

基于 ND-GAIN 模型的河南省农业抗灾能力评价

韩红,冯光辉,邓国取

(河南科技大学管理学院,河南 洛阳 471023)

摘要:借鉴美国圣母大学全球气候适应指数(ND-GAIN)评价模型,采用熵权法确定各因子权重,构建河南省农业抗灾能力指标评价体系和模型,分别从脆弱程度和准备程度两个方面对河南省农业抗灾能力进行了分析,探讨了河南省18个地市2010—2018年农业抗灾能力的强弱演化、空间分布特征以及主要影响因素,并利用ArcGIS软件绘制其抗灾能力空间分布图。结果表明:2010—2018年河南省农业抗灾能力呈上升态势;除郑州、洛阳以及南阳等部分地市外,河南省农业抗灾能力水平整体偏低,且存在显著的地区差异;整体呈现西部高、东南低、南北偏弱的趋势,其中郑州市综合得分最高,鹤壁市综合得分最低;脆弱性指数差异较小,准备程度指数差异较大,准备程度差异是造成农业抗灾能力水平明显差异的主要原因。

关键词:农业抗灾能力;ND-GAIN 评价模型;脆弱性;雷达图;河南省

中图分类号:X43 **文献标志码:**A **文章编号:**1006-7647(2022)01-0067-08

Evaluation of agricultural disaster resilience in Henan Province based on ND-GAIN model//HAN Hong, FENG Guanghui, DENG Guoqu(*School of Management, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471023, China*)

Abstract: The evaluation system and model of agricultural resilience index in Henan Province were constructed based on the Notre Dame Global Adaptation Index (ND-GAIN) model developed by University of Notre Dame, and the entropy weight method was used to determine the weight of each factor. The environment of agricultural resilience in Henan from the aspects of vulnerability and preparation degree was investigated respectively. The evolution, spatial distribution and main influencing factors of agricultural resilience in 18 cities of Henan Province from 2010 to 2018 was discussed, and the spatial map of the resilience grades was drawn by ArcGIS software. The results show that the general agricultural resilience of Henan Province is on the rise but however, except for Zhengzhou, Luoyang and Nanyang, the overall level of agricultural resilience is still low with significant regional differences. The overall trend is high in the west, low in the southeast and weaker in the north and south, among which Zhengzhou and Hebi has the highest and lowest comprehensive score respectively. The difference in vulnerability index is relatively small, and the difference in readiness index is relatively large, which is the main reason for the obvious difference of agricultural disaster resistance.

Key words: agricultural disaster resilience; ND-GAIN assessment model; vulnerability; radar maps; Henan Province

在2020年4月召开的中国农业展望大会上,国家农业农村部提出加强农业灾害分析预警和信息发布,加快完善中国农业信息监测预警体系^[1]。我国地域辽阔,自然地理和气候条件复杂多样,自然灾害频发。农业灾害的发生导致农作物生长受到抑制而减产甚至绝产,使社会经济受损,严重影响人们的日常生活和社会活动^[2]。2019年,全国农作物受灾面积约为1.27亿hm²,损失粮食达293.72亿kg,约占粮食总产量的4.5%。农业抗灾能力是贯穿农业灾害始末的一个动态过程量,指农业系统在遭受外界

压力后,通过自我调节以及利用外部能量输入,保持自身系统结构和功能完整性的能力,反映了一个地区农业生产系统从灾害中调整、适应、恢复以及重建的能力。抗灾能力越强,系统可能遭受的后续影响和损失越小。因此,为有效地预防和控制农业灾害,必须迅速准确地了解农情、灾情,全面进行农业抗灾能力的评估。特别是在定量评价农业抗灾能力基础之上,探索农业抗灾能力空间分布特征及其影响因素,进而寻求防灾减灾的农业发展模式,这对降低农业灾害风险、减少灾害损失具有重要意义。

基金项目:国家社会科学基金(15AGL013);中国地震局重大政策理论与实践问题研究课题(CEAZY2019JZ09);河南省社科规划项目(2019BJJ030)

作者简介:韩红(1969—),女,教授,博士,主要从事农村金融风险研究。E-mail:my16397@163.com

通信作者:邓国取(1968—),男,教授,博士,主要从事风险管理研究。E-mail:dengguoqu@haust.edu.cn

国内对农业抗灾能力的研究,主要集中在洪涝干旱系统、水土资源系统、农业气象系统以及生态环境等方面^[3-6]。高立龙等^[7]基于灾害系统理论,探索了农田抗旱能力变化的内外驱动力以及影响抗灾能力提升的制约因素;刘常瑜等^[8]基于压力-状态-响应(PSR)理论,构建 TOPSIS-PSR 评价模型,计算了湖南省洪涝灾害抗灾能力指数。这些学者大多是针对单一灾种抗灾能力进行研究,缺少对综合灾害抗灾能力进行整体评价。从研究视角来看,国内研究多是基于宏观视角的区域农业抗灾能力评价,如陈萍等^[9]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抗灾能力进行了评价;刘东等^[10]基于拉格朗日极值原理,建立改进的 TOPSIS 模型,对建三江农业水灾恢复能力进行综合评价;李梦娜等^[11]基于灰色关联聚类分析法对陕西省 5 个地市的农业旱灾抗灾能力进行了综合评价;黎业等^[12]运用层次分析法、熵值法和主成分分析法对山东省农业抗旱能力进行分析。在研究方法的选择上,主要有综合指数法、可变模糊评价法、灰色关联聚类分析法、函数模型评级法等^[13]。其中综合指数评价法具有简单、易操作的特点,主要应用于以区域为单位的指数评价中,从经济、社会、基础设施以及农业脆弱性环境等方面综合衡量其抗灾能力,同时能够兼顾承灾系统影响因素的复杂性,适用能力较强。

总体看来,现有农业抗灾能力的研究多以某一种或某一类农业灾害的针对性指标体系和评价模型为主,且所选择的指标权重依赖于主观的判定,缺乏整体考虑。本文借鉴美国圣母大学全球气候适应指数(ND-GAIN)评价模型,从敏感性、暴露性、适应性、经济准备、社会准备和管理准备等方面,基于客观赋权的信息熵法,构建河南省农业抗灾能力评价指标体系及评价模型,并结合 GIS 技术分析 2010—2018 年河南省 18 个地市的农业抗灾能力、区间异质性及其主要影响因素,以期为提高河南省农业抗灾能力、缩小区域间农业抗灾能力差异和确保国家粮食生产安全提供参考。

1 评价方法和评价指标体系

1.1 评价方法

ND-GAIN 是由美国圣母大学开发的一套综合评估国家或地区抵御自然灾害能力以及适应能力的评估体系^[14],它概括了一个国家或地区在应对气候变化等全球性挑战方面的脆弱程度,以及提高自然灾害应变能力的意愿。从 1995 年开始,圣母大学每年会发布全球 192 个国家的脆弱性指数和准备程度指数并进行排名,在 2017 年公布的 ND-GAIN 排名

中,中国位列第 57 名^[15]。

ND-GAIN 模型包括两个方面:一是国家或地区在气候变化方面的脆弱程度,主要从敏感性、暴露性和适应性等三方面进行衡量,涉及食品供应、饮水安全、生态系统、医疗卫生、人居环境和基础设施等领域;二是国家或地区在经济、社会以及组织管理方面为应对自然灾害所做的准备程度,主要从经济准备、管理准备和社会准备等三方面来衡量,同时还会参考国家的发展情况、社会不平等和教育程度。该指数模型的目的在于加强世界各国或地区对适应气候变化和对自身抗灾能力的认识,协助决策者做出决策,在综合评估区域应对灾害能力方面具有一定的优势。

1.2 评价指标体系

1.2.1 评价指标体系构建

以 ND-GAIN 评价模型为基础,将区域农业抗灾能力评价模型分为农业灾害脆弱性指数模型和农业抗灾准备程度指数模型两个部分。综合考虑河南省自然地理、水文气象、农业环境等实际情况,参考相关专家学者的研究成果^[16-28],以及《国家综合防灾减灾规划(2016—2020)》《气象发展规划(2019—2025)》中的任务要求,遵循系统、科学的原则,经过一系列指标的替换和筛选,考虑数据的合理性和可获得性,构建了一个包含 21 个三级指标的河南省农业抗灾能力评价体系,如图 1 所示,其中敏感性和暴露性指标为负向指标,其他指标为正向指标。

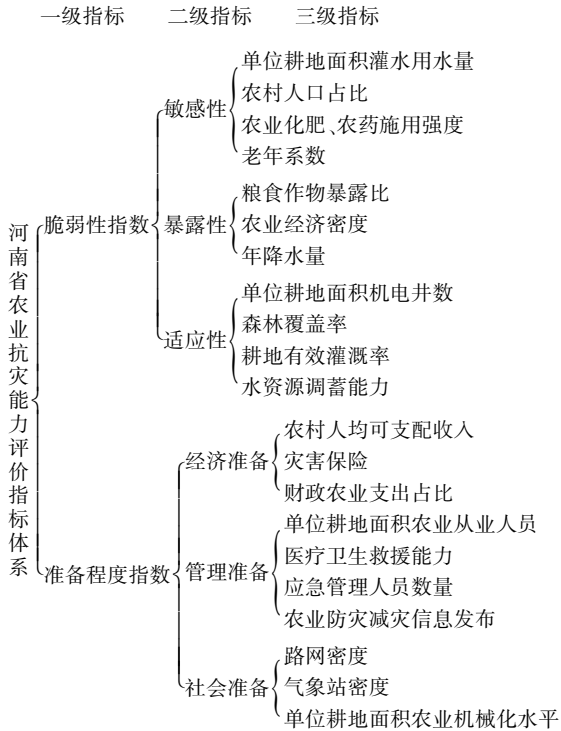


图 1 河南省农业抗灾能力评价指标体系

a. 脆弱性指数。在自然灾害、气候变化领域,脆弱性是指系统由于灾害等不利影响而遭受损害的

程度或可能性。脆弱性指数主要从敏感性、暴露性和适应性等三方面来衡量。脆弱性指数越大,则该农业系统抗灾能力越弱。敏感性是指承灾体对自然环境变化的敏感程度和应对灾害损失的难易程度;暴露性是指在农业灾害发生过程中承灾体可能受到影响的程度和范围;适应性是指农业系统响应外界压力、自我调节恢复的可持续性能力。

b. 准备程度指数。准备程度指数是指国家或地区在社会管理、经济支撑、农业工程等方面为抵御和减轻自然灾害所做的准备程度。从经济准备、社会准备和管理准备等三方面来探讨,其中前两方面侧重于长期农业抗灾准备因素,第三方面侧重于应急抗灾准备因素。

1.2.2 数据标准化及权重计算

a. 数据标准化。参考 ND-GAIN 计算公式,结合各评价指标的数据特征,对数据进行预处理。在数据的统计过程中,由于部分地市某些年份指标存在数据缺失情况,采用线性插值法对数据进行估算填充;在数据的处理方面,为消除量纲差异对综合评价的影响,对原始数据进行标准化处理,正向指标标准化公式和负向指标标准化公式分别如下:

$$X'_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{ijmin}}{X_{ijmax} - X_{ijmin}} \tag{1}$$

$$X'_{ij} = \frac{X_{ijmax} - X_{ij}}{X_{ijmax} - X_{ijmin}} \tag{2}$$

式中: X_{ij} 为原始指标数据; X'_{ij} 为指标标准化数据; X_{ijmax} 为原始指标数据最大值; X_{ijmin} 为原始指标数据最小值。

b. 指标权重计算。为保障指标权重的客观性,采用熵权法确定评价指标的权重,计算公式为

$$e_j = -\ln(n^{-1}) \sum_{i=1}^n p_{ij} \ln p_{ij} \tag{3}$$

$$w_j = \frac{1 - e_j}{n - \sum_{j=1}^n e_j} \tag{4}$$

其中

$$p_{ij} = \frac{X'_{ij}}{\sum_{i=1}^n X'_{ij}}$$

式中: e_j 为熵值, $0 \leq e_j \leq 1$; n 为指标个数; w_j 为权重。

1.2.3 抗灾能力评价得分模型

参考 ND-GAIN 模型中指标的计算方法,二级指标值对应三级指标的权重系数之和,一级指标对应二级指标的平均值。其中脆弱性指数最优得分为 0,越低越好;准备程度指数最优得分为 1,越高越好。脆弱性指数、准备程度指数和抗灾能力指数计算公式分别为

$$V = \frac{\sum_{j=1}^n (w_j X'_{ij})}{n} \tag{5}$$

$$P = \frac{\sum_{j=1}^n (w_j X'_{ij})}{n} \tag{6}$$

$$N = (P - V + 1) \times 50 \tag{7}$$

式中: V 为脆弱性指数; P 为准备程度指数; N 为抗灾能力指数。

2 研究区域概况与数据来源

2.1 研究区域概况

河南省地处黄淮海地区的中心地带,下辖 18 个地级市,平原盆地、山区丘陵面积分别占全省土地总面积的 55.7% 和 44.3%,是我国重要的农业生产基地。近年来河南省农业经常遭受干旱、洪涝、霜冻等自然灾害的影响,给河南省经济稳定发展带来重大影响。因此,科学有效地对河南省农业抗灾能力进行评价对于提升抗灾能力、稳固经济发展具有重要指导意义。

2.2 数据来源

以 2010—2018 年为时间尺度,考虑到数据的可得性和实用性,数据来源均是由政府部门发布的标准统计数据,主要有《河南省统计年鉴(2010—2018)》《河南省水资源公报(2010—2018)》《河南省农村统计年鉴(2010—2018)》《河南省各市国民经济和社会发展统计公报》以及各地气象、应急部门发布的数据。

3 结果与分析

3.1 空间差异分析

根据式(5)(6)(7),计算得出 2010—2018 年河南省各地市抗灾能力指数、脆弱性指数和准备程度指数得分,利用 ArcGIS10.6 软件绘制出农业抗灾能力空间分布图。将各地市的农业抗灾能力发展程度划分 4 个等级: $N>70$,抗灾能力强; $50<N\leq 70$,抗灾能力处于中上等级; $30<N\leq 50$,抗灾能力处于中等水平; $N\leq 30$,抗灾能力较差。用不同的颜色进行标注,区域颜色越深,表示该地区农业抗灾能力越强,见图 2。

如图 2 所示,总体来看,从 2010 年到 2018 年,河南省农业抗灾能力呈上升态势,但各地市农业抗灾能力评价指数得分偏低,且呈现西高东低、中部高于南北的空间特征,主要原因是南北部易受大风、洪涝等气象性灾害影响。抗灾能力水平相对高的地区多分部在西部、中部以及西南等经济相对发展较快的地区,譬如郑州、洛阳、南阳等地,这些地区城镇化

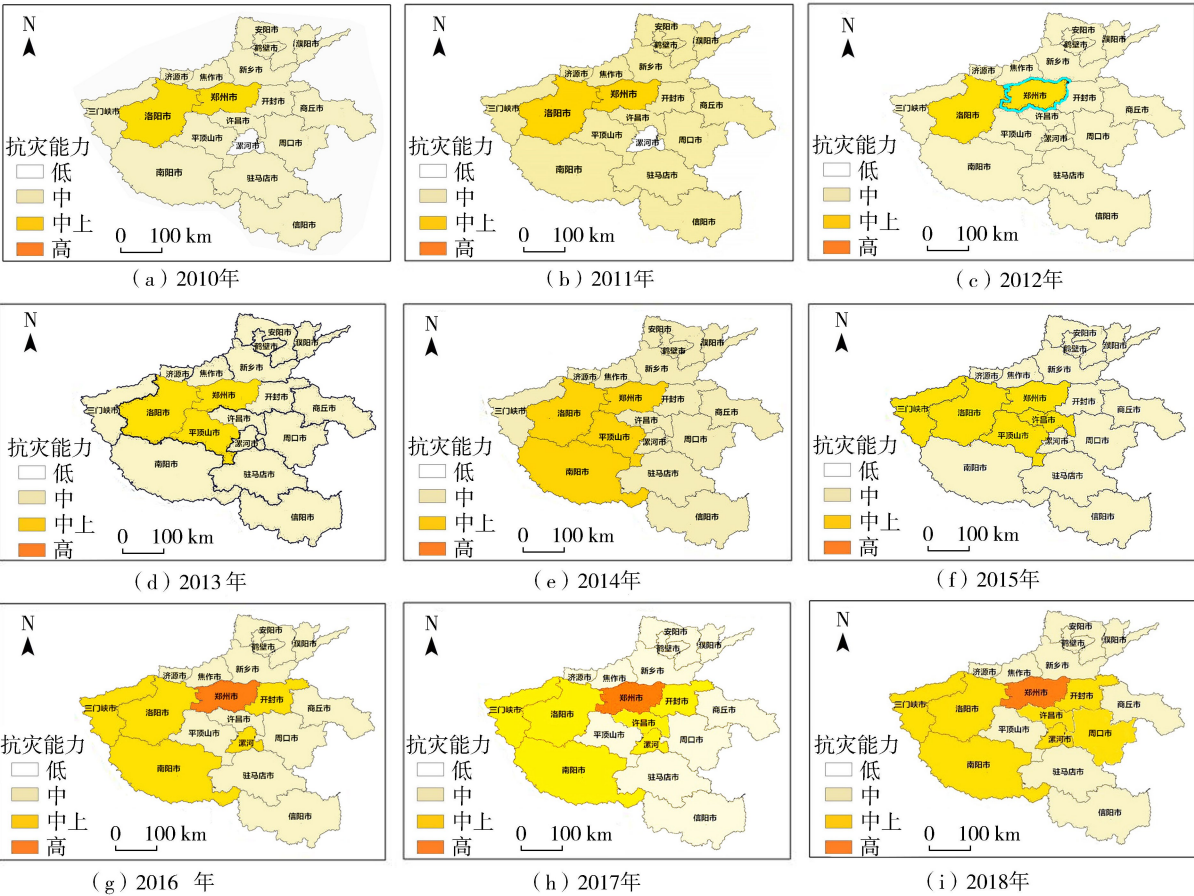


图2 2010—2018年河南省农业抗灾能力空间分布

率较高,且当地经济、社会以及管理准备水平相对较高,在预防、应对以及适应农业自然灾害时能积极快速地进行恢复与增强。低值区因受洪涝、山地灾害等影响,多分布在东部平原和南北部的山地及丘陵地区,如信阳、濮阳、商丘等地,粮食作物暴露比、农业经济密度较大,较高的农业脆弱性导致这些地区面对灾害极易遭受巨大损失,急需当地政府组织有效防御工作,加强农业抗灾能力建设。

截至2018年,农业抗灾能力水平最高的是郑州市,抗灾能力指数为72.35;最低的是鹤壁市,抗灾

能力指数为34.42,差异较大。但是随着落后地区经济、农业结构调整不断优化,《国家综合减灾防灾规划》方针政策的落实,农业生产现代化水平不断提升,西高东低、中部高南北低的空间差异将不断缩小。相比2010年和2018年,2015年空间差异最小。

3.2 农业脆弱性指数与准备程度指数

为了更加直观地感受河南省各地市农业抗灾能力随时间的动态变化,绘制脆弱性指数和准备程度指数序时雷达,见图3。

a. 脆弱性指数。从时间尺度来看:①2010—

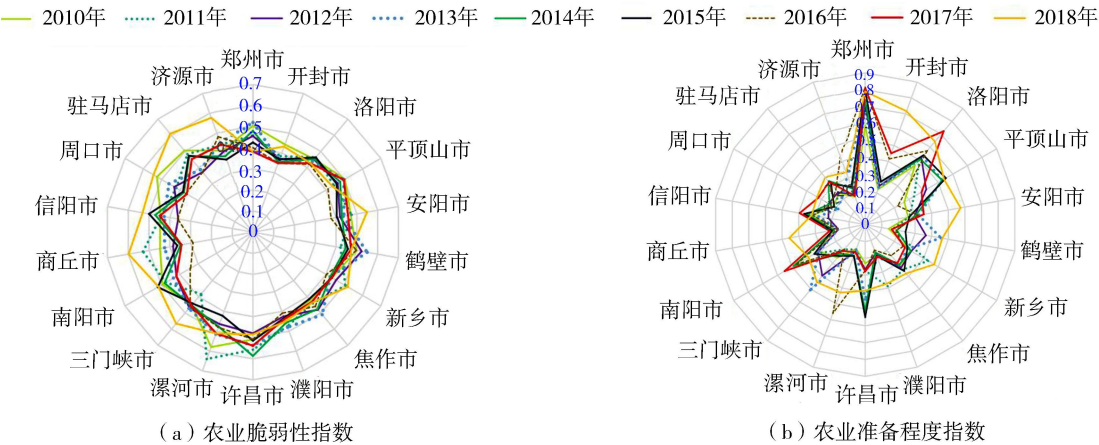


图3 河南省各地市农业脆弱性指数、准备程度指数序时雷达

2018 年河南省农业抗灾能力脆弱性指数总体偏高,大部分地市分布在 0.4~0.7 之间;②2013 年、2014 年、2016 年、2017 年和 2018 年各地市脆弱性指数大多分布在 0.4~0.5 之间,脆弱性指数有降低趋势。从空间范围来看:①各地市之间脆弱性指数差异较小,但是同一地区不同时间尺度下差异较大。②脆弱性指数与抗灾能力呈负相关,郑州市、洛阳市、开封市脆弱性指数相对较小,历年变化范围不大;而济源市、驻马店市、周口市以及商丘市脆弱性指数相对较大,且历年波动较大,说明这些地区农业灾害敏感性较高,脆弱性较大,农业抗灾能力较弱。

b. 准备程度指数。从时间尺度来看:①河南省区域农业抗灾准备程度总体偏低,2010—2015 年绝大部分地市准备程度指数在 0.1~0.3 之间,表明各地市应对农业自然灾害的准备程度较低,防灾减灾的准备能力不足,农业灾害环境下的自我修复能力较低。②2010—2018 年各地区准备程度指数整体呈现递增态势;随着河南省三农现代化建设工程的推进,2016—2018 年各地市农业抗灾准备程度明显逐年提高。从空间区域来看:①各地市准备程度指数差异较大,同一地区在不同时间尺度下准备程度指数呈现增大趋势,说明河南省各地市应对农业灾害的准备能力不断增强。②准备程度指数与抗灾能力呈正相关,其中郑州市、洛阳市、开封市等经济相对发展较快的地区准备程度指数相对较高,信阳市、驻马店市、周口市以及济源市准备程度指数相对较低,这与地区的经济发展强弱有较大关系。

3.3 ND-GAIN 矩阵分析

ND-GAIN 矩阵提供了一种可视化工具,可用于快速比较分析不同国家或地区的脆弱性和准备程度,该矩阵根据评价单元脆弱性指数和准备程度指数的中位数划分为 4 个象限。将河南省各地市农业抗灾能力脆弱性指数值和准备程度指数值按照从大到小排序,选取脆弱性指数值和准备程度指数值的中位数,分别作为纵轴和横轴的分割点,由分割点延伸相交,得到 4 个象限,横轴表示准备程度指数,纵轴表示脆弱性指数,见图 4。2018 年河南省各地市脆弱性指数和准备程度指数分布划分如下:①整体敏感型(左上象限):该区域为因自身农业脆弱性较高而易受气候变化影响,易遭受巨大农业损失,且准备程度较低的地区。这些地区迫切需要加强灾害防御力量来提高自身抗灾能力,如周口市、商丘市、濮阳市等。②适应滞后型(左下象限):该区域为应对气候变化反应迟缓,防御能力、脆弱性较低的地区。尽管它们的脆弱性相对较低,但该地区农业会因为准备程度低而导致自然灾害的适应性滞后,如安阳

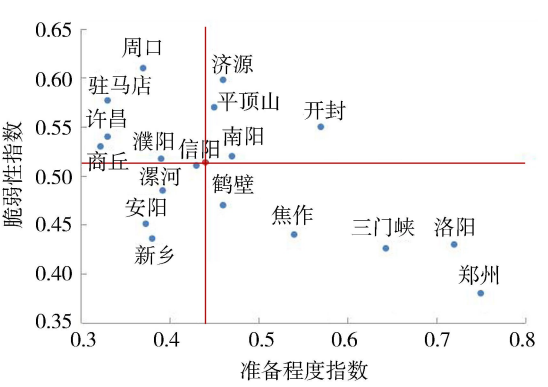


图4 河南省各地市脆弱性指数和准备程度指数 ND-GAIN 矩阵分析

市、新乡市、漯河市等。③准备领先型(右上象限):该区域为易受气候变化影响但准备程度较高的地区。由于该地区农业对自然灾害适应的条件较高,急需采取一定的防备措施来提高自身的抗灾能力。与准备程度较低的地区相比,该地区相对较高的社会经济支撑能力能较大程度减小自然灾害对农业经济的损害,如平顶山市,开封市、南阳市等。④整体完备型(右下象限):该区域为受气候变化影响程度较低且准备程度较高的地区,脆弱性相对较低,抗灾能力较强。该地区并没有达到完美的脆弱性指数得分,仍需采取积极措施以提高抗灾能力,如郑州市,洛阳市、三门峡市等。

如图 4 所示,河南省各地市的脆弱性指数和准备程度指数主要集中在左上象限和右下象限。主要原因是各地市气候环境、地理位置、经济发展水平的不同造成 ND-GAIN 矩阵每个象限中地区分布会有差异,准备程度较为充分的地区脆弱性相对较低,在面对农业灾害时具有较强的抗灾能力。随着准备能力的不断提高,将会有越来越多的地区分布在整体完备型区域。

3.4 农业抗灾能力子系统区间异质性分析

为进一步分析影响河南省农业抗灾能力空间异质性的原因以及空间分布特征,以 ArcGIS10.6 软件为技术平台,分别从敏感性、暴露性、适应性、经济准备、社会准备和管理准备等 6 个因素进行可视化分析,揭示各地区农业抗灾能力存在的薄弱环节,数据取用 2010—2018 年各指标均值。采用自然断点法对各子系统影响因素进行划分,如图 5 所示。

a. 脆弱性评价子系统区间异质性。脆弱性评价子系统影响因素包括敏感性、暴露性和适应性。河南省东部以及南部农业风险敏感性、暴露性明显高于西部及北部地区,但济源市除外;适应性则大致呈现西高东低、北强南弱的局面,与敏感性、暴露性空间分布特征大致吻合。整体来看,河南省各地市

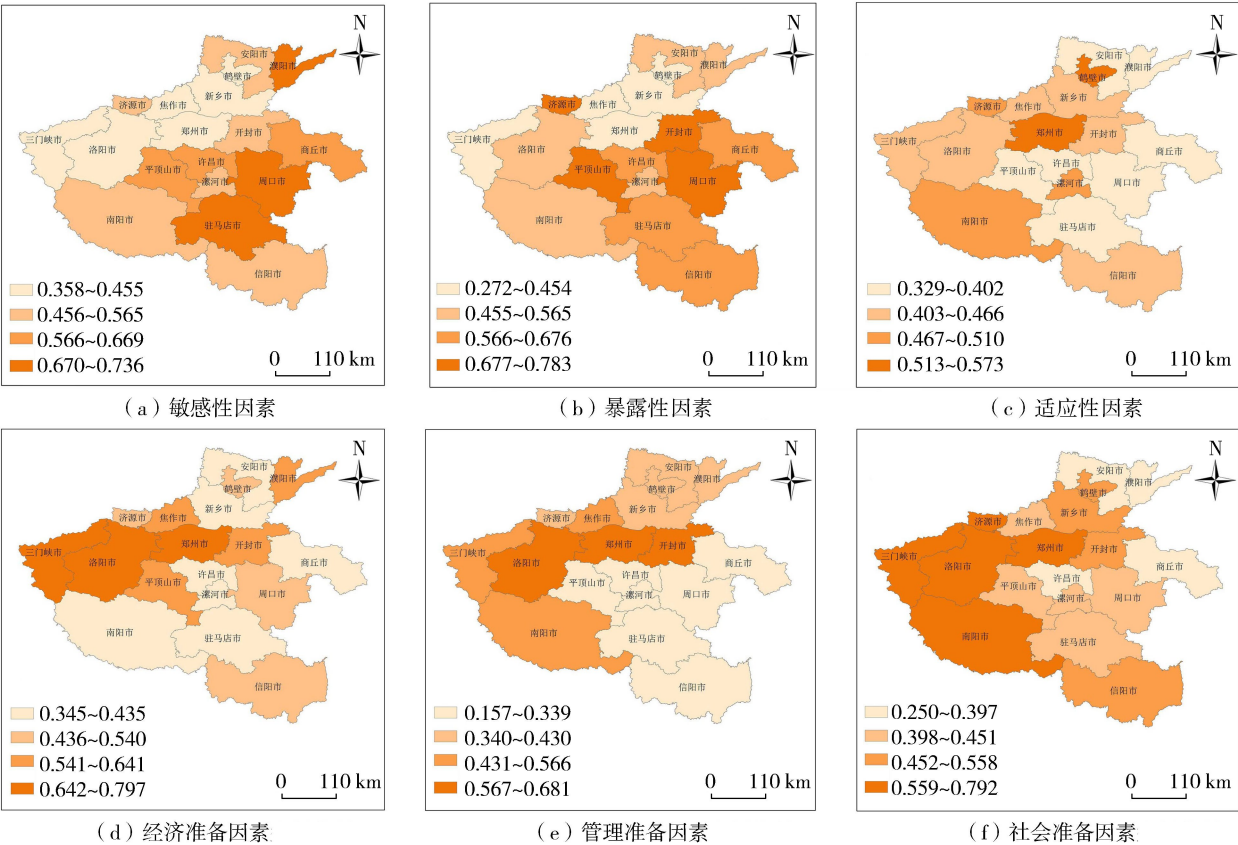


图5 河南省农业抗灾能力影响因素空间格局

脆弱性评价指数较高、差异较小。就区域而言,周口市和驻马店市面对农业自然灾害风险的敏感性和暴露性较高,响应外界压力、自我调节恢复的适应能力不足,脆弱性指数较高,因而两者的抗灾能力处于低等水平;郑州市、洛阳市和三门峡市的敏感性、暴露性程度均较低,适应性能力评价较高,所以脆弱性指数较低,农业抗灾能力水平相对较高。综上说明,降低农业风险压力下的敏感性和暴露性是降低农业脆弱性、提高农业抗灾能力的重点所在。根据子系统关键影响因素作用进而改善当地农业风险压力状况,也是今后提高农业抗灾能力的优选方向。但由于两者是农业抗灾的内在属性,难以精确衡量,因此各地区应积极采取措施提高农业适应能力,降低脆弱性,实现农业资源的可持续发展。

b. 准备程度评价子系统区间异质性。准备程度评价子系统影响因素包括经济准备、管理准备和社会准备。整体来看,河南省中西部地区的准备程度明显高于东南部地区,整体分布不均且区域差异较为明显,其中管理准备因素南北差异较大;从地区来看,郑州市和洛阳市在经济准备、管理准备、社会准备等方面均具有优势,其原因是开封市在农业灾害应急管理方面投入较大,而济源市作为河南省唯一的全域城乡一体化示范区,农业规模化、产业化,在社会管理能力建设方面更为突出;处于东南部的

驻马店市、许昌市、商丘市和周口市多平原,易受干旱、洪涝等自然灾害影响,经济发展水平相对较低,资源保障力度不足,社会管理能力较弱,很大程度影响了农业抗灾能力的发挥;北部的安阳市和濮阳市在农业工程防御建设方面亟须加强,应积极提高节水灌溉率和机械化水平,加强农业工程建设,提高抗灾能力。因此,提高农业抗灾能力不仅要加快自身经济发展,也要重视社会应急管理等相关制度建设,尽可能把农业抗灾从只侧重于灾害暴发后的应对和恢复,转移到农业灾害风险的预测、预防和抵御等准备上来,落实各部门防灾减灾工作,营造公共危机预防文化氛围,开展民众应急科普知识的宣传活动,科学精准评估农业风险和自身抗灾能力,同时动员社会各界力量积极支援农业抗灾救灾,加强农业抗灾基础设施建设,为区域农业的抗灾防护工作提供充分准备。

4 结论

a. 河南省农业抗灾能力发展不均衡。河南省农业抗灾能力整体处于中等偏下水平,各地区发展不均衡,脆弱性指数差异较小,准备程度指数差异明显。脆弱性评价子系统的暴露性、敏感性是农业的内在特质,是影响农业脆弱性的主要影响因素;准备程度评价子系统则包括经济、社会、自然等多方面复杂属性,社会经济支撑能力是农业抗灾减灾最根本的

保障。各地区农业受经济、水文、地貌、气候、土壤等因素影响,抗灾能力的提升路径侧重点也各不相同。

b. 河南省农业抗灾能力区域差异较大。空间上,河南省农业抗灾能力呈现西部高、东南低、南北偏弱的特征。其中东南部脆弱性较高,准备程度较高的区域主要分布在郑州、洛阳、三门峡等经济相对发展较快的中西部地区。对河南省 18 个地市农业抗灾能力由强到弱进行了排序,得出抗灾能力较高的地区是郑州市、洛阳市和三门峡市,抗灾能力较低的地区是周口市、鹤壁市和驻马店市。

c. 各地区准备程度差异是影响农业抗灾能力水平差异的主要因素。一个地区的准备程度决定了该地区的救灾反应能力和灾后的恢复能力。因此,高水平的抗灾能力除了降低承灾系统的敏感性和暴露性以外,还应做好农业抗灾的准备工作,从风险来临时被动的“撞击式”反应转变为主动式自我评估和防御,经济后勤保障、应急响应管理、农业工程建设缺一不可。

d. 系统全面的评价指标体系和有效的评价方法是农业抗灾能力评价的基础和保障。农业生产系统是一个复杂系统,由于部分数据难以获取和量化,农业抗灾能力的影响因素难以表征和选取全面。不同区域抗灾能力行为在不同的时空显现出不同的影响力,因此针对不同的农情、区情和灾情,应采取不同的防灾减灾管理措施,构建新型有效的预防适应机制。

参考文献:

[1] 张永恩. 2019 中国农业展望大会:信息引领农业高质量发展[J]. 世界农业,2019(5):封二. (ZHANG Yongen. China agricultural outlook conference 2019: information-led high-quality agricultural development [J]. World Agriculture,2019(5):cover 2. (in Chinese))

[2] 方兴义. 基于 EPIC 模型的农业旱灾风险模糊评估方法[J]. 灾害学,2020,35(3):55-58. (FANG Xingyi. Method of agricultural drought risk estimation based on EPIC model[J]. Journal of Catastrophology,2020,35(3):55-58. (in Chinese))

[3] 曾微波,侯婷婷,杨灿灿,等. 基于遥感监测的农业洪涝灾害评估方法研究[J]. 安徽农业科学,2019,47(23):251-254. (ZENG Weibo,HOU Tingting,YANG Cancan,et al. Study on agricultural flood disaster assessment method based on remote sensing monitoring [J]. Anhui Agricultural Sciences,2019,47(23):251-254. (in Chinese))

[4] 韩健楠,李永红,刘海南,等. 基于综合防治体系抗灾能力的泥石流沟风险评价[J]. 灾害学,2018,33(1):230-234. (HAN Jiannan,LI Yonghong,LIU Hainan,et al. Debris flow gully risk assessment based on disaster resistance of integrated control system [J]. Journal of

Catastrophology,2018,33(1):230-234. (in Chinese))

[5] 许朗,张维诚. 区域农业旱灾脆弱性评价及其影响因素[J]. 水利水电科技进展,2018,38(2):14-19,43. (XU Lang,ZHANG Weicheng. Vulnerability assessment of regional agricultural drought and its influencing factors [J]. Advances in Science and Technology of Water Resources,2018,38(2):14-19,43. (in Chinese))

[6] 房世波,阳晶晶,周广胜. 30 年来我国农业气象灾害变化趋势和分布特征[J]. 自然灾害学报,2011,20(5):69-73. (FANG Shibao,YANG Jingjing,ZHOU Guangsheng. Trend and distribution of agrometeorological disasters in China in the past 30 years [J]. Journal of Natural Disasters,2011,20(5):69-73. (in Chinese))

[7] 高立龙,苏筠. 湖南鼎城水田农作区农户农业旱灾后恢复力评价研究[J]. 湖南农业科学,2011(19):57-61. (GAO Lilong,SU Yun. Study on the evaluation of farmers' resilience to agricultural drought in shuitian farming area of Dingcheng District of Hunan [J]. Hunan Agricultural Sciences,2011(19):57-61. (in Chinese))

[8] 刘常瑜,尚书,赵强,等. 基于 GIS 和 TOPSIS-PSR 的湖南省洪涝灾害后恢复力评价[J]. 水电能源科学,2018,36(1):70-73. (LIU Changyu,SHANG Shu,ZHAO Qiang,et al. GIS and TOPSIS-PSR based resilience assessment of Hunan flood disaster [J]. Hydroelectric Energy Science,2018,36(1):70-73. (in Chinese))

[9] 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. Drought vulnerability assessment of agricultural systems in the Poyang Lake eco-economic zone [J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering,2011,27(8):8-13. (in Chinese))

[10] 刘东,徐磊,朱伟峰. 基于最优组合赋权和改进 TOPSIS 模型的区域农业水资源恢复力评价[J]. 东北农业大学学报,2019,50(6):86-96. (LIU Dong,XU Lei,ZHU Weifeng. Evaluation of regional agricultural water resources resilience based on optimal combination weighting and improved TOPSIS model [J]. Journal of Northeast Agricultural University,2019,50(6):86-96. (in Chinese))

[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. (LI Mengna,QIAN Hui,QIAO Liang. Vulnerability assessment of agricultural drought in Guanzhong Region [J]. Resource Science,2016,38(1):166-174. (in Chinese))

[12] 黎业,覃志豪,独文惠,等. 基于组合优化的山东省农业抗旱能力综合评价[J]. 中国农学通报,2019,35(35):134-140. (LI Ye,QIN Zhihao,DU Wenhui,et al. Comprehensive evaluation of agricultural drought resistance in Shandong Province based on combination optimization [J]. Chinese Agricultural Science Bulletin,2019,35(35):134-140. (in Chinese))

[13] 赵丹,刘东,武秋晨. 基于 DPSIR-TOPSIS 模型的区域农业水资源系统恢复力评价[J]. 中国农村水利水电,

- 2014(7):52-56. (ZHAO Dan, LIU Dong, WU Qiuchen. Resilience evaluation of regional agricultural water resources system based on DPSIR-TOPSIS model [J]. China Rural Water and Hydropower, 2014(7):52-56. (in Chinese))
- [14] CHEN C, NOBLE I, HELLMANN J, et al. University of Notre Dame global adaptation index country index technical report [R]. South Bend: University of Notre Dame, 2015.
- [15] 邓国取, 李丽, 邓楚实. 基于 ND-GAIN 的河南省抗灾能力评价研究[J]. 安全与环境工程, 2020, 27(3): 90-96, 162. (DENG Guoqu, LI Li, DENG Chushi. ND-GAIN-based evaluation of disaster resistance in Henan Province [J]. Safety and Environmental Engineering, 2020, 27(3): 90-96, 162. (in Chinese))
- [16] 李宁, 张正涛, 郝晓琳. 社会生态脆弱性相互关系的计量推断方法[J]. 地理科学进展, 2016, 35(2): 214-222. (LI Ning, ZHANG Zhengtao, HAO Xiaolin. Measurement inference method of the relationship between society and ecological vulnerability [J]. Progress in Geography, 2016, 35(2): 214-222. (in Chinese))
- [17] 吴洪珍. 基于主导因子的湖南省农业灾害风险评价[J]. 中国农业资源与区划, 2019, 40(9): 84-91. (WU Hongzhen. Agricultural disaster risk assessment in Hunan Province based on dominant factors [J]. Chinese Journal of Agricultural Resources and Regional Planning, 2019, 40(9): 84-91. (in Chinese))
- [18] 覃志豪, 徐斌, 李茂松, 等. 我国主要农业气象灾害机理与监测研究进展[J]. 自然灾害学报, 2005, 14(2): 61-69. (QIN Zhihao, XU Bin, LI Maosong, et al. Research progress on mechanism and monitoring of major agrometeorological disasters in China [J]. Journal of Natural Disasters, 2005, 14(2): 61-69. (in Chinese))
- [19] 邓金钱, 何爱平. 地方财政支农支出提升农业生产抗灾能力研究: 基于中国省际面板数据的实证检验[J]. 灾害学, 2017, 32(1): 5-10. (DENG Jinqian, HE Aiping. Research on local fiscal expenditure in supporting agriculture to improve agricultural production's disaster resilience: an empirical test based on China's provincial panel data [J]. Journal of Catastrophology, 2017, 32(1): 5-10. (in Chinese))
- [20] 张浩, 李向阳, 刘昭阁. 案例-数据集成驱动的 CI 抗灾能力评估指标选择[J]. 中国安全生产科学技术, 2018, 14(4): 13-19. (ZHANG Hao, LI Xiangyang, LIU Zhaohe. Case-data integration driven CI disaster resilience evaluation index selection [J]. Journal of Safety Science and Technology, 2018, 14(4): 13-19. (in Chinese))
- [21] 谷洪波, 唐铠, 刘新意, 等. 我国农业水旱灾害的危害及防御体系的建构[J]. 湖南科技大学学报(社会科学版), 2013, 16(3): 123-126. (GU Hongbo, TANG Kai, LIU Xinyi, et al. The damage of agricultural floods and droughts in my country and the construction of defense system [J]. Journal of Hunan University of Science & Technology (Social Science Edition), 2013, 16(3): 123-126. (in Chinese))
- [22] 史培军, 袁艺. 重特大自然灾害综合评估[J]. 地理科学进展, 2014, 33(9): 1145-1151. (SHI Peijun, YUAN Yi. Comprehensive assessment of major natural disasters [J]. Progress in Geography, 2014, 33(9): 1145-1151. (in Chinese))
- [23] 何伟纯, 姜玉玲, 康江江, 等. 河南省经济差异的时空演变及其动力机制[J]. 地域研究与开发, 2016, 35(4): 22-26. (HE Weichun, JIANG Yuling, KANG Jiangjiang, et al. The temporal and spatial evolution and dynamic mechanism of economic disparity in Henan Province [J]. Areal Research and Development, 2016, 35(4): 22-26. (in Chinese))
- [24] 白蕤, 李宁, 陈汇林, 等. 海南岛农业洪涝灾害监测指标修订与灾害时空分布特征[J]. 干旱气象, 2019, 37(6): 1012-1020. (BAI Rui, LI Ning, CHEN Huilin, et al. Revision of agricultural flood disaster monitoring index and disaster spatiotemporal distribution characteristics in Hainan Island [J]. Journal of Arid Meteorology, 2019, 37(6): 1012-1020. (in Chinese))
- [25] 刘平. 财政如何支持农业防灾减灾体系建设[J]. 中国财政, 2006(7): 41-42. (LIU Ping. How does finance support the construction of agricultural disaster prevention and reduction system [J]. China State Finance, 2006(7): 41-42. (in Chinese))
- [26] 刘东, 齐晓晨, 朱伟峰. 基于 CRCI-GRA 模型的区域农业水土资源复合系统恢复力评价指标体系优选[J]. 东北农业大学学报, 2019, 50(1): 59-67. (LIU Dong, QI Xiaochen, ZHU Weifeng. Optimization of evaluation index system for resilience of regional agricultural water and soil resources composite system based on CRCI-GRA model [J]. Journal of Northeast Agricultural University, 2019, 50(1): 59-67. (in Chinese))
- [27] 向小华, 陈颖悟, 吴晓玲, 等. 城市二维内涝模型的 GPU 并行方法[J]. 河海大学学报(自然科学版), 2020, 48(6): 528-533. (XIANG Xiaohua, CHEN Yingwu, WU Xiaoling, et al. GPU parallelized algorithm of urban two-dimensional inundation model [J]. Journal of Hohai University (Natural Sciences), 2020, 48(6): 528-533. (in Chinese))
- [28] 谭玲, 叶汶华, 吴先华, 等. 基于灾害全过程的公众对于气象防灾减灾信息的需求分析: 基于 78287 份调查问卷的实证[J]. 灾害学, 2019, 34(4): 195-202. (TAN Ling, YE Wenhua, WU Xianhua, et al. Analysis of the public's demand for meteorological disaster prevention and mitigation information based on the entire disaster process-based on the empirical evidence of 78287 questionnaires [J]. Journal of Catastrophology, 2019, 34(4): 195-202. (in Chinese))

(收稿日期: 2021-11-25 编辑: 骆超)