

陕西省主要农业气象灾害分析及其 对粮食产量的影响

孔坚文, 王连喜, 李琪, 边超钧, 江涤非

(1. 南京信息工程大学环境科学与工程学院, 江苏 南京 210044;

2. 南京信息工程大学, 江苏省大气环境监测与污染控制高技术研究重点实验室, 江苏 南京 210044)

摘要: 根据 1978—2011 年陕西省自然灾害历史数据以及粮食单产资料, 利用 Mann-Kendall 检验、Morlet 小波分析等方法, 对陕西干旱、洪涝、风雹、霜冻这几类主要农业气象灾害的受灾率进行了分析, 在此基础上采用灰色关联分析方法, 将这四类主要农业气象灾害的受灾面积和粮食单产的关联度进行动态分析。结果表明: 陕西干旱、洪涝、风雹、霜冻这四类灾害的关联度分别为 0.7806、0.767、0.7731、0.7355; 从受灾率的变化趋势来看, 陕西旱灾受灾率在 20 世纪 80 年代变化幅度不大, 从 90 年代初到 2002 年左右呈上升趋势, 2002 年之后呈下降趋势, 霜冻受灾呈上升趋势, 风雹略呈上升趋势, 洪涝略呈下降趋势。M-K 突变检验的结果表明, 干旱受灾率的突变点为 1984 年和 2011 年, 霜冻受灾率的突变点则出现在 2003 年, 而陕西洪涝和风雹突变不明显。小波分析的结果表明, 干旱受灾率存在着显著的准 2~3 a 和准 2~4 a 尺度周期, 且这些周期的强度均随着时间变化; 洪涝受灾率存在着显著的准 3 a、准 2~4 a 和准 2~6 a 尺度周期; 霜冻存在着显著的准 2~4 a 和准 4~8 a 尺度周期; 风雹存在着显著的准 2~3 a、准 3 a、准 3~4 a 和准 2~6 a 尺度周期。

关键词: 气象灾害; 粮食产量; 受灾面积; 陕西省

中图分类号: S42 **文献标志码:** A

Analyses of main agro-meteorological disasters and their impacts on food production in Shaanxi Province

KONG Jian-wen, WANG Lian-xi, LI Qi, BIAN Chao-jun, JIANG Di-fei

(1. School of Environmental Science and Engineering, Nanjing University of Information Science & Technology, Nanjing, Jiangsu 210044, China;

2. Jiangsu Key Laboratory of Atmospheric Environmental Monitoring and Pollution, Nanjing, Jiangsu 210044, China)

Abstract: This paper studied the impacts of major agricultural meteorological disasters on grain production in Shaanxi Province. Based on the historical data of natural disasters and the grain yield data in Shaanxi province from 1978 to 2011, Mann-Kendall test and Morlet wavelet were used in this paper to analyze the rates of some major agricultural meteorological disasters in Shaanxi province, including droughts, floods, hail and frost. Then, we used grey relational analysis method to dynamically analyze the correlations between the affected areas and grain yield resulted from these four major agro-meteorological disasters. Results showed that the correlation efficiencies by drought, floods, hail and frost were 0.7806, 0.767, 0.7731, and 0.7355 respectively. From the disaster rate trends, we could see that the drought disaster rates in the 1980s changed slightly, which displayed an upward trend from the early 1990s to 2002, and a downward trend after 2002. The frost showed an upward trend, the hail was in a slight upward trend, and the floods possessed a slight downward trend. M-K alternation test results showed that the alternation in drought disaster took place between 1984 and 2011, the alternation point in frost disaster appeared in 2003, and floods and hail did not had any obvious alternations in 33 years in Shaanxi province. The results of wavelet analysis showed that the drought stricken rate had significant quasi 2~3 a and quasi 2~4 a scale cycles, and the intensities of these cycles were changed over time; The hail stricken rate had significant quasi 2~3 a, quasi 3 a, quasi 3~4 a and quasi 2~6 a scale cycles; The frost stricken rate had significant quasi 2~4 a and quasi 4~8 a scale cycles; The flood stricken rate had significant quasi 3 a, quasi 2~

4 a and quasi 2 ~ 6 a scale cycles.

Keywords: meteorological disasters; food production; covered disaster areas; Shaanxi province

据统计,在全国每年自然灾害导致的损失中,气象灾害及其衍生灾害占60%或以上^[1]。陕西从北到南横跨三个气候带^[2],区域内对气候变化响应敏感,气象灾害发生频繁,是我国农业气象灾害影响严重的省份之一。陕西又是农业大省,农村经济基础薄弱、基础设施和农业生产技术落后的特点,使其抵御各种自然灾害的能力不强,农业生产的丰欠在很大程度上受制于气候条件的优劣,故有“气候农业”之说^[3]。干旱是陕西最主要的气象灾害,此外,影响陕西省粮食生产的农业气象灾害还有暴雨、洪涝、大风、冰雹、霜冻、冷害等。

陕西省干旱灾害出现的频率较高,因干旱造成的年均农业受灾面积最大,经济损失位列第二^[4]。李玉中^[5]据1949年以来近50年资料统计,中国平均每年受旱面积约2 100多万 hm^2 ,约占耕地面积20%,干旱频发的西北和华北地区受旱面积比例更高。近年来,极端天气事件发生频次愈来愈高,洪涝灾害也频繁发生。随着社会经济的快速发展,洪涝灾害造成的经济损失越来越大,洪涝灾害已经成为制约我国社会经济持续发展的重要因素^[6]。风雹灾害包括大风灾害和冰雹灾害两个部分,它对农业的影响也是巨大的,它能毁掉秧苗,使果树落花落果,打伤作物茎、叶,打掉籽粒和果实,导致农业减产。霜冻在我国时有发生,它使大田作物受害或致死,影响粮食作物的产量和质量。近年来,随着陕西特色经济林果业的快速发展,霜冻灾害对陕西省特色经济林果产业的影响非常大^[7]。

目前,对陕西灾害方面的研究多针对单灾种,以作物为研究对象,针对多种气象灾害综合影响的研究尚不多见^[8-11]。本研究选取1978—2011年陕西干旱、洪涝、风雹、霜冻的受灾面积和成灾面积、粮食作物的播种面积及单产资料,分析陕西主要气象灾害受灾、成灾的变化趋势,并运用灰色系统理论中灰色关联分析法将几类主要气象灾害对粮食产量的影响程度进行分析,以找出各种灾害对陕西省粮食产量影响的主次关系,为政府决策部门指导农业生产和防灾减灾工作提供科学参考。

1 资料来源与研究方法

1.1 资料来源

1978—2008年陕西省各种气象灾害(包括干旱、洪涝、风雹和霜冻)的农作物受灾面积、成灾面积、粮

食播种面积资料和粮食单产资料来源于《新中国农业60年统计资料》^[12]。2009—2011年的各项数据资料来源于中国种植业信息网生产资料数据库。

1.2 分析方法

农业部门统计灾情时,一般根据绝收面积、成灾面积和受灾面积来计算粮食损失。一般来说,受灾面积是指农作物产量受灾害影响减产幅度超过正常产量10%(即一成)的农作物播种面积;成灾面积指受灾面积中,因灾减产幅度超过30%(即三成)的面积。因为每年的播种面积总是不一致,为便于比较气象灾害造成的相对损失量或灾害的危害程度,我们定义当年粮食受灾面积与总播种面积的比值为受灾率;定义当年粮食成灾面积与总播种面积的比值为成灾率。具体计算公式如下:

$$Z_{ij} = \frac{s_{ij}}{S_{ij}} \times 100\% \quad Z'_{ij} = \frac{s'_{ij}}{S_{ij}} \times 100\% \quad (1)$$

式中, i 为年份($i = 1, 2, \dots, 34$), j 代表某种气象灾害($j = 1, 2, 3, 4$ 分别表示旱灾、涝灾、风雹及霜冻); Z_{ij} 、 Z'_{ij} 分别为受灾率和成灾率; s_{ij} 、 s'_{ij} 分别为受灾和成灾面积(10^3hm^2); S 为粮食播种面积(10^3hm^2)。

1.3 Mann-Kendall 检验

Mann-Kendall非参数检验方法(M-K检验)是世界气象组织推荐的一种典型的非参数检验方法,已被广泛应用于气候要素序列趋势分析和显著性检验^[13-14]。该方法亦称无分布检验,其优点是不需要样本遵从一定的分布,也不受少数异常值的干扰,计算比较简便^[11]。

1.4 Morlet 小波分析

小波分析是分析变化周期的常用方法,Morlet小波分析是在气象上运用较多的连续性小波分析,具体算法可参见文献^[15]。

1.5 灰色关联分析

灰色关联分析是灰色系统分析的主要内容之一,用来分析系统中母因素与子因素的关系密切程度,从而判断引起该系统发展的主要和次要因素^[16-17]。

(1) 原始数据变换

以粮食单产时间序列作为参考数列 $X_0 = \{X_0(1), X_0(2), \dots, X_0(k)\}$;以旱灾、涝灾、风雹及霜冻受灾面积的时间序列作为比较数列 $X_i = \{X_i(1), X_i(2), \dots, X_i(k)\}$, ($k = 1, 2, \dots, n$); i 为比较数列数或因子数, n 为年份数。

为了便于数据间的比较分析,需要对原始数据进行无量纲化处理。本文选择对各要素的原始数据进行均值变换。设 $Y_0(k)$ 为无量纲变换后的母序列, $Y_i(k)$ 为无量纲变换后的子序列,即:

$$Y_0(k) = \frac{X_0(k)}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_0(k)} \quad (k = 1, 2, \dots, n) \quad (2)$$

$$Y_i(k) = \frac{X_i(k)}{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n X_i(k)} \quad (i = 1, 2, \dots, m; k = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

(2) 计算关联系数

经数据变换的母数列记为 $\{Y_0(t)\}$, 子数列记为 $\{Y_i(t)\}$, 则在时刻 $t = k$ 时母序列 $\{Y_0(t)\}$ 与子序列 $\{Y_i(t)\}$ 的关联系数:

$$\xi_{0i}(k) = \frac{\Delta_{\min} + \rho \Delta_{\max}}{\Delta_{0i}(k) + \rho \Delta_{\max}} \quad (4)$$

式中, $\Delta_{0i}(k)$ 表示 k 时刻两比较序列的绝对差, 即 $\Delta_{0i} = |Y_0(k) - Y_i(k)|$ ($1 \leq i \leq m$); Δ_{\max} 和 Δ_{\min} 分别表示所有比较序列各个时刻绝对差中的最大值与最小值; ρ 为分辨系数, 一般 ρ 取 0.5。

(3) 求关联度

两序列的关联度以两比较序列各个时刻的关联系数之平均值计算, 即:

$$\gamma_{0i} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \xi_{0i}(k) \quad (5)$$

式中, γ_{0i} 为子序列 i 与母序列 0 的关联度, n 为比较序列的长度(即数据个数)。最后, 将结果按照子序列

对同一母序列关联度的大小顺序进行排列, 就形成关联序。

(4) 排关联序并求出影响权重

将 n 个子序列对同一母序列的关联度, 按大小顺序排列, 便组成了关联序, 记为 $\{x\}$, 它反映了对于母序列来说各子序列的“优劣”关系^[18]。若 $\gamma_{0i} > \gamma_{0j}$, 则称 $\{X_i\}$ 对于同一母序列 $\{X_0\}$ 优于 $\{X_j\}$, 记为 $\{X_i\} > \{X_j\}$ 。权重的计算公式为:

$$\omega_i = \frac{\gamma_i}{\sum_{i=1}^n \gamma_i} \quad (i = 1, 2, 3, \dots, n) \quad (6)$$

2 结果与分析

2.1 农业气象灾害变化趋势分析

2.1.1 干旱 由图 1 可以看出 1978—2011 年陕西旱灾受灾率、成灾率的变化。陕西旱灾受灾率和成灾率在 20 世纪 80 年代变化幅度不大, 从 90 年代初到 2002 年左右呈上升趋势, 2002 年之后呈下降趋势。受灾率存在多个高点, 分别是 1995、1997、1999 年和 2001 年, 其受灾率分别是 56.0%、57.7%、52.6%、54.0%; 成灾率有两个高点, 分别是 1994 年和 1997 年, 其成灾率分别是 39.0% 和 26.6%。其中, 1997 年是陕西省旱情最严重的一年, 全年农作物因旱受灾达 220 万 hm^2 , 成灾 146.7 万 hm^2 。20 世纪 90 年代, 干旱受(成)灾面积最大, 平均受灾面积、成灾面积分别约为 162、93 万 hm^2 。此外, 90 年代到 2004 年, 干旱受灾率变化振幅较大, 而且异常干旱年出现的频率显著增大。

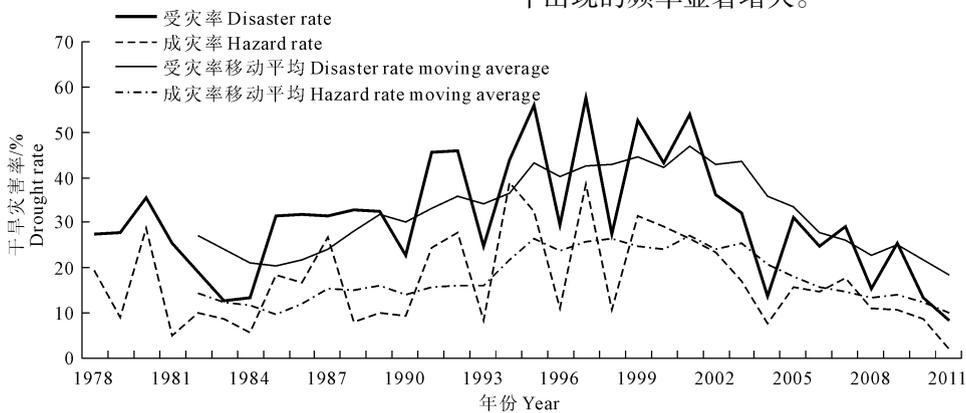


图 1 陕西干旱受灾率与成灾率变化曲线(1978—2011 年)

Fig. 1 The curves of drought disaster and hazard rates in Shaanxi province (1978—2011)

2.1.2 洪涝 由图 2 可以看出, 1978—2011 年陕西 34 a 洪涝受灾率和成灾率整体均略呈下降趋势, 但波动较大。受灾率存在 2 个高点, 分别是 1981 年和 2003 年, 其受灾率分别是 30.30%、26.6%; 成灾率

有 1 个高点, 在 2003 年, 其成灾率是 16.8%。1981 年和 2003 年是洪涝灾害最严重的两年, 全年农作物因洪涝受灾面积分别达 108.5 万 hm^2 和 94.6 万 hm^2 , 成灾面积分别达 42.7 万 hm^2 和 52.4 万 hm^2 。

洪涝在 80 年代初和 2001 年以后波动较大,在 90 年代,波动幅度相对不大。

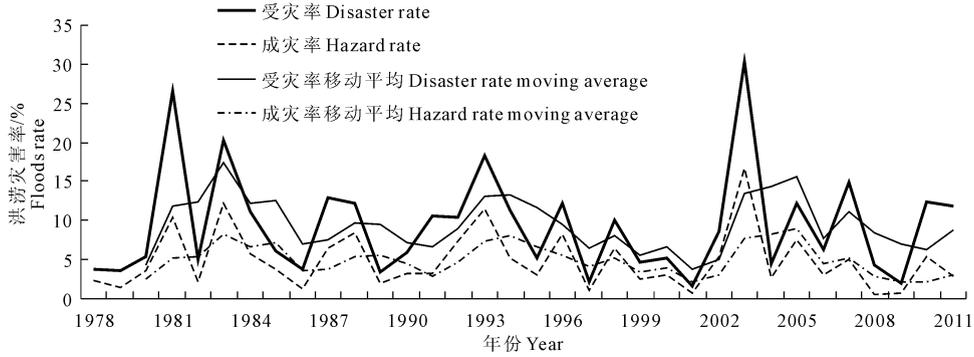


图2 陕西洪涝受灾率与成灾率变化曲线(1978—2011年)

Fig.2 The curves of flood disaster and hazard rates in Shaanxi province (1978—2011)

2.1.3 风雹 由图3可以看出1978—2011年陕西风雹受灾率和成灾率的变化。风雹受灾率和成灾率的趋势不太一致,受灾率略呈上升趋势,而成灾率略呈下降趋势且波动不大。2000年以后是多发期,呈

上升趋势,80、90年代变化幅度不大。受灾率的高点是在2004年,其受灾率是11.0%,是近34年来风雹灾害最严重的一年,全年农作物因风雹受灾达34.3万 hm^2 ,成灾6.5万 hm^2 。

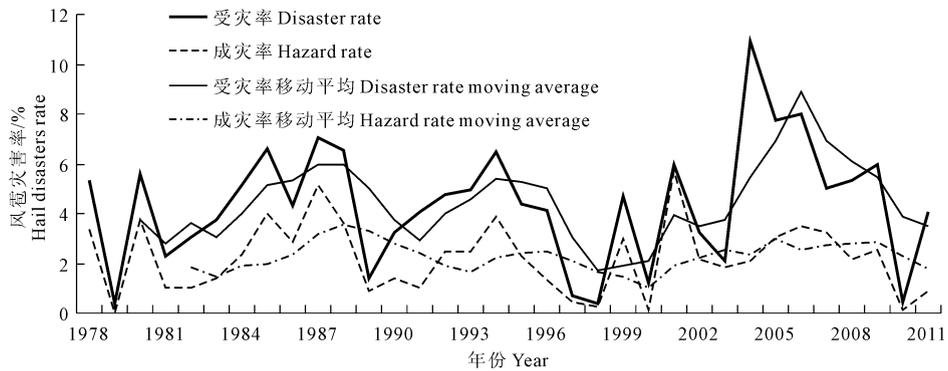


图3 陕西风雹受灾率与成灾率变化曲线(1978—2011年)

Fig.3 The curves of hail disaster and hazard rates in Shaanxi province (1978—2011)

2.1.4 霜冻 由图4可以看出1978—2011年陕西省霜冻受灾率、成灾率的变化,受灾率呈显著上升的趋势,而成灾率略呈上升的趋势。受灾率最高点在2007年,其受灾率为13.5%,该年农作物因霜冻受灾达42万 hm^2 ,成灾24万 hm^2 。在20世纪70年代末和2000年以后霜冻受灾率变化振幅明显加大,危害较大,80年代和90年代相对较小。

全球气候变暖背景下陕西霜冻受灾率仍呈上升趋势,说明霜冻害除了与气候冷暖和寒潮天气发生情况有直接关系外,还与种植制度、作物品种布局 and 作物生长发育的节率与气候变化的协调与否有密切关系。

2.2 Mann-Kendall 突变检验

将1978—2011年陕西省粮食的几种主要农业气象灾害受灾率进行突变检验(见图5)。由图5a干旱的UF曲线可见,1987年以后UF值基本大于0,开始呈明显上升趋势,并且1995年至2005年超过了 α

$= 0.05$ 的信度线,表明干旱受灾率上升趋势显著。UF曲线和UB曲线有3个交点,交点位置都在临界线之间,确定突变开始的时间为1982、1984年和2011年。对陕西干旱(1982年和1984年)突变点前后不同时段作滑动 t 和Yamamoto检验表明:1984年的突变点,当 $n_1 = n_2 = 3, 4, 5$ 时, $|t_0| > t_\alpha$,分别通过了 $\alpha = 0.05, 0.01, 0.001$ 的信度水平检验(见表1),且信噪比 $S/N > 1$,干旱受灾率突然上升,1984年的突变点是可信的。而1982年的突变点未通过滑动 t 和Yamamoto检验,因此最终确定1984年和2011年为突变点。图5b为洪涝的UF曲线,在1999年以前UF值基本大于0,之后UF值小于0;在 ± 1.96 临界线之间UF和UB曲线有多个交点,说明陕西洪涝突变不明显。由图5c风雹的UF曲线可见,1988—2005年UF值小于0,在1988之前和2005年之后UF值基本大于0,且呈明显上升趋势;UF和UB曲线在 ± 1.96 临界线之间有多个交点,说明陕西风雹突变

不明显。图 5d 为霜冻的 UF 曲线,1991 年之前 UF 值基本小于 0,呈下降趋势,1991 年之后 UF 值基本大于 0,逐渐上升,并在 2007 年超过 + 1.96 信度线,

上升趋势显著。UF 和 UB 曲线相交于信度线之间,交点在 2003 年,是突变的开始。

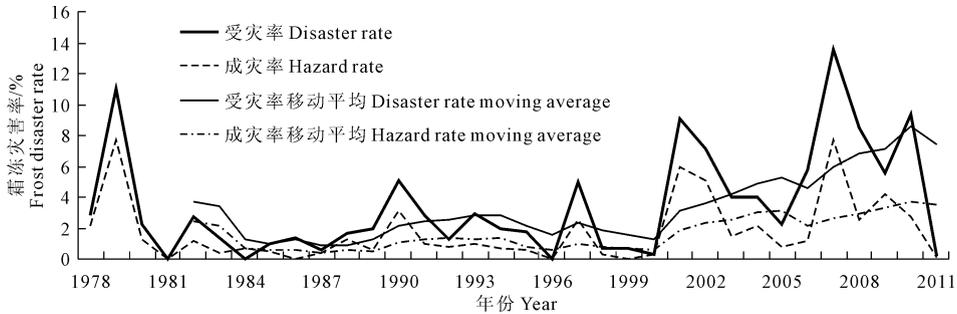


图 4 陕西霜冻受灾率与成灾率变化曲线(1978—2011 年)

Fig.4 The curves of frost disaster and hazard rates in Shaanxi Province (1978—2011)

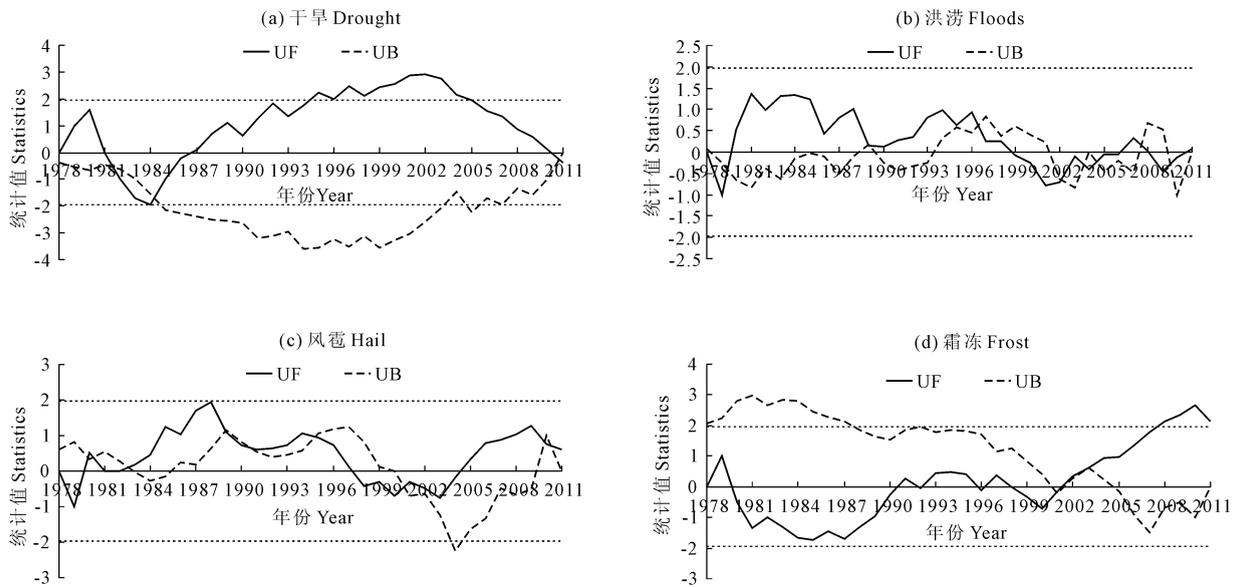


图 5 陕西粮食主要农业气象灾害受灾率 Mann - Kendall 检验(1978—2011 年)

Fig.5 Mann - Kendall mutation tests on rates of agrometeorological disasters on main crops in Shaanxi province

表 1 陕西干旱受灾率突变点信度检验

Table 1 Reliability tests on the alternation points in drought disaster rates in Shaanxi province

序号 No.	n_1	n_2	$ t_0 $	S/N
1	3	3	7.98***	5.35
2	4	4	4.70**	2.48
3	5	5	2.53	1.20

2.3 小波分析

通过 Matlab 软件利用 Morlet 小波功率谱分析方法对陕西 34 年来干旱、洪涝、风雹和霜冻的受灾率进行多尺度特征分析。图 6 为这四种灾害的受灾率经过 Morlet 小波变换之后的功率谱。图中粗实线所包围部分表示通过了在 0.05 显著性水平上的高斯白噪声检验的尺度周期^[19]。

从图 6 I 可以看出干旱受灾率的时间序列存在着显著的准 2~3 a 和准 2~4 a 尺度周期,且这些周期的强度均随着时间变化。准 2~3 a 谱值在 2004 年之后较强,其它年份较弱;准 2~4 a 谱值在 1990—2002 年左右较强,其它年份较弱。从图 6 II 可以看出洪涝受灾率的时间序列存在着显著的准 3 a、准 2~4 a 和准 2~6 a 尺度周期,准 3 a 谱值在 1993—2000 年较强较显著,其它年份较弱;准 2~4 a 尺度周期谱值在 1988 年之前较强较显著,其它年份较弱;准 2~6 a 尺度周期谱值在 1999 年之后较强较显著,其它年份较弱。从图 6 III 可以看出霜冻受灾率的时间序列存在着显著的准 2~4 a 和准 4~8 a 尺度周期,准 2~4 a 谱值在 1983 年之前和 2000 年之后较强较显著,其它年份较弱;准 4~8 a 谱值在 1996—2010 年左右较强较显著,其它年份较弱。从

图6IV可以看出风雹受灾率的时间序列存在着显著的准2~3 a、准3 a、准3~4 a和准2~6 a尺度周期,准2~3 a谱值在1983年之前和1996—2000年较强较显著,其它年份较弱;准3 a谱值在2005—2008年

较强较显著,其它年份较弱;准3~4 a谱值在1985—1990年较强较显著,其它年份较弱;准2~6 a谱值在2000年之后较强较显著,其它年份较弱。

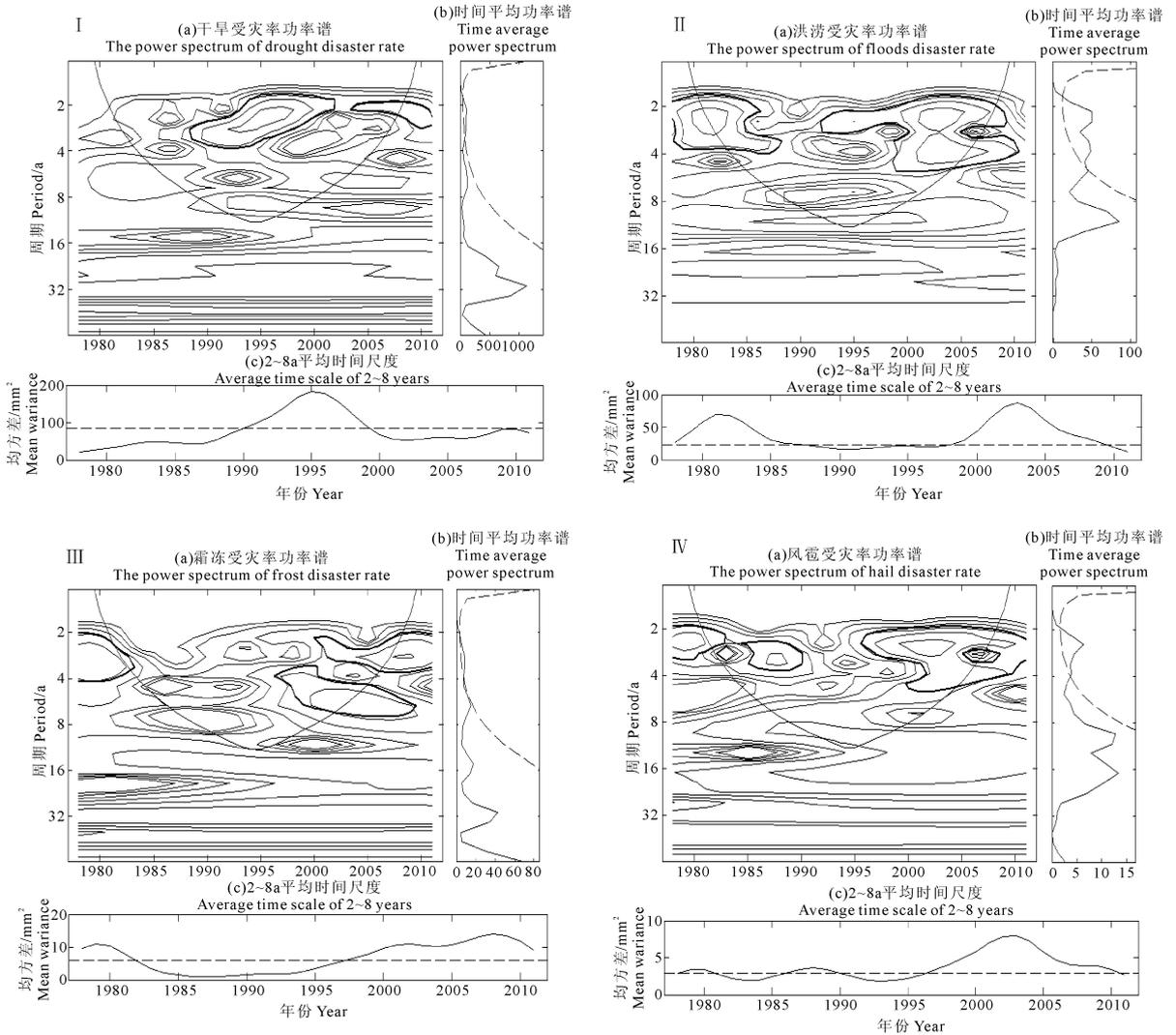


图6 近34年陕西省主要农业气象灾害受灾率的Morlet小波分析结果

Fig.6 The Morlet wavelet analyses of main agricultural meteorological disasters rates in recent 34 a years in Shaanxi province

2.4 粮食产量影响因素的灰色关联分析

基于灰色系统分析方法分析1978—2011年陕西省主要农业气象灾害对粮食生产的影响程度。以34 a序列资料作为基础,通过对陕西省粮食生产影响因素的定性判断,从中选择4个影响农作物单产的主要因子: X1为旱灾受灾面积(hm^2), X2为洪涝受灾面积(hm^2), X3为风雹受灾面积(hm^2), X4为霜冻受灾面积(hm^2), X0—粮食单产($kg \cdot hm^{-2}$)。选取以上变量的1978—2011年数据作为样本,根据灰色建模理论和程序,首先对原始数据进行均值化处理,然后建立陕西省粮食生产灰色系统模型,经计算运行后得出陕西省农作物单产和4类主要灾害影响因

素的动态关联结果见表2。

表2 陕西粮食单产和影响因素的灰色关联分析(1978—2011年)

Table 2 The grey correlation analyses of grain yields and impact factors in Shaanxi province(1978—2011)

影响因子 Impact factor	关联度 Associate degree	权重 The weight
干旱 Drought	0.7806	0.255
洪涝 Floods	0.767	0.251
风雹 Hail	0.7731	0.253
霜冻 Frost	0.7355	0.241

从陕西省四种主要的农业气象灾害与粮食单产的灰色关联度分析结果可以看出,关联度越大,即影

响权重越大,说明该因子对农业生产的影响就越大。1978—2011 年陕西省主要气象灾害对粮食生产的影响排序由大到小依次是干旱、风雹、洪涝、霜冻。这表明旱灾对陕西粮食生产造成的影响程度最大。

3 结论与讨论

从受灾率的变化趋势来看,陕西旱灾受灾率在 20 世纪 80 年代变化幅度不大,从 90 年代初到 2002 年左右呈上升趋势,2002 年之后呈下降趋势。干旱受灾率呈下降趋势,这可能与近年来陕西省加快农田水利建设等项目有一定的关系。1999—2009 年陕西在农田水利基本建设、改造农村水利工程设施、改革农村水利监管体制与机制和民生水利建设等方面取得很大进展,供水能力进一步增强,灌溉水利用率有所提高,防汛抗旱减灾能力增强^[20]。霜冻受灾呈上升趋势,风雹略呈上升趋势,洪涝略呈下降趋势。除风雹成灾率的变化趋势与受灾率的变化趋势不太一致之外,其他灾害大体一致。风雹在 2000 年以后是多发期,呈上升趋势,这与其他文献中的结论一致:2003 年至 2006 年,陕西渭南就连续发生了四次特大洪涝和风雹灾害,造成了严重的经济损失^[21]。

M-K 突变检验的结果表明,干旱受灾率的突变点为 1984 年和 2011 年,霜冻受灾率的突变点则出现在 2003 年,而陕西洪涝和风雹突变不明显。利用 Morlet 小波功率谱分析方法对陕西省 34 年来干旱、洪涝、风雹和霜冻的受灾率进行的多尺度特征分析结果表明,干旱受灾率的时间序列存在着显著的准 2~3 a 和准 2~4 a 尺度周期,且这些周期的强度均随着时间变化;洪涝受灾率存在着显著的准 3 a、准 2~4 a 和准 2~6 a 尺度周期;霜冻存在着显著的准 2~4 a 和准 4~8 a 尺度周期;风雹存在着显著的准 2~3 a、准 3 a、准 3~4 a 和准 2~6 a 尺度周期。

根据灰色关联分析得到陕西主要气象灾害影响农业生产的权重分别为:干旱(0.255)、风雹(0.253)、洪涝(0.251)、霜冻(0.241)。灰色关联分析不要求灾情数据有足够大的样本数量,也不要求数据服从某种典型的概率分布。运用灰色关联方法分析农业气象灾害对农作物产量的影响,充分利用已知信息,较好地实现了定性分析与定量计算相结合,估算出灾害影响程度,且计算方法比较简便^[22-23]。本文从农业气象灾害对粮食产量影响的角度进行分析,得出了陕西几类主要农业气象灾害对粮食产量形成的影响大小,为定量评估陕西农业气象灾害奠定基础,也为政府决策部门指导农业生产和防灾减灾工作提供一定的参考。

参考文献:

- [1] 王道龙,钟秀丽,李茂松,等. 20 世纪 90 年代以来主要气象灾害对我国粮食生产的影响与减灾对策[J]. 灾害学, 2006, 21(1): 18-22.
- [2] 景毅刚,范建忠,李红梅. 陕西粮食安全评估及应对气候变化研究[J]. 陕西农业科学, 2011, (1): 192-196.
- [3] 屈振江,郭江峰,曾英,等. 陕西省县农业气象灾害监测预警业务系统研究[J]. 灾害学, 2008, (3): 246-249.
- [4] 蔡新玲,雷向杰,王娜,等. 陕西省气象灾害灾情特征及年景评估[J]. 陕西气象, 2011, (4): 17-20.
- [5] 李玉中,程延年,安顺清. 北方地区干旱规律及抗旱综合技术[M]. 北京: 中国农业科学技术出版社, 2003.
- [6] 单九生,徐星生,樊建勇,等. 基于 GIS 的 BP 神经网络洪涝灾害评估模型研究[J]. 江西农业大学学报, 2009, 31(4): 777-780.
- [7] 柏秦凤,李星敏,朱琳. 近 50 年陕西省无霜期的变化及果区霜冻风险分布[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(8): 65-70.
- [8] 雷治平,刘引鸽,李灵堂. 陕西农业干旱灾害分析评估[J]. 陕西气象, 2006, (1): 27-30.
- [9] 高茂盛,范建忠,吴清丽. 旱涝灾害对陕西省粮食生产的影响研究[J]. 中国农业大学学报, 2012, 17(3): 149-153.
- [10] 张永红,葛徽衍. 关中作物生长季冰雹灾害变化特征及影响[J]. 陕西气象, 2011, (5): 8-10.
- [11] 屈振江,刘瑞芳,郭兆夏,等. 陕西省苹果花期冻害风险评估及预测技术研究[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 219-225.
- [12] 陈晓华. 新中国农业 60 年统计资料[M]. 北京: 中国农业出版社, 2009: 114-138.
- [13] Hirsch R M, Slack J R. Non-parametric trend test for seasonal data with serial dependence[J]. Water Resource Research, 1984, 20(6): 727-732.
- [14] Gan T Y. Hydro climatic trends and possible climatic warming in the Canadian Prairies [J]. Water Resource Research, 1998, 34(11): 3009-3015.
- [15] 李巧媛,丁贤法,许霖. 降水量对湖南省水稻生产的影响分析[J]. 湖北农业科学, 2013, 52(2): 265-268.
- [16] 唐启义,冯明光. DPS 数据处理系统—实验设计、统计分析及模型优化[M]. 北京: 科学出版社, 2006: 907-915.
- [17] 段学军. 长江流域粮食生产影响因素灰色关联分析[J]. 农业系统科学与综合研究, 2000, 16(1): 30-34.
- [18] 张星. 主要气象灾害对福建粮食生产影响的灰色关联分析[J]. 中国农业气象, 2007, 28(1): 105-107.
- [19] 李雪梅,姜逢清,李兰海,等. 塔里木河北源及干流区域降水变化趋势与多尺度特征对比[J]. 冰川冻土, 2010, 32(2): 285-294.
- [20] 郑月霞. 陕西加快农田水利建设 确保农业发展命脉[EB/OL]. [2013-10-13]. <http://www.sn.stats.gov.cn/news/tjxx/201152785121.htm>.
- [21] 张姝丽,丁德平,付治龙,等. 灰色关联度在北京地区雾灾评估中的应用[J]. 灾害学, 2008, 23(3): 54-61.
- [22] 马雅丽,栾青,王志伟,等. 山西省主要农业气象灾害变化特征及其对农作物产量的影响[J]. 中国农业气象, 2010, 31(增 1): 150-154.
- [23] 刘西民. 陕西渭南: 应对自然灾害的思考[J]. 中国减灾, 2007, (2): 32-33.