

王 莺, 李耀辉, 赵福年, 等. 基于信息扩散理论的甘肃省农业旱灾风险分析[J]. 干旱气象, 2013, 31(1): 43–48. doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0043

基于信息扩散理论的甘肃省农业旱灾风险分析

王 莺¹, 李耀辉¹, 赵福年¹, 胡田田²

(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. 兰州大学大气科学学院, 甘肃 兰州 730000)

摘 要: 干旱灾害是甘肃省最严重的自然灾害。以甘肃省 1990~2010 年的干旱受灾面积和播种面积的统计数据为基础, 采用基于信息扩散理论的模糊数学方法, 建立甘肃省农业旱灾风险分析模型, 对甘肃省农业旱灾进行分析。结果表明, 甘肃省旱灾受灾指数在 22% 时的旱灾受灾概率最大, 超过 80% 的旱灾受灾可能性就很小; 旱灾风险值显示, 农业旱灾受灾指数 > 10%~20% 时的风险概率为 1~1.6 a 一遇, 农业旱灾受灾指数 > 50% 时的风险概率为 12.2 a 一遇, 呈现出干旱发生周期短、发生频率高的特点, 这说明甘肃省的农业旱灾出现频率高, 发生周期短, 灾情不容忽视。研究结果增加了对甘肃省农业旱灾的认识, 对地区防灾减灾工作具有指导意义。

关键词: 信息扩散; 旱灾; 风险分析; 甘肃省

文章编号: 1006-7639(2013)-01-0043-06 doi:10.11755/j.issn.1006-7639(2013)-01-0043

中图分类号: S42

文献标识码: A

引 言

干旱作为世界上最严重的自然灾害之一, 具有发生范围广、持续时间长、危害严重等特点^[1-2]。全球每年由于干旱带来的农业经济损失可达 10 亿美元^[3]。在全球气候变化这个大背景下, 干旱的发生频率增高, 持续时间延长, 这些都导致区域干旱风险的增加^[4]。甘肃省作为中国最典型的干旱省份之一, 干旱灾害可以占到气象灾害的 70% 以上, 严重影响该地区的农业生产^[5-8]。当地政府以及决策部门只有依据干旱风险程度制定相应的管理措施, 才有可能将灾情损失降到最低, 这就需要一个准确的干旱灾害风险分析方法去判断干旱的发生概率以及发生程度。与干旱灾害风险相关的大量会议的召开以及相关项目的启动也从侧面说明该问题已成为一个重要的研究前沿^[9-12]。

农业干旱灾害风险分析就是通过旱情的历史记载数据和社会经济数据, 利用数学手段分析不同风险水平的干旱灾害发生频率, 得到风险概率分布, 达到避灾减灾的目的。由于农业干旱灾害的发生具有

极大的不确定性和易变性, 同时又与人类社会构成了一个复杂的系统, 因此要准确估计农业干旱灾害风险的概率分布就需要大量的长时间序列的历史统计资料。而在实际的研究工作中往往获得的都是不连续的小样本数据, 这对于传统数学中的概率统计方法来说是远远不够的, 这将导致结果的不稳定性, 甚至可能与实际情况大相径庭。随着数学科学的发展, 基于信息扩散理论的模糊数学方法被提了出来^[13]。该方法采用集值化的模糊数学处理法将某一单值样本的资料信息扩散到指标论域中的所有点, 使有用信息最大化, 提高系统的风险识别精度, 弥补小样本数据带来的信息不足。王积全和李维德利用信息扩散理论对甘肃省民勤县的农业旱灾风险做了分析^[14]。张竟竟用信息扩散技术对河南省农业旱灾做了风险评估^[15]。潘冬梅和王建刚采用模糊数学和信息扩散理论对新疆阿勒泰地区的夏旱做了分析, 并结合 Surfer 软件对夏旱风险做了区划^[16]。本文以地处西北内陆的甘肃省为例, 利用信息扩散技术研究该区域的农业干旱灾害发生风险, 探讨干旱发生规律, 以为防灾减灾工作提供理论

收稿日期: 2012-09-11; 改回日期: 2012-12-10

基金项目: 国家重点基础研究发展计划(973 计划)(2012CB955903); 中国清洁发展机制基金项目“面向适应的气候灾害风险评估与管理机制研究”; 中国—联合国合作非洲水行动—非洲干旱地区干旱预警机制及适应性技术合作(2010DFA92860) 共同资助

作者简介: 王莺(1984-), 女, 汉族, 甘肃兰州人, 助理研究员, 主要从事气候变化对农业生态的影响研究. E-mail: wangyn924@gmail.com

支持。

1 农业旱灾风险分析模型及数据来源

1.1 基于信息扩散理论的农业旱灾风险分析模型

农业旱灾风险分析的主要目的是给出不同干旱强度发生的可能性,也就是其概率密度函数。用极值风险模型和概率风险模型等方法研究灾害风险评估需要的数据量比较大,不适用于小样本事件,这将导致结果的不精确。对于小样本事件而言,因为其提供的信息量小,具有模糊不确定性。在这种情况下就不能将单个样本信息看作一个确切信息或一个确定的观测值,而应该把它看作是一个样本代表,看作一个集值,换句话说就是一个模糊集观测样本。信息扩散理论基于这样一个假设:可以用一个给定的知识样本估计一个关系,直接使用该样本得到的结果就是非扩散估计,当且仅当样本量不完备时,就一定存在一个适当的扩散函数和相应的算法,使得扩散估计比非扩散估计更接近真实情况^[17-19]。

假设 X 是某一区域在过去 m 年内的风险评估指标的实际观测值的样本集合:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\} \quad (1)$$

式中 x_i 是观测样本点, m 是观测样本总数。

设 U 为 X 集合中每个实际观测值样本的信息扩散范围集合:

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_n\} \quad (2)$$

式中 u_j 是位于区间 $[u_1, u_n]$ 内固定间隔离散得到的任意离散实数值, n 是离散点总数。

将样本集合 X 中的每一个单值观测样本值 x_i 依照下式使其携带的信息扩散到指标论域中的所有点:

$$f_i(u_j) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_i - u_j)^2}{2h^2}\right] \quad (3)$$

式中 h 是信息扩散系数,根据样本集的大小取不同的值。其解析表达式如下:

$$h = \begin{cases} 0.8146 \times (b - a) & m = 5 \\ 0.5690 \times (b - a) & m = 6 \\ 0.4560 \times (b - a) & m = 7 \\ 0.3860 \times (b - a) & m = 8 \\ 0.3362 \times (b - a) & m = 9 \\ 0.2986 \times (b - a) & m = 10 \\ 2.6851 \times (b - a)/(n - 1) & m \geq 11 \end{cases} \quad (4)$$

式中 $a = \min(x_i, i = 1, 2, \dots, m)$, $b = \max(x_i, i = 1, 2,$

$\dots, m)$; m 是观测样本总数。取

$$C_i = \sum_{j=1}^n f_i(u_j), i = 1, 2, \dots, m \quad (5)$$

则样本 x_i 的归一化信息分布为:

$$\mu_{x_i}(u_j) = \frac{f_i(u_j)}{C_i} \quad (6)$$

$$i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$$

假设:

$$q(u_j) = \sum_{i=1}^m \mu_{x_i}(u_j), j = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

$$Q = \sum_{j=1}^n q(u_j) \quad (8)$$

可知:

$$p(u_j) = \frac{q(u_j)}{Q} \quad (9)$$

公式(9)就是所有样本落在 $U = (u_1, u_2, u_3, \dots, u_n)$ 处的频率值,将其作为概率的估计值。其超越概率的表达式如下:

$$P(u \geq u_j) = \sum_{k=j}^n q(u_k), i = 1, 2, \dots, n \quad (10)$$

式中 P 为不同旱灾情形下的风险值。

1.2 指标选取与数据来源

本文选取可行性指标中的旱灾受灾指数对于干旱灾害进行定量评估。旱灾受灾指数的定义如下:

农业旱灾受灾指数 = 农业旱灾受灾面积/农作物播种面积

研究数据来自甘肃省统计年鉴。

2 农业旱灾风险分析

2.1 孕灾环境特征

2.1.1 自然环境

甘肃省位于我国西北内陆,介于 $32^{\circ}31' \sim 42^{\circ}57'N$ 、 $92^{\circ}13' \sim 108^{\circ}46'E$ 之间。在行政区划上东接陕西,西邻新疆,南接四川和青海,北邻内蒙古和宁夏。该地区位于黄土高原、青藏高原和蒙新高原的交汇地带,大部分区域海拔介于 $800 \sim 3\,000\text{ m}$ 之间,地势自西南向东北倾斜,是典型的山地型高原地貌,境内山地、高原、河谷、平川、沙漠和戈壁交错分布,多数山脉为西北—东南走向,河流多属黄河水系(图1、图2)。甘肃省东西长 $1\,655\text{ km}$,南北宽 530

km,总面积为45.37万km²,其中耕地面积为4.54万km²,旱地面积占总耕地面积的80.7%。

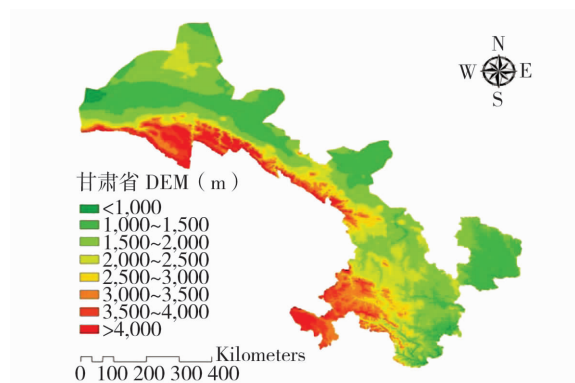


图1 甘肃省 DEM

Fig. 1 The DEM of Gansu Province

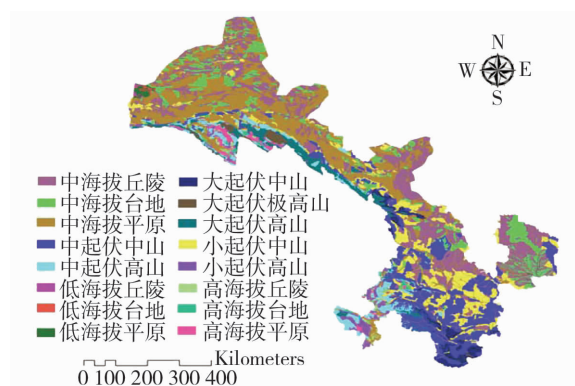


图2 甘肃省地貌图

Fig. 2 The geomorphologic map of Gansu Province

甘肃省气候干燥,气温日较差大,年平均气温在0~14℃之间,年平均降水量在42~760mm之间,均自东南向西北降低。降水时间分布不均,主要集中在6~9月。该地区蒸发量为1100~3000mm,年日照时数为1700~3300h,分布趋势与年降水量的分布相反,即自东南向西北增大。

甘肃省河流年总径流量为415.8亿m³,年总地表径流量为174.5亿m³,自产水资源总量约为300亿m³,人均占有量1150m³,而在中部干旱区人均占有量仅为250m³。全省水土资源主要存在2个问题:其一是流域内大部分地区被黄土覆盖,植被覆盖度低,水土流失严重;其二是空间匹配差,呈反比关系,即耕地多的地区水资源匮乏,耕地少的地区水资源丰富。

综上所述,甘肃省地形复杂,耕地主要以旱作农田为主,省内降水稀少,蒸发量远大于降水量,这些都导致了该地区气象干旱发生频繁,且一旦发生就极易成灾。

2.1.2 甘肃省自然灾害人文环境

从图3中可以看出,自1980~2010年的31a中,甘肃省人口随年份的增加呈现对数增长的趋势,前20a上升趋势明显,年平均增长率为31.21万人/a,后11a上升趋势减缓,年平均增长率为4.06万人/a。人口增长给生态环境带来了巨大的压力,滥垦滥伐、滥耕滥牧现象突出,城市化进程加快,这些行为都将导致植被覆盖度减少,地表不透水面增加,土地沙化,水资源短缺等环境问题,使得孕灾环境敏感性增加,导致干旱灾害频率和强度的增加。图4是1980~2010年甘肃国内生产总值的年度变化图,财政收入的高低从一定程度上代表了该地区防灾减灾的能力强弱,从图中可以看出甘肃省年生产总值随年份的增加呈现指数上升的趋势,1980年代的年增长率为15.35亿元/a,1990年代的年增长速率为78.15亿元/a,21世纪初的年增长速率为299.55亿元/a,这说明该地区的防灾减灾能力在逐年上升。

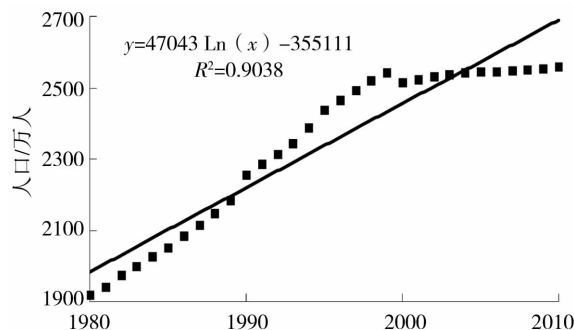


图3 1980~2010年甘肃省
人口增长示意图

Fig. 3 Population increment in Gansu
Province from 1980 to 2010

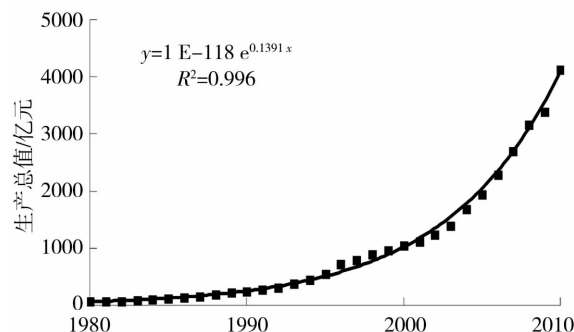


图4 1980~2010年甘肃省国内
生产总值示意图

Fig. 4 Gross national product in Gansu
Province from 1980 to 2000

2.2 干旱灾害受灾指数

表 1 是甘肃省 1990 ~ 2010 年的农业灾情统计数据 and 旱灾受灾指数。该指数是衡量相对损失的指标,可以比较客观地反映出旱灾的受灾情况。由旱灾受灾指数的定义可知该指数越大,旱灾灾情越严重。

表 1 甘肃省 1990 ~ 2010 年旱灾受灾面积、农业播种面积以及旱灾受灾指数

Tab. 1 Drought disaster damaged area, agriculture sown area and drought disaster index in Gansu Province from 1990 to 2010

年份	干旱受灾面积/万 hm ²	播种面积/万 hm ²	旱灾受灾指数
1990	60.667	361.133	0.1680
1991	106.133	358.882	0.2957
1992	102.395	366.025	0.2797
1993	24.375	284.187	0.0858
1994	116.606	371.101	0.3142
1995	208.739	377.285	0.5533
1996	50.454	376.683	0.1339
1997	157.408	375.997	0.4186
1998	73.045	376.862	0.1938
1999	98.446	380.682	0.2586
2000	162.23	373.903	0.4339
2001	108.98	368.890	0.2954
2002	63.68	364.993	0.1745
2003	56.26	362.092	0.1554
2005	60.70	372.601	0.1629
2006	87.55	374.335	0.2338
2007	97.57	383.469	0.2544
2008	73.18	386.861	0.1891
2009	100.89	393.864	0.2562
2010	60.19	399.518	0.1507

2.3 农业干旱灾害风险评价

以旱灾受灾指数为输入数据,对甘肃省的农业干旱灾害做风险分析。由于样本数量较少,所以选用基于信息扩散理论的模糊风险分析模型。设 $X_i(i = 1, 2, \cdots, 11)$ 分别为 1990 年,1991 年,……,2010 年甘肃省农业旱灾受灾指数。取风险指标论域为 U_j 为 $\{0, 0.01, 0.02, \cdots, 1\}$ 。按照公式(1) ~ (10)进行计算,可以得到旱灾受灾风险估计值,并做出旱灾受灾指数的概率密度曲线和超越概率密度曲线,如图 5 和图 6 所示。

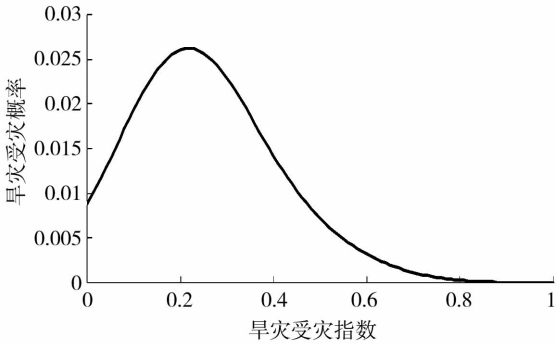


图 5 甘肃省旱灾受灾概率密度曲线
Fig. 5 Drought afflicted probability density curve in Gansu Province

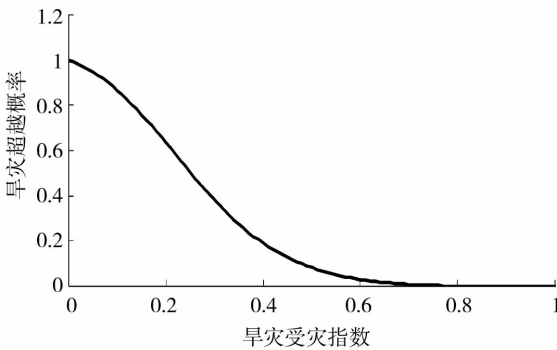


图 6 甘肃省旱灾受灾超越概率密度曲线
Fig. 6 Drought afflicted exceeding probability density curve in Gansu Province

由图 5 可以得到任意受损区间上的旱灾受灾概率值。该值的大小代表了不同灾情水平发生的可能性大小。从甘肃省旱灾受灾概率密度曲线可以看出,曲线的横坐标跨度很大,这说明甘肃省的旱灾受灾面积具有较强的不确定性。甘肃省旱灾受灾指数在 22% 时的旱灾受灾概率最大,超过 80% 的旱灾受灾可能性就很小。图 6 中的旱灾超越概率呈一个反“S”型分布,曲线有一个从凸到凹的过程,这说明对应的概率密度曲线有一个极大值,符合图 5 反映的情况,此曲线陡度比较缓,说明旱灾事件发生的情况离散性较强,具有较高的不确定性,旱灾发生风险大。

表 2 中的风险指数是指旱灾受灾指数的大小,风险估计值表示 > 该受灾指数的概率。如表 2 中所示,当风险指数为 20% 时,风险估计值为 0.6348,也就是说该地区旱灾受灾指数 > 20% 时的概率为 0.6348,即在甘肃省,平均 1.58 a 就要出现 1 次受灾面积超过 20% 的干旱。同理,旱灾面积超过 40% 的概率为 0.1900,也就是平均 5.26 a 就会出现一次受灾面积超过 40% 的干旱。这说明甘肃省的旱情非

常严重。从表中数据可知,干旱受灾面积 >10% 的干旱事件平均 1.16 a 就会发生 1 次。这符合甘肃省“十年九旱”和“三年一大旱”的农谚。甘肃省百

年一遇的干旱,其受灾面积 >69%。这说明甘肃省的农业干旱受灾情况在频率和强度这 2 方面来说都是非常严重的,会对农业生产带来巨大的影响。

表 2 甘肃省农业旱灾风险分析结果

Tab. 2 Analyzing results of agriculture drought disaster risk in Gansu Province

风险指数/%	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
风险估计值	0.8655	0.6348	0.3806	0.1900	0.0822	0.0301	0.0083	0.0015	0.0002	2.92E-06

3 结论与讨论

干旱是一种自然现象,与气象、水文等因素有关,其时空变化具有一定的规律性。当它作用于农作物时,可能会引起作物生长受阻、病虫害爆发,最终导致产量下降,这就叫做农业干旱灾害。由于干旱区农业旱灾风险与致灾因子危险性、孕灾环境敏感性、承灾体易损性和防灾减灾能力有关,分析难度大,数据获取困难,所以本文选取基于信息扩散理论的模糊数学方法对甘肃省 1990~2010 年的播种面积和干旱受灾面积的统计数据做风险分析,得到旱灾的损失程度的概率分布和时间频率分布,是信息扩散理论在现代风险分析中的应用范例,具有一般化的意义。

甘肃省夏季干旱主要由西太副高和南亚高压控制,冬季和过渡季节干旱主要由东亚槽和新疆脊的强弱决定。甘肃省旱灾受灾指数在 22% 的可能性最大,超过 80% 的受灾可能性就很小。农业旱灾受灾指数 >10%~20% 时的风险概率为 1~1.6 a 一遇,农业旱灾受灾指数 >50% 时的风险概率为 12.2 a 一遇,呈现出干旱发生周期短、发生频率高的特点。百年一遇干旱的受灾面积 >69%。这说明甘肃省的农业旱灾风险非常高,一旦发生就会带来非常严重的后果。

为了抵御干旱灾害对甘肃农业生产带来的危害,从技术层面来说可以推广全膜双垄沟播技术,该技术集覆盖抑蒸、沟垄集雨、沟垄种植技术为一体,实现了保墒蓄墒、就地入渗、保水保肥、增加地表温度、提高肥水利用率的效果;全膜覆土穴播技术,该技术利用全膜覆盖的理念,总结和完善了传统地膜穴播方法,既可以节约成本,又能保护地表、改善环境,具有显著的经济、社会和生态效益。从政府层面来说,需要相关部门积极深化抗灾减灾体制机制改革,大力推进各级抗旱规划编制,建设抗旱应急备用水源工程,建立旱情监测预警平台,全面提升抗旱服

务组织能力,减少干旱灾害带来的损失。

参考文献:

- [1] IPCC. Climate change 2007: Synthesis report. Contribution of working groups i, ii and iii to the fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. In: Core Writing Team, Pachauri, R. K., Reisinger, A. (Eds.), IPCC, Geneva, Switzerland. 2007.
- [2] 王保生,刘文英,黄淑娥. 江西省旱涝灾害风险评估与农业可持续发展[J]. 气象与减灾研究, 2006,29(2):43-47.
- [3] Hao L, Zhang X Y, Liu S D. Risk assessment to China's agricultural drought disaster in county unit [J]. Nat Hazards, 2012,61: 785-801.
- [4] Solomon S, Qin D, Manning M, et al. (eds). Climate change 2007: the physical science basis. The fourth assessment report of the intergovernmental panel on climate change [R]. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- [5] 王燕,王润元,王鹤龄,等. 甘肃省干旱气候灾害的自然和人文因素探讨[J]. 环境保护与循环经济,2008,9:51-54.
- [6] 张强,张存杰,白虎志,等. 西北地区气候变化新动态及对干旱环境的影响——总体暖干化,局部出现暖湿迹象[J]. 干旱气象, 2010,28(1):1-7.
- [7] 段海霞,王素萍,冯建英. 2011 年全国干旱状况及其影响与成因 [J]. 干旱气象,2012,30(1):136-147.
- [8] 宁惠芳,林婧婧,陈佩璇. 甘肃省气候暖干化与农业干旱灾害的联系[J]. 干旱气象,2010,28(2):198-201.
- [9] Dille M. Setting priorities: global patterns of disaster risk [M]. Royal Society, London, 2005.
- [10] Cardona O D. Indicators for disaster risk management [A]. First Expert Meeting on Disaster Risk Conceptualization and Indicator Modelling, Manizales, 2003.
- [11] Birkmann J. Risk and vulnerability indicators at different scales: applicability, usefulness and policy implications [J]. Environ Hazards, 2007,7:20-31.
- [12] Birkmann J. Global disaster response and reconstruction: stabilization versus destabilization—challenges of the global disaster response to reduce vulnerability and risk following disasters [R]. In: Doelemeyer A, Zimmer J, Tetzlaff G (eds) Risk and planet earth—natural hazards, vulnerability, integrated adaptation strategies. Schweizerbart, Germany, 2010. 43-55.
- [13] 黄崇福. 自然灾害风险评价:理论与实践 [M]. 北京:科学出版社,2005.

- [14] 王积全,李维德. 基于信息扩散理论的干旱区农业旱灾风险分析[J]. 中国沙漠, 2007,27(9):826-830.
- [15] 张竞竞. 基于信息扩散理论的河南省农业旱灾风险评估[J]. 资源科学,2012,34(2):280-286.
- [16] 潘冬梅,王建刚. 新疆阿勒泰地区夏旱风险评估分析[J]. 干旱气象,2012,30(2):188-191.
- [17] 黄崇福,王家鼎. 模糊信息优化处理技术及其应用[M]. 北京:北京航空航天大学出版社,1995.
- [18] 黄崇福,张俊香,刘静. 模糊信息优化处理技术应用简介[J]. 信息与控制,2004,33(1):61-66.
- [19] 常文娟,梁忠民. 信息扩散理论在农业旱灾风险率分析中的应用[J]. 水电能源科学,2009,27(6):185-187.

Risk Assessment of Agriculture Drought Disaster in Gansu Province Based on Information Diffusion Principle

WANG Ying¹, LI Yaohui¹, ZHAO Funian¹, HU Tiantian²

(1. Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province,
Key Open Laboratory of Arid Climate Change and Disaster Reduction of CMA,
Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China;
2. College of Atmospheric Science, Lanzhou University, Lanzhou 730000, China)

Abstract: Drought disaster is the worst natural disaster in Gansu Province. A risk model of agricultural drought disaster was established based on statistical data of drought disaster area and planting area in Gansu Province during 1990-2010 by using the fuzzy mathematical method, and the agriculture drought disaster in Gansu Province was analyzed. The results show that the damage probability of drought disaster in Gansu Province reached maximum when the drought disaster index was 22% and it tended to be very low when the index exceeded 80%. The drought risk value showed that when the drought disaster index ranged from 10% to 20%, the drought occurred every 1-1.6 year in average, and if the index was over 50%, it happened every 12.2 years in average. Such probability distribution showed that the agricultural drought disasters in Gansu Province presented a high frequency and a short cycle, and the damage of disasters should not be overlooked. Better understanding of the current situation of agricultural drought disasters in Gansu Province by this study will be important to the prevention and mitigation of regional drought disaster.

Key words: information diffusion principle; drought disaster; risk assessment; Gansu Province

《干旱气象》2012 年度优秀论文评选揭晓

为激励气象科技人员不断创新、发表更多高水平的学术论文以及进一步提高《干旱气象》的载文质量,促进学术交流,本刊编委会自 2007 年起建立年度优秀论文评选制度,并对优秀论文作者进行奖励。

2012 年度优秀论文评选工作已经结束。经过编委推荐和编委会认真评审,从论文的创新性、实用性及鼓励科研人员投稿积极性等方面出发,编委会从 2012 年度刊载的 105 篇文章中评选出 4 篇作为该年度的优秀论文并进行奖励。希望获得优秀论文奖的作者再接再厉,踊跃投稿,同时欢迎广大气象科技工作者积极投稿《干旱气象》并关注《干旱气象》的发展。

优秀论文名单:

(1)“基于主动卫星遥感研究西北地区云层垂直结构特征及其对人工增雨的影响”(30 卷 第 4 期) 作者:丁晓东,黄建平,李积明,王天河,黄忠伟 单位:兰州大学大气科学学院

(2)“基于随机重排去趋势波动分析的全国极端日降水事件综合指标”(30 卷 第 2 期) 作者:侯威,钱忠华,杨萍,封国林 单位:中国气象局国家气候中心

(3)“我国气象干旱研究进展评述”(30 卷 第 4 期) 作者:王劲松,李耀辉,王润元,冯建英,赵艳霞 单位:中国气象局兰州干旱气象研究所

(4)“西安世园会园区大气环境质量与气象因子关系分析”(30 卷 第 1 期) 作者:肖舜,沈瑾,刘璐,姚东升,刘波,王百朋 单位:陕西省气候中心