

陕西省极端无雨日数的时空分布特征

王娜¹, 王琦¹, 方锋², 蔡新玲¹, 肖科丽³, 方建刚¹

(1. 陕西省气候中心, 陕西 西安 710014; 2. 西北区域气候中心, 甘肃 兰州 730020;

3. 陕西省气象学会, 陕西 西安 710016)

摘要: 利用陕西省 78 个地面气象站 1961—2010 年的逐日降水资料, 统计了四季最大连续无降水日数, 采用正交函数分解、Mann-Kendall 趋势检验等方法, 分析了各季节极端无降水日数的空间结构和时间演变规律。结果表明: 极端无雨日数最多出现在冬季, 为 16~45 d, 最少是夏季, 为 8~14 d; 冬、春季节的高值中心出现在陕北北部、关中的东部, 冬季陕北北部达 43 d 以上, 夏季高值中心出现在关中的东部, 为 11~13 d; 冬、春旱陕北最多, 关中次之, 陕南较少, 夏、秋旱关中最多, 陕北次之, 陕南较少; 在大尺度天气系统控制下, 四季极端无降水日数事件的步调基本一致, 不同季节的天气系统对陕西各区域的影响具有明显的局地性和阶段性; 近 50 a 来夏季和秋季表现为持续增多趋势, 冬季和春季有部分站点呈现出反向变化趋势, 其中夏季和秋季陕北局部、陕南局部干旱日数增多趋势显著。

关键词: 极端无雨日数; 时空分布特征; 陕西省

中图分类号: S423; S165+.2 文献标志码: A 文章编号: 1000-7601(2014)06-0221-08

Characteristics of spatial and temporal variation of extreme no rain days in each season in Shaanxi province

WANG Na¹, WANG Qi¹, FANG Feng², CAI Xin-ling¹, XIAO Ke-li³, FANG Jian-gang¹

(1. Shaanxi Climate Center, Xi'an, Shaanxi 710014, China; 2. Northwest Region Climate Center, Lanzhou, Gansu 730020, China; 3. Shaanxi Meteorological Society, Xi'an, Shaanxi 710016, China)

Abstract: The spatial and temporal characteristics of extreme no rain days are analyzed using the daily precipitation data at 78 stations in Shaanxi Province from 1961—2010. Using EOF, Mann-Kendall trend test and others, the maximum continuous rainless days (daily rainfall less than 0.1mm) of each season are analyzed. The result shows that the most extreme no rain days have taken place in winter for 16~45 days, while the least days in summer for 8~14 days. The high value center in winter and spring occurs in the north of northern Shaanxi and eastern Guanzhong, of which the maximum lasts for over 43 days in north of northern Shaanxi in winter, while the high value center in summer happens in eastern Guanzhong for 11 to 13 days. The drought in winter and spring occurs most frequently in northern Shaanxi, less in Guanzhong, least in southern Shaanxi. The drought in summer and autumn occurs most frequently in Guanzhong, less in northern Shaanxi, least in southern Shaanxi. Under the control of large-scale weather system, the extreme no rain days of each season have the same frequency, but the influence of the weather systems in different seasons on the sub-region is of significant localization and stage. In the past 50 years it is an increasing trend in summer and autumn, while some sites show a reverse trend in winter and spring. There is a significantly increasing trend in summer and autumn in some places of northern Shaanxi and southern Shaanxi.

Keywords: extreme no rain days; characteristics of spatial and temporal variation; Shaanxi province

陕西省地处我国西北地区, 北部跨黄土高原中部, 属大陆性季风气候, 全省横跨三个气候带, 干旱是陕西出现最多、持续时间最长、危害范围最广、经济损失最大的一种灾害, 素有“十年九旱”之称。很多学者对西北干旱气候特征进行了分析^[1-6], 王劲松等^[1-3]根据降水和蒸发资料, 分析了

收稿日期: 2014-03-24
基金项目: 陕西省气象局重点科研项目(2011Z-7, 2013Z-6)
作者简介: 王娜(1984—), 女, 工程师, 硕士, 主要从事气候预测及气候评价方面的研究。E-mail: wangna_na@163.com。

西北春季和伏期(7—8月)的干旱气候特征,发现新疆南部、甘肃西部、青海西部是重旱高发区,新疆北部偏南地区,甘肃北部、南部和东部,宁夏北部,青海东南部,陕西北部是中旱高发区。张永等^[4]基于Palmer干旱指数研究西北不同区域干旱变化特征时,发现西北东部、西部存在完全相反的干湿变化。最近也有学者对陕西的干旱特征进行分析,李星敏^[7]分析了降水距平百分率、Z指数、Palmer干旱指数、土壤相对湿度等不同干旱指标对陕西干旱发生、发展、变化的敏感性,描述干旱发生的范围、程度的差异,并指出各干旱指标都能反应出区域内干旱的发生,但各指标反映出的干旱程度和范围不同。乔丽等^[8]利用降水量等气象资料,采用降水距平百分率,对陕西省干旱灾害的发生特征进行了详细分析。这些研究成果多从降水量和气温异常的角度进行分

析,而干旱气候的形成,终究是降水偏少和长时间无降水的结果,即使降水量较多,但如果过于集中,而无降水日数增加,同样也会导致干旱。连续无降水日数作为表征干旱的重要指标之一,是指一段时期内连续不出现大于0.1 mm降水的日数,经常被用来研究严重干旱的发生情况。刘莉红、翟盘茂等^[9]利用北方下半年的逐日降水数据,发现近54 a来东北和华北大部分相对湿润地区的极端无雨日数延长,有变干趋势,北方主要干旱半干旱地区的极端无雨日数变短,干旱有所缓解。目前极端无雨日数事件的研究主要集中在夏半年极端无雨日数长度频率特征上^[10-11],对各季节极端无雨日数很少涉及,因此研究陕西省全年各季节极端无雨日数的时空分布特征,对了解掌握陕西干旱气候特征、防灾减灾、合理分配水资源、服务农业生产有着十分重要的现实意义。

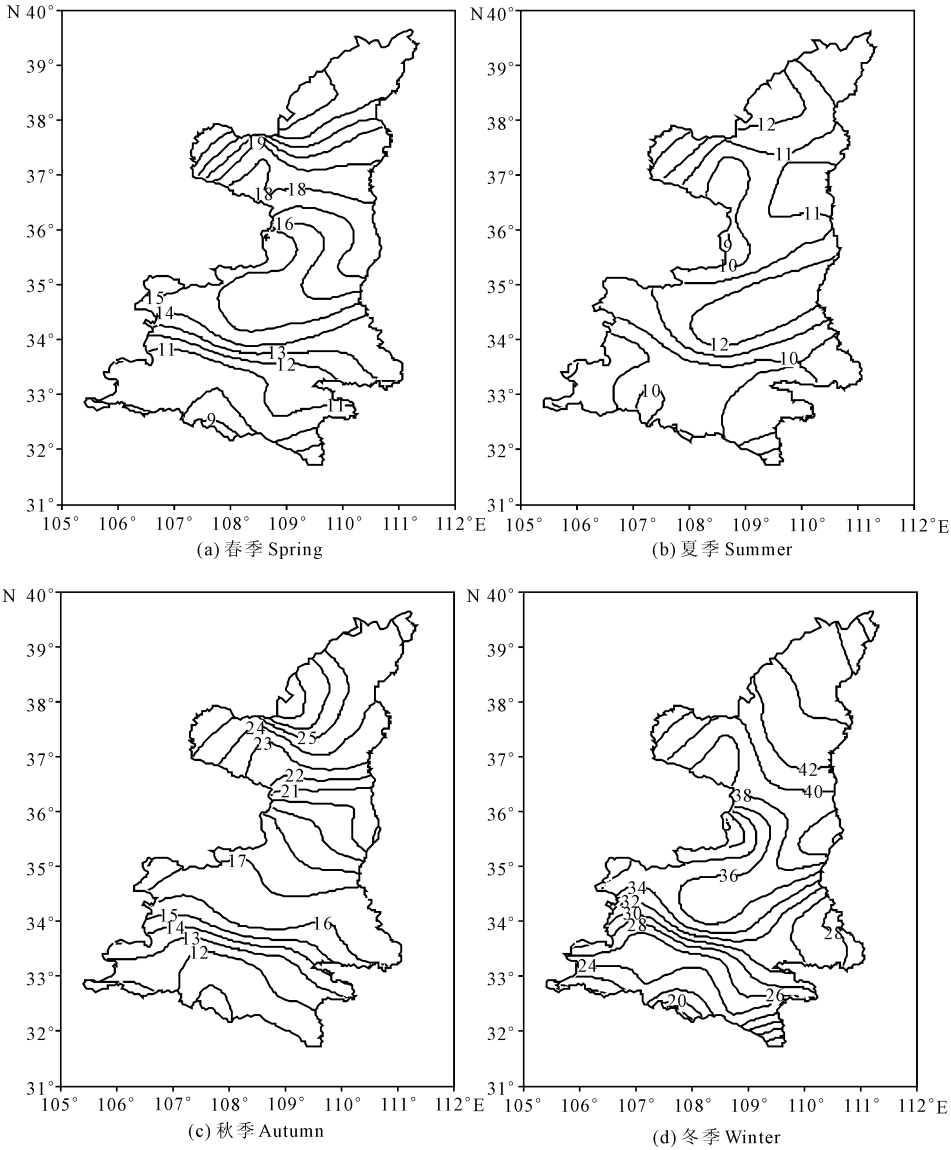


图 1 陕西省各季节极端无雨日数多年平均空间分布

Fig.1 Spatial distribution of average day number of extreme no rain days in each season in Shaanxi

1 资料和方法

选取 1961—2010 年陕西 78 个地面气象站的逐日降水资料,统计了各个季节连续无雨日数(日降水量 $<0.1\text{ mm}$),以最长连续无雨日数表示该季节的极端无雨日数长度。季节划分为,春季 3—5 月,夏季 6—8 月,秋季 9—11 月,冬季去年 12 月—当年 2 月。利用 EOF(Empirical Orthogonal Function, 经验正交分解函数)提取复杂信号的优势^[12],对标准化极端无雨日数进行分解,应用 Mann – Kendall 趋势检验等方法,进行时空特征分析,计算过程参见文献[13]。

2 结果分析

2.1 各季极端无雨日数气候特征

图 1 为陕西 1981—2010 年各季节平均极端无

雨日数的空间分布。从图 1 可以看出,各地各季节极端无雨日数多年均值具有一定的地域特征,自北向南减少。春季年平均极端无雨日数为 9~23 d,大值区在陕北北部,在 19 d 以上;夏季为 8~14 d,大值区位于关中的东部,达 11~13 d;秋季 11~27 d,大值区位于陕北的西北部,在 24 d 以上;冬季为 16~45 d,大值区在陕北北部和关中东部,其中陕北北部达 43 d 以上,而陕南南部存在一个低值区,在 16~27 d。

图 2 为历史上各季节出现的最大极端无雨日数,其分布特征与多年均值类似,自北向南减小。春季年最大极端无雨日数为 15~62 d,大值区在陕北北部,为 35 d 以上,全省最大值出现在陕北府谷为 62 d;夏季为 13~36 d,大值区位于关中中东部、陕南东部,达 22 d 以上,最大出现在陕南商县 36 d;秋

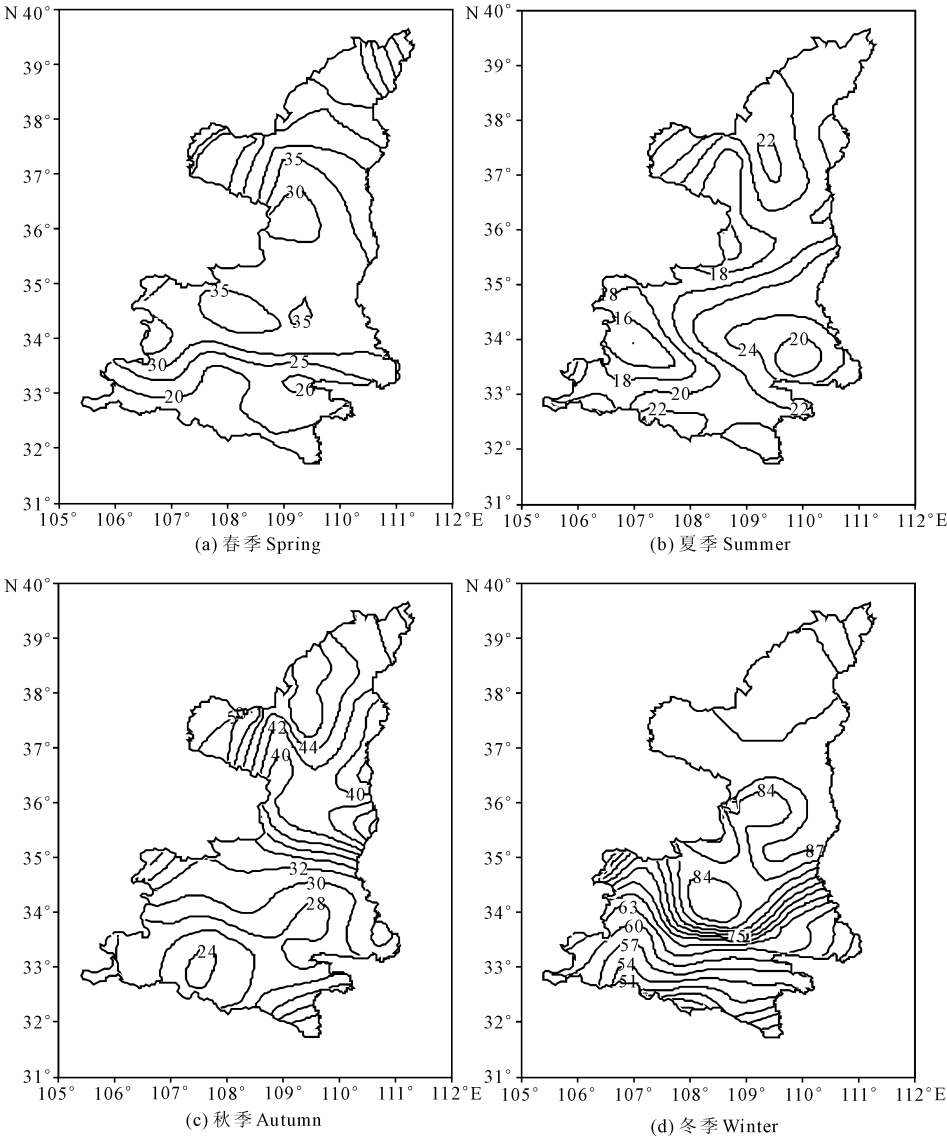


图 2 陕西省各季节极端无雨日数极大值空间分布

Fig.2 Spatial distribution of maximum day number of extreme no rain days in each season in Shaanxi

季为 19~49 d,大值区位于陕北北部,达 44 d 以上,最大出现在陕北定边、吴旗 49 d;冬季为 39~91 d,大值区位于陕北为 84~91 d,最大出现在陕北榆林、横山 91 d。

从季节分布上看,最长极端无雨日数出现在冬季,最短在夏季;空间分布是北部多,南部少;冬、春季节的高值中心出现在陕北北部、关中东部,夏季高值中心出现在关中东部。极端无雨日数与陕西干旱特点相对应,这与乔丽的研究相似^[8,14],冬、春旱陕北最多,关中次之,陕南较少,夏、秋旱关中最,陕北次之,陕南较少。

2.2 极端无雨日数的空间异常特征

陕西省各季节极端无雨日数 EOF 分解第一载荷向量分布情况见图 3。各季节第一载荷向量均为

正值,表现为一致的同位相变化,春季载荷向量的绝对大值出现在关中中西部,模态对总方差贡献率为 45.4%;夏季载荷向量的绝对大值出现在陕南南部,模态对总方差贡献率为 26%;秋季载荷向量的绝对大值出现在关中中东部,模态对总方差贡献率为 60.8%;冬季载荷向量的绝对大值出现在关中中北部地区,模态对总方差贡献率为 63.7%。相比较,关中大部在各季节中载荷向量值均较大,说明关中极端无雨日数容易出现异常,是灾害程度最重的地区^[15],冬季、秋季全省一致的概率较大,而夏季全省一致概率小。这种变化特征表明陕西各季节在同一大尺度天气系统控制下,出现极端无雨日数的步调基本一致。

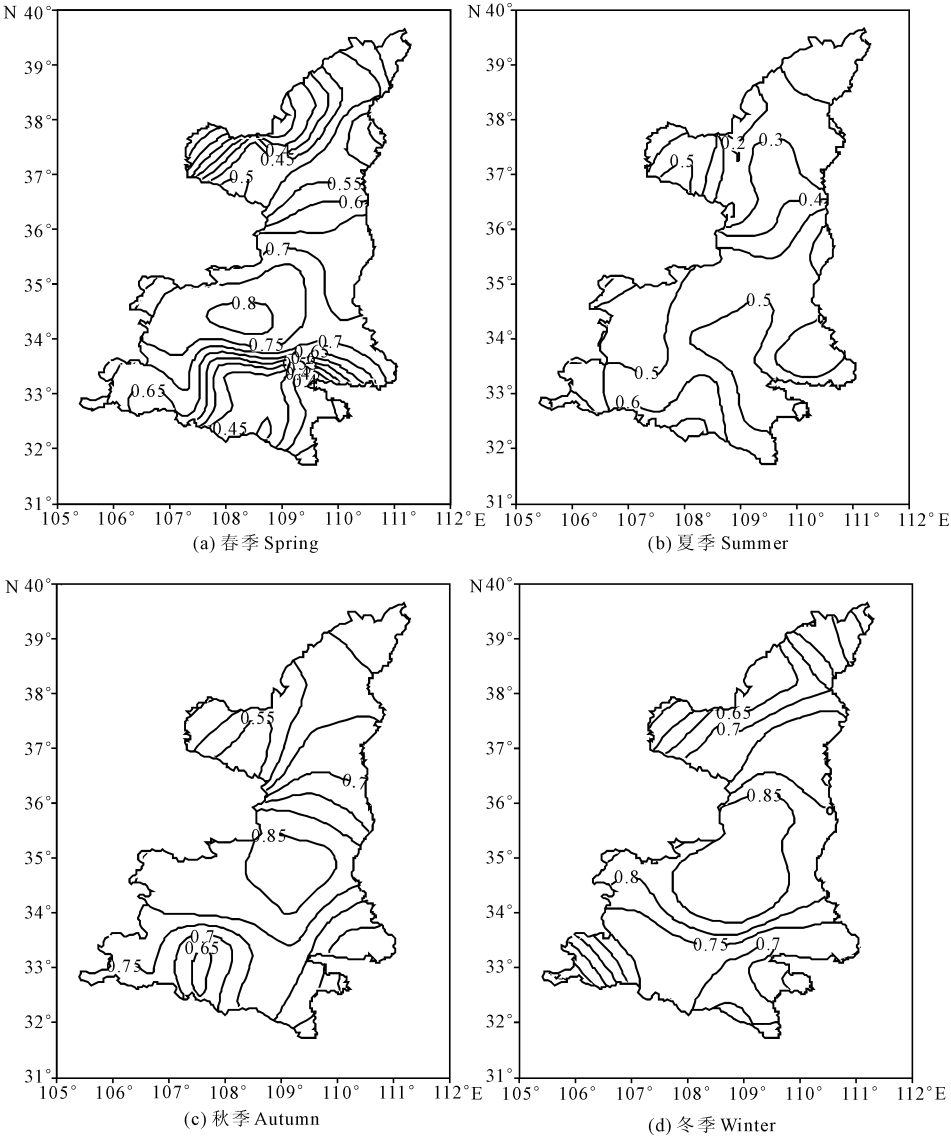


图 3 陕西省各季节极端无雨日数第一载荷向量的空间分布

Fig.3 Spatial distribution of the first eigenvalue of day number of extreme no rain days in each season in Shaanxi

第二载荷向量分布图(图 4)可以看出,各季节分布有明显不同,春季陕北、陕南的极端无雨日数载荷向量为负值,中部为正值,呈现南北-中部差异,关中中部为正载荷向量中心,陕北北部为负载荷向量中心,该模态对总方差贡献率为 8.48%;夏季的分布特点与春季相似,关中中部为正载荷向量中心,陕南南部为负载荷向量中心,该模态对总方差贡献率为 8.72%;秋季呈现南北差异,即北多(少)南少(多)的特点,正载荷向量中心位于陕北北部,负载荷向量中心位于陕南,该模态对总方差贡献率为

8.6%;冬季分布特点与秋季相似,表现为南北相异性,该模态对总方差贡献率为 6.93%。根据天气学原理,冬季和春季主要受干冷冬季风的影响,蒙古冷高压以及极地冷空气团不断分裂南下,东亚大槽后西北气流盛行下沉运动,雨雪稀少,夏季干旱主要由西太平洋副热带高压边缘雨带偏离陕西所造成的。由于地形和不同季节天气系统变化的叠加作用,造成极端无雨日数南北差异,以及季节性特点和地理分布不均的特征。

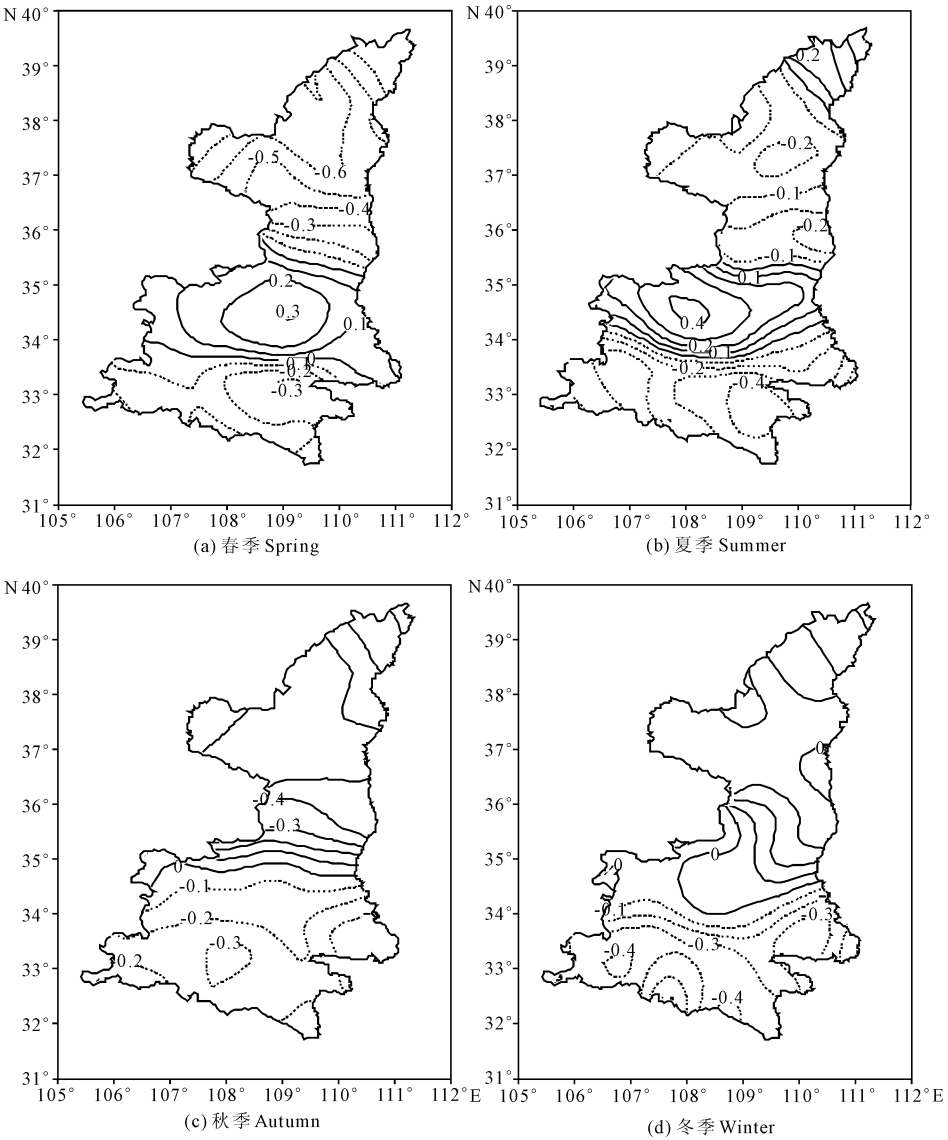


图 4 陕西省各季节极端无雨日数第二载荷向量的空间分布

Fig.4 Spatial distribution of the second eigenvalue of day number of extreme no rain days in each season in Shaanxi

2.3 各季极端无雨日数的时间变化特征

2.3.1 季节和年代际变化 利用经 EOF 分解的第一时间系数序列,分析陕西极端无雨日数长度随时间的变化规律(图 5),各季极端无雨日数的年际、年

代际变化都非常明显。

1960s 初春季极端无雨日数均相对较长,年际变幅较大,1960s 中后期—1980s 为极端无雨日数的较短时期,1990s 后为较长时期;夏季,1960s 为极端无

雨日数的较短时期,1970s 中期经历了短暂的极端无雨日数较长期后,1980s 进入极端无雨日数相对短期,1990s 后为较长时期;秋季,从 1960s—2000s,极端无雨日数呈现逐年代增加趋势,尤其是 1990s—2000s;冬季,1960s 为极端无雨日数的较长时期,1970s—1980s 为极端无雨日数的较短时期,1990s 为较长时期,2000s 呈现下降趋势。其中夏季极端无雨日数线性变化呈现增多趋势,相关系数通过了 0.05 的显著性水平,尤其是 1980s 开始增多趋势更为显著,秋季极端无雨日数呈现弱的增多趋势,未通过 0.05 水平显著性检验,但呈现出变化幅度大、年际变化明显的特点。

为进一步说明极端无雨日数的年代际变化特点,分析各年代四季的变化,由表 1 和各季节的多项式拟合曲线(图 5)表明:1960s 初期春季、冬季极端无雨日数较长,夏季、秋季处于相对较短期;1970s 各季的极端无雨日数都表现为相对较短;1980s 夏季极端无雨日数表现为较短,春季、秋季、冬季表现为前期较短,后期转为较长;1990s 各季的极端无雨日数都表现为相对较长,进入 2000s 以后,除冬季的极端无雨日数表现为较短,其它季节表现为较长趋势。可见,1980s 是极端无雨日数的转折点,这与陕西省

降水变化一致性很好。

以标准化后的第一时间系数超过 1(−1)定义极端无雨日数长短,春季日数多(少)的典型年份为 1962、1981、2001、2004、2007(1964、1967、1980、1987、2003)共 5(5)年;夏季日数多(少)的典型年份为 1972、1994、1997、2007、2010(1964、1980、1983、1984、1985、1993)共 5(6)年;秋季日数多(少)的典型年份为 1970、1973、1985、1988、1995、1997、1998、2001、2002、2006(1961、1993、1996、2004)共 10(4)年;冬季日数多(少)的典型年份为 1963、1976、1988、1992、1999、2009、2010(1969、1972、1973、1985、1990、2001、2008)共 7(7)年,从以上分析可以看出,陕西除秋季出现典型多的年份要比典型少的年份多外,其它各季节持平。

表 1 四季极端无雨日数的年代际变化
Table 1 The decadal variability of extreme no rain days in each season

季节 Season	年代 Decade				
	1960s	1970s	1980s	1990s	2000s
春季 Spring	14.5	13.8	14.3	14.6	15.1
夏季 Summer	10.3	10.8	9.7	11.6	11.4
秋季 Autumn	15.4	16.0	16.6	17.1	17.4
冬季 Winter	34.7	29.5	30.4	39.1	31.0

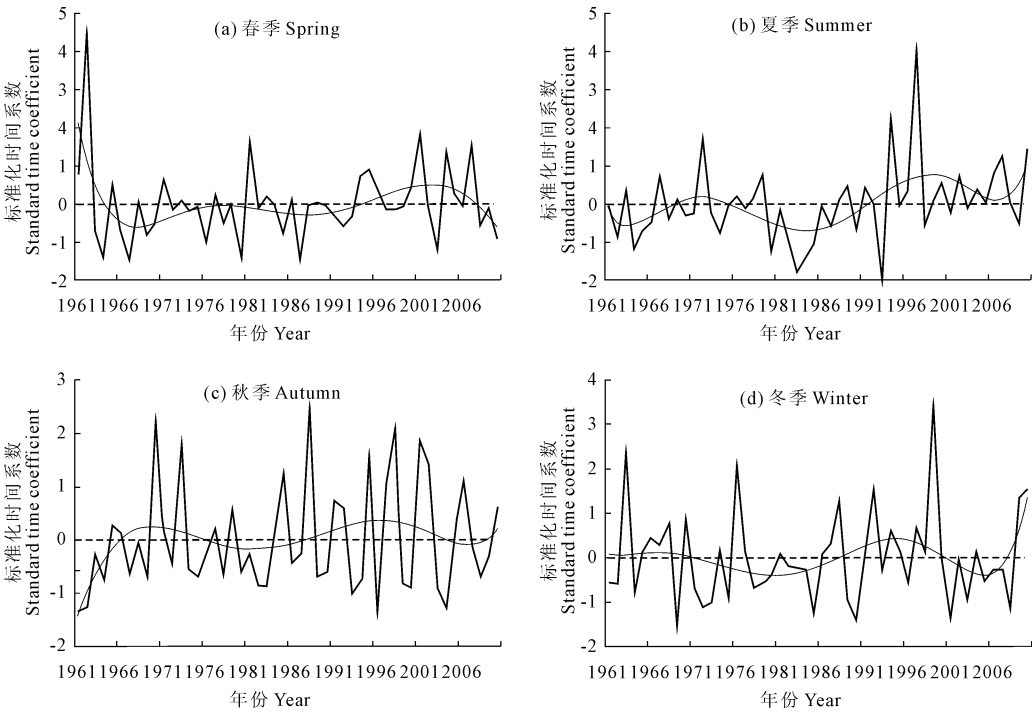


图 5 陕西省各季节极端无雨日数第一模态的时间演变曲线(粗实线)和六阶时间趋势(细实线)

Fig.5 Temporal evolution curve (thick solid line) and six – order time tendency (thin solid line) of the first eigenvalue vector for day number of the extreme no rain days in each season in Shaanxi

2.3.2 极端无雨日数变化趋势检验 本文利用 Mann – Kendall 方法(简称 M – K 法)检测极端无雨

日数的变化趋势,当 K 值绝对值大于 1.29、1.96 和 2.56 时,变化趋势分别达到 90%、95% 和 99% 的信

度检验被认为存在显著的变化趋势;正值表示增大趋势,反之为减小趋势。

春季,陕北大部、关中极端无雨日数呈增加趋势,陕北北部局地、陕南中西部呈减少趋势,关中中东部增加趋势较其它地区明显,但未通过显著性检验;夏季全省极端无雨日数一致呈增加趋势,陕北增加趋势较大,其中宜川、洛川、宝鸡、乾县、渭南、佛坪等地增加趋势明显,通过 95% 的信度检验;秋季也呈增加趋势,陕北北部定边、吴旗、子长、绥德、陕南镇坪增加趋势明显;冬季呈现南北反向,陕北北部呈

现减少趋势,陕北南部、关中、陕南为增加趋势,且陕南镇安增加趋势明显(图 6)。

从上面分析看到,夏季和秋季全省极端无雨日数表现为一致的增多趋势,夏季和秋季陕北局部、陕南局部干期日数增多趋势非常显著,表明陕西干旱化加剧,这与刘莉红、翟盘茂等^[16]研究一致,且极端干旱多发生在夏秋季,这与李星敏等^[7]研究一致。而冬季和春季个别站点呈现出减少变化趋势,与省内其余地区不同。

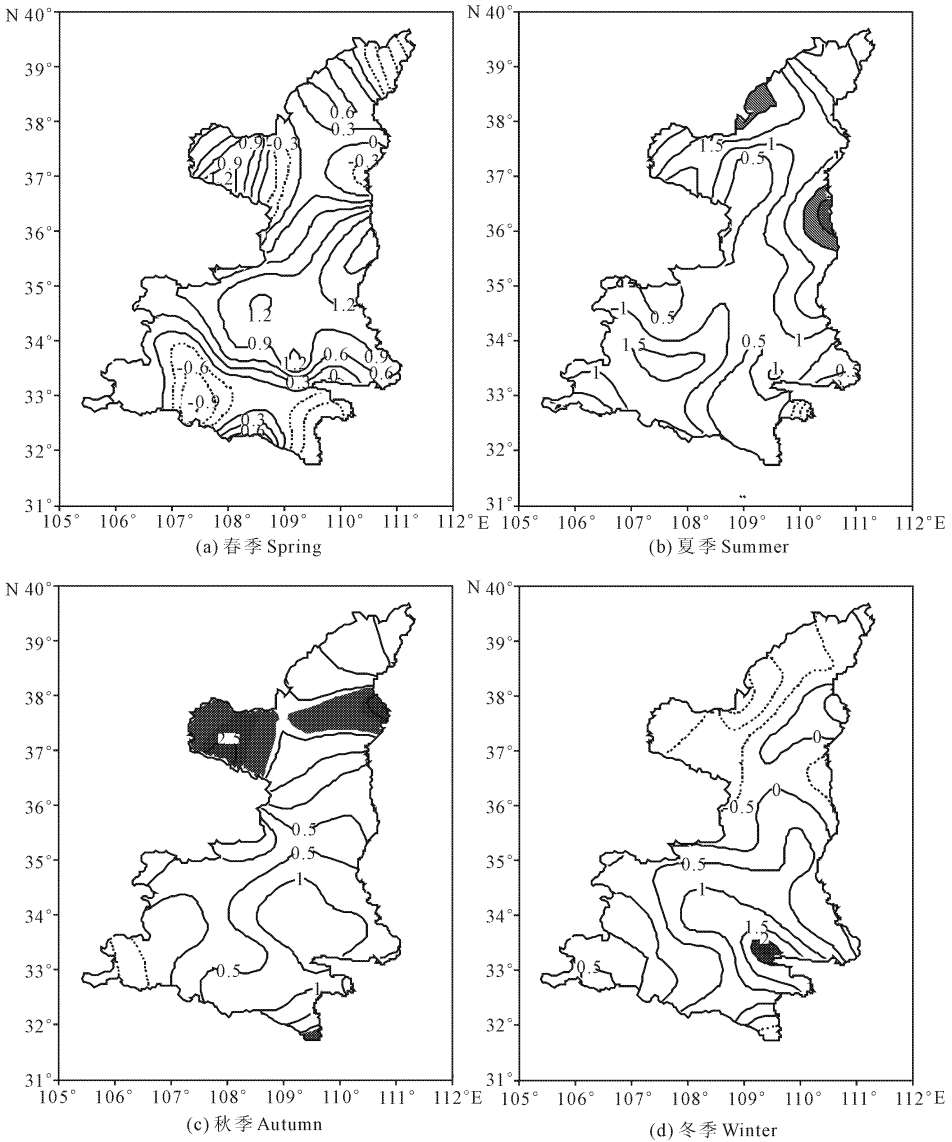


图 6 陕西省各季节极端无雨日数的 M - K 变化趋势分布(阴影为通过 95% 及以上信度检验区域)

Fig.6 Spatial distribution of the M - K trend of day number of extreme no rain days in each season in Shaanxi
(The regions exceeding the 95% significance level are shaded)

2.4 极端无雨日数变化对陕西农业的影响

综合以上分析,全省极端无雨日数呈现增多趋势。为了说明极端无雨日数变化对陕西农业影响,

本文利用陕西 1984—2007 年气象灾害普查数据库,分析干旱对陕西农业的变化,灾情数据来源于省民政局等部门。图 7 为 1984—2007 年历年干旱造成

的农业成灾面积,1984–2007 年平均每年 $6.37 \times 10^5 \text{ hm}^2$ 农田受旱成灾,自 1984 年以来干旱造成的农业成灾面积在波动中呈增加趋势,递增速率为 $1.16 \times 10^4 \text{ hm}^2 \cdot \text{a}^{-1}$,1990s 年代受灾最严重,由此可见,干旱对农业的影响与极端无雨日数的趋势及年代际变化也是一致的,这与翟盘茂、肖军^[17–18]研究一致。

为分析极端无雨日数与农业干旱的关系,利用多元回归方法建立了四季极端无雨日数与农业成灾面积的关系,回归方程如下:

$$y = 57.6x_1 + 71.3x_2 + 9.0x_3 + 31.1x_4 + 618.5$$

式中, y 为干旱成灾面积, x_1 、 x_2 、 x_3 、 x_4 分别代表春、夏、秋、冬季极端无雨日数 EOF 分解的第一时间系数。

由回归方程自变量系数可以看出:夏季极端无雨日数对农业成灾影响最大,其次为春季和冬季,秋季影响最小,这与近 50 a 干旱记录一致^[19],夏旱最多,其次是春旱,秋冬旱较少。

干旱是陕西省农业生产最主要的自然灾害,而 1990s 年代受灾最严重,本文取极端无雨日数典型异常年份,1997 年夏季、1998 年秋季说明干旱对农业、人民生活影响的典型个例。1997 年夏季降水量偏少,全省平均极端无雨日数达 17.5 d,极大值出现在富平达 26 d,严重的干旱给全省工农业成产和城乡人民生活带来极大影响,全省农作物重旱面积 120 万 hm^2 ,干枯绝收 52 万 hm^2 ,长期干旱造成水资源紧缺,30 多个县城供水严重不足,一些企业被迫停产,造成直接经济损失 68.92 亿元。1998 年秋季,全省降水偏少,全省平均极端无雨日数达 26.6 d,定边、吴起极端无雨日数达 49 d,秋作物受旱面积 124.6 万 hm^2 ,重旱 41.3 万 hm^2 ,干旱造成水资源紧张,有 20% 的县城供水无法保证,渭北个别县城发生水荒^[20]。

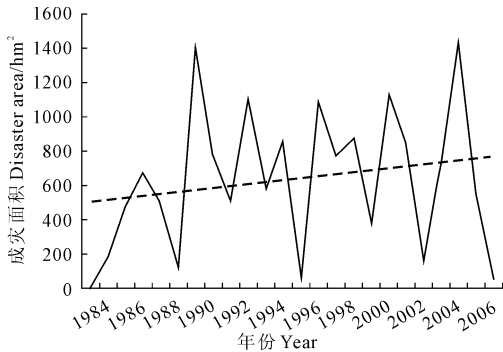


图 7 干旱造成的陕西农业成灾面积的历年变化图(实线)和线性趋势(虚线)

Fig.7 Temporal evolution curve (solid line) and linear trend (dashed) of agricultural disaster area caused by drought in Shaanxi

3 结 论

1) 陕西近 50 a 来各季节多年平均极端无雨日数分布极不均匀;在同一尺度天气系统控制下,各季节的极端无雨日数事件的步调基本一致,极端无雨日数分布特点是:极端无雨日数最多的季节是冬季,为 16~45 d,最少是夏季,为 8~14 d;空间分布是北部多,南部少;冬春季的高值中心在陕西北部、关中东部,冬季陕西北部达 43 d 以上,夏季高值中心出现在关中东部,为 11~13 d;夏秋旱关中最多,陕北次之,陕南较少;冬春旱陕北最多,关中次之,陕南较少。

2) 由陕西各季极端无雨日数的 EOF 分解的第一时间系数序列看出,各季节的极端无雨日数的年际、年代际变化特征非常明显,其中秋季极端无雨日数存在明显的季节性增多。

3) 陕西不同季节的极端无雨日数变化,夏季和秋季表现为一致的增多趋势,冬季和春季有些站点呈现出反向变化趋势,其中夏季和秋季陕北局部、陕南局部干期日数增多趋势显著,可见近 50 a 陕西干旱加剧,且极端干旱多发生在夏秋季。

4) 1984 年以来干旱造成的农业成灾面积在波动中呈增加趋势,1990s 年代受灾最严重,干旱对农业的影响与极端无雨日数的趋势及年代际变化一致。

参 考 文 献:

[1] 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.

[2] 吴爱敏,郭江勇,王劲松.中国西北地区伏期干旱指数及干旱分析[J].干旱区研究,2007,24(2):227-233.

[3] 张天峰,王劲松,郭江勇.西北地区秋季干旱指数的变化特征[J].干旱区研究,2007,24(1):87-92.

[4] 张永,陈发虎,勾晓华,等.中国西北地区季节间干湿变化的时空分布:基于 PDSI 数据[J].地理学报,2007,62(11):1142-1152.

[5] 赵勇,杨青,马玉芬.新疆北部地区春夏季干旱的区域性和持续性特征[J].干旱区研究,2012,29(3):472-478.

[6] 杨芳,刘露.青海东部干旱发生规律及其变化趋势[J].干旱区研究,2012,29(2):284-288.

[7] 李星敏,杨文峰,杨小丽,等.干旱指标在陕西省应用的敏感性分析[J].中国沙漠,2009,29(2):342-347.

[8] 乔丽,程恺,吴林荣,等.近 30 a 陕西省气象干旱灾害时空分布特征[J].水土保持通报,2012,32(1):253-256.

[9] 刘莉红,翟盘茂,郑祖光.中国北方夏半年最长连续无降水日数的变化特征[J].气象学报,2008,66(3):474-477.

[10] 杨金虎,杨启国,姚玉璧,等.中国西北近 45 a 来夏季无雨日数的诊断分析[J].干旱区地理,2006,6(3):348-353.

其具有快速、无损和微量的特点被广泛应用于品质^[17-18]、生化指标^[19]和某些特性的测定中,如李军会等^[9]认为可以利用叶片近红外光线漫反射光谱对栽培稻抗旱性进行快速鉴定。

近红外反射光谱技术定标模型的优劣取决于所建模型相关系数的高低及误差的大小。较高的相关系数和较低的标准误差对一个可靠的定标模型是十分必要的,而定标样品的数量及含量范围则决定了定标模型的适用范围。本研究以 49 份甘蓝型油菜为材料,利用 Win ISI 软件和近红外光谱分析仪(NIRS)分析了相对发芽率、相对茎长、相对鲜重、幼苗茎长耐旱指数、幼苗鲜重耐旱指数、吸胀 5 h 电导、吸胀 24 h 电导率等 7 项指标,根据定标集样品 PEG 模拟干旱测定的数据和吸收光谱建立了定标模型,除相对茎长及茎长耐旱指数外,获得了较高的预测集决定系数(0.71~0.94)和除吸胀后电导率外较低的标准误差(4~11.35)。同时,用校正集样品对模型进行了预测,结果表明,利用近红外光谱技术能够实现简单、快速、无损预测油菜吸胀 24 h 电导率,PEG 模拟干旱下的相对发芽率、相对鲜重和鲜重耐旱指数等 4 个芽期耐旱相关性状。为油菜芽期耐旱性快速鉴定提供了一种新的方法,有助于提高油菜芽期耐旱育种效率。

参 考 文 献:

[1] 王汉中.中国油菜生产抗灾减灾技术手册[M].北京:中国农业科学技术出版社,2009.

[2] 傅廷栋.油菜杂种优势研究利用的现状与思考[J].中国油料作物学报,2008,(3):1-6.

[3] 陈毓荃,王志常,王志辉.农作物抗旱性鉴定仪的研制和应用[J].西北农业学报,1997,6(3):92-95.

[4] 王俊娟,叶武威,王德龙.PEG 胁迫条件下 41 份陆地棉种质资源萌发特性研究及其抗旱性综合评价[J].植物遗传资源学报,

2011,12(6):840-846.

[5] 张 霞,谢小玉.PEG 胁迫下甘蓝型油菜种子萌发期抗旱鉴定指标的研究[J].西北农业学报,2012,21(2):72-77.

[6] Dhanda S S, Sethi G S, Behl R K. Indices of drought tolerance in wheat genotypes at early stages of plant growth[J]. Journal of Agronomy and Crop Science,2004,190(1):6-12.

[7] Yutaka Sato, Sakiko Yokoya. Enhanced tolerance to drought stress in transgenic rice plants overexpressing a small heat-shock protein, sHSP17[J]. Plant Cell Report,2008,27:329-334.

[8] 李 震,杨春杰,张学昆,等.PEG 胁迫下甘蓝型油菜品种(系)种子发芽耐旱性鉴定[J].中国油料作物学报,2008,30(4):438-442.

[9] 李军会,王昌贵,康定明.栽培稻叶片近红外光纤漫反射光谱的抗旱性鉴定分析[J].光谱学与光谱分析,2009,29(10):2646-2650.

[10] 王雪征,陈淑萍,张文英.近红外反射光谱在冬小麦抗旱性鉴定中的应用[J].河北农业科学,2011,15(10):19-22,25.

[11] Goel A, Goel A M, Sheoran I S. Changes in oxidative stress enzymes during artificial ageing in cotton (*Gossypium hirsutum* L.) seeds[J]. J Plant Physiology, 2003,160:1093-1100.

[12] 杨春杰,程 勇,邹崇顺,等.模拟干旱胁迫下不同甘蓝型油菜品种发芽能力的配合力与遗传效应分析[J].作物学报,2008,34(10):1744-1749.

[13] Hampton J G, Terkrony D M. Handbook of vigour test methods (3. ed)[M]. Zurich: The International Seed Testing Association, 1995.

[14] 张学昆,陈 洁,王汉中,等.甘蓝型油菜耐湿性的遗传差异鉴定[J].中国油料作物学报,2007,29(2):204-208.

[15] 张 健,池宝亮,黄学芳.玉米萌芽期水分胁迫抗旱性分析[J].山西农业科学,2007,35(2):34-38.

[16] 杨春杰,张学昆,邹崇顺,等.PEG-6000 模拟干旱胁迫对不同甘蓝型油菜品种萌发和幼苗生长的影响[J].中国油料作物学报,2007,29(4):425-430.

[17] 张 璐,郝永忱.近红外光谱法测定豆粕中常规化学成分的研究[J].检验检疫科学,2003,13(1):25-27.

[18] 陈 锋,何中虎,崔党群.利用近红外透射光谱技术测定小麦籽粒硬度的研究[J].作物学报,2004,30(5):455-459.

[19] 蒋焕煜,谢丽娟,彭永石,等.温度对叶片近红外光谱的影响[J].光谱学与光谱分析,2008,28(7):1510-1513.

(上接第 228 页)

[11] 魏 峰,丁裕国,王劲松.西北地区 5—9 月极端干期长度的概率特征分析[J].中国沙漠,2007,1(1):147-152.

[12] 魏凤英.现代气候统计诊断与预测技术[M].北京:气象出版社,2007:105-140.

[13] Thomthwaite C W. An approach toward a rational classification of climate[J]. Geogr Rev,1948,38:55-94.

[14] 陕西气候编写组.陕西气候[M].西安:陕西科学技术出版社,2009:117-126.

[15] 杜继稳,侯明全,梁生俊,等.陕西省短期天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2007:21-23.

[16] 刘莉红,翟盘茂,郑祖光.中国北方夏半年极端干期的时空变化特征[J].高原气象,2010,29(2):403-411.

[17] Zhai Panmao, Sun Anjian, Ren Fumin, et al. Changes of climate extremes in China[J]. Climatic change,1999,42:203-218.

[18] 肖 军,赵景波.陕西省 54 a 来农业干旱灾害特征研究[J].干旱区资源与环境,2006,20(5):201-204.

[19] 杜继稳.陕西省短期天气预报技术手册[M].北京:气象出版社,2007:21-31.

[20] 温克刚.中国气象灾害大典陕西卷[M].北京:气象出版社,2005:27-41.