

基于 CI 指数的陕西干旱时空变化特征分析

蔡新玲¹, 叶殿秀², 李 茜¹, 张存杰², 王 娜¹

(1. 陕西省气候中心, 陕西 西安 710014; 2. 国家气候中心, 北京 100081)

摘 要: 利用 1961—2010 年陕西省 72 个气象站逐日气温和降水资料, 采用综合气象干旱指数法, 统计分析了近 50 年陕西省气象干旱发生的时空分布特征。结果表明: 陕西省年及四季干旱发生频次和干旱日数总体上呈北高(多)南低(少)分布特征。四季中夏旱频率最高, 强度最强, 春季其次。各等级干旱日数中轻旱日数最多, 中、重和特旱日数依次减少。陕北北部长城沿线及关中中东部既是干旱高发区, 也是干旱重发区; 近 50 年陕西区域干旱强度和干旱日数均存在较明显的增加趋势, 主要表现为春秋两个季节的变化, 而夏季和冬季的变化趋势不明显; 近 50 年陕西共发生 32 起持续性干旱事件, 以春夏连旱为主; 20 世纪 90 年代中后期至 2002 年持续性干旱事件发生的频率高, 强度强, 反映出陕西区域极端干旱事件对全球气候变化有明显的响应。

关键词: 陕西省; 综合气象干旱指数(CI); 变化特征
中图分类号: S165 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7601(2013)05-0001-08

Analysis of temporal-spatial variation characteristics of drought in Shaanxi Province based on compound meteorological drought index (CI)

CAI Xin-ling¹, YE Dian-xiu², LI Qian¹, ZHANG Cun-jie², WANG Na¹

(1. Shaanxi Provincial Climate Center, Xi'an, Shaanxi 710014, China;
2. National Climate Center, Beijing 100081, China)

Abstract: Based on the daily precipitation and temperature data at 72 metrological stations during 1961 to 2010, the characteristics of spatial and temporal distribution of drought in Shaanxi Province were analyzed by using compound meteorological drought index (CI). The results showed that the distribution of frequency and days of yearly and seasonal drought generally appeared to be high in the northern part and low in the southern part. The season with highest drought frequency was summer, followed by spring. Among various grades of drought, the days of slight drought were the largest, and those of moderate, severe and extreme drought decreased successively. The areas along the Great Wall in Northern Shaanxi and in the middle of Guanzhong Plain are high in both frequency and intensity of drought. An obviously increasing trend was discovered in Shaanxi during last 50 years, which was more remarkable in spring and autumn than in summer and winter. There were 32 times of continuous drought events in Shaanxi during last 50 years, and they were mainly successive spring and summer drought. The frequency and intensity of drought events were high from middle 1990s' to 2002, which reflected that the extreme events in Shaanxi responded to the global climate change.

Keywords: Shaanxi Province; compound meteorological drought index (CI); variation characteristics

随着全球气候变暖以及社会经济快速发展对水需求的增加, 干旱导致的旱灾更加频繁, 灾害也从以影响农业为主扩展到影响林牧业、工商业以及居民的日常生活, 由此引起的整个社会经济和生态环境后果越来越严重^[1-2]。因此, 研究干旱的时空变化及风险评估, 尤其是在干旱半干旱和缺水地区, 对区域水资源开发利用与保护以及制定积极有效的防旱抗旱措施具有重要的科学意义。

干旱指标是干旱监测和研究分析的基础与核心。目前, 国内外关于干旱指标已有大量研究^[3-7], 比较常见的有标准化降水指数、Z 指数、Palmer 干旱指数、连续无有效降水日数等, 这些干旱指数在干旱监测业务和研究中都得到了广泛的应用。但由于干旱指标大都建立在特定的地域和时间范围内, 具有一定的时空局限性^[8]。同时考虑了降水和蒸发能力因子的综合气象干旱指数是将近 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 天相对湿润度指数进行综合而得,它既反映了短时间尺度(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,适合实时气象干旱监测和气象干旱事件的客观评估^[9]。邹旭恺等^[10]利用该指数分析了近半个世纪我国的干旱变化,赵美^[11]等以徐州和南京站为代表,分析发现降水量按线性递减权重方法计算 CI 指数的改进方案是可行的,曹永强^[12]等和包云轩等^[13]利用 CI 指数分别分析了辽宁省和江苏省近 50 年来的气象干旱特征。以上研究表明综合气象干旱指数 CI 比单纯利用降水量的干旱指数更能反映干旱实际情况。乔丽^[14]等选取陕西 442 个典型干旱个例对降水量距平百分率、标准化降水、相对湿润度、综合气象干旱指数、土壤相对湿润度和 Palmer 干旱指数等 6 个干旱指标进行了对比分析,发现综合气象干旱指数在陕西大部分地区适用,且以春、夏和冬季最优。因此,本文利用综合气象干旱指数从干旱频率、不同干旱强度等级的干旱日数、干旱强度及持续性干旱事件等方面分析了陕西省近 50 年气象干旱的时空变化特征。

1 资料和方法

1.1 资料

本文使用的数据来源于陕西气象信息中心提供的 1961—2010 年全省 96 个气象站逐日气温和降水资料。在数据选取时进行了简单的质量控制,即剔除了研究时段内任意一年数据缺测超过 5% 的站点,并去掉华山和太白 2 个高山站,最终选取了 72 个气象站进行干旱指数的计算和分析。

1.2 方法

综合气象干旱指数根据《气象干旱等级》国家标准(GB/T 20481-2006)中的综合气象干旱指数计算方法,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 天相对湿润度指数综合得出。 CI 指数的计算公式:

$$CI = aZ_{30} + bZ_{90} + cM_{30} \tag{1}$$

式中, Z_{30} 、 Z_{90} 分别为近 30 天和近 90 天标准化降水指数 SPI ; M_{30} 为近 30 天相对湿润度指数; a 为近 30 天标准化降水系数,平均取 0.4; b 为近 90 天标准化降水系数,平均取 0.4; c 为近 30 天相对湿润度系数,平均取 0.8。通过(1)式,利用前期平均气温、降水量可以滚动计算出每天综合干旱指数 CI ,进行干旱监测,根据 CI 值划分综合气象干旱等级,见表 1。

月干旱指数由每日 CI 值累加而得。

表 1 综合气象干旱等级的划分
Table 1 Classification of the compound meteorological drought index (CI)

等级 Grade	类型 Type	CI 值 CI value
1	无旱 No drought	$-0.6 < CI$
2	轻旱 Slight drought	$-1.2 < CI \leq -0.6$
3	中旱 Moderate drought	$-1.8 < CI \leq -1.2$
4	重旱 Severe drought	$-2.4 < CI \leq -1.8$
5	特旱 Extreme drought	$CI \leq -2.4$

参照《气象干旱等级》国家标准和实际业务应用情况,当综合气象干旱指数 CI 连续 10 天为中旱以上等级时,确定为发生一次干旱过程。当季内至少出现一次干旱过程,并且累计干旱持续时间超过 23 天(评价时段的 1/4)时,认为该季发生干旱事件^[9],年内至少出现一次干旱过程,且累计干旱持续时间超过 60 天时,认为该年发生干旱事件。

统计各站 50 年来历年及历年各季干旱事件的发生情况,利用公式(2)计算干旱发生频率^[13]。

$$P = \frac{n}{N} \times 100\% \tag{2}$$

式中, n 为实际有干旱事件发生的年(季)数; N 为资料年代序列数,1961—2010 年共 50 年数据, N 取 50。

2 陕西省干旱特征分析

2.1 干旱频率的空间变化

图 1a-e 为陕西年及四季干旱频率分布图。从中可以看出,陕西年干旱频率总体上呈北高南低的分布规律,其中陕北和关中干旱频率普遍较高,在 50% 以上,尤其是陕北北部和关中东部的平原区,干旱频率在 60% 以上,陕北北部长城沿线接近 80%,陕南干旱频率一般在 40% 左右,南部山区相对较低,在 30% 以下。春季干旱频率一般在 20% ~ 40%,西北部偏高,东南部偏低,陕北和关中大部在 30% 左右,陕南在 20% 左右。夏季干旱频率较其它季节高,一般在 30% ~ 60%,其分布特征与年频率相似,陕北北部和关中东部较高,在 50% ~ 60%,陕北南部、关中西部及陕南在 40% 左右。秋季干旱频率与春季频率的分布相似,西北部高,东南部低,陕北和关中在 40% 左右,陕南在 30% 左右。冬季干旱频率各地差异较小,一般在 30% 左右。总体而言,陕西夏旱频率较高,春旱次之,秋冬旱相对少。

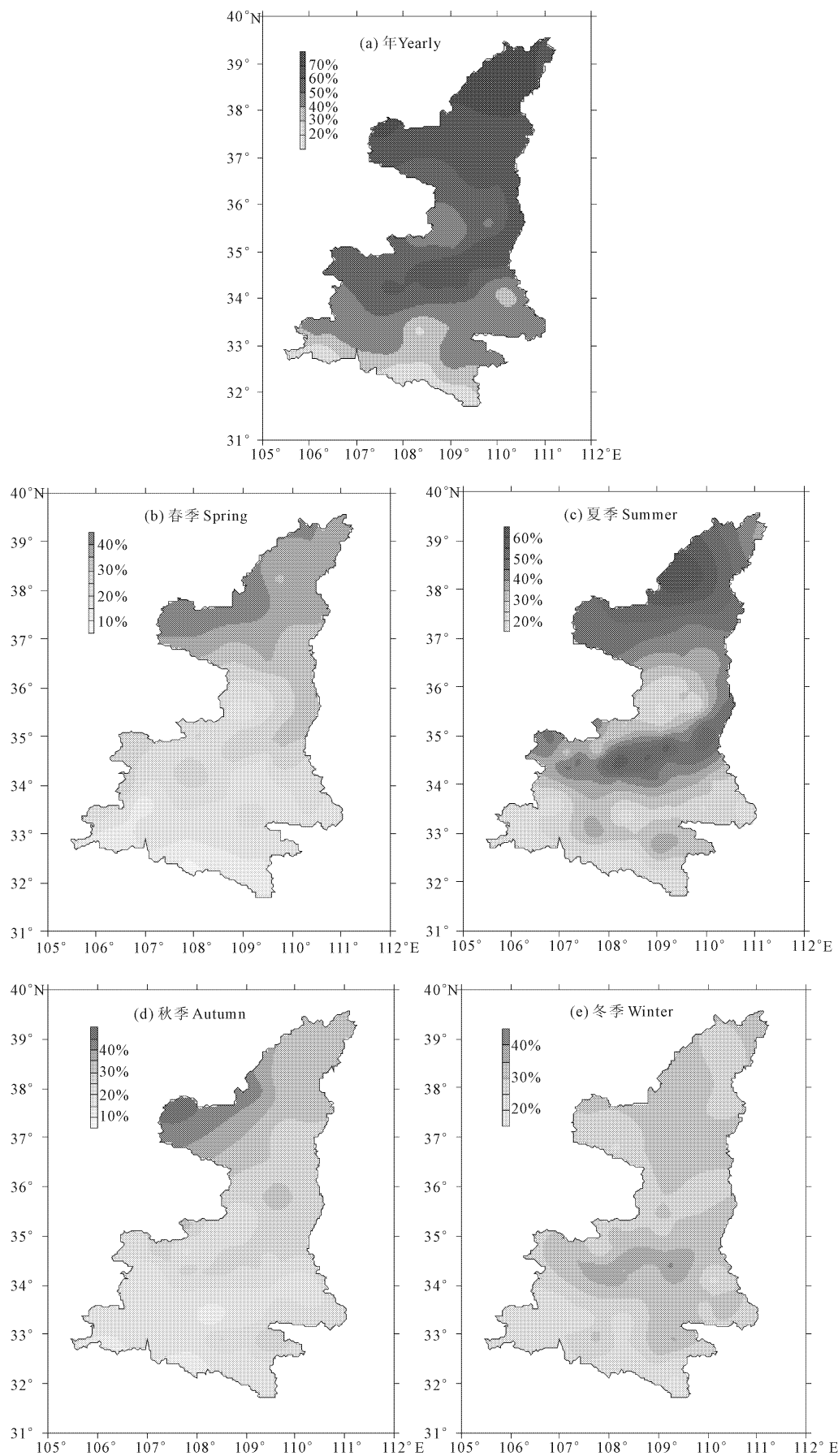


图 1 陕西省年及四季干旱发生频率分布

Fig.1 The distribution of seasonal and yearly drought frequency in Shaanxi Province

2.2 不同等级干旱日数分布

采用逐日各站 CI 值及不同级别的 CI 干旱指标,统计了 1961—2010 年陕西省历年及历年各季不同等级干旱出现的天数。陕西省年均旱日数在 90 ~ 180 $d \cdot a^{-1}$,分布呈现两个大值区,一个是陕北北部,另一个是关中平原至渭北东部(图略)。各等级年均旱日数的分布相似,也呈现陕北北部和关中中东部多,说明这两个区既是陕西省干旱频发区,也是干旱重发区。各等级旱日数的这种分布特征与年降水量的分布特征一致^[15],其原因可能与陕西的地理位置及特殊的地形地貌有关。从各等级干旱日数来看,轻旱日数最多,陕北、关中中东部以及汉江河谷的部分地区 55 ~ 65 $d \cdot a^{-1}$,约占全年总日数的 15% ~ 18%,陕南山区和渭北西部塬区 45 ~ 55 $d \cdot a^{-1}$,约占全年总日数的 12% ~ 15%。中旱其次,陕北和关中大部 40 ~ 55 $d \cdot a^{-1}$,陕南 30 ~ 40 $d \cdot a^{-1}$,占全年总日数的 8% ~ 15%。重旱和特旱日数陕北、关中平原及陕南东部 35 ~ 55 $d \cdot a^{-1}$,渭北西部塬区和陕南中西部 21 ~ 35 $d \cdot a^{-1}$,重特旱日数约占全年总日数的 6% ~ 15%(图 2a)。其中特旱仅 10 ~ 20 $d \cdot a^{-1}$ 。呈现出干旱程度越重其干旱日数越少的特征。

春季年均旱日数在 20 ~ 50 $d \cdot a^{-1}$ 。各等级旱日数呈北多南少的分布规律,年均轻旱日数一般为 11 ~ 19 $d \cdot a^{-1}$,约占春季总日数的 12% ~ 21%;中旱日数为 8 ~ 15 $d \cdot a^{-1}$,占春季总日数的 8% ~ 17%;重特旱日数为 6 ~ 14 $d \cdot a^{-1}$ (图 2b),占春季总日数的 6% ~ 15%,陕北和关中大部在 10 ~ 14 $d \cdot a^{-1}$,陕南 5 ~ 10 $d \cdot a^{-1}$ 。特旱仅 2 ~ 5 $d \cdot a^{-1}$ 。

夏季旱日数较其它季节略多。各等级干旱日数与全年非常相似,陕北北部和关中中东部平原区为干旱日数大值区。轻旱为 10 ~ 16 $d \cdot a^{-1}$,约占夏季总日数的 11% ~ 17%;中旱为 7 ~ 14 $d \cdot a^{-1}$,约占夏季总日数的 7% ~ 15%;重特旱为 6 ~ 21 $d \cdot a^{-1}$ (图 2c),约占夏季总日数的 6% ~ 23%,重特旱在陕南西部和中南部较少发生,夏季重特旱在陕北和关中平原发生机率较大,平均出现 15 ~ 20 $d \cdot a^{-1}$,且重特旱较其他各季明显偏多,夏季又是该地的雨季,说明该区域夏季旱涝极端性强。

秋季各级干旱日数较春季、夏季少,其中轻旱日数北多南少,为 8 ~ 17 $d \cdot a^{-1}$,约占秋季总日数的 9% ~ 19%;中旱日数为 5 ~ 13 $d \cdot a^{-1}$,约占秋季总日数的 5% ~ 14%;重特旱日数陕北、关中和陕南东南部 7 ~ 13 $d \cdot a^{-1}$,陕南中西部 3 ~ 7 $d \cdot a^{-1}$ (图 2d)。其中

特旱仅 2 ~ 6 $d \cdot a^{-1}$,与春季相当。

冬季各级干旱日数南北差异均较小,轻旱大部在 14 ~ 17 $d \cdot a^{-1}$,占冬季总日数的 16% ~ 19%;中旱 11 ~ 14 $d \cdot a^{-1}$,占冬季总日数的 12% ~ 16%;重特旱 5 ~ 10 $d \cdot a^{-1}$ (图 2e)。

上述分析表明,陕西一年四季不同程度的干旱均可能出现,总体来看,春、夏干旱日数较多,特重旱日数也较多,秋冬季旱日数相对少一些。

2.3 干旱强度时间变化

将所有发生干旱事件的站点综合气象干旱指数的平均值作为陕西省该年干旱强度指标。图 3 为陕西省平均逐年干旱强度变化,从图可见,1961—2010 年,陕西干旱强度存在增加趋势, CI 值倾向率为 $-11.8 \cdot 10a^{-1}$,通过 0.1 显著性水平检验。其中 20 世纪 60 年代至 90 年代初期,区域干旱强度处于缓慢增加趋势,90 年代中后期干旱强度维持在一个较重水平,2000 年以后,干旱强度呈减弱趋势。近 50 年中干旱强度最强的是 1995 年,其次依次是 1997 年、1999 年、1977 年、1986 年。

近 50 年春季干旱强度也呈增加趋势, CI 值倾向率为 $-4.80 \cdot 10a^{-1}$ 。春季干旱强度的阶段性变化较明显,20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期和 90 年代中期以后,春旱程度较重。近 50 年中 1962 年春旱程度最强,其次依次为 2000 年、1995 年和 2001 年。夏季干旱强度呈微弱的减小趋势,变化趋势不明显。近 50 年中 1997 年夏旱程度最强,其次依次为 1995 年、2001 年和 1982 年。秋季干旱程度呈显著增加趋势, CI 值倾向率为 $-5.02 \cdot 10a^{-1}$ 。近 50 年中 1998 年秋旱程度最强,其次依次为 1997 年、1991 年和 1977 年。冬季干旱强度呈弱的增加趋势, CI 值倾向率为 $-2.42 \cdot 10a^{-1}$ 。近 50 年中 1999 年冬旱程度最强,其次依次为 2008 年、1985 年和 1969 年。

2.4 干旱日数时间变化

1961—2010 年,陕西省平均年干旱日数的变化总体上呈增加趋势(图 4),倾向率为 7 $d \cdot 10a^{-1}$ 。近 50 年中 1995 年旱日数最多,达 237 d,也就是说,一年当中将近 1/3 时间处于干旱状态。其次依次为 1986 年、1999 年和 1997 年。从年代际变化来看,干旱日数的变化趋势与干旱强度的变化趋势一致,从 20 世纪 60 年代至 90 年代初干旱日数在缓慢增多,90 年代中后期达到最多,2000 年以后旱日数呈减少趋势。

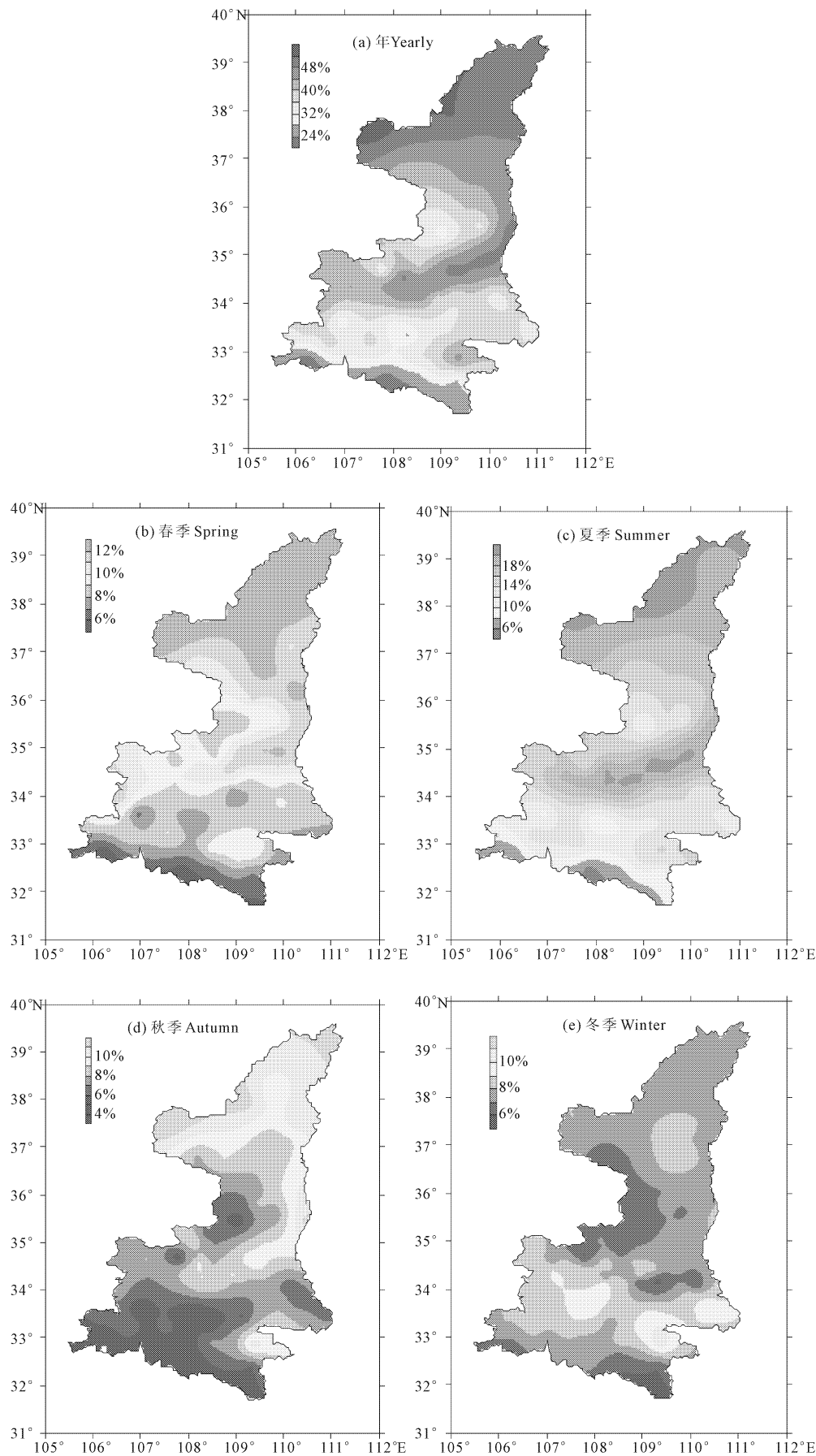


图 2 陕西省年及各季节重特旱日数的空间分布

Fig 2. The spatial distribution of yearly and seasonal severe or extreme drought days in Shaanxi Province

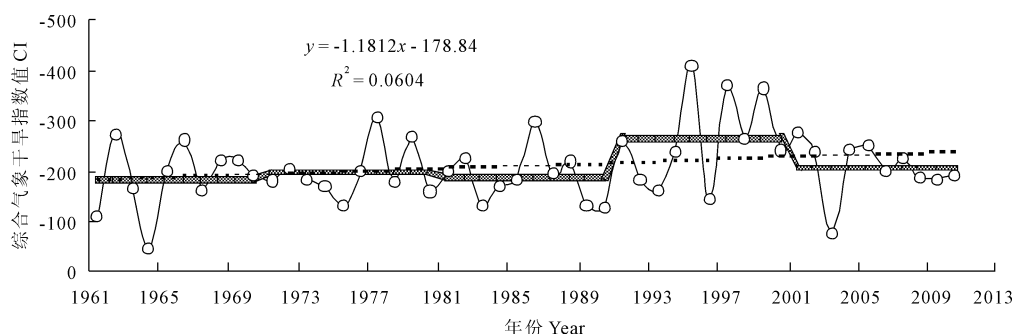


图 3 1961—2010 年陕西省干旱强度变化曲线

Fig. 3 The variation of drought intensity in Shaanxi Province during 1961—2010

1961—2010 年,陕西春季干旱日数也呈增加趋势,倾向率为 $2.9 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。2000 年春旱日数最多,达 73 d,其次依次是 1995 年、1962 年和 2001 年。春季旱日数的阶段性显著,20 世纪 70 年代中期至 80 年代中期和 90 年代以来春旱日数较多,60 年代春旱日数相对较少。夏季干旱日数的趋势变化不明

显。1997 年夏旱日数最多,达 75 d。其次依次是 2001 年、1995 年和 1976 年。秋季干旱日数呈增多趋势,倾向率为 $3.5 \text{ d} \cdot 10\text{a}^{-1}$ 。1998 年秋旱日数最多,达 68 d,其次依次是 1991 年、1995 年和 1979 年。冬季干旱日数的趋势变化不明显。1997 年冬旱日数最多,达 88 d,其次依次为 1984 年和 2007 年。

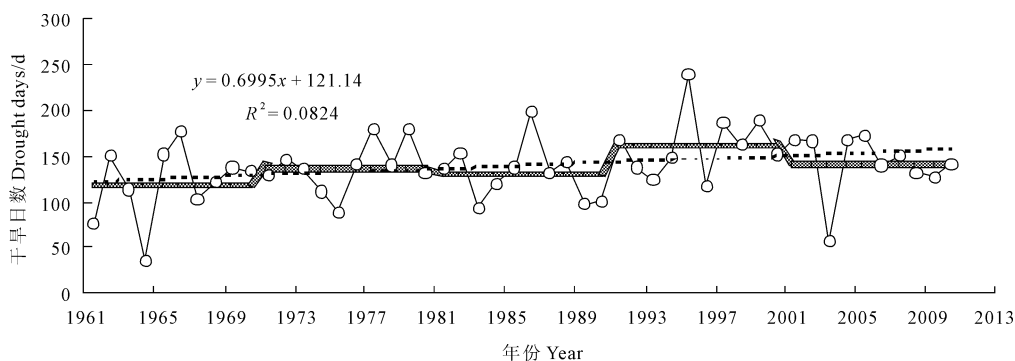


图 4 1961—2010 年陕西省年干旱日数历年变化曲线

Fig. 4 The variation of drought days in Shaanxi Province during 1961—2010

2.5 持续性干旱事件特征

持续性的干旱能进一步加重干旱的影响程度。本文将连续 3 个月或以上综合指数小于 -0.3 ,其中最小值小于 -0.5 的过程定义为持续性干旱事件。持续干旱事件的强度由月 CI 值之和确定。统计显示,1961—2010 年陕西省共出现 32 次持续干旱事件(表 2),平均每 18 个月发生 1 次。其中冬旱 1 次,夏旱 3 次,春夏旱 10 次,夏秋旱 6 次,秋冬旱 5 次,冬春旱 3 次,春夏秋、夏秋冬、秋冬春和冬春夏连旱各 1 次,如果不论干旱开始和持续时间,在 32 次持续干旱事件中春夏连旱 12 次,占 37% 以上。说明陕西持续性干旱以春夏连旱为主,其次为夏秋连旱,同时也进一步说明夏旱发生频繁。这一结论对于持续干旱事件的预测有一定的指示意义。春夏季是农作物播种、生长发育的关键时期,做好这一时期的干旱预测对于指导农业生产非常关键。

陕西干旱事件持续时间一般为 3—5 个月,最长

持续 7 个月。大多数跨越两个季节,少数跨越 3 个季节。从强度来看,近 50 年来干旱事件的强度最强的是 1998—1999 年的秋冬春 7 个月连旱,排第 2,第 3 位的是 1997 年 5—11 月的春夏秋连旱和 1995 年 2—7 月的冬春夏连旱。

图 5 是 1961—2010 年各年代逐月干旱强度变化曲线,其中深色线部分为持续性干旱事件。从中可以看出,陕西省持续性干旱事件 1960 年代有 6 次,1970 年代有 5 次,1980、1990、2000 年代各有 7 次,各年代出现的概率差别不大。从各年代持续干旱事件的强度来看,1990 年代的持续干旱事件的强度最强,其次是 2000 年代,1980 年代持续性干旱事件虽频次多,但强度弱。从阶段性来看,1995—2002 年的 8 年中持续性干旱事件出现了 8 次,其中有 6 次持续了 5 个月以上,这一时期干旱事件发生频率高,强度强。

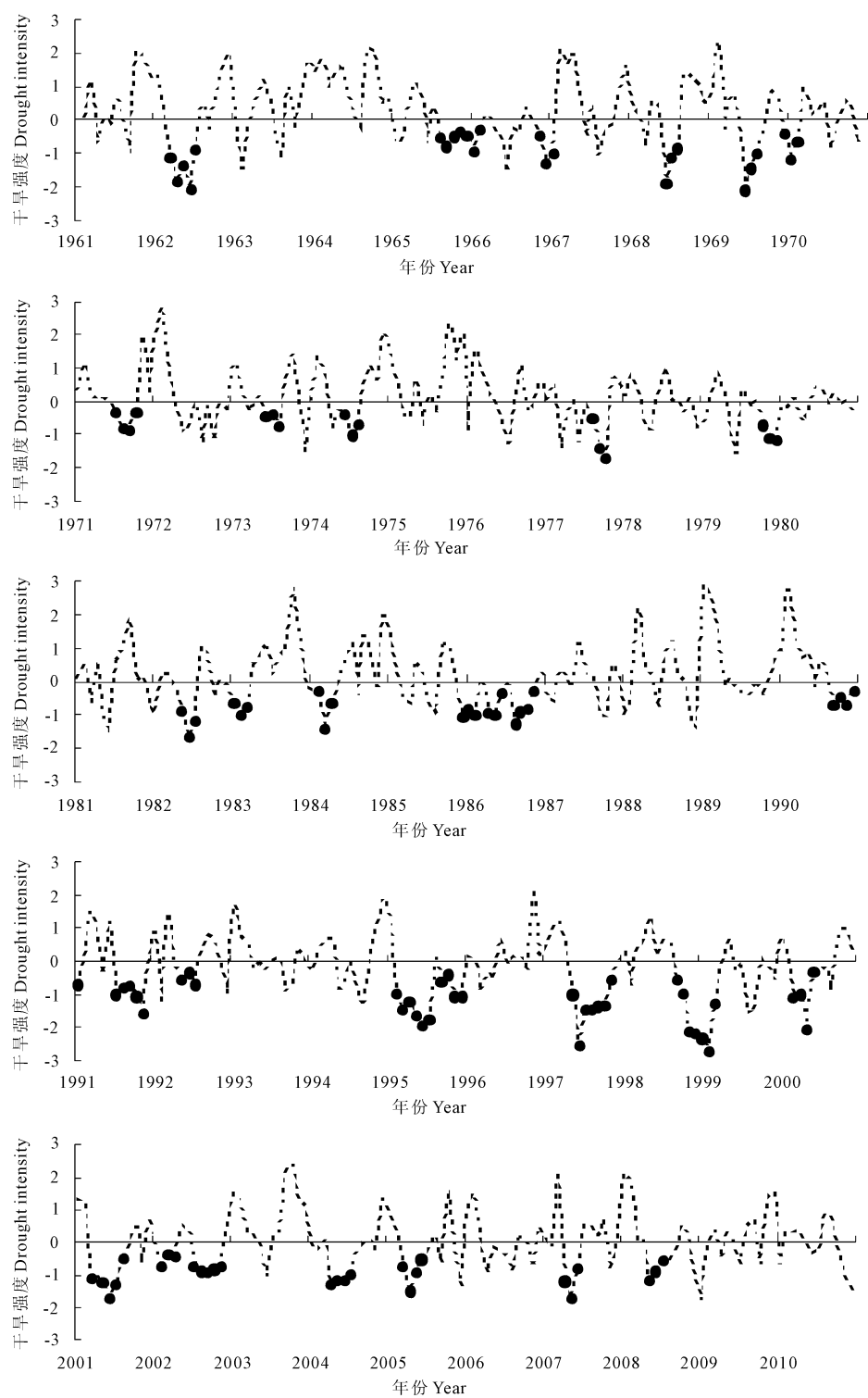


图 5 陕西区域月干旱强度变化曲线

Fig.5 The variation of monthly drought intensity in Shaanxi Province

3 结论与讨论

通过各站历年逐日 *CI* 值的计算,分析了陕西省近 50 年来气象干旱发生频率、旱日数和强度的变化规律;得到以下结论:

1) 陕西省干旱发生频次大体上呈北高南低的分布规律,陕北和关中干旱频率普遍较高,年频率在 50% 以上,尤其是陕北北部和关中中东部地区是干旱高发区。四个季节中夏季干旱频率较其它季节高,春旱其次,秋冬旱相对少。

表 2 陕西省持续性干旱事件出现时间、强度及持续月数

Table 2 The beginning time, intensity and lasting period of continuous drought events in Shaanxi Province

排位 Ranking	开始时间 (年-月) Beginning time (Y-M)	跨越季节及 持续时间(月) Season and lasting period (month)	排位 Ranking	开始时间 (年-月) Beginning time (Y-M)	跨越季节及 持续时间(月) Season and lasting period (month)
1	1998-09	秋冬春(7) Autumn, winter and spring (7)	17	1986-08	夏秋(4) Summer and autumn (4)
2	1995-02	冬春夏(3) Winter, spring and summer (3)	18	2002-07	夏秋(5) Summer and autumn (5)
3	1962-03	春夏(5) Spring and summer (5)	19	1984-02	冬春(3) Winter and spring (3)
4	1997-05	春夏秋(7) Spring, summer and autumn (7)	20	2005-03	春夏(5) Spring and summer (5)
5	1968-06	夏(3) Summer (3)	21	2008-05	春夏(4) Spring and summer (4)
6	1977-08	夏秋(3) Summer and autumn (3)	22	1985-11	秋冬(4) Autumn and winter (4)
7	1969-06	夏秋(4) Summer and autumn (4)	23	1986-04	春夏(3) Spring and summer (3)
8	1982-05	春夏(3) Spring and summer (3)	24	1995-07	秋冬(4) Autumn and winter (4)
9	2007-04	春夏(3) Spring and summer (3)	25	1969-12	冬(3) Winter (3)
10	2001-03	春夏(6) Spring and summer (6)	26	1974-01	夏(3) Summer (3)
11	2004-04	春夏(4) Spring and summer (4)	27	1990-09	秋冬(5) Autumn and winter (5)
12	1991-07	夏秋(5) Summer and autumn (5)	28	1971-07	夏秋(4) Summer and autumn (4)
13	1979-01	秋冬(3) Autumn and winter (3)	29	1965-08	夏秋冬(7) Summer, autumn and winter (7)
14	2000-03	春夏(5) Spring and summer (5)	30	1973-06	夏(3) Summer (3)
15	1966-11	秋冬(3) Autumn and winter (3)	31	1992-05	春夏(3) Spring and summer (3)
16	1983-01	冬春(3) Winter and spring (3)	32	2002-02	冬春(3) Winter and spring (3)

2) 陕西省年均旱日数在 90~180 d·a⁻¹,分布呈现两个大值区,一个是陕北北部,另一个是关中平原至渭北东部。各等级旱日数的分布也基本相似,呈现陕北北部和关中中东部多。各季旱日数基本在 20~50 d·a⁻¹,其中夏季旱日数和重特旱日数均较其它季节多。

3) 1961—2010 年,陕西春季和秋季干旱日数、干旱强度均呈增多、增强变化趋势,夏季和冬季变化趋势不明显。总体上,近 50 年陕西省区域干旱日数和干旱强度呈增多、增强趋势,干旱日数和干旱强度均具有阶段性变化特征,且变化基本一致。从 20 世纪 60 年代至 90 年代初处于干旱日数缓慢增多,强度缓慢增强阶段,90 年代中后期为干旱日数最多、强度最强阶段,2000 年以后干旱日数趋少,强度趋轻。

4) 近 50 年来,陕西省平均每 18 个月发生一次持续性干旱事件。持续性干旱事件以春夏连旱为主(占 12/32)。20 世纪 90 年代中后期至 2002 年持续性干旱事件的频率高,强度强,反映出陕西区域极端干旱事件对全球气候变化的响应。

参 考 文 献:

[1] IPCC. Emissions Scenarios: A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panels on Climate Change[R]. Cambridge: Cambridge Press, 2000.

[2] IPCC. Summary for policymakers of the synthesis report of the IPCC fourth assessment report[R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.

[3] 卫捷,马柱国. Palmer 干旱指标、地表湿润指标与降水距平的比较[J]. 地理学报, 2003, 58(增刊): 117-124.

[4] 张淑杰,张玉书,陈鹏狮,等. 东北地区湿润指数及其干湿界线的变化特征[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(3): 226-232.

[5] 谭学志,栗晓玲,邵东国. 基于 SPI 的陕西关中地区气象干旱时空特征分析[J]. 干旱地区农业研究, 2011, 29(2): 224-229.

[6] 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.

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

[8] 宋连春,邓振镛,董安祥,等. 干旱[M]. 北京:气象出版社, 2003: 54-55.

[9] 中国国家标准化管理委员会. GB/T20481-2006. 气象干旱等级[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.

[10] 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.

[11] 赵美,张军. 江苏干旱监测指数 CI 对比分析[J]. 江苏农业科学, 2011, 39(50): 448-451.

[12] 曹永强,张兰霞,张岳军,等. 基于 CI 指数的辽宁省气象干旱特征分析[J]. 资源科学, 2012, 34(2): 265-272.

[13] 包云轩,孟翠丽,申双和,等. 基于 CI 指数的江苏省近 50 年干旱的时空分布规律[J]. 地理学报, 2011, 66(5): 599-608.

[14] 乔丽,杜继稳,薛春芳,等. 干旱指标在陕西省适用性研究[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(2): 1-6.

[15] 蔡新玲,贺皓,王繁强,等. 陕西省近 47 a 来降水变化分析[J]. 中国沙漠, 2010, 30(2): 446-451.