

文章编号:1004-4574(2013)01-0029-09

我国玉米自然灾害风险区识别研究

赵俊晔, 张 峭

(中国农业科学院 农业信息研究所/农业部智能化农业预警技术重点开放实验室, 北京 100081)

摘要:自然灾害严重影响和制约我国农业生产的持续稳定发展, 识别主要作物自然灾害风险因子和风险区, 对作物生产风险监测预警和风险防范及有效评估作物因灾损失有重大意义。基于区域自然灾害理论, 构建了由致灾因子、孕灾环境因子和承灾体因子构成的作物自然灾害风险评价指标, 利用1980-2010年全国各省市玉米产量数据和1991-2010年全国257个气象站点以玉米为承灾体的灾情数据, 计算了省级单元不同因子自然灾害影响指数和灾害风险综合评价指数, 揭示了我国玉米主要自然灾害的时空分布规律, 识别了玉米自然灾害极高风险区、高风险区、中风险区、低风险区和可忽略风险区。结果表明, 干旱是我国玉米产区主要自然灾害, 其次是低温和风雹, 干旱、洪涝、风雹、病虫害等多发于6-8月份, 低温灾害多发于4-5月份; 不同种类自然灾害大多具有连片发生的特点; 自然灾害高风险区省份主要集中于北部和黄淮海平原玉米产区, 同一级别风险区的风险影响因子不尽相同, 在风险监测预警和防范中需区别对待。

关键词:玉米; 自然灾害; 综合风险评价; 风险区; 风险识别

中图分类号:S42; S513

文献标志码:A

Study on identification of natural disaster risk zones of maize in China

ZHAO Junye, ZHANG Qiao

(Key Laboratory of Digital Agricultural Early-warning Technology, Agricultural Information Institute of Chinese Academy of Agricultural Sciences, MOA, Beijing 100081, China)

Abstract: Natural disasters seriously affect and restrict the sustained and stable development of agriculture in China. Identification of risk factors and risk zones of natural disasters for main crops is of great importance for risk early-warning, prevention and effective assessment of crops' losses in disasters. Based on the regional natural disaster theory, the crops' natural disaster integrated risk assessment index made of disaster-causing factors, hazard inducing environment factors and hazard bearing body factors was established. With data of yields and areas in maize of all the provinces of China during 1980-2010 natural disaster situation data of maize recorded by 257 meteorological stations, different natural disaster affecting indices and integrated risk assessment index were calculated, spatiotemporal distribution of primary natural disaster of the maize was identified, and according to the maize's natural disaster integrated risk assessment index, extremely high risk zone, high risk zone, medium risk zone, low risk zone and negligible risk zone were divided. The results show that first drought, and next low temperature, strong wind and hail, is the main natural disaster of Chinese maize. Low temperature disaster often occurs during April to May, other disasters happen during June to August, and most of the natural disasters have contiguous occurrence characteristics. High natural disaster risk zones mainly concentrate on the northern and the

收稿日期:2012-04-25; 修回日期:2012-05-15

基金项目:国家“十一五”科技支撑重点项目(2009BADA9B01); 国家“十二五”科技支撑重点项目(2012BAH20B04)

作者简介:赵俊晔(1978-), 女, 副研究员, 博士, 主要从事农业生产风险评估、农业风险管理研究. E-mail: zhaojunye@caas.cn

Huang-Huai-Hai Plain maize belt, and risk factors should be distinguished in different provinces of the same risk zone when applied in the risk monitoring and risk prevention.

Key words: maize; natural disaster; integrated risk assessment; risk zone; risk identification

玉米是食品原料、畜禽饲料和工业原料三位一体的基础性作物,在我国农业经济乃至国民经济中具有重要地位。玉米生产的大幅度波动不仅会影响玉米生产的稳定,还会传导给关联的下游产业,对社会经济平稳发展产生不利的负效应。针对玉米生产风险,前人在因灾减产生理机制、灾害指标确定、基于单产的产量灾损概率计算和风险评估等方面进行了许多有益的研究,如马树庆等^[1-3]针对东北地区的低温冷害风险评估和灾损风险分区进行了较为系统的研究。王石立等^[4]建立了气候变暖背景下东北玉米综合冷害预报指标,进行冷害预报评估。中国气象科学研究院生态与农业气象研究所开发研制了东北玉米低温冷害监测预测系统并在黑龙江省推广应用。张文宗等^[5]分析了河北省玉米干旱灾害风险指数的区域分布规律,将全省玉米干旱风险进行了区划。姜丽霞等^[6]研究了玉米低温冷害监测系统在黑龙江省的应用。袁福香等^[7]研究了吉林省玉米病虫害各影响因子的风险值及其分布,进行了玉米病虫害风险防御区划。王军等^[8]采用信息扩散理论风险概率评估模型,测算玉米生产中主要灾害因子的发生概率,估计影响吉林省气象灾害产量的主要因素。张琪等^[9]研究了干旱对辽宁省玉米产量的影响及风险区划。王翠玲等^[10]选取典型干旱案例年,运用最优分割理论确定了玉米不同生长阶段的干旱灾害风险阈值。董秋婷等^[11]分析了东北地区春玉米干旱的时空演变特征。这些研究为玉米自然灾害风险研究和风险管理提供了很好的借鉴,但多是针对特定自然灾害依据作物受灾机制或灾损发生概率进行评估;对玉米灾害综合风险的评估和风险分区,其所依据的玉米受灾面积一般借用同一区域的农业受灾面积^[12-13],这在作物种植多样化的区域易产生较大的偏差。

在借鉴前人研究的基础上,根据区域灾害系统理论^[14-15],利用我国玉米产量数据和以玉米为承灾体的灾情数据,系统分析省级单元玉米产区自然灾害风险构成和危害程度,对自然灾害综合风险进行评估分析,识别玉米自然灾害风险的极高、高、中、低风险区,以期为玉米生产风险监测预警和风险防范提供依据。

1 研究方法 with 数据处理

1.1 作物自然灾害风险评价指标体系构建

农业自然灾害系统包括致灾因子、孕灾环境、承灾体 3 个因素,这 3 个因素相互作用、相互联系,形成了一个具有一定结构和功能特征的复杂体系^[11]。在灾情形成过程中,孕灾环境、致灾因子、承灾体缺一不可,并在不同的时空条件下,对灾情形成产生各自影响。遵循代表性、简单性和数据可得性的原则,根据农业生产的特点和自然灾害危害程度与危害频率,选取了表征孕灾环境因子、致灾因子、承灾体因子的不同指标,构建了作物自然灾害风险评价指标体系(图 1)。从整体角度,孕灾环境因子和致灾因子代表了灾害因子的危害性,承灾体因子代表了作物生产系统的脆弱性。

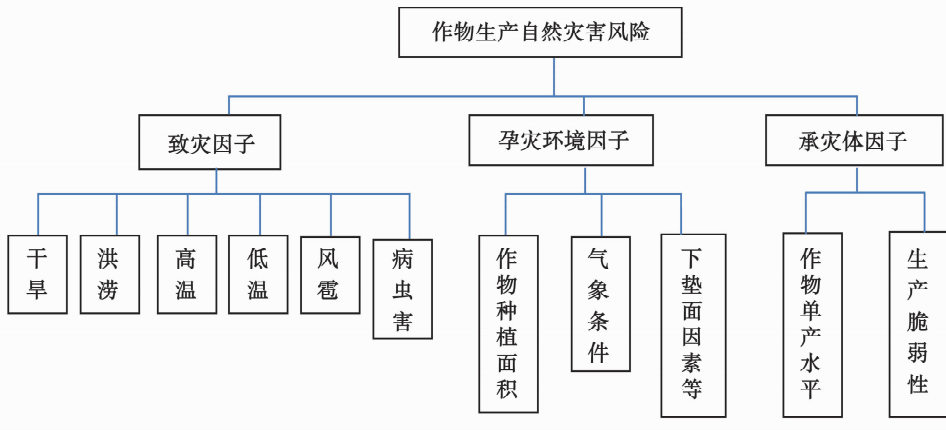


图 1 作物自然灾害风险评价指标体系

Fig. 1 Risk assessment index system of crop's natural disaster

本研究中致灾因子主要是指导致作物产量损失的各种自然灾害因子,包括旱灾、洪涝、高温、低温、冰雹、大风、病虫害等。利用这些灾害不同危害程度的发生频次,分别构建作物的干旱风险影响指数、洪涝风险影响指数、低温风险影响指数、风雹风险影响指数、病虫害风险影响指数,在计算不同灾害因子影响指数的基础上,构建灾害影响指数,作为综合性致灾因子的评价指标。

孕灾环境因子是指影响灾害因子形成与产生危害的外界环境条件。外界环境条件包括气象条件和地形、土壤等下垫面因素等。由于气象条件已经包含在致灾因子中不再重复计算,研究从省级层面进行所以不设置下垫面因素指标,只选取作物播种面积表征孕灾环境因子。

承灾体因子指灾害发生时作物受影响的主要因素,本研究主要关注作物产量,因为灾害发生时单产水平越高,防灾系统越脆弱,易导致的产量损失也越大,所以建立单产影响指数和脆弱性影响指数两个指标来表征承灾体因子。

1.2 资料来源与处理

本研究所使用的农作物灾情数据来自国家气象中心《中国农气灾情旬值数据集》,记录玉米灾情数据的气象站点有 257 个,时间跨度均从 1991 年至 2010 年。全国及各省市的玉米播种面积与单产数据来自国家统计局,时间跨度从 1980 年至 2010 年。

1.2.1 灾害发生频数计算

根据全国 257 个气象站点以玉米为承灾体的历年不同自然灾害发生程度(轻、中、重)频数(n_1 ,轻发生或不发生的频数; n_2 ,中发生的频数; n_3 ,重发生的频数),求和得到不同灾害发生总频数 V_1 ,加权求和得到不同灾害发生加权频数 V_2 ,其中轻发生或不发生频数权重赋值为 1,中发生频数权重赋值为 2,重发生频数权重赋值为 3, V_1 和 V_2 差值大反映了灾害平均危害程度一般较重。计算公式如下:

$$\begin{aligned} V_1 &= n_{1i} + n_{2i} + n_{3i}, \\ V_2 &= n_{1i} + n_{2i} \times 2 + n_{3i} \times 3. \end{aligned}$$

1.2.2 灾害风险影响指数计算

根据《中国农气灾情旬值数据集》所记录的以玉米为承灾体的不同灾害的发生程度,利用加权求和得出不同灾害因子对作物的影响指数。由于不同省份的气象站点数量不同,为便于区域间比较,将各省平均每站点的灾害发生频数加权求和值作为各省的灾害影响指数。计算公式如下:

$$R_{ijk} = \frac{n_{1ij} + n_{2ij} \times 2 + n_{3ij} \times 3}{N_j}$$

上式中, n_1 为轻发生或不发生的频数; n_2 为中发生的频数; n_3 为重发生的频数。 i 为不同灾害种类,包括干旱、洪涝、低温、风雹、病虫害、总自然灾害, j 为不同省区, N_j 为第 j 省以玉米为承灾体的气象站点数量。

1.2.3 面积影响指数计算

播种面积是影响作物灾害发生和产生损失的主要环境因子,对于一个省区来说,播种面积越大,灾害发生时易造成的损失也越大。面积影响指数为各省市玉米播种面积占全国总播种面积的比例,计算公式为

$$A_j = \frac{a_j}{A} \times 100\%$$

式中, A_j 为第 j 省玉米面积影响指数, a_j 为第 j 省近 5 a(2006 - 2010 年)的玉米平均播种面积, A 为全国近 5 a(2006 - 2010 年)玉米平均播种面积。

1.2.4 单产影响指数和脆弱性影响指数

单产影响指数和脆弱性影响指数用来表征承灾体因子,单产影响指数为各省区作物单产与全国作物单产的比值,所用单产数据为近 5 a 平均值,脆弱性影响指数为减产年份单产的平均减产率,所用单产数据从 1981 - 2010 年。计算公式如下:

$$\begin{aligned} Y_j &= \frac{Y_j}{Y}, \\ G_j &= \frac{\sum \frac{y_{jl} - y_{j(l-1)}}{y_{j(l-1)}} \times 100\%}{m_j} \end{aligned}$$

式中: Y_j 为单产影响指数, y_j 为第 j 省玉米近 5 a 的平均单产, Y 为全国玉米近 5 a 的平均单产。 G_j 为第 j 省玉米灾害脆弱性指数, y_{jl} 为第 j 省玉米减产年份(l)的单产, $y_{j(l-1)}$ 为第 j 省玉米减产年份(l)之上一年($l-1$)

的单产。 m_j 为第 j 省玉米单产减少年份的数量。

1.2.5 自然灾害风险综合评价指标

为了综合评价不同省市玉米生产的自然灾害风险总体状况,为灾害风险监测预警提供科学依据,建立自然灾害风险综合评价指标。选取灾害影响指数、面积影响指数、单产影响指数、脆弱性影响指数 4 个因子,将每一个指标进行极差化处理使之介于 0~1 之间,消除不同量纲的影响,然后计算均值,得到包含原来几个风险要素综合影响的新指标,作为自然灾害综合风险评价指数^[6]。

利用 GIS 技术,依据计算得到的灾害风险各类影响指数与自然灾害风险综合评价指数作图,将灾害风险值进行直观化表现,按照省级单元划分为玉米自然灾害极高风险区、高风险区、中等风险区、低风险区和可忽略风险区,可忽略风险区主要包括青海、西藏等非玉米主产省份。

2 结果与分析

2.1 玉米不同自然灾害风险时间分布

根据以玉米为承灾体的历年自然灾害发生频数,分析玉米生育期内主要灾害因子的发生规律,从图 2 可以看出,干旱是我国玉米产区主要自然灾害,旱灾发生频次占自然灾害总发生频次的 45.81%,其次是低温和风雹,分别约占玉米产区自然灾害发生频次的 16%,洪涝和病虫害发生频次分别占自然灾害发生频次的 9.5% 左右。如按照灾害发生程度计算加权的频次,干旱占灾害发生的 50.78%,风雹占 16.60%,洪涝和低温分别占到 10.14% 和 11.77%,病虫害占到 7.74%。不同灾害 V_1 和 V_2 所占比例变化说明玉米产区干旱、洪涝和风雹的平均危害程度比低温和病虫害较为严重。

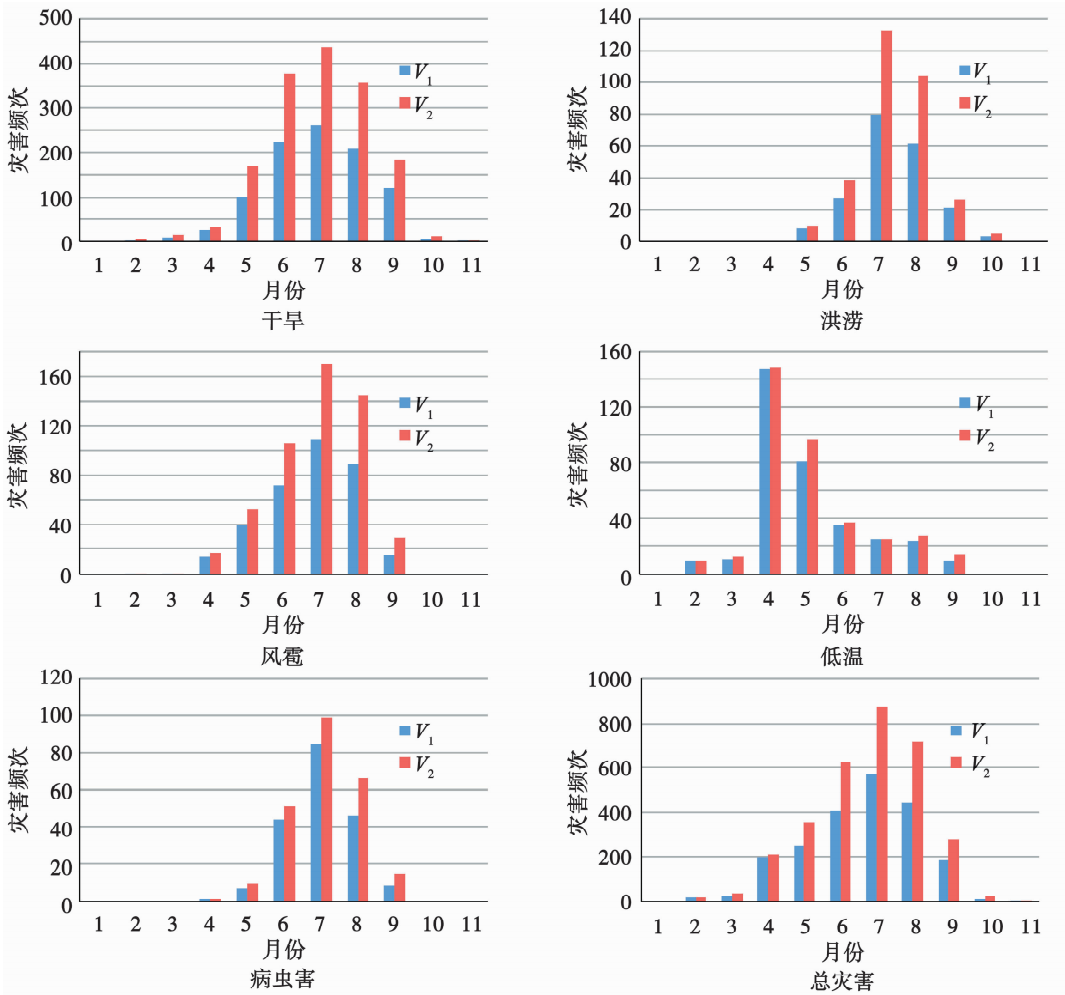


图 2 玉米不同种类自然灾害发生频次

Fig. 2 Frequencies of different natural disasters occurring on maize

从灾害发生时期来看,2-10月玉米产区都可能发生干旱灾害,其中5-9月份干旱灾害更为集中,危害程度也较严重。5-10月份都有洪涝灾害风险,但主要集中于7-8月份,且易发生危害程度较大的灾害。低温灾害自2-9月都有发生,但主要集中于4-5月份,5月份发生频次虽少于4月份,但更易发生程度较为严重的灾害。风雹灾害发生在4-9月份,主要集中于6-8月份,6-8月份的危害发生程度一般也较严重;9月份风雹发生频次较少,但如有风雹发生,危害程度较重。病虫害自4-9月份都有发生风险,但主要集中于6-8月份。从自然灾害总体情况来看,2-10月份均有不同程度的灾害发生风险,其中6-8月份风险较大,4,5,9月份次之,2,3,10月份风险较低,5-9月份均有可能发生较大程度的自然灾害。

2.2 自然灾害影响指数

(1)图3示出了我国不同省市玉米产区的旱灾影响指数,我国玉米产区均存在不同程度旱灾风险的影响,其中陕西和山东玉米产区为旱灾影响极高风险区,山西、甘肃、广西、江苏、辽宁5省玉米产区为旱灾影响高风险区,四川、吉林、内蒙古、贵州、宁夏、河北、湖北等省玉米产区为旱灾影响中等风险区,其他省份玉米产区旱灾风险相对较低。可以看出,我国玉米干旱风险具有连片发生的特点,主要集中在中部、北部和西南地区。

(2)该研究中将《中国农气灾情旬值数据集》中记录的洪涝、暴雨、渍害等主要因水分过量供应导致的灾害均计入洪涝灾害,由图4可以看出,湖南和广西玉米产区为洪涝影响极高风险区,山东、河南、吉林、江苏、天津玉米产区为洪涝影响高风险区,陕西、甘肃、四川、黑龙江、贵州玉米产区为洪涝影响中等风险区,其他省市玉米产区洪涝风险较低。可以看出我国玉米洪涝风险高影响区主要集中在西南玉米产区和黄淮海平原玉米产区。

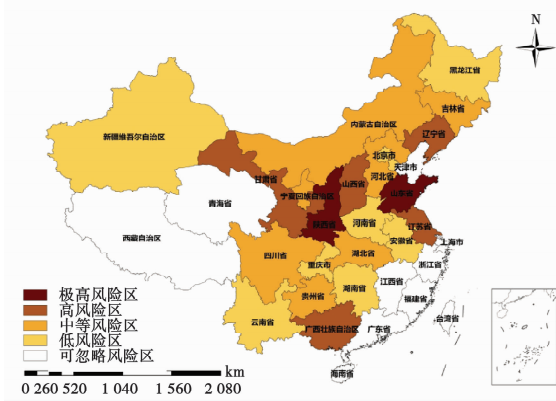


图3 玉米生产风险旱灾影响指数分布图
Fig.3 Distribution of drought disaster influence index in maize producing risk

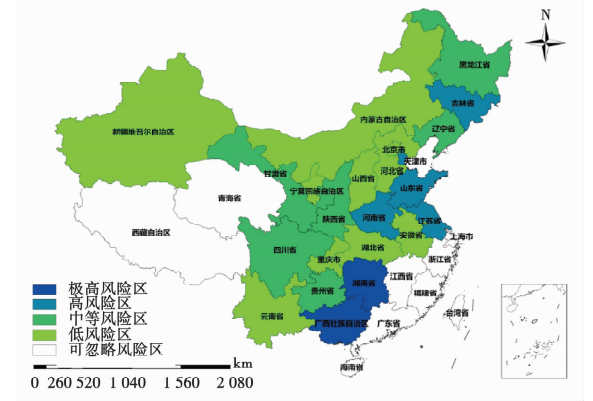


图4 玉米生产风险洪涝灾害影响指数分布图
Fig.4 Distribution of flood disaster influence index in maize producing risk

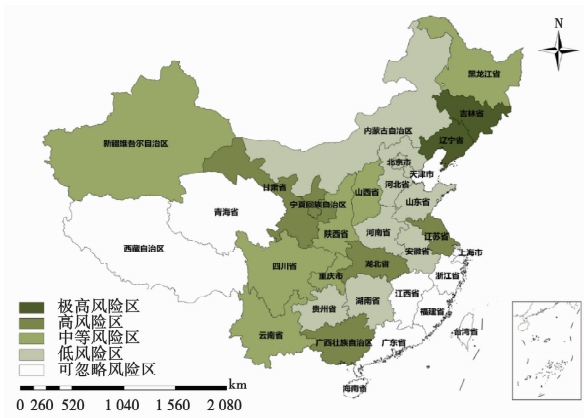


图5 玉米生产风险低温灾害影响指数分布图
Fig.5 Distribution of low temperature disaster influence index in maize producing risk

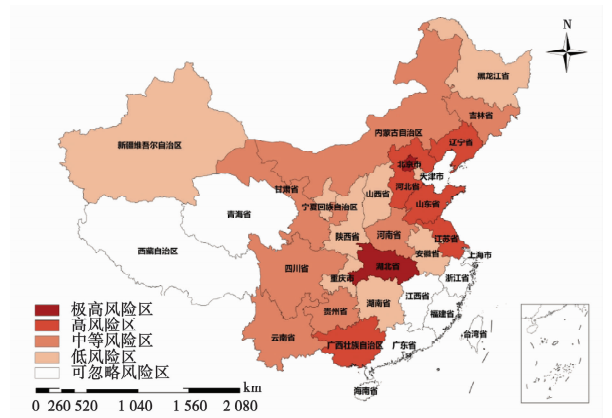


图6 玉米生产风险风雹灾害影响指数分布图
Fig.6 Distribution of strong wind and hail disaster influence index in maize producing risk

(3) 该研究将冷害、霜冻等均计入低温灾害,由图 5 可以看出,吉林、辽宁玉米产区为低温影响极高风险区,广西、宁夏、湖北、江苏玉米产区为低温影响高风险区,黑龙江、山西、四川、重庆、新疆玉米产区为低温影响中等风险区,其他省市玉米产区受低温灾害影响较小。可以看出除北部玉米产区外,西南和南方产区的广西、湖北、江苏玉米生产也易受到低温灾害的影响。

(4) 该研究将冰雹、干热风、寒露风、大风、热带气旋等均计入风雹灾害。由图 6 可以看出,湖北和北京玉米产区为风雹影响极高风险区,江苏、山东、辽宁、广西、河北玉米产区为风雹影响高风险区,吉林、四川、甘肃、贵州、内蒙古、河南、云南玉米产区为风雹影响中等风险区,其他玉米产区为风雹影响低风险区。可以看出,风雹灾害的分布较为分散,各大产区都有风雹灾害影响指数较大的省市。

(5) 螟虫、粘虫、锈病、纹枯病等病虫害也是造成玉米产量损失的重要因素。由图 7 可知,四川、重庆玉米产区为病虫害极高影响区,内蒙古、山西、北京、辽宁玉米产区为病虫害影响高风险区,吉林、山东、宁夏、江苏、新疆玉米产区为病虫害影响中等风险区,其他玉米产区为病虫害影响低风险区。病虫害风险主要集中于西南玉米产区、北部玉米产区和黄淮海平原玉米产区。

(6) 将旱灾、洪涝、低温、风暴、病虫害以及连阴雨、高温等其他灾害加总计算得到自然灾害影响指数,由图 8 可知,陕西、山东玉米产区为自然灾害影响极高风险区,甘肃、山西、辽宁、广西、江苏玉米产区为自然灾害影响高风险区,四川、吉林、湖北、河南、河北、云南、贵州、北京玉米产区为自然灾害中等影响区,其他玉米产区为自然灾害影响低风险区。黄淮海平原玉米区、北方玉米区、西南玉米区受自然灾害的影响相对较大。

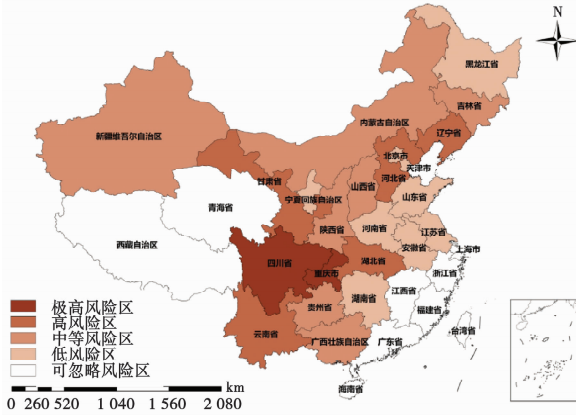


图 7 玉米生产风险病虫害影响指数分布图

Fig. 7 Distribution of diseases and insect pests disaster influence index in maize producing risk

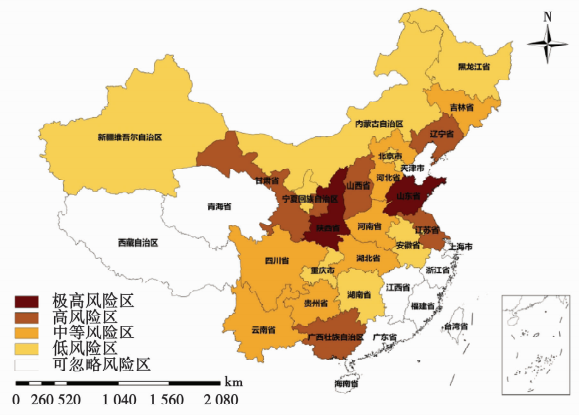


图 8 玉米生产风险自然灾害影响指数分布图

Fig. 8 Distribution of natural disaster influence index in maize producing risk

2.3 面积影响指数

作物面积越大,发生灾害时易导致的产量损失也越大。由图 9 可知,我国北方和黄淮海平原玉米产区各省市的面积影响因子较大。黑龙江和吉林玉米产区为灾害风险面积影响极高区,河北、山东、河南、内蒙古、辽宁、山西玉米产区为面积影响高区,四川、云南、陕西、贵州、安徽、甘肃玉米产区为面积影响中等区,其他省市玉米产区的面积影响因子较小。

2.4 单产影响指数和脆弱性影响指数

作为承灾体因子,作物单产越高,灾害易造成的产量损失越大。由图 10 可知,宁夏、新疆的玉米单产水平最高,为单产影响极高风险区,吉林、山东、内蒙古、辽宁、北京玉米产区为单产影响高风险区,河南、湖南、天津、江苏、重庆、贵州、河北为单产影响中等风险区,其他省区玉米单产水平较低,单产影响指数相对较低。

脆弱性代表了灾害发生时承灾体的易损性,承灾体越脆弱,灾害发生时的易损性越大。本研究中利用单产减产年份的平均减产率来表征作物自然灾害风险的脆弱性。由图 11 可知,辽宁、安徽玉米产区脆弱性影响指数最大,减产年份平均减产率在 6% 以上,灾害发生时易产生大幅度的减产,为灾害风险脆弱性影响极高风险区;吉林、河南、黑龙江、山西、陕西玉米产区脆弱性影响指数次之,减产年份平均减产幅度大于 4.5%,为灾害风险脆弱性影响高风险区;甘肃、天津、广西、贵州、北京、内蒙古、山东玉米产区脆弱性影响指数较小,为灾害风险脆弱性影响中等风险区,其他地区玉米发生减产时,减产幅度相对较小,平均减产小于 3%。

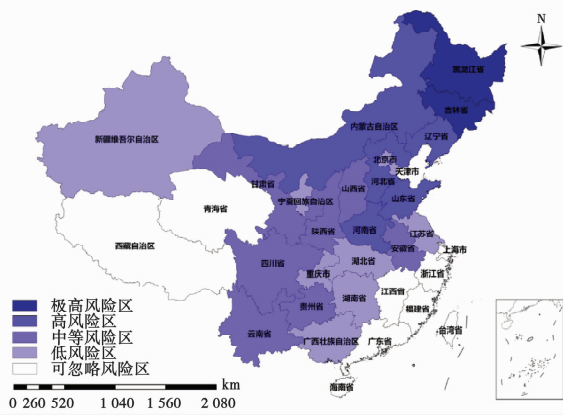


图 9 玉米生产风险面积影响指数分布图

Fig. 9 Distribution of seeded area influence index in maize producing risk

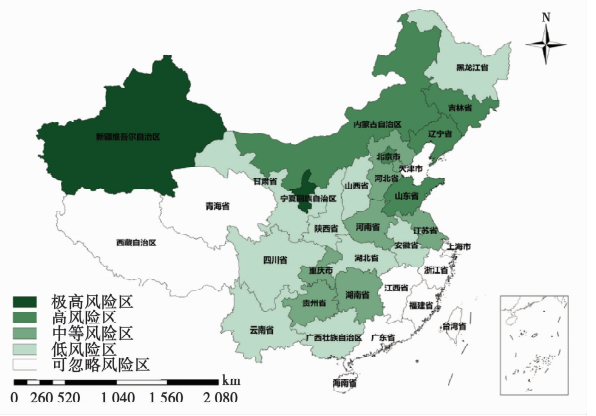


图 10 玉米生产风险单产影响指数分布图

Fig. 10 Distribution of per unit yield influence index in maize producing risk

2.5 灾害风险综合评价指数

利用不同省市自然灾害风险综合评价指数,对玉米生产自然灾害风险区进行识别。由图 12 可知山东、吉林玉米产区为自然灾害极高风险区,辽宁、河南、黑龙江、陕西、山西玉米产区为自然灾害高风险区,内蒙古、甘肃、河北、宁夏、四川、江苏、安徽玉米产区为自然灾害中等风险区,新疆、贵州、广西、北京、天津、湖北、湖南、重庆、云南玉米产区为自然灾害低风险区,其他省区为玉米自然灾害可忽略风险区。

划分同一类风险区的省份其风险影响因子存在差别。在极高风险区和高风险区省份中,山东玉米产区的灾害影响指数、面积影响指数和单产影响指数均高;吉林产区的面积影响指数、单产影响指数和脆弱性影响指数均高;辽宁产区的 4 类影响指数均较高;河南产区的面积影响指数、单产影响指数和脆弱性指数均高;黑龙江产区的面积影响指数和脆弱性指数较高;陕西、山西产区的灾害影响指数和脆弱性指数均高。玉米面积较大的其他省份中,河北的灾害影响指数和单产影响指数和脆弱性影响指数均较低,内蒙古的灾害影响指数和脆弱性影响指数较低,风险中等,四川单产影响指数和脆弱性影响指数较低,综合来看这几个省份玉米生产灾害风险中等。

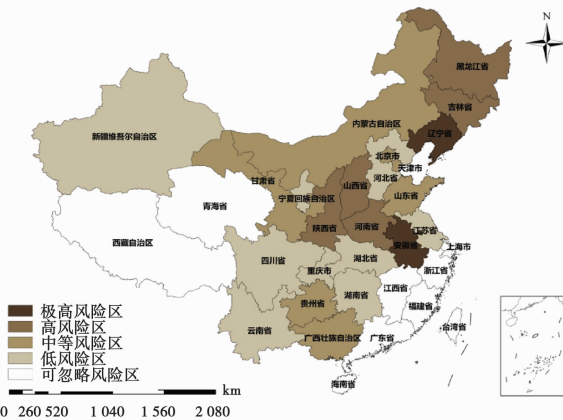


图 11 玉米生产风险脆弱性影响指数分布图

Fig. 11 Distribution of vulnerability influence index in maize producing risk

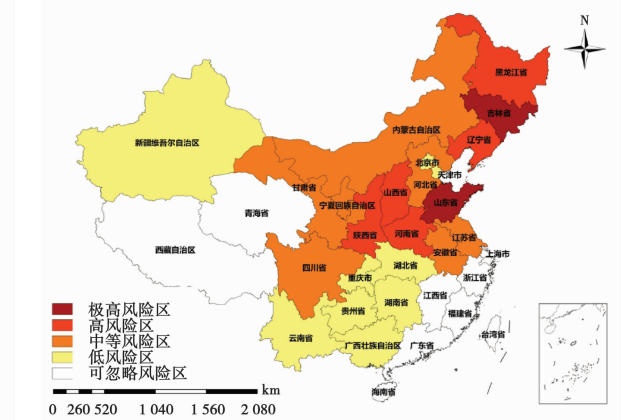


图 12 玉米生产自然灾害综合风险区划

Fig. 12 Zoning of integrated natural disaster risk to maize production

3 结论与讨论

(1) 干旱是我国玉米产区主要自然灾害,其次是低温和风雹,洪涝和病虫害也占有较大比例,干旱灾害、洪涝灾害和风雹灾害的发生程度一般比低温灾害和病虫害较为严重。在发生时间上,除低温灾害多集中于 4、5 月份外,干旱、风雹、病虫害等灾害多发生在 6-8 月份,但 5-9 月份均有可能发生较大危害程度的灾

害,所以玉米生产风险监测防范既要贯穿生育全程,又要把握关键时期。

(2)不同种类灾害大多具有连片发生的特点,玉米干旱灾害主要集中在黄淮海、北部和西南玉米产区,洪涝灾害主要集中在西南和黄淮海平原玉米产区,低温冷害主要集中于北部、西南和南部产区,病虫害大致集中于西南和黄淮海平原玉米产区。相对而言,风雹的发生较为分散,南部、西南、北部和黄淮海平原四大玉米产区均有风雹灾害高发省份。

(3)利用玉米产量和灾情历史数据,综合考虑致灾因子、孕灾环境因子和承灾体因子的不同影响,构建了玉米灾害风险综合评价指标,对全国省级单元玉米自然灾害风险区进行了识别,高风险区省份主要集中于北部和黄淮海平原玉米产区。由于划分同一级别风险区的省份其风险影响因子存在差别,在风险监测预警和防范中需区别对待。作为自然灾害高风险区,东北三省玉米产区的灾害脆弱性指数均较高,吉林和辽宁产区的干旱、洪涝、低温、风雹和病虫害均是重要的致灾因子,其自然灾害影响指数较高,黑龙江产区主要受洪涝、低温和病虫害的影响,其自然灾害影响指数较低。山东、河南、河北作为玉米大省,也是自然灾害高风险区,山东产区的旱灾、洪涝和风险灾害影响指数均较高,但其脆弱性影响指数较低,说明虽然灾害频发但其抗风险能力也较强;河南产区致灾因子主要是洪涝、风雹和病虫害,其灾害脆弱性指数较高;河北产区致灾因子主要是干旱和风雹,其脆弱性影响指数较低。山西、陕西和甘肃也是北方重要玉米生产省份,主要致灾因子是干旱、低温和风雹,三省玉米灾害脆弱性指数均较高。在西南玉米产区中,贵州和广西玉米灾害脆弱性指数较高,四川和云南灾害脆弱性指数较低,主要自然灾害致灾因子有干旱、洪涝、风雹,另外广西、四川和贵州的低温灾害也较突出。

(4)由于作物具有一定的自我恢复和补偿生长效应,同时在一个特定地区和特定时段会有多种致灾因子并存或并发的情况,并且不同致灾因子的影响可能存在一定的因果关系,这就造成作物的产量损失通常可能是由多种致灾因子叠加和相互影响造成的,所以对作物生产风险的认识与管理,越来越要求需要从系统论的角度出发,综合考虑风险因子的危害性和承载体的脆弱性,量化作物生产系统对多种灾害或灾害链的综合响应^[12,15]。本研究在灾害影响指数和灾害风险综合评价指数计算时暂时仅利用了加权求和与求均值的方法,怎样更科学地量化不同灾害的影响和确定不同因子的权重,还有待进一步研究和尝试。另外,本研究资料来自全国基本气象站点,数据相对较少,如能获取更多站点作物灾情数据,进行更为细化的分析和风险区识别,其结果对于风险监测、预警和防范能起到更为实际的作用。

参 考 文 献:

- [1] 马树庆,王琪,王春乙,等. 东北地区玉米低温冷害气候和经济损失风险分区[J]. 地理研究,2008,27(5):1169-1177.
MA Shuqing, WANG Qi, WANG Chunyi, et al. The risk division on climate and economic loss of maize chilling damage in Northeast China[J]. Geographical Research, 2008,27(5):1169-1177. (in Chinese)
- [2] 马树庆,刘玉英,王琪. 玉米低温冷害动态评估和预测方法[J]. 应用生态学报,2006,17(10):1905-1910.
MA Shuqing, LIU Yuying, WANG Qi. Dynamic prediction and evaluation method of maize chilling damage[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2006,17(10):1905-1910. (in Chinese)
- [3] 马树庆,王琪,袭祝香. 中国东北地区玉米低温冷害风险评估研究[J]. 自然灾害学报,2003,12(3):137-144.
MA Shuqing, WANG Qi, GONG Zhuxiang. Risk evaluation of cold damage to corn in Northeast China[J]. Journal of Natural Disasters, 2003,12(3):137-144. (in Chinese)
- [4] 王石立,马玉平,庄立伟. 东北地区玉米冷害预测评估模型改进研究[J]. 自然灾害学报,2008,17(4):12-18.
WANG Shili, MA Yuping, ZHUANG Liwei. Improvement study on prediction and assessment model for chilling damage of maize in Northeast China[J]. Journal of Natural Disasters, 2008,17(4):12-18. (in Chinese)
- [5] 张文宗,王鑫,康西言,等. 河北省玉米干旱风险评估及区划方法[J]. 华北农学报,2008,23(增刊):367-372.
ZHANG Wenzong, WANG Xin, KANG Xiyan, et al. Assessment and division of maize drought hazard in Hebei Province[J]. Acta Agriculturae Boreali-Sinica,2008,23(S):367-372. (in Chinese)
- [6] 姜丽霞,李帅,南瑞,等. 东北玉米低温冷害监测预测系统-在黑龙江省的应用[J]. 自然灾害学报,2010,19(1):132-135.
JIANG Lixia, LI Shuai, NAN Rui, et al. Maize's chilling damage-monitoring and forecasting system for Northeast China: an application to Heilongjiang Province[J]. Journal of Natural Disasters,2010,19(1):132-135. (in Chinese)
- [7] 袁福香,李忠辉,王立昌,等. 吉林省主要农作物病虫害风险防御区划[J]. 自然灾害学报,2011,20(3):64-72.
YUAN Fuxiang, LI Zhonghui, WANG Lichang, et al. Risk defence zoning of disease and insect pests of maize in crops in Jilin Province[J]. Journal of Natural Disasters, 2011,20(3):64-72. (in Chinese)
- [8] 王军,王洪丽,张雪清. 吉林省玉米生产自然灾害风险评估与气象灾害产量的影响因素研究[J]. 玉米科学,2011,19(5):143-147.
WANG Jun, WANG Hongli, ZHANG Xueqing. Disaster risk assessment of maize production and influencing factor analysis on the damage yields

- [J]. *Journal of Maize Science*, 2011,19(5):143-147. (in Chinese)
- [9] 张琪,张继权,佟志军,等. 干旱对辽宁省玉米产量影响及风险区划[J]. *灾害学*,2010,25(2):87-91.
ZHANG Qi, ZHANG Jiquan, TONG Zhijun, et al. Influence of drought on corn yield in Liaoning Province and the risk zoning[J]. *Journal of Catastrophology*, 2010,25(2):87-91. (in Chinese)
- [10] 王翠玲,宁方贵,张继权,等. 辽西北玉米不同生长阶段干旱灾害风险阈值的确定[J]. *灾害学*,2011,26(1):43-47.
WANG Cuiling, NING Fanggui, ZHANG Jiquan, et al. Determination of drought disaster risk threshold value of various growth stages of maize in northwestern Liaoning Province[J]. *Journal of Catastrophology*, 2011,26(1):43-47. (in Chinese)
- [11] 董秋婷,李茂松,刘江,等. 近50年东北地区春玉米干旱的时空演变特征[J]. *自然灾害学报*,2011,20(4):52-59.
DONG Qiuting, LI Maosong, LIU Jiang, et al. Spatio-temporal evolution characteristics of drought of spring maize in northeast China in recent 50 years[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2011,20(4):52-59. (in Chinese)
- [12] 雷永登,史秦青,王静爱,等. 基于综合定权法的中国玉米综合灾害风险评价[J]. *北京师范大学学报:自然科学版*,2011,47(5):522-527.
LEI Yongdeng, SHI Qinqing, WANG Jingai, et al. Integrated risk assessment of Chinese corn based on integrated indices-weighting method [J]. *Journal of Beijing Normal University:Natural Science*, 2011,47(5):522-527. (in Chinese)
- [13] 张峭,王克. 我国农业自然灾害风险评估与区划[J]. *中国农业资源与区划*,2011,32(3):32-36.
ZHANG Qiao, WANG Ke. Assessment and regional planning of Chinese agricultural natural disaster risks[J]. *Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning*, 2011,32(3):32-36. (in Chinese)
- [14] 史培军. 四论灾害系统研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*,2005,14(6):1-6.
SHI Peijun. Theory and practice on disaster system research in a fourth time [J]. *Journal of Natural Disasters*, 2005,14(6):1-6. (in Chinese)
- [15] 史培军. 五论灾害系统研究的理论与实践[J]. *自然灾害学报*,2009,18(5):1-6.
SHI Peijun. Theory and practice on disaster system research in a fifth time[J]. *Journal of Natural Disasters*, 2009,18(5):1-6. (in Chinese)