

陇东主要农作物旱灾综合评估指数的多时间尺度分析

杨小利^{1,2}, 杨兴国¹

(1. 中国气象局兰州干旱气象研究所, 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室,
中国气象局干旱气候变化与减灾重点开放实验室, 甘肃 兰州 730020; 2. 甘肃省平凉市气象局, 甘肃 平凉 744000)

摘要: 综合考虑水分亏缺量, 持续时间、作物水分敏感度等几个因素, 建立陇东农业旱灾综合评估指数。应用小波分析方法, 进一步分析该区冬小麦、玉米等主要作物生育期不同时段旱灾指数的多时间尺度特征, 在此基础上对该区农业旱灾的演变趋势做了初步的探讨和评估。

关键词: 陇东黄土高原; 农作物; 旱灾指数; 小波分析

中图分类号: S423.S1662.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-7601(2009)02-0017-04

陇东是我国西北典型的旱作农业地区, 由于降水年际变率大, 季节分布不均等原因, 干旱频繁发生, 对该区农业生产造成极大危害, 对农业干旱进行有效评价、监测和预报是长期以来的研究方向^[1,2], 任瑾^[3]以标准差为单位的离均差“ I ”为指标, 分析了甘肃 1960~1989 年各地不同时间段的干旱特征; 张存杰^[4]通过调整 Z 指数的旱涝等级界限值, 确定了西北地区大气干旱指标; 刘德祥^[5]利用前期底墒和当时降水、气温确定了甘肃省服务干旱指标。但这些干旱指标的研究大多从气象角度出发, 没有考虑到作物的需水特性, 缺少一个农业意义明显的农业旱灾综合评估指标, 对农业旱灾的发展变化缺少量化研究。为此, 本研究尝试建立一个考虑因素较为全面的农业旱灾综合评估指数, 并利用该指数对主要作物生长期干旱异常的多时间尺度阶段特征进行初步分析, 以期为该区的防灾减灾提供科学依据。

1 研究区概况及资料来源

本研究主要以西峰为例。位于甘肃黄土高原东侧的庆阳市西峰区, 年平均气温 8.7°C , 年平均降水量 530 mm , 地形属黄土高原残塬沟壑区, 以塬地为主, 辖区内的董志塬面积 910 km^2 , 是甘肃省黄土高原最大的塬面, 地形和气候在陇东黄土高原塬区有一定的代表性。文中所用的降水量、温度、湿度、日照、风速等基本气象资料来自甘肃省 1961~2000 年整编气象资料, 其它资料为西峰农业气象试验站 1986~2000 年小麦、玉米生育期观测资料, 作物地

段 $0\sim 50\text{ cm}$ 土壤湿度观测资料, 土壤水文常数资料 (包括土壤质地、田间持水量、凋萎湿度) 和相应的农作物单、总产资料。

2 农业旱灾综合评估指数的建立

2.1 旱灾主要成因分析

水分收支或供求不平衡即产生旱或涝, 影响干旱的因子涉及大气、土壤水热状况、作物结构等多个方面, 在确定农业旱灾时既要考虑大气干旱状况, 土壤水分状况, 还要考虑不同作物不同生育时段的水分需求状况, 在有人类影响时, 还要考虑人类活动的影响。从农业角度出发, 影响干旱的主要因素有水分亏缺程度、水分亏缺敏感程度、水分亏缺持续时间和人类活动影响等几个方面, 其中人类活动对旱灾影响最为明显的是灌溉, 由于该区为典型的雨养农业区, 大部分地方不具备灌溉条件, 因此不考虑灌溉等人为活动的影响。

2.2 农业旱灾综合评估指数的建立方法和过程

2.2.1 农业旱灾综合评估指数定义 综合考虑以上因素, 将作物生育期中某一阶段的农业旱灾综合评估指数定义为:

$$H = \sum_{i=1}^N Z_i \lambda_i \tag{1}$$

式中, H 是某一评价期农业旱灾综合评估指数; Z_i 为逐日的水分亏缺指数; λ_i 为不同时期的敏感系数; N 为评价期的天数。从 (1) 式可看出, 旱灾指数为其水分亏缺指数和水分敏感系数的乘积, 水分亏

缺越严重,水分亏缺敏感性系数越大,则评价期的旱灾越重,另外,干旱持续时间越长,则其累积的灾情就越重。

为便于比较,定义某一评价时段的平均农业旱灾评估指数:

$$h=\frac{1}{N}\sum_{i=1}^NZ_i\lambda_i$$

(2)

h 即为时段平均旱灾评估指数,不同地方的旱灾综合评估指数的标准可以根据作物的反应确定。

2.2.2 水分亏缺指数的确定 20 世纪 60 年代中期,美国 W.C. Palmer 提出的气候适宜降水量^[6]综合考虑了实际蒸散,补水量、径流量和失水量等因子,能够较好地反映出在平均气候状况下的需水量,用实际降水量与气候适宜降水量的偏差值,以及适当的权重系数,不仅能较好地反映出水分的盈亏的大小,而且还具有时空可比性。

$$Z=Kd$$

(3)

$$d=P-\hat{P}$$

(4)

$$\hat{P}=\hat{ET}+\hat{R}+\hat{RO}-\hat{L}$$

(5)

(3)~(5) 式中, Z 为水分距平指数,当 Z 为正时,表示水分盈余,相反,为负时表示水分亏缺; d 为实际降水量和气候适宜降水量的差值; P 为实际降水量; $\hat{P}$ 为气候适宜降水量; K 为权重因子; $\hat{ET}$ 为气候适宜蒸散量; $\hat{R}$ 为气候适宜补水量; $\hat{RO}$ 为气候适宜径流量; $\hat{L}$ 为气候适宜失水量,各气候适宜值通过各分量的多年平均值和气候系数相乘得到。

$$\hat{ET}=\alpha PE$$

(6)

$$\hat{R}=\beta PR$$

(7)

$$\hat{RO}=\gamma PRO$$

(8)

$$\hat{L}=\delta PL$$

(9)

式中, PE 、 PR 、 PRO 、 PL 分别为可能蒸散、可能补水量、可能径流量、可能失水量。 α 、 β 、 γ 、 δ 分别为蒸散系数、补水系数、径流系数、失水系数,其计算公式如下:

$$\alpha=\overline{ET}/\overline{PE}$$

(10)

$$\beta=\overline{R}/\overline{PR}$$

(11)

$$\gamma=\overline{RO}/\overline{PRO}$$

(12)

$$\delta=\overline{L}/\overline{PL}$$

(13)

式中, $\overline{P}$ 、 $\overline{ET}$ 、 $\overline{PE}$ 、 $\overline{R}$ 、 $\overline{PR}$ 、 $\overline{RO}$ 、 $\overline{PRO}$ 、 $\overline{L}$ 、 $\overline{PL}$ 分别为月平均降水量、月平均蒸散量、月平均可能蒸散量、月平均补水量、月平均可能补水量、月平均径流量、月平均可能径流量、月平均失水量、月平均可能失水量。

笔者曾在对径流量、田间持水量等参数进行修正的基础上,建立了适合该区的逐月的帕默尔旱度指标^[7],用同样的方法,能够建立逐日旱度指标。为了能准确地计算作物不同生育阶段的水分盈亏值,采用逐日水分距平指数,经过反复修正后的权重因子 K 的表达式为:

$$K'=1.4847\lg(\frac{\overline{PE}+\overline{R}+\overline{RO}}{(\overline{P}+\overline{L})\overline{D}})+1.2928$$

(14)

$$K=\frac{669.815}{\sum_1^{365}DK'}K'$$

(15)

式中, D 为水分距平绝对值的平均, $\overline{P}$ 、 $\overline{PE}$ 、 $\overline{R}$ 、 $\overline{RO}$ 、 $\overline{L}$ 分别为降水量、可能蒸散量、补水量、径流量和失水量的日平均值。

2.2.3 敏感系数 λ_i 的确定 利用代表站点气候、物候、产量、土壤水分等资料,采用 Jensen^[8]连乘模型计算得到该区几种主要农作物不同生育时段对水分胁迫的敏感系数^[9](表 1),由于水分敏感系数的求取,考虑了作物不同生育时期的需水量与实际蒸散量,因而它本身在一定程度上反映了作物水分供求状况和自身特性。

3 甘肃黄土高原旱灾综合评估指数变化的多时间尺度分析

为进一步了解陇东黄土高原旱灾的变化特点和趋势,采用常用的 Mexican Hat 函数,以西峰为例,

表 1 西峰冬小麦、玉米不同生育时段水分胁迫敏感系数

Table 1 The sensitivity coefficient of winter wheat to water shortage in different development periods in Xifeng, station						
冬小麦 Winter wheat	播种期 Seeding	冬前苗期 Seedling	越冬期 Wintering	返青~拔节 Turning green ~ jointing	孕穗~抽穗开花 Booting ~ anthesis	乳熟~成熟 Milkripe ~ maturing
	0.0495	0.2395	0.0159	0.2270	0.2782	-0.0242
玉米 Corn	播种~拔节 Seeding ~ jointing	拔节~抽雄 Jointing ~ heading		抽雄~灌浆 Heading ~ grouting	乳熟~成熟 Milkripe ~ mature	
	-0.0726	0.4369		0.2668	-0.0595	

分别对冬小麦全生育期和拔节至抽穗期,玉米全生育期及拔节至吐丝期的干旱指数时间序列进行多时间尺度分析。时间序列资料为冬小麦和玉米 1961~2000 年相应时段的旱灾评估指数,采用对称延伸法减少边界效应。冬小麦全生育期旱灾指数的小波分析结果如图 1。图中,小波变换系数的正值用实线,负值用虚线交替来表示,零线用标注 0 的黑虚线表示,正负中心反映了不同尺度振荡的最大值,其中正值对应着旱灾较严重,负值对应旱灾较弱。可以看出,该区冬小麦全生育期(9 月中旬至次年 5 月中旬)的旱灾具有 15 年左右年代际的较长周期和 5~8 年、2~3 年左右的年际间的短周期,较长周期中又包含着较短周期。在 15 年较长时间尺度上旱灾指数的变化可分为 4 个阶段,即 1962~1970 年的较弱时期,1971~1983 年的次强时期,1984~1993 年的次弱时期,1994 年以后的较强时期,90 年代初期之后、60 年代中期至 70 年代初的 11~15 年周期振荡明显;在 5 年和 2 年左右时间尺度上旱灾指数的强

弱交替变化比较频繁,在 5 年时间尺度上大致有 6 个偏弱偏强周期的转换,平均周期为 6.1 年,70 年代中期至 80 年代后期的 5~8 年周期振荡表现得较明显,2 年时间尺度上大致有 13 个强弱周期的转换,平均周期为 2.9 年,90 年代中期以后、60 年代中后期的 2 年周期振荡表现得较为明显。90 年代后期至目前该区处于年代际变化和年际变化的正值区,因此预计 2000 年后冬麦全生育期旱灾指数的变化将略强,不久将会减弱。

对小波系数在时间尺度域上进行平方积分后得到小波方差,小波方差可以用来判别序列变化的显著周期,图 2a 是冬麦全生育期旱灾指数变化的小波方差图,图中在 16 年左右有一个峰值,说明该区的主要周期是 15 年左右的较长尺度的周期;图 2b 是冬麦拔节~抽穗期旱灾指数的小波方差图,图中在 7 年和 20 年有两个峰值,其中以 7 年最为显著,说明较短时期的周期性振荡最强。

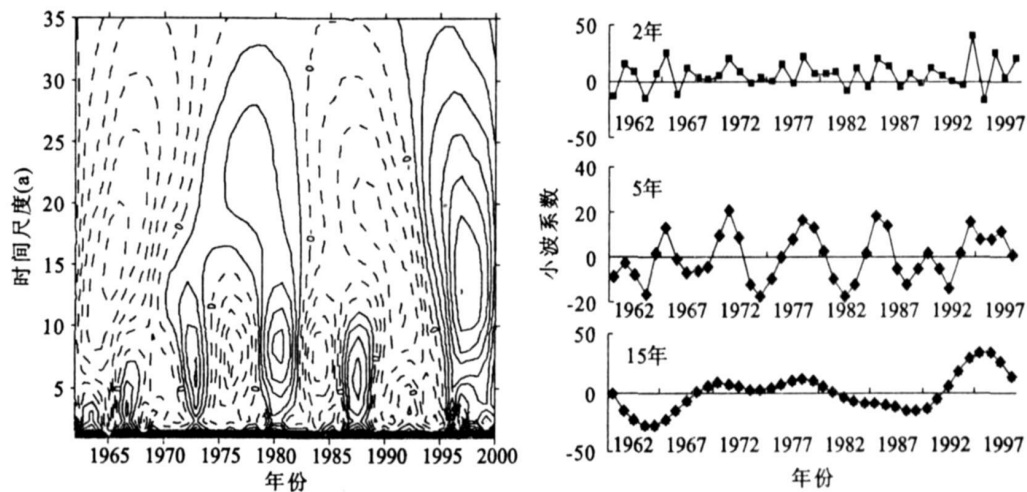


图 1 西峰冬小麦全生育期旱灾指数的小波分析与不同时间尺度周期的演变特征(1961~2000 年)

Fig. 1 Wavelet analysis and evolutive characteristics of drought index in winter wheat's whole growth duration in Xifeng (1961~2000)

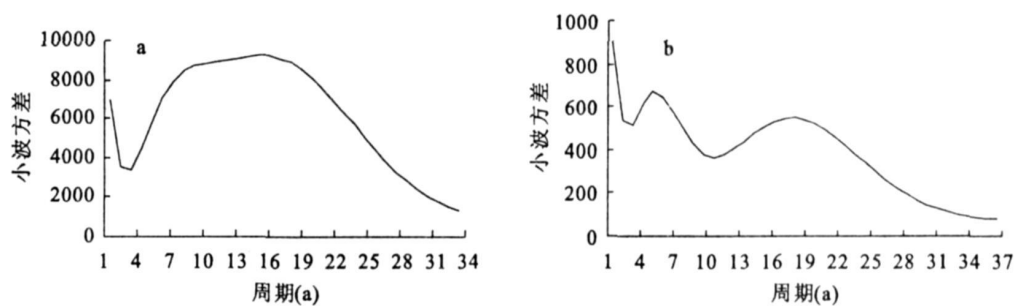


图 2 冬麦全生育期(a)和拔节至抽穗期旱灾指数小波方差曲线(b)

Fig. 2 Wavelet variances of winter wheat's drought index in the whole growth duration (a) and the duration from jointing to heading(b)

拔节~抽穗是冬麦水分需求的关键时期,也是水分供需矛盾最易出现的时期,此时出现的旱灾对冬麦产量影响最大。图 3 表明,此时旱灾指数的变化存在着 20 年左右的长周期和 5~8 年的短周期,在 20 年的周期上,与全生育期一样,经历了 4 个阶段,具体时段相近,即:1961~1972 年的较弱时期,1983~1991 年的次弱时期,1992 年以后的较强时期和 1973~1982 年的次强时期;在 5~8 年的时间尺度上,经历了大致 8 个弱强周期的转换,平均周期为 5 年。2000 年后将处于 20 年长周期的负值区和 5~8 年短周期的正值区,因此,旱灾强度将在几年的较强之后减弱。

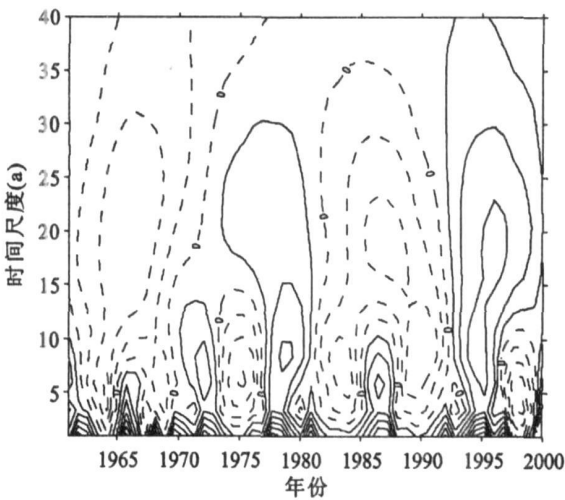


图 3 西峰冬小麦拔节—抽穗期旱灾指数小波分析图
Fig.3 Wavelet analysis of winter wheat's drought index from jointing to heading

用同样方法对玉米全生育期及拔节至吐丝期的旱灾指数进行分析(图略),发现玉米全生育期的旱灾指数有着 15 年左右的长周期和 3~5 年的短周期,在 15 年的长时间尺度上,有 4 个变化阶段,3~5 年时间尺度上存在大致 7 个强弱交替的周期变化,平均周期为 5.7 年。在 2000 年,新的长周期和短周期的负值区正开始发展,因此,该区玉米全生育期旱灾指数在经历一个短时期的负值之后,将会有有一个短时期的正值。玉米拔节到吐丝期的旱灾指数有着 17 年左右的长周期和 3~5 年的短周期,对于较长时间尺度,也有 4 个变化阶段,而较短周期也是强弱交替。2000 年正处于一个长周期的负值区的形成

期,因此,今后一段时间该区玉米拔节至吐丝期的干旱指数总体以较弱为主,中间有个别短周期的较强时期。小波方差(略)显示二者的变化均以较长尺度的周期振荡最明显。

4 结 论

- 1) 农业旱灾综合评估指数,综合考虑了水分亏缺程度、持续时间和作物对干旱的敏感性,具有一定的农业意义,可应用于该区的农业旱情监测和评估。
- 2) 陇东黄土高原冬小麦全生育期的旱灾指数具有 15 年左右的较长周期和 5~8 年、2~3 年左右的短周期,以 15 年左右的振荡最强,未来旱灾指数将略强,不久将会减弱;冬小麦拔节至抽穗期的旱灾指数具有 20 年左右的长周期和 5~8 年的短周期,以 7 年左右的振荡最为显著,未来旱灾强度将在几年的较强之后减弱。玉米全生育期和拔节至吐丝期的旱灾指数均以较长时间的周期振荡最明显。该区玉米全生育期将在经历一个短时期的较弱旱灾指数期之后,会有一个短时期的较强旱灾指数期,而今后拔节至吐丝期的干旱指数总体以较弱为主,中间有个别短周期的较强时期。

参 考 文 献:

[1] 杨晓华,白虎志,周志鹏.甘肃伏旱指数特征及多层递阶方法预测[J].干旱地区农业研究,2006,24(4):180—186.
[2] 姚玉璧,张存杰,邓振镛.气象、农业干旱指标综述[J].干旱地区农业研究,2007,25(1):185—189.
[3] 任 瑾,徐明华.甘肃省 1960~1989 年的干旱特征[J].干旱地区农业研究,1993,11(1):85—90.
[4] 张存杰,王宝灵,刘德祥.西北地区大气干旱指标的初步研究[J].高原气象,1998,17(4):381—389.
[5] 刘德祥,王宝灵,瞿 汶.甘肃省服务干旱指标的初步研究[J].甘肃气象,1998,16(3):17—20.
[6] Wayne C Palmer. Meteorological Drought, Research Paper, NO. 45[M]. Washington: D. C. U.S Weather Bureau, 1965.
[7] 杨小利,杨兴国,马鹏里,等.PDSI 在甘肃中东部地区的修正和应用[J].地球科学进展,2005,20(9):1022—1028.
[8] Steven J Meyer, Kenneth G Hubbard, Donald A Wilhite. A crop-specific drought index for corn agron[J]. J., Mar, 1993, 85: 388—395.
[9] 杨小利,刘庚山,杨兴国,等.甘肃黄土高原主要农作物水分敏感性[J].干旱地区农业研究,2006,24(4):90—93.

(英文摘要下转第 27 页)

[6] 孙凤华,吴志坚,杨素英.东北地区近 50 年来的极端降水和干燥事件时空演变特征[J].生态学杂志,2006,25(7):779-784.

[7] 刘引鸽.西北干旱灾害及其气候趋势研究[J].干旱区资源与环境,2003,17(4):113-116.

[8] 庄锡潮,张文坚,王镇铭.浙江省严重干旱灾情评估方法和研究[J].浙江气象科技,2002;21(4),22-25.

[9] 李翔,周诚,高肖剑,等.我国灾害经济统计评估系统及其指标体系的研究[J].自然灾害学报,1993;2(1):5-15.

[10] 钱正安,吴统文,宋敏红,等.干旱灾害和我国西北干旱气候的研究进展及问题[J].地球科学进展,2001,16(1):28-38.

[11] 吴鸿宾.内蒙古自治区主要气象灾害分析[M].北京:气象出版社,1991.

Distribution character of extreme climatic events and evaluation of its influence on agriculture in Inner Mongolia

BAI Mei-lan¹, HAO Run-quan², GAO Jian-feng², LIU Hong-wei¹

(1. Climatic Center of Inner Mongolia, Huhhot 010051, China;

2. Meteorological Science & Service Center of Inner Mongolia, Huhhot 010051, China)

Abstract: Using data(1984~2006) of meteorological observation and area of affected crops for extreme climatic events, forecasting method like linear-trend analysis, regression analysis, Bayes classification and discrimination, and catastrophology theory, this paper analyses the developing rule of extreme climatic events related with temperature and precipitation. It shows that the extreme temperature and rainfall events and the loss they cause represent rising tendency in Inner Mongolia Autonomous Region. We make model for evaluating the drought impacts which is the worst-hit for crops and the disaster-caused loss. And the result from the model is the same as the fact in substance. It also predicts the optimal project and the economic benefits of planting.

Key words: extreme climatic event; distribution character; influence evaluation

(上接第 20 页)

The complex evaluating index for main crops' drought disasters and its multiple time scales analysis in Longdong loess plateau

YANG Xiao-li^{1,2}, YANG Xing-guo¹

(1. Lanzhou Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration,

Gansu Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster, Lanzhou, Gansu 730020, China;

2. Pingliang Meteorological Bureau, Pingliang, Gansu 744000, China)

Abstract: A complex index of evaluating agricultural drought disasters was explored considering some factors such as water shortage degree, the duration and sensitivity of crops to water shortage, etc., and the index can be applied in monitoring and evaluating agricultral drought disasters. Multiple time scales charateristics of main crops' drought index was further analysed by using the wavelet analysis method which can provide some references for rational use of climatic resources and making decisions.

Key words: agricultural drought index; main crop; wavelet analysis; Longdong loess plateau