

基于信息扩散理论的黑河中上游绿洲农业旱灾近 20 年风险评估^①

高原, 刘普幸*, 王允, 雍国正, 姚玉龙, 陈丽丽

(西北师范大学地理与环境科学学院, 兰州 730070)

摘要: 基于黑河中上游绿洲各县(区)1991—2010 年农业旱灾受灾面积、成灾面积等统计数据, 利用信息扩散理论风险分析模型和风险等级划分, 对农业旱灾风险进行评估。结果表明: 近 20 年来, 研究区农业受旱灾影响的受(成)灾风险估计值随风险指数增加而减小, 当受灾风险水平在 50% 以内时, 临泽受灾风险估计值最小, 为 0.000 29, 山丹受灾风险估计值最大, 为 0.811 12, 风险频率达到每 1.2 年一遇。当成灾风险水平在 30% 以内时, 成灾风险估计值以山丹最大, 为 0.765 50, 达到每 1.3 年一遇, 甘州区最小, 为 0.118 95, 旱灾几乎年年发生。旱灾发生具有高频率和集中性特点, 受损度主要集中在 15% 以内, 受损程度在 30% 以上可能性很小。当旱灾受(成)灾指数为 10% 时, 高台、民乐、山丹的灾损程度最大, 而超过 50% 时灾损程度很小; 成灾风险等级空间差异显著, 表现为以甘州区、临泽为中心, 风险等级水平向外围增加, 即山丹、民乐风险等级水平最高, 属于高、较高风险等级, 甘州区、临泽风险等级水平最低, 为低、较低风险等级。

关键词: 旱灾; 风险分析; 信息扩散模型; ArcGIS 插值; 黑河中上游

中图分类号: S423

旱灾不仅是一个区域问题, 更是一个世界性问题, 它不但是影响水资源安全的重要因素, 而且成为制约国民经济可持续发展的瓶颈。全球每年因干旱所带来的农业经济损失可达 10 亿美元^[1]。Tirivarombo 和 Hughes^[2]对赞比西河流域农业干旱与食品安全之间的关系做了研究, 强调了干旱对于社会发展的巨大影响。

我国是受气象灾害严重影响的国家之一, 其中又以旱灾最为严重, 表现出发生频繁、影响范围广等特点, 对于农业生产的影响极为突出。据统计, 从公元前 206 年到 1949 年的 2 155 年间, 发生大干旱共计 1 056 次, 并且平均每两年就会发生严重干旱^[3-4]。如 2009—2010 年, 我国西南地区发生了持续长达 8 个月之久的大旱, 受旱面积达 $0.8 \times 10^7 \text{ hm}^2$, 致使 2 500 万人生活用水困难, 造成了巨大的经济损失^[5]。虽然, 我国粮食产量已实现“十连增”^[6], 粮食自给率已经达到 90% 以上, 但人多地少的农业现实和严酷的农业生产环境, 成为影响我国粮食安全和农业可持续发展的限制性因素。因此, 对于旱灾的预防和减灾已成为经济和社会可持续发展的重要内容^[7], 对农业旱灾风险评估也就成为亟待解决的科学问题。

在灾害风险评估研究领域, 国外代表性的旱灾风险评估模型主要有 AKWA 模型与 Hydrocycle-1.0 模型^[8]。此外, Granier^[9]提出的水分平衡模型应用也很广泛, 这些方法主要从气温、降水以及土壤墒情等方面对农业干旱作出分析。然而, 上述模型不能够反映干旱的危险性水平, 影响结果的准确性。目前, 在国内主要以统计分析方法对农业旱灾风险进行评价和建立风险模型, 但该方法对于数据资料的年限要求较长, 一般为 30 年, 这就增加了数据获取难度。针对小区域历史灾情资料不多的特点, 黄崇福等^[10]以 Zadeh^[11]的理论为基础, 提出利用信息扩散理论的正态风险分析模型, 对已有资料进行样本集值化处理, 为农业自然灾害风险评估提供了有效的途径; 并指出该模型对于较少样本研究区灾害风险分析适用性强, 能够得出可靠的风险评估结果^[12-13]。因此, 该方法在国内得到了较好的应用, 如罗培^[14]利用信息扩散方法, 结合遥感技术对重庆市旱灾风险进行评估与区划; 潘冬梅等^[15-20]应用该方法分别对阿勒泰地区、四川等地旱灾风险进行评估; 刘亚彬等^[21]和张竟竟^[22]利用风险概率模型分别对我国粮食主产区旱灾与河南省农业旱灾风险进行评价。

^①基金项目: 国家自然科学基金项目(40961035)和甘肃省科技计划基金项目(0803RJZA094)资助。

* 通讯作者(fmlpx@nwnu.edu.cn)

作者简介: 高原(1989—), 男, 陕西岐山人, 硕士研究生, 主要研究方向为干旱区域环境与绿洲建设。E-mail: ggbonk@163.com

上述研究很少考虑承灾体的脆弱性及孕灾环境的评价,同时,对于旱灾风险区划研究较少。鉴于此,本文利用信息扩散理论风险分析模型,以农业旱灾数据为基础,从承灾面入手,对黑河中上游绿洲农业旱灾风险进行评估和风险区划,以期在当地旱灾监测、评估提供支持,为降低该地区旱灾损失提供科学依据。

1 研究区概况

黑河中上游绿洲地处 $37^{\circ}31' \sim 39^{\circ}52'N$ 、 $97^{\circ}24' \sim 102^{\circ}13'E$ 之间,南接祁连山区,北依合黎山、龙首山,东临金昌、武威二市,西至张掖、酒泉交界,呈西北东南长条形,总面积约 4.09 万 km^2 ,占甘肃省国土面积的 9%,辖甘州区、临泽、高台、肃南、民乐、山丹六县区。南部祁连山区,北部北山区,中部为走廊平原区,并具有绿洲、戈壁、荒漠等多种区域性地貌类型。属于暖温带大陆性干旱气候,年均气温 $3 \sim 8^{\circ}C$,年均降水量 $75 \sim 328 mm$,年日照时数长达 $2\ 700 \sim 3\ 200 h$ 。蒸发强烈,风大且频繁,冬春干旱少雨雪严寒,夏季多暴雨而冷暖变化大。黑河横贯全境,发育了张(掖)临(泽)高(台)、民乐、山丹等 6 个面积较大的绿洲,总面积约为 $4\ 735 km^2$ [23]。天然植被主要有胡杨、骆驼刺、红柳、沙拐枣、白刺、芨芨草等。

依托源于祁连山区降水和冰雪融水不断补给黑河,孕育的绿洲成为河西走廊重要的粮棉产地。据 2013 年统计资料显示,该区粮棉产量分别为 123.55×10^7 、 $5\ 108 kg$,约占河西绿洲粮棉产量的 42.21% 和 6.93%。然而,该地区农业气象灾害频发,主要受风灾、沙尘暴、旱灾和冻灾等影响,其中旱灾影响范围最广,灾情最严重。近 20 年来,研究区年均总受灾面积和成灾面积为 55.82×10^3 、 $42.13 \times 10^3 hm^2$,其中年均旱灾受灾面积和成灾面积为 35.30×10^3 、 $26.55 \times 10^3 hm^2$,占总受灾、成灾面积的 63.25%、63.02%,成灾比为 0.752 1,旱灾成灾面积大,灾情严重,对粮食安全、社会稳定以及生态环境的良性发展威胁巨大。

2 数据来源与研究方法

2.1 数据来源

文章选取黑河中上游绿洲张掖各县(区)1991—2010 年的旱灾受灾面积、成灾面积与作物播种面积等数据以及研究区近 50 年气温、降水资料。其中,旱灾受灾面积和成灾面积分别指因旱灾使作物的正

常产量减产幅度超过正常产量 10% 和 30% 的灾害面积。相关数据来源于《甘肃省统计年鉴》、《甘肃省农村统计年鉴》与中国气象科学数据共享网。

2.2 基于信息扩散理论的风险分析模型

本文所采用的是基于信息扩散理论的正态扩散模型。具体如下:

设 X 为某一研究区过去 m 年内灾害风险评估指标实际观测值的样本集合 [12]:

$$X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_{j-1}, x_j, x_{j+1}, \dots, x_m\} \quad (1)$$

式中: x_j 为实测样本值, m 为实测样本总数。

设灾害观测样本 x_j 的论域为 U , 即灾害观测样本最大值和最小值及其可能的取值为 u_i :

$$U = \{u_1, u_2, u_3, \dots, u_{i-1}, u_i, u_{i+1}, \dots, u_n\} \quad (2)$$

每一个样本观测值 x_j 依据(3)式可以把其所携带的信息扩散到论域 U 上所有的点:

$$f_j(u_i) = \frac{1}{h\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x_j - u_i)^2}{2h^2}\right] \quad (3)$$

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

式中: h 为风险扩散系数, h 的取值因样本集合大小而不同,其大小依据样本集合中最大值 b 、最小值 a 和样本总数 m 来确定,计算公式参考文献[21]。

$$\text{若记: } C_j = \sum_{i=1}^n f_j(u_i) \quad (4)$$

$$\text{则有: } u_{x_j}(u_i) = f_j(u_i)/C_j \quad (5)$$

$$\text{再令: } q(u_i) = \sum_{j=1}^m \mu_{x_j}(u_i) \quad (6)$$

$$\text{设: } Q = \sum_{i=1}^n q(u_i) \quad (7)$$

$$\text{由(6)和(7)的比值可得: } p(u_i) = q(u_i)/Q \quad (8)$$

$p(u_i)$ 为样本落在 u_i 处的概率值,即超越 u_i 的概率估计值 $P(u_i)$ 。

一般的,对于单值实测样本 $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_m\}$,常把 x 取为灾害指数论域 u ,即把 x_j 取为论域 u 中的一个元素 u_i 。因此,超越 u_i 的概率值为:

$$P(u \geq u_i) = \sum_{k=1}^n p(u_i) \quad (9)$$

式中: $P = \{P_1, P_2, P_3, \dots, P_m\}$ 为风险灾害指标概率估计值。

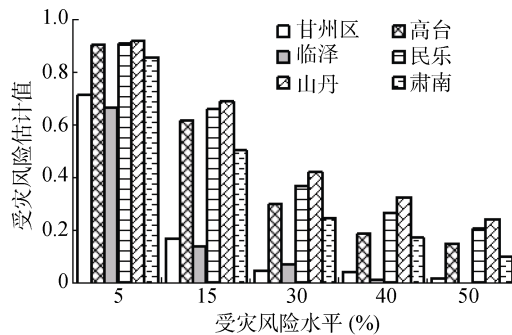
2.3 风险指标选取

目前表示旱灾风险的指标有很多种,本文参照张竟竟 [22] 的方法,从旱灾承灾体层面出发,利用农作物

播种面积、旱灾受灾面积与成灾面积等统计数据,以广泛使用的旱灾受灾指数与成灾指数作为旱灾风险分析指标。旱灾受(成)灾指数指旱灾受(成)灾面积与播种面积的比值,其大小反映了旱灾受(成)灾程度。指数越大,表示受干旱灾害影响越大,农作物因旱灾减产越高;反之,则农作物因干旱灾害减产越低。其计算公式如下:

$$Y_d = S_d / S \quad (10)$$

式中: Y_d 为旱灾受(成)灾指数(%); S_d 为旱灾受(成)灾面积($\times 10^3 \text{hm}^2$); S 为农作物播种面积($\times 10^3 \text{hm}^2$)。



3 结果与分析

3.1 黑河中上游绿洲农业旱灾风险分析评价

为满足计算精度和实际需要,本文选取旱灾受(成)灾指数论域为 $U = \{0, 0.01, 0.02, \dots, 0.09, 1\}$,以旱灾受(成)灾指数为基础数据,利用信息扩散理论风险模型计算出旱灾受(成)灾风险估计值。风险估计值指大于某一风险指数灾害发生的概率。按照上述公式(1)~(10)及其计算过程,得到不同风险水平旱灾受(成)灾风险估计值(图1)。

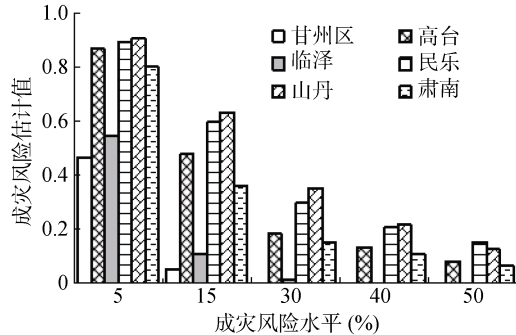


图1 黑河中上游绿洲农业干旱受(成)灾风险估计值

Fig. 1 Estimated value of drought stricken risk of agriculture in the middle and upper Heihe River

由图1可知,黑河中上游绿洲农业干旱受灾、成灾风险估计值随受(成)灾风险指数增大而减小。当受灾风险水平 $\geq 10\%$ 时,各县(区)旱灾受灾风险估计值分别为0.38185、0.76840、0.30075、0.79104、0.81112、0.67087,其中山丹受灾风险估计值最大,为0.81112,风险频率达到每1.2年一遇。在成灾风险水平 $\geq 5\%$ 时,各县(区)旱灾成灾风险估计值分别为0.11895、0.66666、0.18707、0.74147、0.76550、0.54975,其中甘州区成灾风险估计值最小,为0.11895,可以解释为每8.4年左右就会发生一次农作物成灾面积占播种面积超过5%的旱灾。综上所述,在相同风险水平下,甘州区、临泽县干旱受(成)灾风险估计值较

其他县在 $<30\%$ 风险水平内变幅最大。在受(成)灾风险水平 $\geq 5\%$ 时,干旱受灾和成灾事件平均发生频次为1.2年、1.4年左右一遇,符合张掖地区“十年九旱”的说法,表明绿洲农业受旱灾影响频繁。

根据旱灾受(成)灾风险估计值,得到研究区旱灾受(成)灾指数超越概率密度曲线和概率密度曲线(图2、3)。图2、图3总体表明,以旱灾受(成)灾指数为基础的概率密度和超越概率密度的变化具有一致性。由图3知,概率密度曲线的受(成)灾概率值表示不同灾情水平发生可能性的大小。在受(成)灾指数下,临泽、甘州区、肃南旱灾受(成)灾概率在4%的可能性最大,以临泽与甘州区概率值最大,分别达到0.09、

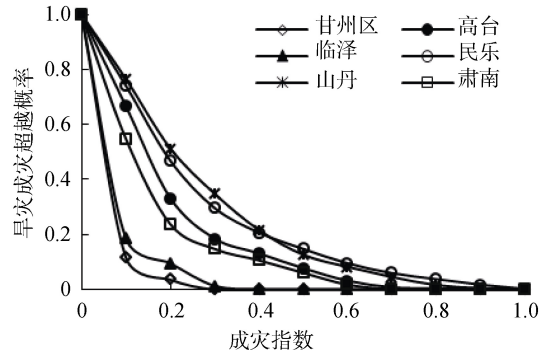
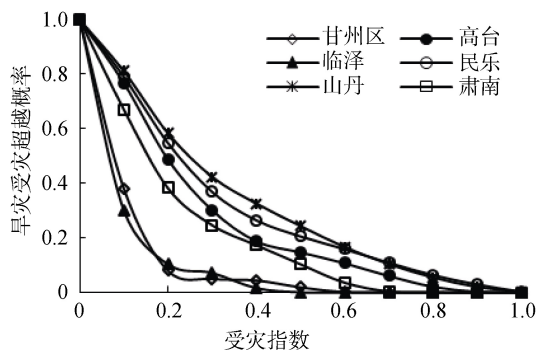


图2 黑河中上游绿洲农业旱灾受(成)灾指数超越概率密度曲线

Fig. 2 Drought stricken and forming indexes beyond the probability density curves

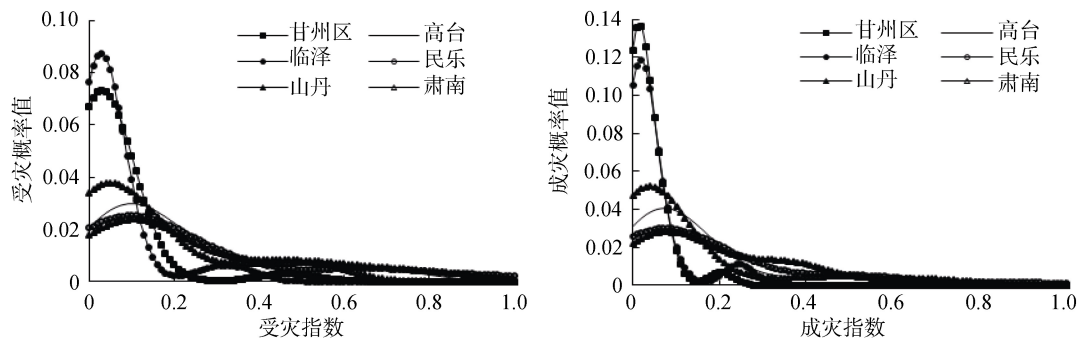


图 3 黑河中上游绿洲农业旱灾受(成)灾指数概率密度曲线
Fig. 3 Probability density curves of drought stricken and forming indexes in the middle and upper Heihe River

0.14, 超过 30% 时发生的概率就很小。高台、民乐、山丹旱灾受(成)灾概率在 10% 的可能性最大, 以高台概率值最大, 分别达到 0.03、0.04, 而当旱灾受(成)灾概率超过 60% 的可能性很小。超越概率密度曲线总体表现出由凸到凹的下降趋势, 表明所对应的概率密度曲线都有一个极大值点, 这与图 2 反映的结果一致, 其中山丹、民乐曲线相对较缓, 表明旱灾受(成)灾事件发生的范围分散性显著, 旱灾受(成)灾事件发生风险大。

3.2 黑河中上游绿洲农业旱灾风险等级划分

基于信息扩散技术的风险分析方法, 得到了旱灾受(成)灾风险估计值, 但它只反映了某一区域在不同风险指数下发生旱灾事件概率的大小, 不足之处是不能确定风险评价等级。风险评价则指的是根据一定的分级准则对风险值进行等级划分, 使管理者与决策者

对风险水平有更加清楚的认识^[21]。基于这一点, 为了能更加直观地表示和评价研究区农业旱灾风险空间分布状况, 文章参照刘亚彬等^[21]旱灾风险等级划分, 结合研究区实际情况, 制定出黑河中上游绿洲农业旱灾风险等级, 把旱灾成灾风险等级划分为 5 级, 分别是高风险、较高风险、中风险、较低风险和低风险。其中, 低风险等级表明旱灾成灾事件发生的周期最长, 因而再一次发生的频率最低。同时, 利用风险概率($S = 1/P$)对风险等级进行细化说明。如 $S = 1$ 指旱灾成灾频率每年一遇, 相应的, 当 $4 < S \leq 6$ 时, 表示旱灾成灾频率每 4 ~ 6 年一遇。因此, 对黑河中上游绿洲农业旱灾成灾风险等级细化如表 1。从表 1 可知, 除高风险等级外, 随旱灾成灾指数增加, 同一风险等级成灾频率逐渐降低, 风险等级越低, 旱灾成灾频率越低。

表 1 黑河中上游绿洲农业不同旱灾成灾指数下风险等级
Table 1 The risk levels under the different drought forming indexes in the middle and upper Heihe River

干旱成灾指数(%)	高风险	较高风险	中风险	较低风险	低风险
5	$S=1$	$1 < S \leq 2$	$2 < S \leq 3$	$3 < S \leq 4$	$S > 4$
10	$1 < S \leq 2$	$2 < S \leq 3$	$3 < S \leq 4$	$4 < S \leq 6$	$S > 6$
15	$1 < S \leq 2$	$2 < S \leq 4$	$4 < S \leq 6$	$6 < S \leq 8$	$S > 8$
20	$1 < S \leq 2$	$2 < S \leq 5$	$5 < S \leq 12$	$12 < S \leq 16$	$S > 16$
25	$1 < S \leq 2$	$2 < S \leq 6$	$6 < S \leq 18$	$18 < S \leq 24$	$S > 24$
30	$1 < S \leq 2$	$2 < S \leq 7$	$7 < S \leq 26$	$26 < S \leq 32$	$S > 32$

3.3 旱灾成灾风险等级空间分布特征与评价

根据信息扩散技术灾害风险模型和表 1 中对风险等级的划分, 利用 ArcGIS 做出旱灾成灾风险等级空间分布(图 4)。结果表明:

当旱灾成灾指数 $\geq 5\%$ 时, 旱灾成灾呈现出较高、中风险等级, 高、低风险等级没有出现, 表明旱灾成灾频率为每 1 ~ 3 年一遇。旱灾成灾等级总体上由甘州区向四周各县增加。其中, 高台、临泽、山丹、民乐、肃南为较高风险等级, 风险概率每 1.1 ~ 1.8 年一遇; 甘州区为中风险水平, 风险概率每 2.2 年左

右一遇(图 4a)。
当旱灾成灾指数 $\geq 10\%$ 时, 旱灾成灾风险等级普遍增大, 多高风险等级, 较高、中风险等级缺失。与 $\geq 5\%$ 的风险等级空间分布相比稍有变化, 总体表现出以甘州区为中心, 向西北、东南和西南旱灾成灾风险等级逐渐增大。其中, 高台、民乐、山丹和肃南为高风险等级, 风险概率达到每 1.3 ~ 1.9 年左右一遇; 临泽和甘州区为较低、低风险等级, 风险概率分别达到每 5.3 年左右一遇和 > 6 年一遇(图 4b)。

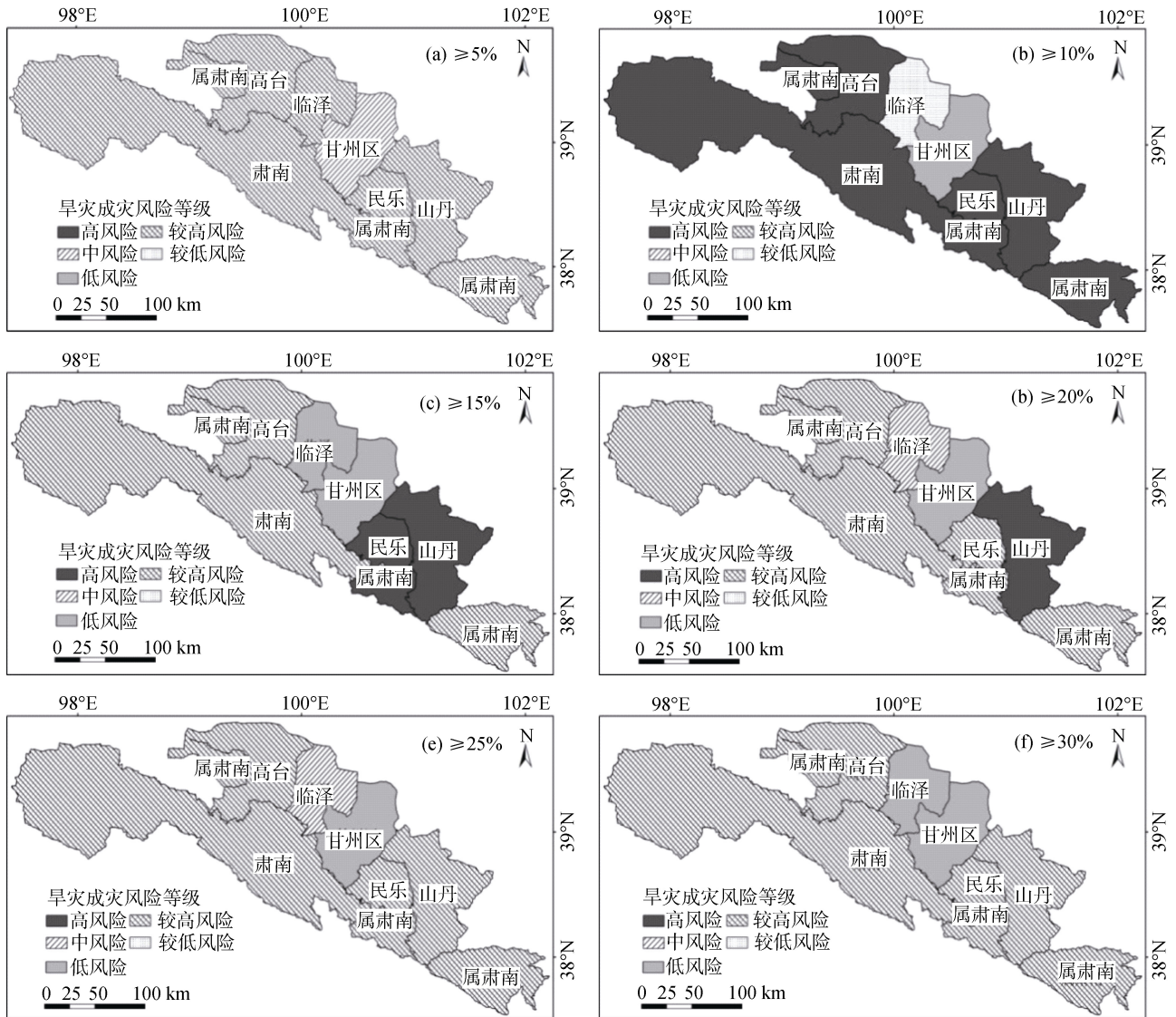


图 4 黑河中上游绿洲农业旱灾成灾指数风险等级评估图
Fig. 4 Risk level assessment under the drought forming index in Heihe River

当旱灾成灾指数 $\geq 15\%$ 时,旱灾成灾风险等级表现出高、较高与低风险等级并存的特点。其中山丹、民乐为高风险等级,风险概率为1.6~1.7年一遇;高台、肃南为较高风险等级,风险概率达到每2.1~2.9年一遇;甘州区、临泽风险等级最低,为低风险水平,风险概率为9.2~19.3年一遇(图4c)。

当旱灾成灾指数 $\geq 20\%$ 时,旱灾成灾风险概率呈下降趋势,风险等级水平仍呈现出由甘州区向四周各县逐渐增加。其中山丹风险水平最高,为高风险等级,风险概率为1.9年一遇;高台、民乐为较高风险,风险概率达到2.1~4.2年一遇;临泽风险等级次之,属于中风险,风险概率为10.5年一遇;甘州区风险水平最低,为低风险等级,风险概率 > 16 年一遇(图4d)。

当旱灾成灾指数 $\geq 25\%$ 、 $\geq 30\%$ 时,两者风险等级空间分布情况基本一致。高风险等级缺失,表明旱灾成灾风险概率下降显著,风险等级空间分布与 $\geq 10\%$ 分布差异显著。其中高台、民乐、山丹和肃南风险等级最高,为较高风险,风险概率达到每2.4~6.7年左右一遇;临泽与甘州区风险等级相对较低,属于低风险,风险概率 > 32 年一遇(图4e、4f)。

综上所述,虽然黑河中上游绿洲农业旱灾随着风险等级增加,风险概率总体表现出下降的趋势,但山丹、民乐成灾风险依旧很高。当成灾指数 $\geq (5\% \sim 30\%)$ 时,风险等级空间格局呈现出以甘州区为中心,风险等级水平逐渐向四周各县增加。同时由图4可知,旱灾成灾风险等级出现中、较低风险等级较少,表明黑河中上游绿洲农业旱灾成灾发生中风险等级概率小。

不同风险等级成灾事件发生区域相对集中,应重点加强对发生高、较高风险等级旱灾事件的防范与监测。

3.4 黑河中上游绿洲农业旱灾成因分析

气候系统是大气圈、水圈、冰雪圈、陆地表面和生物圈五个子系统所组成的一个复杂的、有机联系的大系统。由于旱灾事件的发生通常是由降水量偏少或者降水失时引起的^[24],它考虑的仅是气候系统中某一子系统在致灾层面对承灾体的影响。因此,只有综合考虑五大子系统的相互影响和相互作用,才能准确分析黑河中上游绿洲农业旱灾的成因。

3.4.1 自然原因 黑河中上游绿洲地处中国三大自然区的过渡地带,远离水汽源地,常年受大陆高压控制,复杂的地形与地表物质,加之高原季风效应的作用,处在西南季风气流沿青藏高原东缘北进下沉地带,焚风效应显著,各种气象要素的变率大,使气候大陆性特征愈加显著。在全球变暖的背景下,对黑河中上游绿洲近 50 年气候资料分析可知,研究区总体趋于暖湿化,但区域差异明显。其中祁连山区增温幅度大于中游川区平原,而中游川原区降水与多年平均值相差无几,这与程国栋和王根绪^[25]、刘普幸和卓玛兰草^[26]、施雅风等^[27]的研究结果基本一致。但川原区年均降水量仍少于 200 mm,属于干旱区。所以研究区总降水量依旧很少,增加的降水对于缓解农业干旱意义并不大。尽管黑河产流区气温和降水都有所增加,但增温幅度更显著,造成祁连山中段黑河上游冰川强烈退缩。中游川区以小麦和玉米等作物为主,农业灌溉用水占到总用水量的 89.7%^[28]。春末初夏作物需水量大,是产量形成的关键期。但夏季整个流域日照时数呈现显著的增加趋势^[29],来自上游径流经

过蒸发、下渗,进入川原区径流少而出境多,易造成“卡脖子”旱。同时,蒸发量与降水量恰好相反,由东向西,由南向北增加。如民乐 1 638.44 mm,张掖 2 047.9 mm,临泽 2 341 mm^[30]。这种降水少蒸发量大的特点,成为旱灾频发的重要原因之一。

3.4.2 人为原因 由于研究区是灌溉农业,春季正值冬小麦返青、拔节、孕穗生长的关键时期,农作物需水量大,农业用水是黑河流域主要的水资源消耗大户。同时,为了保证下游生态安全,在中游绿洲地表水资源缺少的情况下,目前实施向下游每年下泄 $9.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ 的水。而中游降水稀少,对农业几乎不起作用,且黑河地表径流在 4—6 月份最少,占年径流量的 24.5%,此时期农业用水占全年用水量的 40%^[31],加上大水漫灌、块灌等水资源浪费现象依然存在。因此,人为造成农业用水高峰期水资源紧缺,易形成“卡脖子旱”,也是影响当地农业旱灾的一个重要原因。

一个地区 GDP 多寡反映了该地应对自然灾害能力的强弱^[32]。由图 5 可知,近 20 年黑河中上游绿洲 GDP 增长明显,其中甘州区 GDP 总量最大,肃南最小,分别为 93.46 亿元和 14.54 亿元。因此,甘州区经济水平比较高,其防灾减灾能力更强,受旱灾影响程度较弱。人口的增加与耕地面积的扩大使农业生产需水量增加,间接增大了旱灾的潜在风险。粮食产量是农业旱灾影响强弱最终的表现,同时还受到生产技术、水利设施等因素的制约。2001 年研究区粮食产量有大幅度的下降,主要是由于干旱所致(图 5)。总之,由人为原因间接影响了绿洲农业旱灾风险的程度。

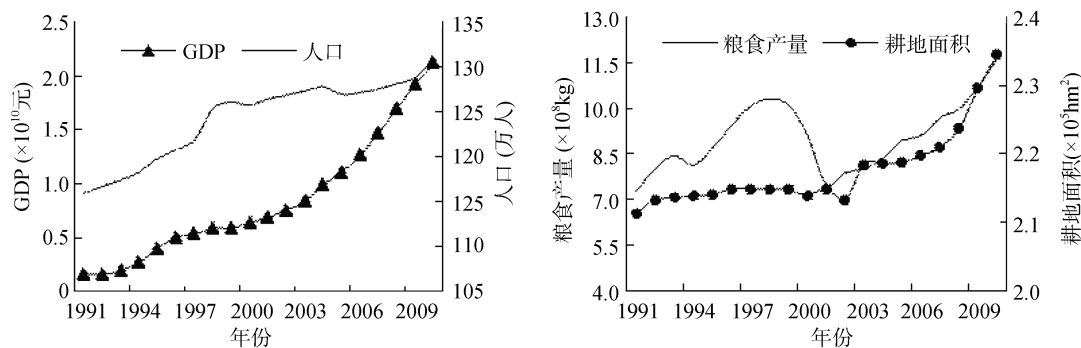


图 5 近 20 年黑河中上游绿洲区人口、GDP、粮食产量和耕地面积曲线图

Fig. 5 Changes of population, GDP, grain yield and cultivated area in the middle and upper Heihe River in recent 20 years

4 结论

1) 黑河中上游绿洲农业旱灾受(成)灾风险估计值随受(成)灾指数增大而减小。当受灾风险水平在 50% 以内时,研究区受灾风险估计值均很大,其中

山丹最大,为 0.811 12,达到每 1.2 年一遇,临泽最小,为 0.000 29;当成灾风险水平在 30% 以内时,研究区成灾风险估计值以山丹最大,为 0.765 50,达到每 1.3 年一遇,甘州区最小,为 0.118 95。旱灾事件发生频率高、时间短,旱灾农业风险高。

2) 从风险概率密度可知, 当受灾指数 $\leq 15\%$ 时, 各县区受灾概率值都很大, 其中临泽最大为 0.087 6, 山丹最小为 0.023 8, 超过 50% 时, 各县区受灾的可能性很小; 当成灾指数 $\leq 10\%$ 时, 各县区成灾概率值均很大, 其中甘州区最大为 0.137 2, 山丹县最小为 0.028 4, 而超过 50% 成灾的可能性就很小。同时, 山丹、民乐两县发生旱灾频率高, 受损害的程度大。因此, 应加强抗旱减灾措施的力度。

3) 黑河中上游绿洲农业成灾风险等级空间分布差异明显, 表现以甘州区、临泽为中心, 风险等级水平逐渐增加。其中, 当旱灾成灾指数 $\geq (5\% \sim 15\%)$ 时, 山丹、民乐、肃南、高台主要为高、较高风险等级, 风险概率为每 1 ~ 2.9 年一遇; 当旱灾成灾指数 $\geq (20\% \sim 30\%)$ 时, 甘州区、临泽为低、较低风险等级, 风险概率为每 10.5 ~ 78.7 年一遇。

参考文献:

- [1] Hao L, Zhang XY, Liu SD. Risk assessment to China's agricultural drought disaster in county unit[J]. Nat Hazard, 2012, 61: 785-801
- [2] Tirivarambo S, Hughes DA. Regional droughts and food safety relationships in the Zambezi River Basin[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2011, 36: 977-983
- [3] 倪深海, 顾颖, 王会容. 中国农业干旱脆弱性分区研究[J]. 水科学进展, 2005, 16(5): 705-709
- [4] 杜晓燕, 黄岁樑. 天津地区农业旱灾脆弱性综合评价及区划研究[J]. 自然灾害学报, 2010, 19(5): 138-144
- [5] 黄荣辉, 刘永, 王林, 王磊. 2009 年秋至 2010 年春我国西南地区严重干旱的成因分析[J]. 大气科学, 2012, 36(3): 444-445
- [6] 王洛忠, 秦颖. 产量“十连增”背景下我国粮食安全问题研究[J]. 中共中央党校学报, 2014, 18(1): 77
- [7] 马宗晋, 高庆华. 中国 21 世纪的减灾形势与可持续发展[J]. 中国人口·资源与环境, 2001, 11(2): 122-125
- [8] 李芬, 于文金, 张建新, 朱凤琴, 刘英丽. 干旱灾害评估研究进展[J]. 地理科学进展, 2011, 30(7): 891-895
- [9] Granier A, Bréda N, Biron P, Villette S. A lumped water balance model to evaluate duration and intensity of drought constraints in forest stands[J]. Ecology Modelling, 1999, 116(2-3): 269-283
- [10] 黄崇福, 刘新立, 周国贤, 李学军. 以历史灾情资料为依据的农业自然灾害风险评估方法[J]. 自然灾害学报, 1998, 7(2): 1-9
- [11] Zadeh LA. Fuzzy sets[J]. Information and Control, 1965, 8: 338-353
- [12] 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
- [13] 黄崇福. 自然灾害风险分析的基本原理[J]. 自然灾害学报, 1999, 8(2): 25-26
- [14] 罗培. 基于 GIS 的重庆市干旱灾害风险评估与区划[J]. 中国农业气象, 2007, 28(1): 100-104
- [15] 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
- [16] 郝蒙浩, 赵秋红, 姚忠. 基于模糊理论的农业旱灾风险评估: 以山西省阳泉市为例[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(1): 153-157
- [17] 陈家金, 王加义, 林晶, 杨凯, 马治国, 徐宗焕. 基于信息扩散理论的东南沿海三省农业干旱风险评估[J]. 干旱地区农业研究, 2010, 28(6): 248-251
- [18] 秦越, 徐翔宇, 许凯, 李爱花, 杨达文. 农业干旱灾害风险模糊评价体系及其应用[J]. 农业工程学报, 2013, 29(10): 83-89
- [19] 龚宇, 花家嘉, 陈昱, 王璞. 唐山地区种植业干旱灾害特征及模糊风险评估[J]. 中国农学通报, 2008, 24(8): 435
- [20] 张顺谦, 侯美亭, 王素艳. 基于信息扩散和模糊评价方法的四川盆地气候干旱综合评价[J]. 自然资源学报, 2008, 23(4): 713-721
- [21] 刘亚彬, 刘黎明, 许迪, 章少辉. 基于信息扩散理论的中国粮食主产区水旱灾害风险评估[J]. 农业工程学报, 2010, 26(8): 2-3
- [22] 张竟竟. 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): 280-283
- [23] 申元村, 汪久文, 伍光和, 韩德麟. 中国绿洲[M]. 开封: 河南大学出版社, 2001
- [24] 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: 以甘肃民勤县为例[J]. 中国沙漠, 2007, 27(5): 827-829
- [25] 程国栋, 王根绪. 中国西北地区的干旱与旱灾: 变化趋势与对策[J]. 地学前缘, 2006, 13(1): 4-5
- [26] 刘普幸, 卓玛兰草. 甘肃省 1960—2008 年潜在蒸散量时空变化及其影响因子[J]. 自然资源学报, 2012, 27(9): 1 568-1 569
- [27] 施雅风, 沈永平, 李栋梁, 张国威, 丁永建, 胡汝骥, 康尔泗. 中国西北气候由暖干向暖湿转型的特征和趋势探讨[J]. 第四纪研究, 2003, 23(2): 153-161
- [28] 孟子龙. 浅议黑河中游地区水权制度的建立[J]. 甘肃科技, 2004, 20(11): 14-15
- [29] 刘艳艳, 张勃, 张耀宗, 康淑媛. 黑河流域近 46 年日照时数的气候变化特征及其影响因素[J]. 干旱区资源与环境, 2009, 23(6): 72-76
- [30] 陈仲全, 詹后仁. 甘肃绿洲[M]. 北京: 中国林业出版社, 1995
- [31] 刘普幸, 张志敏. 张掖市水环境演化对黑河下游绿洲生态的影响与对策[J]. 干旱区资源与环境, 2006, 20(1): 68-69
- [32] 王莺, 李耀辉, 赵福年, 胡田田. 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): 44-45

Drought Risk Assessment of Oasis Agriculture in Middle and Upper Heihe River in Recent 20 Years Based on Information Diffusion Theory

GAO Yuan, LIU Pu-xing*, WANG Yun, YONG Guo-zheng, YAO Yu-long, CHEN Li-li
(College of Geography and Environment Sciences, Northwest Normal University, Lanzhou 730070, China)

Abstract: The agricultural drought disaster was analyzed by using risk analysis model and risk hierarchy of information diffusion theory based on the statistical data of oasis agricultural drought stricken area, disaster area in the middle and upper Heihe River each county during 1991—2010. The results showed that the probability of drought risk on agriculture decrease with the increase of risk level in the researched area in recent 20 years. When the drought stricken index was within 50%, the estimated value of the disaster stricken risk reached minimum in Linze (0.000 29) and reached maximum in Shandan (0.811 12), equivalent to 1.2a occurrence. When the drought forming index was within 30%, the estimated value of the disaster forming risk reached maximum in Shandan (0.765 50), equivalent to 1.3a occurrence; while it reached minimum in Ganzhou (0.118 95) and drought occurred almost every year. Drought occurred in high concentration and frequency, most of the losses were within 15% but the losses with degree more than 30% are of little possibility. When the drought stricken and forming index was at 10%, the losses with degree reached maximum in Gaotai, Minle and Shandan, but the losses with degree more than 50% are of little possibility. The risk probability of agricultural drought had a significant spatial difference. It showed that Ganzhou and Linze as the center, the drought risk level gradually increases to the periphery. The highest risk level of drought was in Shandan and Minle, with a high and higher risk levels. The lowest risk level of drought was in Ganzhou and Linze, with a low and lower risk ranks levels.

Key words: Drought; Risk analysis; Information diffusion model; ArcGIS interpolation; The middle and upper Heihe River