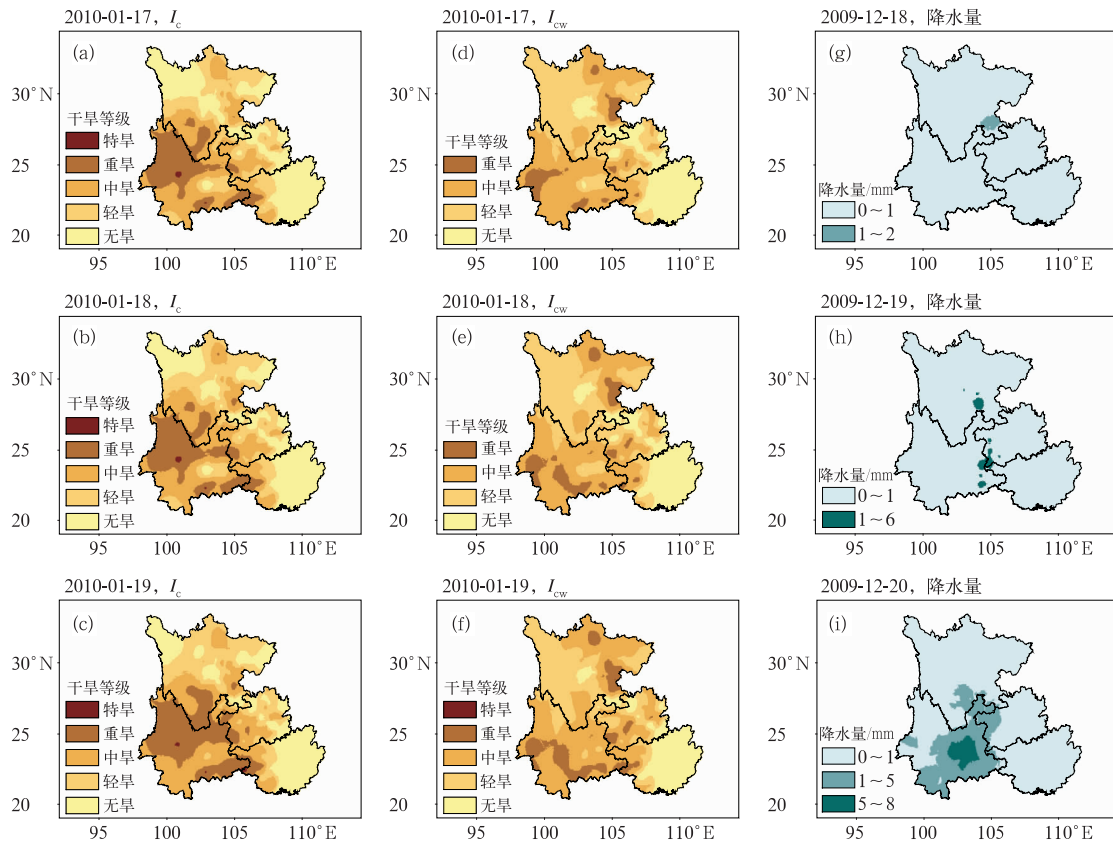


图 4 西南四省 I_C, I_{Cw} 的逐日演变及前 30 日的降水量分布

Fig. 4 Daily evolution of I_C, I_{Cw} and precipitation ahead of 30 days in Southwest China

2.4 I_C, I_{Cw} 与土壤湿度相关分析

土壤湿度对作物的生长发育和产量都有显著影响^[18-19],因此,土壤湿度的变化能够反映作物受旱程度。为了验证修正后 I_{Cw} 的正确性,本文对修正前后的 I_C 值与土壤湿度进行相关性分析。土壤湿度分为 10 cm, 20 cm 两个深度的浅层土壤监测。1993 年后土壤湿度比较完整,又由于土壤湿度为“逢 8”观测,为了和土壤湿度的观测保持一致,本文用 1993 年 1 月上旬—2010 年 5 月上旬的 10 cm 和

20 cm 逐旬土壤湿度与同期,即逐月 8 日、18 日和 28 日的 I_C 和 I_{Cw} 分别进行相关性分析。结果表明:4 个代表站的 I_C 和 I_{Cw} 与土壤湿度的相关性都达到 0.05 的显著性水平,说明 I_C 和 I_{Cw} 都能反映土壤湿度的变化;且 4 个代表站 I_{Cw} 与 10 cm 的相关性较 I_C 都有所提高, I_{Cw} 与 20 cm 的相关性除云南陆良外,其他 3 个站的相关性较 I_C 也有所提高(表 5)。总体而言, I_{Cw} 与土壤湿度具有更好的相关性,因此更加适合在西南地区进行实时干旱监测。

表 5 1993 年 1 月—2010 年 5 月上旬逐旬 10 cm 和 20 cm 土壤湿度与 I_C 和 I_{Cw} 的相关分析

Table 5 Correlation coefficients between soil moisture of 10 cm, 20 cm and I_C, I_{Cw} from Jan 1993 to the first ten days of May 2010

土壤湿度	云南陆良		四川西昌		贵州六盘水		广西百色	
	I_C	I_{Cw}	I_C	I_{Cw}	I_C	I_{Cw}	I_C	I_{Cw}
10 cm	0.516	0.526	0.668	0.732	0.368	0.404	0.331	0.456
20 cm	0.454	0.442	0.640	0.684	0.392	0.404	0.484	0.553

3 结论与讨论

采用加权降水量概念,即考虑距离当日越近的降水对当日的旱涝作用越大,对 I_C 指数进行修正,且对不同旱涝强度和不同月份的干旱频率分布、干旱强度历年变化等方面进行了对比分析。结论如下:

1) I_{CW} 没有改变 I_C 干旱监测的总体结论,对于长期的干旱气候演变、干旱强度和发生频率两者的监测结果一致,但在实时干旱监测(如逐日监测)中 I_{CW} 减少了干旱发展的跳跃性现象。

2) I_{CW} 与同期土壤湿度的相关性较 I_C 有所提高,即修正后的 I_{CW} 更加符合实际土壤湿度的变化,更能反映实际干旱的演变规律。

但本文仅对 I_{CW} 在西南地区的适用性进行了分析,在其他地区推广使用时还需要进一步检验 I_{CW} 的适用性。

同时,修正后的 I_{CW} 仍然存在跳跃现象,如在云南陆良 1961 年 1 月 1 日—2010 年 5 月 10 日的 I_{CW} 有 16 个跳跃点,据分析这 16 个跳跃点同期的 Z_{65} 变化都比较平缓, M_{30} 的日变化幅度则全部达到 1 个干旱等级。该结果表明:将 W_{AP} 引入 I_C 从一定程度上减少了干旱不稳定发展的现象,提高了干旱监测的合理性;与此同时,仍然存在的跳跃点说明,为了更符合干旱发生的特点,还需要对 M_{30} 进行修正。但 M_{30} 是表征某时段降水量和蒸发量之间平衡的指标,主要反映作物生长季节的水分平衡特征^[11],将非等权重的思想用到 M_{30} 的可行性还有待进一步探讨。

参考文献

- [1] Richard R, Heim J. A review of twentieth century drought indices used in the United States. *Bull Amer Meteor Soc*, 2002, 83(8): 1149-1165.
- [2] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. The Relationship of Drought Frequency and Duration to Time Scales. Preprints, Eighth Conf on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer Meteor Soc, 1993: 179-184.
- [3] McKee T B, Doesken N J, Kleist J. Drought Monitoring with Multiple Time Scales. Preprints, Ninth Conf on Applied Climatology, Dallas, TX, Amer Meteor Soc, 1995: 233-236.
- [4] Palmer W C. Meteorological Drought. US Weather Bureau Research Paper 45, 1965: 58.
- [5] 王越,江志红,张强,等. 用 Palmer 湿润指数作西北地区东部冬小麦旱涝评估. *应用气象学报*, 2008, 16(3): 342-349.
- [6] 安顺清,邢久星. 修正的帕尔默干旱指数及其应用. *气象*, 1985, 11(12): 17-19.
- [7] 刘巍巍,安顺清,刘庚山,等. 帕尔默旱度模式的进一步修正. *应用气象学报*, 2004, 15(2): 207-215.
- [8] 郭安红,刘巍巍,安顺清,等. 基于改进失水模式和建模站点的 Palmer 旱度模式. *应用气象学报*, 2008, 19(4): 502-506.
- [9] Guttman N B. A sensitivity analysis of the Palmer Hydrologic Drought Index. *Water Resour Bull*, 1991, 27: 797-807.
- [10] 王劲松,黄玉霞,冯建英,等. 径流量 Z 指数与 Palmer 指数对河西干旱的监测. *应用气象学报*, 2009, 20(4): 471-477.
- [11] 张强,邹旭恺,肖风劲,等. 气象干旱等级. GB/T 20481, 中华人民共和国国家标准. 北京: 中国标准出版社, 2006: 1-17.
- [12] 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. *气象*, 2005, 31(7): 6-9.
- [13] 邹旭恺,张强. 近半个世纪我国干旱变化的初步研究. *应用气象学报*, 2008, 19(6): 679-687.
- [14] Lu Er. Determining the start, duration, and strength of flood and drought with daily precipitation; Rationale. *Geophysical Research Letters*, 2009, 36, L12707, doi: 10. 1029/2009GL038817.
- [15] 彭贵芬,刘瑜,张一平. 云南干旱的气候特征及变化趋势研究. *灾害学*, 2009, 24(4): 40-44.
- [16] 谢应齐,黄华秋,赵华柱. 云南干旱灾害初步研究. *云南大学学报(自然科学版)*, 1994, 16(增刊): 69-73.
- [17] 符淙斌,马柱国. 全球变化与区域干旱化. *大气科学*, 2008, 32(4): 752-760.
- [18] Choudhury P N, Kumar V. The sensitivity of growth and yield of dwarf wheat to water stress at three growth stages. *Irrigation Science*, 1980, 101(1): 223-231.
- [19] 梁荣欣,杨爱民,赵云龙. 不同时期水分对春小麦产量的影响. *中国农业气象*, 1998, 19(2): 17-19.

The Modification of Meteorological Drought Composite Index and Its Application in Southwest China

Zhao Haiyan¹⁾²⁾ Gao Ge³⁾ Zhang Peiqun³⁾ Yan Xiaodong¹⁾

¹⁾ (Institute of Atmospheric Physics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029)

²⁾ (Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049)

³⁾ (National Climate Center, Beijing 100081)

Abstract

The meteorological drought composite index (I_C) is recommended as an effective operational drought monitoring index from National Standard and has been applied by National Climate Center to monitor drought conditions across the whole country in recent years. However, uncontinurous enhancement of drought is frequently observed in the development of drought process at many stations, where uncontinurous enhancement of drought means that daily change is greater than or equal to one drought degree (-0.6) and the I_C value is equal to or less than 0.6 a day before. In order to optimize I_C , modified standard precipitation index (Z_{65}) by weighted average precipitation (W_{AP}) is introduced. Due to different weighted coefficients of daily precipitation, modified I_C (I_{CW}) can decrease uncontinurous enhancement of drought to the most extent. Taking Southwest China as an example, daily I_C and I_{CW} (modified I_C) from 1 January 1961 to 10 May 2010 is calculated, and the differences between I_C and I_{CW} in frequency of every drought degree and monthly variability of drought frequency are analyzed. Since formula and value range of I_{CW} are both similar to I_C , the same drought degree is adopted. It indicates that there is no significant difference between I_{CW} and I_C in frequency of drought. Moreover, the annual intensity of drought from 1961 to 2009 is also analyzed. The results indicate I_{CW} is also similar to I_C very much and there is no significant trend of annual intensity. Furthermore, as stable index of drought, uncontinurous enhancement of drought of I_C and I_{CW} are counted. It shows that I_{CW} has less uncontinurous enhancement of drought than I_C at all four stations, so I_{CW} has improved the stability of drought according to different weighted coefficients of daily precipitation. Take soil moisture observed on 8, 18 and 28 as representative, the correlation between I_C , I_{CW} and soil moisture is analyzed from January 1993 to May 2010. The results show that I_{CW} has greater correlation coefficients with soil moisture of 10 cm at all stations than I_C , and I_{CW} has greater correlation coefficients with soil moisture of 20 cm at three stations than I_C , showing that I_{CW} is more consistent with soil moisture.

Above all, the analysis shows that I_{CW} is close to the characteristics of actual drought and suitable for daily drought monitoring in Southwest China. However, there is still some uncontinurous enhancement of drought existing in I_{CW} due to great uncontinurous change of M_{30} .

Key words: meteorological drought composite index (I_C); weighted average precipitation (W_{AP}); Southwest China