

基于 ArcGIS 的河南省夏玉米旱灾承灾体脆弱性研究

张维诚¹, 许朗^{1,2}

(1. 南京农业大学 经济管理学院, 南京 210095; 2. 南京农业大学 中国粮食安全研究中心, 南京 210095)

摘要:利用河南省 23 个气象站 1971—2014 年 44 a 的逐日气象数据和气象站点所在县市夏玉米产量、种植面积等资料, 基于 IPCC 对于脆弱性的定义, 从物理暴露性、孕灾环境敏感性和适应能力 3 个因子出发, 建立了河南地区夏玉米干旱脆弱性评估模型, 借助 ArcGIS 软件对河南地区夏玉米干旱脆弱性进行了分析与区划研究。结果表明: 高与较高脆弱区主要分布于豫西、豫南西北和豫中部分地区, 南阳盆地以及东部黄淮海平原为中低干旱脆弱区; 从脆弱性的构成要素来看, 豫西地区干旱危险性程度较高, 夏玉米播种比例和孕灾环境敏感性高于全省平均水平, 同时适应能力又相对较弱, 因此该区域应着重加大区域防灾减灾投入、优化种植结构; 经检验干旱脆弱性指数与年均相对气象产量显著相关, 相关系数为 -0.578 (在 0.01 检验水平上显著)。所构建的模型能较为合理地反映干旱对夏玉米生产的影响, 该研究为夏玉米避灾和减灾提供科学依据。

关键词: 夏玉米; 干旱脆弱性; ArcGIS; 河南省

中图分类号: S166

文献标识码: A

文章编号: 1005-3409(2018)02-0228-07

Study on Drought Vulnerability of Summer Maize in He'nan Province Based on ArcGIS

ZHANG Weicheng¹, XU Lang^{1,2}

(1. College of Economics and Management, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China;

2. China Center for Food Security Studies, Nanjing Agricultural University, Nanjing 210095, China)

Abstract: Based on IPCC definition of vulnerability, a risk assessment model of summer maize vulnerability to drought was established from the perspectives of exposure, sensitivity and adaptability by using the data of weather, planting area and yield of summer maize of 23 stations in He'nan Province, and summer maize vulnerability was zoned and analyzed by ArcGIS. The result showed that high and sub high drought vulnerability zones of summer maize were mainly located in west He'nan, northwest of south He'nan and parts of central He'nan, the medium and low zones were mainly located in Nanyang Basin and eastern plain of He'nan. From the three elements of vulnerability, west He'nan belongs to the weak zone. In west He'nan, the drought dangerousness index, sowing ratio of summer maize and environmental sensitivity are higher than those of the whole province, meanwhile, adaptability is relatively weak. Therefore, the region should focus on regional disaster prevention and mitigation investment, optimizing the planting structure. The drought vulnerability index and average relative meteorological yield are significantly correlated after testing, the correlation coefficient is -0.578 . The model constructed in this paper can reflect the influence of drought on summer maize production. The results can provide scientific basis for disaster prevention and disaster reduction management.

Keywords: summer maize; drought vulnerability; ArcGIS; He'nan Province

河南省位于我国中东部、黄河中下游, 属于我国第二阶梯和第三阶梯的过渡地带, 地跨暖温带及北亚热带边缘, 具有发展农业的良好条件。夏玉米是河南省仅次于

小麦的第二大粮食作物, 占全国播种面积的十分之一, 区位优势十分明显, 位于黄淮海夏玉米主产区的“心脏”地带。黄淮海平原光热资源十分丰富, 适宜夏玉米

量两大因子^[17]。

(1) 暴露数量。针对某一区域来说,夏玉米的种植面积可以反映暴露于致灾因子下的承灾体数量,播种面积越大,暴露数量越多,在致灾强度相同的情况下,可能遭受的潜在损失就越大^[18]。因此,本研究选取夏玉米播种面积占农作物播种面积比例的均值作为承灾体暴露数量的评价指标(Q),计算公式如下:

$$Q = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{a_i}{A_i} \quad (1)$$

式中: a_i 表示某县第 i 年夏玉米种植面积; A_i 为该县第 i 年农作物播种面积; n 为年数。考虑到脆弱性评价应更多针对各地当前的实际生产情况,而各地的种植结构不同时期的差异较大,因此本文在计算承灾体暴露数量时,只选取能够反映当前实际生产条件的近 5 a 的数据(2010—2014 年),即 $n=5$ 。

(2) 危险性。在影响农业旱灾形成和决定农业旱灾强度的诸多要素中,降水量是决定干旱严重程度最关键的因子^[19]。本文选择了标准化降水指标(SPI)来研究不同时间尺度的干旱时空状况。河南省夏玉米生长期集中在 6—9 月份,因此选择了该时段作为致灾因子危险性评价时段。基于《GB/T 20481—2006 气象干旱等级》^[20]中关于 SPI 的计算方法,得出了河南省各个气象站 1971—2014 年 44 a 的 SPI 指数,参照上述气象标准划分干旱等级(表 1),统计各气象站干旱发生的频率,致灾因子的危险性由灾害强度和活动频次共同决定,即夏玉米生长期的干旱危险性指数是干旱强度(干旱等级 L)和发生频率(P)的函数,表达式为:

$$D = \sum_{i=1}^n L_i P_i \quad (2)$$

式中: D 为夏玉米生长期的干旱危险指数; L 为夏玉米生长期(6—9 月)内的干旱等级,其值为 1, 2, 3, 4; P 为不同干旱等级发生的频率; i 代表不同干旱等级; n 为干旱等级数。 D 值越大,说明夏玉米生长期内干旱的危险性越高。

表 1 标准化降水指标干旱等级划分

等级	类型	SPI 值
1	轻旱	$-1.0 < \text{SPI} \leq -0.5$
2	中旱	$-1.5 < \text{SPI} \leq -1.0$
3	重旱	$-2.0 < \text{SPI} \leq -1.5$
4	特旱	$\text{SPI} \leq -2.0$

(3) 物理暴露性指数。将区域承灾体暴露数量(Q)和致灾因子危险性(D)这两个指标综合考虑来反映夏玉米干旱灾害的物理暴露性,所构建的物理暴露性指数见下式:

$$E_j = Q_j D_j \quad (3)$$

式中: E_j 为 j 县夏玉米物理暴露性指数; Q_j 为 j 县夏玉米暴露数量; D_j 为 j 县夏玉米生长期内的干旱危险性。

1.2.2 孕灾环境敏感性 孕灾环境敏感性是指受到气象灾害威胁所在地区的外部环境对气象灾害或作物损害的敏感程度,包括地形地貌、河流水系分布等因素^[21],在致灾强度相同的情况下,敏感性越高,一定程度上会加重灾害造成的影响,脆弱性程度也就越高。根据现有资料的可取性,本文主要从地形因子出发(包括高程和坡度),构建干旱孕灾环境敏感性指数,据此分析河南省干旱孕灾环境的空间分布特征。一般来讲,高程与坡度对于干旱具有正效应,在地势较低的地方容易发生洪涝灾害,而不容易发生干旱灾害,这是由高程影响的,而坡度越大,会影响灌溉便利,同时加快水分流失速度,加重干旱程度。河南省高程、坡度值是在 ArcGIS 10.1 下对 DEM 影像统计得到的。基于高程与坡度构建的孕灾环境敏感性指数见下式:

$$S = \text{elevation} \cdot \text{slope} \quad (4)$$

式中:elevation 和 slope 分别为高程与坡度。

1.2.3 适应能力 适应能力是指自然和人为系统对于实际的或预期的气候刺激因素及其影响所做出的趋利避害的反应能力^[22]。适应能力与脆弱性作用方向相反,是作物自身抗逆性和人为参与抗灾共同作用的结果。单产水平能比较好地反映一个地区作物的适应能力,单产水平越高,适应能力也就越强,因此将各县夏玉米单产与河南省夏玉米单产比值的多年平均值作为适应能力指数(A):

$$A = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{Y_i} \quad (5)$$

式中: y_i 表示某县第 i 年夏玉米的单产量; Y_i 为河南省第 i 年夏玉米的单产量; n 为年数。

1.2.4 干旱脆弱性 构成灾害脆弱性的 3 项要素中,灾害的物理暴露性、孕灾环境敏感性对灾害脆弱性的生成具有显著的正相应,而适应能力对灾害脆弱性生成具有负相应,即当物理暴露性增大,受气候变化影响的范围增大,系统的脆弱性随之增大,同样,当敏感性增大,系统的脆弱性也随着增大,而适应能力越强,物理暴露性和孕灾环境敏感性的作用力会受到一定的抑制,从而减少灾害的脆弱性作用。由此建立夏玉米干旱脆弱性综合指数(V)如下:

$$V_j = \frac{S_j E_j}{A_j} \quad (6)$$

式中: V_j 为 j 县的夏玉米干旱脆弱性指数; S_j 为 j 县

的干旱孕灾环境敏感性指数; A_j 为 j 县的夏玉米适应能力指数。

1.2.5 空间插值与自然断裂法 根据各项指标的站点数据,利用 ArcGIS 提供的反距离权重法进行空间插值,获得各指标的空间分布图,利用 ArcGIS 提供的自然断裂法将各要素划分为高、较高、中和低 4 个等级,进行空间差异分析。

1.2.6 数据处理 为消除不同因子量纲的影响,在计算物理暴露性指数、孕灾环境敏感性指数以及干旱脆弱性综合指数前需进行归一化处理,且为避免零值出现,采用改进的公式如下^[23]

$$s_i=0.5+0.5\frac{x_i-x_{\min}}{x_{\max}-x_{\min}}\tag{7}$$

式中: s_i 为经过准化后的数据; x_i 为原始数据; x_{\min} 为原始数据序列中的最小值; x_{\max} 为原始数据序列中的最大值。

2 结果与分析

2.1 河南省夏玉米物理暴露性分析

物理暴露性分析主要从区域承灾体暴露数量与致灾因子危险性两个方面展开。就承灾体暴露数量而言,高暴露量主要集中在豫中和豫北西南,该区域夏玉米种植面积占农作物播种面积比例普遍在 30% 以上,其中长葛县和西平县种植比例最高,在 40% 以上;夏玉米暴露量较高的地区主要分布在豫西西部、豫南北部以及豫北和豫东的大部,种植比例在 20% ~25%;豫南地区暴露量较少,种植比例在 20% 以下,其中信阳市以及驻马店市部分地区种植比例最低,在 10% 以下(图 2)。

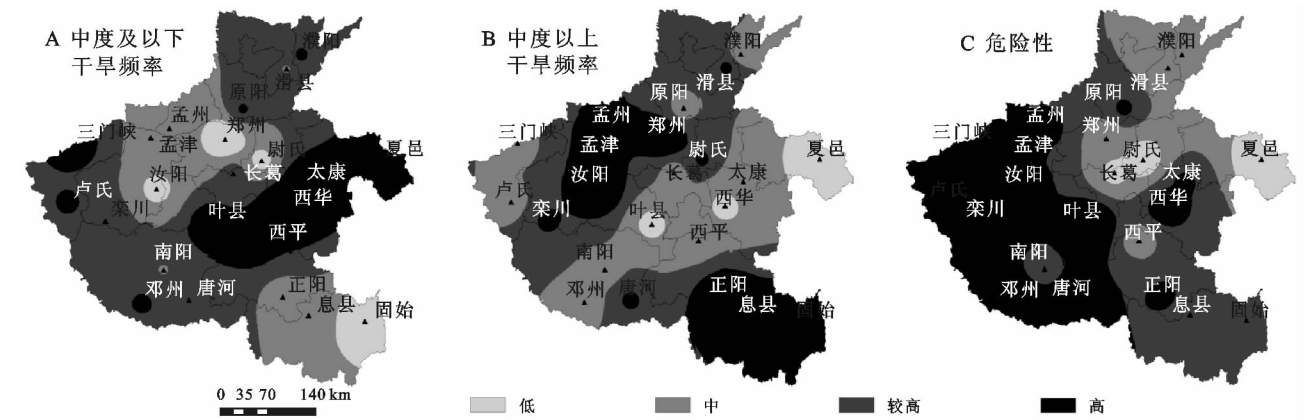


图 2 河南省夏玉米暴露数量分布

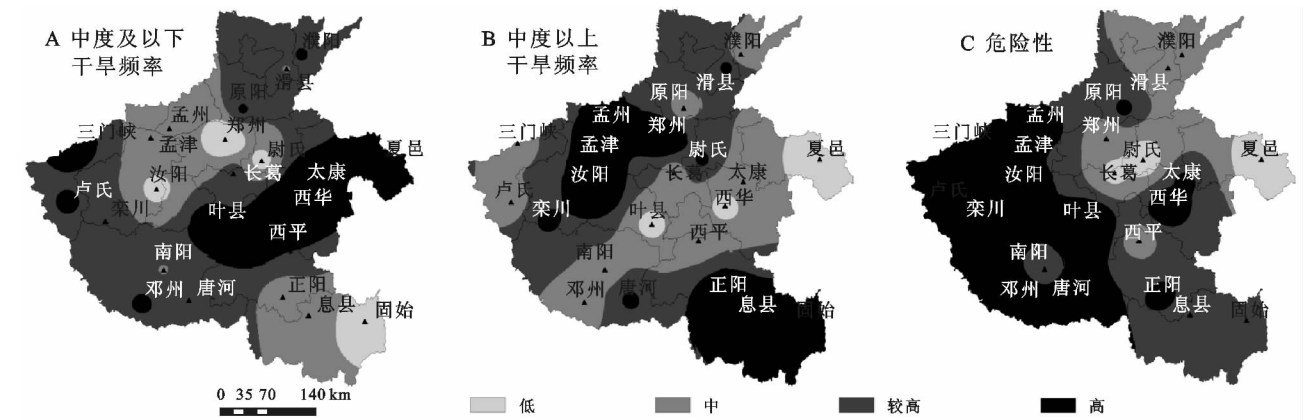


图 3 河南省夏玉米生长期干旱频率及危险性分布

结合上文承灾体暴露数量的分析,运用公式(3)计算物理暴露性指数,并分成 4 个等级,物理暴露性指数高与较高的区域主要集中在豫西三市、豫北的济源和焦作市,以及南阳和驻马店的部分地区,其中孟

就致灾因子危险性而言,夏玉米生长期不同等级的干旱发生频率在空间上存在明显的差异,中度及以下干旱(包括轻度干旱和中度干旱)发生频率高值区集中在豫东及其周边部分地区,发生频率较高的区域范围广泛,分布在豫西西部、豫南西北部以及豫北东部地区,另外许昌和开封部分地区频率也较高,以上大部分区域,中度及以下干旱发生频率约为 2~3 a 一遇;中度以上干旱(包括重旱与特旱)发生频率高值区,集中在豫南的信阳和驻马店的部分地区,以及洛阳、济源、焦作、郑州 4 市交界的区域,约为 13 a 一遇,频率较高区域主要分布在豫北的大部以及南阳和驻马店的部分地区,约为 20 a 一遇,其他地区中度以上干旱发生频率较低。按照公式(2),计算危险性指数,并划分为 4 个等级,河南地区夏玉米干旱危险性指数基本呈现出西南部高东北部低的特点(图 3)。

津县和叶县地区物理暴露性指数最高,从物理暴露性的构成要素来看,上述区域无论是承灾体的暴露数量还是干旱危险性基本都为高和较高区域,说明该区域夏玉米生长期内发生干旱灾害的频率较高、干旱灾害

的强度相对较强,同时暴露于致灾因子环境下的承灾体数量也较多,容易形成干旱灾害且造成的损失程度可能较大。物理暴露性指数低值区集中在豫南的信阳市和驻马店部分地区、豫东的东西两侧以及豫北的东北部分地区,驻马店和信阳市虽然危险性指数整体较高,但暴露数量相对较低,因此不易形成大范围的夏玉米干旱灾害,其他地区承灾体暴露数量与干旱危险性大部分属于中值区和低值区,综合起来物理暴露性指数大多属于中值(图 4)。

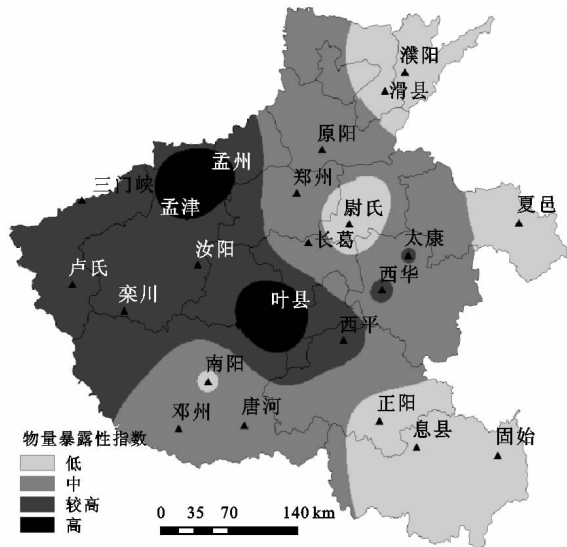


图 4 河南省夏玉米物理暴露性分布

2.2 河南省夏玉米干旱孕灾环境分析

孕灾环境分析主要考虑地形因子,包括高程以及坡度的影响,高程与干旱时期取水难度成正相关关系,坡度影响土壤对水的保持能力,加大旱期灌溉难度。河南省地表形态东西迥异,西部海拔高且起伏大,东部地势低而且平坦,从西向东由中山、低山、丘陵到平原,由于地形的影响,河南省干旱孕灾环境的高敏感区主要集中在 3 块区域,分别是豫西北的太行山山地、豫西的秦岭东缘山地和豫南的桐柏—大别山地,总的来说,干旱孕灾环境敏感性呈西部高东部低的特点(图 5)。

2.3 河南省夏玉米适应能力分析

从图 6 可知,低适应能力区域主要位于豫西山区以及信阳市和驻马店的部分地区,这些地区夏玉米单产水平相对较低,说明夏玉米自身抗逆性、区域防灾能力整体水平不高;高和较高适应能力区主要位于豫北、豫中以及豫东的大部分,该区域夏玉米单产水平高于河南地区平均水平,意味着当地夏玉米品种的适应性强,区域抗旱防灾建设相对完善,夏玉米生产力水平较高,其中孟州、长葛和滑县地区适应能力最强;其他区域属于中度适应能力区域,夏玉米生产力水平介于中间。

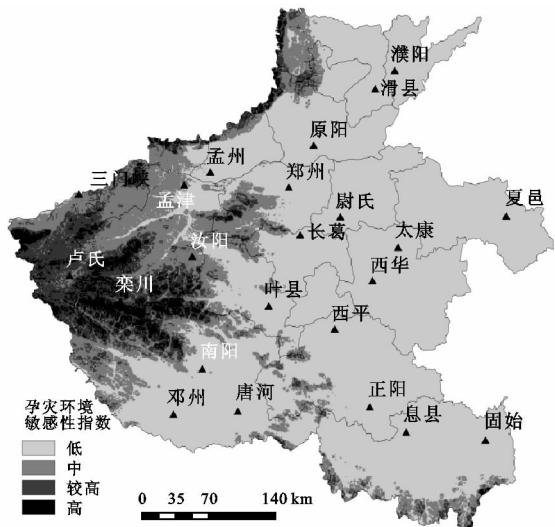


图 5 河南省干旱孕灾环境敏感性分布

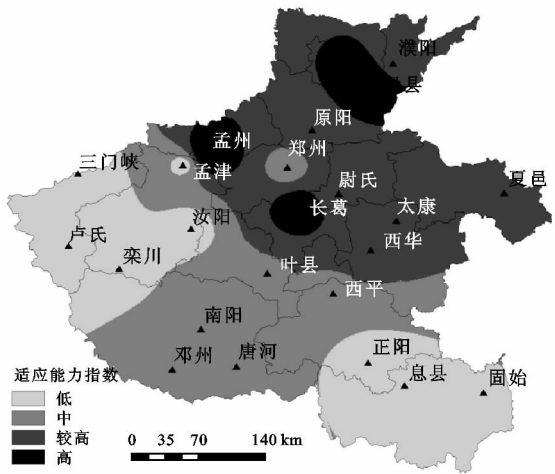


图 6 河南省夏玉米适应能力分布

2.4 河南省夏玉米干旱脆弱性综合分析

利用 ArcGIS 平台将物理暴露性、孕灾环境敏感性以及适应能力按式(6)合成计算,得到河南省夏玉米干旱脆弱性的空间分布图(图 7)。由图 7 可知,河南省夏玉米高与较高脆弱区主要分布于豫西、豫南西北和豫中部分地区,上述区域夏玉米生长期干旱危险性较高,大部处于高危险区,地貌类型主要为山地丘陵,易孕育干旱灾害,虽然夏玉米种植面积相对全省其他地区而言并不是很多,但夏玉米播种比例属于中上水平,即相对暴露数量较高,另外这些地区适应能力较弱,为低值区,夏玉米产量波动较大,干旱成为限制该区域夏玉米稳产的主要因子之一。豫南大部分为中度脆弱区,豫南雨养区处于气候过渡带,降水充沛但降水分布不均,夏玉米生育期内阶段性干旱和洪涝灾害频繁,增加了其脆弱程度。豫北、豫东、豫中的黄淮海平原为中低脆弱区,该区域夏玉米生长期危险性相对较低,玉米生产遭受中度以上干旱危害的机率较低,物理暴露性、孕灾环境敏感性大部分低于或

与河南地区平均水平相当,而适应能力又属于较高与高适应能力区,因此该区域脆弱性程度相对较低。

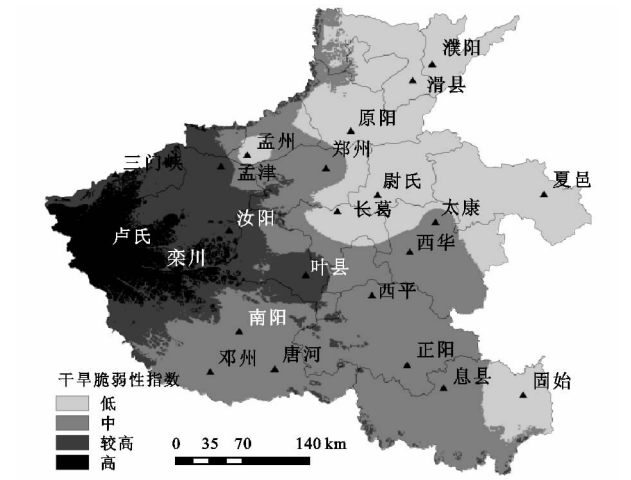


图 7 河南省夏玉米干旱脆弱性分布

2.5 夏玉米干旱脆弱性指数检验

夏玉米干旱脆弱性程度越大,越容易形成干旱灾害,造成的潜在损失也越大,因此脆弱性指数理论上应该与产量变化相对应,为了检验所构建的干旱脆弱性指数的适用性,运用 ArcGIS 的“Extract Value to Points”工具将干旱脆弱性指数提取至 23 个站点,然后与多年平均相对气象产量进行相关性分析。相对气象产量为实际产量偏离趋势产量的百分率,计算公式为^[24]:

$$y_p = \frac{y - y_t}{y_t} \times 100\%$$
 (8)

式中: y_p 为相对气象产量; y 为实际产量; y_t 为趋势产量,趋势产量采用 5 a 滑动平均法计算得到。

由于河南地区影响夏玉米产量的气象灾害主要是水灾和旱灾。为了排除水灾对夏玉米产量的影响,对水灾相对严重的年份进行了剔除,同时为了强调旱灾造成的减产效应,只选取减产年份。经检验干旱脆弱性指数与年均相对气象产量之间存在显著相关关系,相关系数为-0.578(在 0.01 检验水平上显著)。从而证明利用本文建立的模型能够较为合理地对河南省夏玉米干旱脆弱性进行评价与区划研究,得出的结论可以为夏玉米避灾和减灾管理提供科学依据。

3 讨论

对比夏玉米干旱脆弱性分布图与物理暴露性(包括暴露数量和致灾因子危险性)、孕灾环境敏感性、适应能力分布图。可以发现危险性分布图(图 4)与河南省夏玉米干旱脆弱性空间分布图(图 7)大体一致,说明 4 个因子中危险性对于干旱脆弱性有直接影响,也就是说,危险性评价应该是夏玉米干旱脆弱性研究的

重要方面,本文的危险性评价结果与杨平等^[25]基于降水距平得到的河南地区夏玉米干旱危险性的空间分布大体一致,但局部地方存在差别,这与所选取的干旱指标以及评价方法不同有关,需要在今后的实际应用中比较和验证多种干旱指数的适用性,而暴露数量空间分布(图 2)与干旱脆弱性空间分布(图 7)有较大差异,说明暴露数量对于干旱脆弱性的影响有限,具体来看,豫中地区就暴露数量而言为高值区,但是其危险性程度较低,适应能力又高于平均水平,因此最终该区域干旱脆弱性为中和低。

在农业气象灾害风险管理的研究领域,脆弱性评价往往与风险评价密切相关,且在指标选取和模型构建方面有相似之处,将本文的分析结果与已有的相关性较强的研究结果进行对比。田宏伟等^[5]对河南省夏玉米干旱风险进行了评价,从危险性、暴露性等方面选取指标,构建综合风险评价模型,把河南全省划分为高、中、低 3 个风险区,结果显示,低风险区主要位于豫东和豫东南,高风险区主要分布在周口、驻马店及豫西北地区,其他地区为中度风险区,这与本文的脆弱性区划结果有很多吻合的地方,但风险和脆弱性对于不同学者其含义不尽相同,田宏伟将脆弱性视为了风险形成的一项作用因子,而本文将脆弱性综合表现为暴露性、敏感性、适应能力三者的函数,因此在评估框架上有所不同,其次根据 IPCC 的理论框架,本文加入了孕灾环境敏感性这一指标,导致区划结果有些差异。干旱脆弱性的形成是一个非常复杂的过程,由于不同研究者对于脆弱性形成条件的理解及侧重点不同,在指标因子选择、评估模型构建等方面存在明显差异,因此对于脆弱性指数的验证过程非常有必要,本文尝试通过与相对气象产量的相关性分析,对脆弱性指数的适用性进行了检验,并且得到了符合预期的结论,今后可通过实地调研对结果进行进一步的验证,使得评价更具有针对性与指导意义。

4 结论

(1) 物理暴露性取决承灾体的暴露数量和致灾因子的危险性,暴露数量高值区主要位于豫西东部、豫中以及豫北的西南地区,该地区夏玉米种植面积占农作物播种面积比例在 30% 以上;豫南地区暴露量较少,种植比例在 20% 以下,其中信阳市以及驻马店市部分地区种植比例最低,为 10% 以下。致灾因子危险性以标准化降水量 SPI 进行分析,结果表明,夏玉米生长期,各地发生干旱的可能性在 20% ~

40%,豫东地区中度及以下干旱发生频率最高,但中度以上干旱发生频率较低,豫南的东南部地区中度及以下干旱发生频率较低,但中度以上干旱发生频率较高。综合承灾体暴露数量与危险性两者的分析结果,物理暴露性基本呈现由西南向东北逐渐减弱的趋势。

(2) 从孕灾环境敏感性和适应能力两个因子分析来看,河南省干旱孕灾环境的高敏感区主要集中在3块区域,分别是豫西北的太行山山地、豫西的秦岭东缘山地和豫南的桐柏一大别山地,对于适应能力而言,低适应能力区主要位于豫西山区以及信阳市和驻马店部分地区,高和较高适应能力区主要分布于豫北、豫中以及豫东的大部分,其他区域属于中度适应能力区。

(3) 结合物理暴露性、孕灾环境敏感性和适应能力三者的分析,构建干旱脆弱性指数,结果表明河南省夏玉米干旱脆弱性高于较高地区主要分布于豫西、豫南西北和豫中部分地区,东部黄淮海平原以及南阳盆地为中低干旱脆弱区,其中豫北的东北地区、豫东大部以及信阳市的部分地区脆弱性程度最低。

(4) 豫西地区作为夏玉米干旱脆弱性程度偏高地区,其物理暴露性、孕灾环境敏感性均要高于全省平均水平,而适应能力又相对较弱,主要原因是该区域干旱危险性指数较高,地表结构又以山地丘陵为主,土壤肥力低且灌溉条件匮乏,更易孕育干旱灾害,虽然该区域因地形等限制,夏玉米播种面积不是很多,但播种比例却要高于全省平均水平,夏玉米是豫西地区主要的农作物之一,因此该区域要着重加大区域防灾减灾投入、优化种植结构。

参考文献:

- [1] 刘小雪,申双和,刘荣花. 河南夏玉米产量灾损的风险区划[J]. 中国农业气象, 2013, 34(5): 582-587.
- [2] 薛昌颖,张弘,刘荣花. 黄淮海地区夏玉米生长季的干旱风险[J]. 应用生态学报, 2016, 27(5): 1521-1529.
- [3] 李治国. 近40 a河南省农业气象灾害对粮食生产的影响研究[J]. 干旱区资源与环境, 2013, 27(5): 126-130.
- [4] 薛昌颖,刘荣花,马志红. 黄淮海地区夏玉米干旱等级划分[J]. 农业工程学报, 2014, 30(16): 147-156.
- [5] 田宏伟,李树岩. 河南省夏玉米干旱综合风险精细化区划[J]. 干旱气象, 2016, 34(5): 852-859.
- [6] 尹树斌,巢礼义,冯发林. 湖南省农业干旱灾害特征与水资源高效利用模式[J]. 湖南师范大学自然科学学报, 2005, 28(4): 80-84.
- [7] 康永辉,解建仓,黄伟军,等. 农业干旱脆弱性模糊综合评价[J]. 中国水土保持科学, 2014, 12(2): 113-120.
- [8] 王婷,袁淑杰,王婧,等. 四川省水稻干旱灾害承灾体脆弱性研究[J]. 自然灾害学报, 2013, 22(5): 221-226.
- [9] 裴欢,王晓妍,房世峰. 基于DEA的中国农业旱灾脆弱性评价及时空演变分析[J]. 灾害学, 2015, 30(2): 64-69.
- [10] 王莺,王静,姚玉璧,等. 基于主成分分析的中国南方干旱脆弱性评价[J]. 生态环境学报, 2014, 23(12): 1897-1904.
- [11] 李梦娜,钱会,乔亮. 关中地区农业干旱脆弱性评价[J]. 资源科学, 2016, 38(1): 166-174.
- [12] Brant S. Assessing vulnerability to drought in Ceara Northeast Brazil[D]. Ann Arbor: University of Michigan, 2007.
- [13] Zarafshani K, Sharafi L, Azadi H, et al. Drought vulnerability assessment: The case of wheat farmers in Western Iran[J]. Global & Planetary Change, 2012, 98/99(6): 122-130.
- [14] 严奉宪,张钢仁,朱增城. 基于农户尺度的农业旱灾脆弱性综合评价:以湖北省襄阳市曾都区农户调查为例[J]. 华中农业大学学报:社会科学版, 2012(1): 11-16.
- [15] 阎莉,张继权,王春乙,等. 辽西北玉米干旱脆弱性评价模型构建与区划研究[J]. 中国生态农业学报, 2012, 20(6): 788-794.
- [16] 王静爱. 中国省市地理:河南地理[M]. 北京:北京师范大学出版社, 2010.
- [17] 葛全胜,秦铭,郑景云. 中国自然灾害风险综合评估初步研究[M]. 北京:科学出版社, 2008.
- [18] 贾建英,贺楠,韩兰英,等. 基于自然灾害风险理论和ArcGIS的西南地区玉米干旱风险分析[J]. 农业工程学报, 2015, 31(4): 152-159.
- [19] 徐品泓. 河南省冬小麦旱灾风险评价[D]. 北京:北京师范大学, 2011.
- [20] 张强,邹旭恺,肖风劲,等. 气象干旱等级 GB/T20481—2006[S]. 北京:中国标准出版社, 2006.
- [21] 莫建飞,陆甲,李艳兰,等. 基于GIS的广西洪涝灾害孕灾环境敏感性评估[J]. 灾害学, 2010, 25(4): 33-37.
- [22] Mach K, Mastrandrea M. Climate change 2014: impacts, adaptation, and vulnerability[M]. Cambridge and New York: Cambridge University Press, 2014.
- [23] 张蕾,霍治国,黄大鹏,等. 海南瓜菜春季干旱风险分析与区划[J]. 生态学杂志, 2014, 33(9): 2518-2527.
- [24] 王春乙,张雪芬,赵艳霞. 农业气象灾害影响评估与风险评价[M]. 北京:气象出版社, 2010.
- [25] 杨平,张丽娟,赵艳霞,等. 黄淮海地区夏玉米干旱风险评估与区划[J]. 中国生态农业学报, 2015, 23(1): 110-118.