

区域农业旱灾脆弱性评价及其影响因素

许朗^{1,2}, 张维诚¹

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

摘要:为加强区域农业旱灾风险管理,对河南、山东省农业旱灾脆弱性进行评价。结合相关文献与区域实际情况,从敏感性和恢复力2个角度选取12个指标,建立评价指标体系;运用熵值法和综合指数法构建旱灾脆弱性评价模型,计算区域内各城市的农业旱灾脆弱性指数;最后采用因子贡献度模型对关键影响因素进行识别。结果表明:研究区农业旱灾脆弱性级差化特征明显,总体处于中脆弱度状态;农业旱灾脆弱性空间差异显著,河南省脆弱性程度高于山东省;河南省农业旱灾脆弱性的主要影响因素有农业人口比重、复种指数和农村居民人均收入,山东省农业旱灾脆弱性的主要影响因素是有效灌溉面积比重、单位耕地面积农业用水量和人均财政收入。

关键词:农业旱灾;脆弱性评价;敏感性分析;恢复力;空间差异;影响因素

中图分类号:S423 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2018)02-0014-06

Assessment of regional agricultural drought vulnerability and main influencing factors//XU Lang^{1,2}, ZHANG Weicheng¹ (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: To improve the risk management of regional drought disaster, evaluation of agricultural drought vulnerability in Henan and Shandong was conducted. Combined with relevant literature and regional reality, 12 indicators in two perspectives of sensibility and resilience were selected to establish an evaluation index system. The indexes of agricultural drought vulnerability for cities in the study area were calculated by a vulnerability model based on entropy value method and comprehensive index method. Key influencing factors were identified by a factor contribution model. The results show that, relative significant disparity with different vulnerability levels exists among cities in the study area and the overall vulnerability level is moderate. The spatial difference of agricultural drought vulnerability is obvious and the vulnerability in Henan is higher than that in Shandong. The main influencing factors of agricultural drought vulnerability in Henan are the proportion of agriculture population, multiple-crop index and the income of rural residents per capita. The main influencing factors in Shandong are the proportion of effective irrigation area, agricultural water consumption per unit area and the average financial income.

Key words: agricultural drought; assessment of vulnerability; sensibility analysis; resilience; spatial difference; influencing factors

干旱在农业经济方面造成的影响主要是粮食及农牧业生产减产、农业病虫害加大等^[1]。随着全球环境的变化,干旱灾害呈现发生频率高、持续时间长、影响范围广等特点,对农业生产的影响越来越大^[2]。我国常年农作物因旱受灾面积约为0.20亿~0.27亿hm²,每年损失粮食达250亿~300亿kg,占各种自然灾害损失总量的60%以上^[3]。农业旱灾脆弱性是指农业生产系统易于遭受干旱威胁而造成损失的状态^[4],反映了一个地区农业生产系统对于干旱的适应和应对能力,脆弱性程度越强,说明在降水和防灾能力一定的情况下,越容易发生旱灾、灾害损失可能越

严重。因此,进行区域农业旱灾脆弱性的研究,对于预防旱灾以及防灾减灾具有重要意义。

目前,关于农业旱灾脆弱性的研究主要有两个角度。一类是基于宏观视角的区域农业旱灾脆弱性评价:陈萍等^[5]通过层次分析法和综合指数法对鄱阳湖生态经济区农业系统的旱灾脆弱性进行了评价;王莺等^[6]运用主成分分析方法确定评价指标权重,建立中国南方地区的旱灾脆弱性评价模型;李梦娜等^[7]将灰色关联聚类分析法和博弈论思想引入脆弱性评价,对关中5市的农业旱灾脆弱性进行了分析。另一类是基于微观视角的农户或者农作物旱

基金项目:国家自然科学基金(71573126);国家社会科学基金重大项目(13&ZD160)

作者简介:许朗(1961—),男,教授,博士,主要从事农业经济管理研究。E-mail: xulang@njau.edu.cn

灾脆弱性研究; Brant^[8]以巴西东北部的小农户为例,分析了影响家庭脆弱性的因素和对旱灾的响应能力; Zarafshani 等^[9]通过与 370 位种植小麦的农民的交流,分析得到伊朗西部地区农户的旱灾脆弱性; 严奉宪等^[10]从农户微观角度出发,以 Hoovering 模型为基础,对湖北省襄阳市曾都区的农户调查数据进行了实证分析; 王婷等^[11]利用 GIS 空间分析功能,对四川省水稻干旱脆弱性进行了评价。在研究方法的选择上,主要有综合指数法、图层叠置法、脆弱性函数模型评级法等,其中综合指数法由于其简单、容易操作,在脆弱性评价中被广泛应用。该方法应用于以区域为单位的脆弱性评价中,往往从社会、经济、环境等方面综合衡量脆弱性,能够兼顾承灾系统的要素复杂性,适用性较强^[12-13]。本文选择河南、山东两省作为研究区域,从敏感性和恢复力 2 个角度选取 12 个指标,建立评价指标体系,运用综合指数法构建脆弱性模型,定量评价研究区域农业旱灾脆弱性程度,以期为研究区干旱风险的主动防控工作提供数据与理论支持。

1 研究区概况与指标选择

1.1 研究区概况

河南、山东省处于黄淮海地区的中心地带,是我国重要的农业生产基地,据统计^[14],两省的粮食总产量约占全国的 20%。黄淮海地区是中国主要的冬小麦和夏玉米种植区^[15],年降水量 400 ~ 600 mm,但受季风型气候的影响,降水在地区上分布不均匀,季节间变化更是剧烈,7—8 月的降水量约占全年的 45% ~ 65%,秋、冬、春三季均为水分亏缺的干旱期。在全球气候变暖的背景下,未来中国气候总体上呈现暖干状态,半干旱地区的扩大趋势明显,黄淮海地区将经历最干旱的时段^[16-17]。作为黄淮海地区重要的粮食生产大省,河南、山东省的农业生产将受到巨大影响。因此,针对河南、山东省进行干旱脆弱性评价显得尤为重要。

1.2 指标选择

农业旱灾脆弱性的影响因素众多,主要可以分为敏感性和恢复力两大类。敏感性主要反映自然环境、社会经济对旱灾的敏感程度,农业系统的敏感性越强,旱灾脆弱性越大;恢复力主要反映人类社会防备、应对灾害以及灾害后恢复的能力,农业系统的恢复力越强,旱灾脆弱性越弱。根据研究区域的实际情况,结合科学性、全面性和可操作等原则,从敏感性和恢复力两个角度出发,选取了 12 个评价指标。

敏感性选择水资源、产业结构以及土地利用 3 个方面的 6 个指标因子进行测度。水资源选取降

水量和耕地亩均水资源占有量 2 个指标,降水量越大,农作物的水分补给越充足,旱灾越不容易发生;耕地亩均水资源占有量反映了区域水资源的丰裕程度。产业结构选取农业 GDP 比重和农业人口比重 2 个指标,农业 GDP 比重反映了农业的产值在整个区域生产总值中的比例,该比例越高说明区域对农业的依赖程度越大,同样的旱灾强度,对农业的相对影响越大;农业人口比例反映了区域的城镇化水平,该比例越高,说明城镇化水平越低,对农业的依赖程度越高,脆弱性程度越高。土地利用变化对农业旱灾脆弱性有很大影响,其中耕地面积比重指标反映了区域农业生产系统面对于旱影响时的暴露程度,暴露程度越大越易孕育旱灾;复种指数指一年内在同一块耕地上种植农作物的平均次数,该指标数值越大说明用地强度越强,需水量越多,在致灾强度和防灾能力一定的情况下,更易发生旱灾。

恢复力选取农业灌溉条件、经济水平和农业投入 3 个方面 6 个指标因子进行测度。农业灌溉条件选取有效灌溉面积比重和单位面积农业用水量 2 个指标,指标值越大,说明农业的灌溉用水条件越好,旱灾越不容易发生。经济水平指标选择人均财政收入和农村居民人均收入,指标值越大,说明社会发展水平和发展程度越高,应对农业旱灾的能力越强。农业投入选取单位面积农膜使用量和单位面积农用机械总动力 2 个指标,指标值越大,说明农民对农业的投入和重视程度越高,对土壤健康有着非常重要的意义,因此越有利于灾后的恢复。

根据指标性质可以将指标分为正向与负向两类,正向指标与旱灾脆弱性呈正相关关系,指标值越大,脆弱性程度就越大,负向指标的性质与正向指标相反,值越大,脆弱性程度就越小。12 个指标及其性质见表 1,指标权重计算过程见下文。

表 1 农业旱灾脆弱性评价指标设置

目标层	准则层	指标层	指标性质	指标权重
农业旱灾脆弱性	敏感性	X_1 :降水量(mm)	负	0.048 5
		X_2 :耕地亩均水资源占有量(m^3)	负	0.044 2
		X_3 :农业人口比重(%)	正	0.104 8
		X_4 :农业 GDP 比重(%)	正	0.139 1
		X_5 :复种指数	正	0.109 1
		X_6 :耕地面积比重(%)	正	0.077 0
	恢复力	X_7 :有效灌溉面积比重(%)	负	0.150 2
		X_8 :单位面积农业用水量(m^3/hm^2)	负	0.085 7
		X_9 :农村居民人均收入(元)	负	0.089 5
		X_{10} :人均财政收入(元)	负	0.074 2
		X_{11} :单位面积农膜使用量(kg/hm^2)	负	0.049 6
		X_{12} :单位面积农用机械总动力(kW/hm^2)	负	0.028 1

本文所用的数据来源主要有《河南省统计年鉴(2015)》《山东省统计年鉴(2015)》《河南省水资源

公报 (2005—2014 年)》和《山东省水资源公报 (2005—2014 年)》以及部分地级市统计年鉴。由于降水量年际变化较大,本文采用 10 年平均值 (2005—2014 年),其他指标选用 2014 年的数据,缺失年份的数据用 2013 年份的代替。

2 农业旱灾脆弱性评价模型

2.1 数据标准化处理

在对区域农业旱灾脆弱性评价前,首先对数据进行无量纲标准化处理。正向指标与负向指标的处理方式不同,计算公式分别为

S_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{jmin}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \tag{1}

S_{ij} = \frac{X_{jmax} - X_{ij}}{X_{jmax} - X_{jmin}} \tag{2}

式中:S_{ij}为经过处理的无量纲标准值;X_{ij}为第*i*个城市的第*j*项评价指标;X_{jmax}和X_{jmin}分别为第*j*项评价指标的最大值和最小值。S_{ij}越接近于0,说明其对农业旱灾脆弱性的贡献越小;越接近于1,贡献越大。

2.2 熵值法确定指标权重

熵值法作为一种客观赋权法,可避免主观赋权的臆断性,还可以克服多指标变量间信息的重叠问题。因此,本文采用熵值法得到各指标的权重(表1),熵值法计算步骤如下:

a. 将各指标同度量化,计算第*j*项指标下,第*i*城市占该指标的比重*p_{ij}*:

p_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^n S_{ij}} \quad (i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m) \tag{3}

式中:*n*为样本(城市)个数;*m*为指标个数。

b. 计算指标信息熵*e_j*:

e_j = -k \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \quad (e_j \in (0, 1)) \tag{4}

其中 $k = \frac{1}{\ln n}$

c. 计算差异系数*d_j*:

d_j = 1 - e_j \tag{5}

d. 计算指标权重*w_j*:

w_j = \frac{d_j}{\sum_{j=1}^m d_j} \tag{6}

2.3 脆弱性评价模型

加权综合评分法在多指标评价中应用比较广泛,本文应用该方法构建农业旱灾脆弱性评价模型,脆弱性程度用脆弱性指数来表示,具体评价模型为

V_i = \sum_{j=1}^m w_j S_{ij} \tag{7}

式中:*V_i*为第*i*个城市的脆弱性指数;*S_{ij}*为第*i*个城市第*j*项指标的标准化值。

为了更加清晰地探讨区域农业旱灾脆弱性的空间分布差异与结构特征,针对敏感性和恢复力两个维度展开加权综合评分,分别命名为敏感性指数与恢复力指数,其计算原理及步骤与脆弱性指数的一致,只是计算敏感性指数与恢复力指数的指标集与计算脆弱性指数的指标集不同。另外,由于计算恢复力指数的指标集在脆弱性评价中是负向指标,在计算该指数的过程中使用的是标准化值,因此该指数的值越高,反而说明恢复力越弱。

2.4 区域农业旱灾脆弱性分级

对于干旱脆弱性分级问题,目前还没有统一的标准,本文利用自然断裂法对脆弱性程度进行分级^[18],该方法是一种地图分级算法,认为数据本身就有断点,可利用数据这一特点分级(表2)。

表2 区域农业旱灾脆弱性综合测度分级标准

农业旱灾脆弱性分级	脆弱性指数
低 脆 弱 度	<0. 346 1
较低脆弱度	0. 346 2 ~ 0. 441 0
中度脆弱度	0. 441 1 ~ 0. 548 7
较强脆弱度	0. 548 8 ~ 0. 680 6
强 脆 弱 度	>0. 680 7

2.5 因子贡献度计算模型

脆弱性评价不仅要要对脆弱程度的空间格局进行分析,更要明确影响脆弱性的关键因素,以期为评价单元降低脆弱性程度提供科学的政策建议,因此,引入因子贡献度模型用于分析负向目标(脆弱性)的主要贡献因子^[19-20]:

c_{ij} = \frac{w_j S_{ij}}{\sum_{j=1}^{12} w_j S_{ij}} \times 100\% \tag{8}

式中*c_{ij}*为第*j*项指标对第*i*个城市农业旱灾脆弱性的贡献度。

3 结果分析

3.1 区域农业旱灾脆弱性等级差异分析

研究区域35个城市的脆弱性指数、敏感指数与恢复指数见表3。由表3可知,研究区域35个城市的农业旱灾脆弱性指数平均值为0.5320,按表2中脆弱性分级标准,处于中度脆弱状态。山东省东营市农业旱灾脆弱性指数最低,为0.2716,其次是山东省淄博市,为0.2973,脆弱性指数最高的为河南省周口市,为0.8239,不同城市之间脆弱性指数差距明显,最高得分是最低得分的3倍。根据农业旱

灾脆弱性指数,按照自然断裂点法将脆弱性分为5个级别,每个级别的平均脆弱性指数从低到高依次为0.3180、0.4119、0.5121、0.6239和0.7605,处于5级脆弱度的城市平均脆弱指数是处于1级脆弱度的城市平均脆弱指数的2.4倍,组别之间的差距也比较明显。农业旱灾脆弱性呈现一定的级差化分异特征。

对城市数量进行分级统计分析,发现处于中脆弱度和较强脆弱度的城市数量最多,分别占城市总数的25.71%和28.57%,两者总和占城市总数的54.28%。处于低脆弱度、较低脆弱度和强脆弱度的城市数量相当,分别为6个、5个和5个,分别占城市总数的17.14%、14.29%和14.29%。研究区域35个城市农业旱灾脆弱性等级总体上呈现3级、4级多,1级、2级少的情况。

3.2 区域农业旱灾脆弱性空间差异分析

图1为研究区域农业旱灾脆弱性空间分布示意图。由图1可以清楚地看到河南地区农业旱灾脆弱程度明显高于山东地区。河南省18个城市的农业旱灾脆弱性指数平均值为0.6186,按表2,其脆弱性等级属于较强脆弱程度,具体来看,河南省处于强脆弱度和较强脆弱度的城市分别有5个和10个,共占河南省地市数量的83%,强脆弱度的5个城市集中在豫东以及豫南地区,豫北、豫西和豫中地区以较强脆弱度为主,属于低和较低脆弱度的城市只有3个,按脆弱性指数从低到高分别是郑州(0.3740)、济源(0.3825)和焦作(0.4357)。山东省属于中度脆弱度的城市最多,有8个,占山东省城市数量的47%,

在空间分布上,中北部地区以及东部半岛地区脆弱性指数明显低于山东省其他地区。另外,作为评价脆弱性程度的两个重要变量,敏感性指数与恢复力指数整体上与脆弱性指数表现出比较好的一致性,河南地区敏感性指数和恢复力指数平均值均高于山东省,表明在面对相同强度的致灾强度时,河南地区更易形成干旱灾害,恢复力指数越高说明河南地区在干旱灾害发生之后的恢复能力要弱于山东地区(表3、图1)。

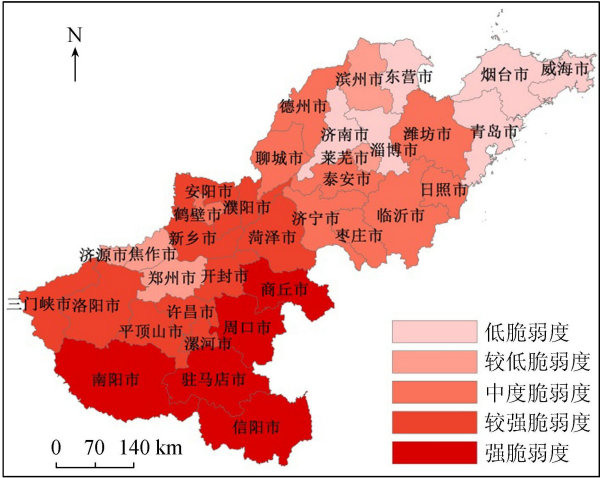


图1 区域农业旱灾脆弱性空间分布示意图

3.3 区域农业旱灾脆弱性影响因素识别

为了揭示敏感性与恢复力对区域农业旱灾脆弱性的影响程度,运用相关分析方法对敏感性指数与旱灾脆弱性指数以及恢复力指数与旱灾脆弱性指数进行分析。结果表明:敏感性指数与旱灾脆弱性指数之间具有显著的相关关系,相关系数为0.866(在

表3 河南、山东省各市农业旱灾脆弱性指数对比

河南省				山东省			
城市	敏感性指数	恢复力指数	旱灾脆弱性指数	城市	敏感性指数	恢复力指数	旱灾脆弱性指数
郑州	0.1687	0.2053	0.3740	济南	0.1877	0.1543	0.3419
开封	0.4384	0.2421	0.6806	青岛	0.1540	0.1900	0.3440
洛阳	0.2202	0.3938	0.6140	淄博	0.1434	0.1539	0.2973
平顶山	0.2650	0.3406	0.6055	枣庄	0.2527	0.2556	0.5083
安阳	0.3863	0.2482	0.6345	东营	0.1471	0.1245	0.2716
鹤壁	0.2922	0.2140	0.5062	烟台	0.1337	0.2124	0.3461
新乡	0.3397	0.2435	0.5832	潍坊	0.2571	0.2307	0.4878
焦作	0.2878	0.1480	0.4357	济宁	0.2995	0.1861	0.4856
濮阳	0.4033	0.2320	0.6353	泰安	0.2621	0.2515	0.5135
许昌	0.3470	0.2878	0.6348	威海	0.1278	0.1792	0.3070
漯河	0.3750	0.2951	0.6701	日照	0.1746	0.3252	0.4997
三门峡	0.1662	0.4103	0.5765	莱芜	0.1499	0.2762	0.4262
南阳	0.3439	0.3691	0.7130	临沂	0.2061	0.3420	0.5481
商丘	0.4747	0.2887	0.7635	德州	0.3169	0.1949	0.5119
信阳	0.3381	0.3642	0.7023	聊城	0.3664	0.1824	0.5487
周口	0.4837	0.3402	0.8239	滨州	0.2516	0.1894	0.4410
驻马店	0.4315	0.3683	0.7998	菏泽	0.3625	0.2420	0.6045
济源	0.1359	0.2466	0.3825				
均值	0.3277	0.2910	0.6186	均值	0.2231	0.2171	0.4402

0.01 检验水平上显著);恢复力指数与农业旱灾脆弱性指数呈现显著的相关关系,相关系数为 0.714 (在 0.01 检验水平上显著)。可见,敏感性与恢复力的强弱与区域农业旱灾脆弱性程度有密切联系,而且敏感性对脆弱性的作用比恢复力对脆弱性的作用略为突出。为了进一步厘清影响农业旱灾脆弱性的影响因素,根据式(8) 计算结果,确定贡献度大于 10% 的指标作为各市农业旱灾脆弱性的贡献因子,结果如表 4 所示,按河南省、山东省以及全区域分别统计各贡献因子出现的频率(表 5),出现频率大于 50% 的贡献因子视为各省和全区域农业旱灾脆弱性的主要贡献因子。

由表 5 可知,河南省农业旱灾脆弱性的主要贡献因子有农业人口比重(X_3 , 83.33%)、复种指数(X_5 , 77.78%)和农村居民人均收入(X_9 , 72.22%)。农业人口比重反映了人民生活对于农业的依赖程度,同时也反映了易损人群的数量,农村居民人均收入则反映了社会经济的发展水平,尤其是农村经济的发展水平,直接关系到农业旱灾发生之后农民应对旱灾的能力大小。因此未来河南省应注重结构调整和产业升级,继续推进城镇化建设,让农业人口适当流向城市支持第三产业,降低经济对农业的依赖程度,提高农村居民的收入。同时河南省作为农业大省,肩负着国家粮食安全的重任,农业的基础要巩固,要提升,必须要推进农业的规模化、产业化和集约化发展,提高农业现代化水平。另外河南省人口压力较大,人口与资源间的矛盾比较突出,一定程度上影响了农村居民的人均收入水平,因此降低农业旱灾脆弱程度需要适当控制人口的增长速度;而复种指数反映了土地的利用强度,所以为降低农业旱灾脆弱性应适当减少农作物的播种面积,提高农作物的产出效率。

山东省农业旱灾脆弱性的主要贡献因子是有效灌溉面积比重(X_7 , 58.82%)、单位耕地面积农业用水量(X_8 , 52.94%)和人均财政收入(X_{10} , 58.82%)。有效灌溉面积比重和单位耕地面积农业用水量反映了农业的灌溉用水条件,灌溉条件对于抵御干旱灾害的发生以及灾害发生后的恢复有着重要的意义,因此为降低农业旱灾脆弱程度应提高水利工程供水能力,保证耕地灌溉率,同时选择适宜

表 4 各市农业旱灾脆弱性的贡献因子排序

		(按贡献度递减)				
城 市		贡献因子排序				
		1	2	3	4	5
郑 州		X_7	X_8	X_5	X_1	X_2
开 封		X_5	X_4	X_3	X_9	
洛 阳		X_7	X_9	X_8	X_5	
平 顶 山		X_8	X_9	X_5	X_3	X_7
安 阳		X_5	X_6	X_3	X_{10}	
鹤 壁		X_5	X_{10}	X_9	X_6	
新 乡		X_5	X_3	X_{10}	X_9	X_4
焦 作		X_5	X_{10}	X_3	X_1	X_9
濮 阳		X_3	X_5	X_9	X_6	X_{10}
许 昌		X_5	X_8	X_3	X_6	
漯 河		X_5	X_6	X_8	X_3	
三 门 峡		X_7	X_8	X_9	X_3	
南 阳		X_7	X_4	X_3	X_5	X_{10}
商 丘		X_4	X_5	X_3	X_9	
信 阳		X_4	X_3	X_9	X_{10}	X_8
周 口		X_4	X_5	X_3	X_9	
驻 马 店		X_4	X_3	X_8	X_9	
济 源		X_7	X_1	X_9	X_3	X_{10}
济 南		X_5	X_7	X_6		
青 岛		X_8	X_7	X_2	X_6	
淄 博		X_7	X_1	X_5	X_{10}	
枣 庄		X_5	X_8	X_3	X_{10}	
东 营		X_1	X_{11}	X_2	X_8	X_9
烟 台		X_7	X_8			
潍 坊		X_8	X_7			
济 宁		X_5	X_3	X_4	X_6	X_{10}
泰 安		X_5	X_7	X_{10}		
威 海		X_8	X_7	X_4		
日 照		X_7	X_8	X_3	X_{10}	
莱 芜		X_7	X_{10}	X_8		
临 沂		X_7	X_8	X_{10}		
德 州		X_6	X_3	X_5	X_{10}	
聊 城		X_3	X_5	X_6	X_4	X_{10}
滨 州		X_3	X_6			
荷 泽		X_3	X_5	X_6	X_{10}	X_9
济 源		X_7	X_1	X_9	X_3	X_{10}

的节水灌溉方法,提高水分的利用率;干旱灾害发生后,需要全社会尤其是政府组织抗旱,人均财政收入直接影响政府财政支出的有效运行,对于灾后的恢复起到重要作用,山东省虽然 GDP 总量较大,位于全国前列,财政却总是拮据,税源并不充足,政府融资较困难^[21],因此需要在提高 GDP 质量、培养税源等方面不断完善。

总体来说,区域农业旱灾脆弱性主要受农业依赖程度、土地利用强度、灌溉条件和社会经济水平 4 个方面的影响,河南省和山东省的侧重点各不相

表 5 各贡献因子出现频率 %

区 域	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9	X_{10}	X_{11}	X_{12}
河南省	16.67	5.56	<u>83.33</u>	38.89	<u>77.78</u>	27.78	33.33	44.44	<u>72.22</u>	44.44	0.00	0.00
山东省	11.76	11.76	41.18	17.65	<u>47.06</u>	41.18	<u>58.82</u>	<u>52.94</u>	17.65	<u>58.82</u>	5.88	0.00
全区域	14.29	8.57	<u>62.86</u>	28.57	<u>62.86</u>	34.29	45.71	48.57	45.71	<u>51.43</u>	2.86	0.00

注:加下划线的数值为主要贡献因子的出现频率。

同,而作为旱灾形成的重要影响因子水资源状况对于区域农业旱灾脆弱性的影响程度有限。

4 结论与讨论

从敏感性和恢复力 2 个维度出发建立区域农业干旱脆弱性评价体系,通过熵值法得到指标权重,用综合指数法构建脆弱性评价模型,结合 ArcGIS 技术,对区域农业旱灾脆弱性进行评价,通过贡献度模型对主要影响因素进行了识别与分析。结果表明:研究区域内 35 个城市农业旱灾脆弱性程度空间差异显著,河南省 83% 的城市属于强脆弱度和较强脆弱度,豫东以及豫南地区脆弱程度最高,豫北、豫西和豫中地区以较强脆弱度为主;山东省属于中度脆弱度的城市最多,占山东省城市数量的 47%;在空间分布上,中北部地区以及东部半岛地区脆弱性指数明显低于其他地区;总体而言,河南省脆弱性程度高于山东省。就影响因素而言,影响河南省农业旱灾脆弱性程度的关键因素有农业人口比重、复种指数和农村居民人均收入,影响山东省农业旱灾脆弱性程度的关键因子是有效灌溉面积比重、单位耕地面积农业用水量和人均财政收入。总体来说,研究区域农业旱灾脆弱性主要受农业依赖程度、土地利用强度、灌溉条件和社会经济水平 4 个方面的影响。

本文基于区域综合脆弱性评价模型,定量计算了研究区域各市农业旱灾脆弱性程度,并就其空间差异与影响因素进行了分析与探讨,对于区域防灾减灾、科学应对干旱灾害有一定的参考价值。但是本文在脆弱性指标选取时因受到数据收集的限制,多考虑人为因素,而较少考虑自然因素,比如土壤类型、地貌地形等条件对于干旱灾害的形成以及灾后的恢复都有一定影响,指标体系的构建还需进一步的深化;其次以市级行政单元作为研究单元略显粗糙,大尺度范围内过于宏观的评价缺乏深层次机制和原理的探究,对于反映区域内部的差异性可能有所欠缺。以上问题需要在今后的研究中继续探索。

参考文献:

[1] 方红远,甘升伟,余莹莹. 我国区域干旱特征及干旱灾害应对措施分析[J]. 水利水电科技进展,2005,25(5):16-19. (FANG Hongyuan, GAN Shengwei, YU Yingying. Regional drought characteristics in China and some counter-measures [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2005, 25(5):16-19. (in Chinese))

[2] 喻忠磊,杨新军,石育中. 关中地区城市干旱脆弱性评价[J]. 资源科学,2012,34(3):581-588. (YU Zhonglei, YANG Xinjun, SHI Yuzhong. Evaluation of

urban vulnerability to drought in Guanzhong Area [J]. Resources Science,2012,34(3):581-588. (in Chinese))

[3] 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,2007,99(1):185-189,211. (YAO Yubi, ZHANG Cunjie, DENG Zhenyong. Overview of meteorological and agricultural drought indices [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2007, 99(1):185-189,211. (in Chinese))

[4] 曹永强,马静,李香云,等. 投影寻踪技术在大连市农业干旱脆弱性评价中的应用[J]. 资源科学,2011,33(6):1106-1110. (CAO Yongqiang, MA Jing, LI Xiangyun, et al. Application of the projection pursuit technique in assessment of agricultural drought vulnerability in Dalian [J]. Resources Science,2011,33(6):1106-1110. (in Chinese))

[5] 陈萍,陈晓玲. 鄱阳湖生态经济区农业系统的干旱脆弱性评价[J]. 农业工程学报,2011,27(8):8-13. (CHEN Ping, CHEN Xiaoling. Evaluating drought vulnerability of agricultural system in Poyang Lake Ecological Economic Zone, China [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(8):8-13. (in Chinese))

[6] 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. (WANG Ying, WANG Jing, YAO Yubi, et al. Evaluation of drought vulnerability in southern China based on principal component analysis [J]. Ecology and Environmental Sciences, 2014, 23(12):1897-1904. (in Chinese))

[7] 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. (LI Mengna, QIAN Hui, QIAO Liang. Evaluation of agricultural vulnerability to drought in Guanzhong Area [J]. Resources Science, 2016, 38(1):166-174. (in Chinese))

[8] BRANT S. Assessing vulnerability to drought in Ceara Northeast Brazil [D]. Ann Arbor: University of Michigan, 2007.

[9] ZARAFSHANI K, LIDA S, HOSSEIN A, et al. Drought vulnerability assessment: the case of wheat farmers in Western Iran [J]. Global and Planetary Change,2012,98-99,122-130.

[10] 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. (YAN Fenzhen, ZHANG Gangren, ZHU Zengcheng. Comprehensive evaluation on vulnerability of agricultural drought disaster based on rural household level: a case study of rural household survey in Zengdu District, Xiangyang City Hubei Province [J]. Journal of Huazhong Agricultural University (Social Science Edition), 2012(1):11-16. (in Chinese))

(下转第 43 页)

overtopping[M]. Washington, D. C. : U. S. Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 1955.

[2] SAVILLE T. Large-scale model tests of wave run up and overtopping on shore Structures [M]. Washington, D. C : U. S. Army, Corps of Engineers, Beach Erosion Board, 1958.

[3] YUICHI I, AKIRA S, MASAO I. Effect of wave height and sea water level on wave overtopping and wave run-up[J]. Coastal Engineering in Japan, 1965, 8: 141-151.

[4] WEGGLE J R. Wave overtopping equation [C]// Proceedings of 15th Conference on Coastal Engineering. Honolulu: ASCE, 1976.

[5] OWEN M W. Design of seawalls allowing for overtopping [R]. Wallingford: HR Wallingford, 1980.

[6] OWEN M W. Overtopping of sea defences [C]// Proceeding of International. Conference on Hydraulic Modelling of Civil Engineering. Coventry: BHRA Structures, 1982.

[7] OWEN M W. Effectiveness of recurved wave return wall [R]. Wallingford: HR Wallingford, 1991.

[8] 章家昌, 周家宝, 王红. 越浪量模型试验研究报告 [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1992.

[9] 王红, 周家宝, 章家昌. 越浪量模型试验研究报告 (补充

内容的条文和说明) [R]. 南京: 南京水利科学研究院, 1995.

[10] 陈国平. 波浪爬高及越浪量研究 [R]. 南京: 河海大学, 2008.

[11] 陈国平, 周益人, 琚烈红. 海堤护面型式对波浪爬高和越浪的影响 [J]. 水运工程, 2005 (10): 28-30. (CHEN Guoping, ZHOU Yiren, JU Liehong. Influence of protective styles of seawall on wave runup and overtopping [J]. Port & Waterway Engineering, 2005 (10): 28-30. (in Chinese))

[12] 陈国平, 周益人, 严士常. 不规则波作用下海堤越浪量试验研究 [J]. 水运工程, 2010 (3): 1-6. (CHEN Guoping, ZHOU Yiren, YAN Shichang. Test study on wave overtopping under irregular wave action [J]. Port & Waterway Engineering, 2010 (3): 1-6. (in Chinese))

[13] 常江, 柳淑学, 李金宣. 斜坡堤堤顶宽度对越浪量影响的试验研究 [J]. 水动力学研究与进展: A 辑, 2014 (5): 544-551. (CHANG Jiang, LIU Shuxue, LI Jingxuan. Experimental research on influence of the crest width on overtopping discharge over sloping breakwater [J]. Chinese Journal of Hydrodynamics (Part A), 2014 (5): 544-551. (in Chinese))

(收稿日期: 2017 - 04 - 06 编辑: 郑孝宇)

+++++

(上接第 19 页)

[11] 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. (WANG Ting, YUAN Shujie, WANG Jing, et al. Study on vulnerability of drought hazard affected rice in Sichuan Province [J]. Journal of Natural Disasters, 2013, 22 (5): 221-226. (in Chinese))

[12] 李鹤, 张平宇, 程叶青. 脆弱性的概念及其评价方法 [J]. 地理科学进展, 2008, 27 (2): 18-25. (LI He, ZHANG Pingyu, CHENG Yeqing. Concepts and assessment methods of vulnerability [J]. Progress in Geography, 2008, 27 (2): 18-25. (in Chinese))

[13] 雍国正, 刘普幸, 姚玉龙, 等. 河西绿洲城市干旱脆弱性评价 [J]. 土壤, 2014, 46 (4): 749-755. (YONG Guozheng, LIU Puxing, YAO Yulong, et al. Evaluation of vulnerability to drought in Hexi Oasis [J]. Soils, 2014, 46 (4): 749-755. (in Chinese))

[14] 中华人民共和国国家统计局. 中国统计年鉴 (2015) [M]. 北京: 中国统计出版社, 2015.

[15] 谭金芳, 韩燕来. 华北小麦-玉米一体化高效施肥理论与技术 [M]. 北京: 中国农业大学出版社, 2012.

[16] 赵俊芳, 郭建平, 徐精文, 等. 基于湿润指数的中国干湿状况变化趋势 [J]. 农业工程学报, 2010, 26 (8): 18-24. (ZHAO Junfang, GUO Jianping, XU Jingwen, et al. Trends of Chinese dry-wet condition based on wetness index [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2010, 26 (8): 18-24. (in Chinese))

[17] 郝晶晶, 陆桂华, 闫桂霞, 等. 气候变化下黄淮海平原的干旱趋势分析 [J]. 水电能源科学, 2010, 28 (11): 12-14. (HAO Tingjing, LU Guihua, YAN Guixia, et al. Analysis of drought trend in Huanghuaihai Plain based on climate change [J]. Water Resources and Power, 2010, 28 (11): 12-14. (in Chinese))

[18] 方创琳, 王岩. 中国城市脆弱性的综合测度与空间分异特征 [J]. 地理学报, 2015, 70 (2): 234-247. (FANG Chuanglin, WANG Yan. A comprehensive assessment of urban vulnerability and its spatial differentiation in China [J]. Acta Geographica Sinica, 2015, 70 (2): 234-247. (in Chinese))

[19] 徐晗. 基于熵权法的陕西省农业干旱脆弱性评价及影响因子识别 [J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34 (3): 198-205. (XU Han. Assessment of agricultural drought vulnerability and identification of influencing factors based on the entropy weight method [J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2016, 34 (3): 198-205. (in Chinese))

[20] 苏飞, 张平宇. 基于集对分析的大庆市经济系统脆弱性评价 [J]. 地理学报, 2010, 64 (4): 454-464. [SU Fei, ZHANG Pingyu. Vulnerability assessment of petroleum city's economic system based on set pair analysis: a case study of Daqing City [J]. Acta Geographica Sinica, 2010, 64 (4): 454-464. (in Chinese))

[21] 黄少安. 山东经济结构调整的维度和重点 [J]. 东岳论丛, 2013, 34 (12): 5-12. (HUANG Shaoan. The dimensions and key points of economic restructuring in Shandong [J]. Dongyue Tribune, 2013, 34 (12): 5-12. (in Chinese))

(收稿日期: 2017 - 03 - 26 编辑: 骆超)