

DOI:10.11705/j.issn.1672-643X.2021.05.32

2010 - 2018 年河北省农业干旱脆弱性评价

袁重乐^{1,2}, 石晓昕^{1,2}, 钱会^{1,2}, 王海科^{1,2}, 杨法暄^{1,2}

(1. 长安大学 水利与环境学院, 陕西 西安 710054; 2. 旱区地下水文与生态效应教育部重点实验室, 陕西 西安 710054)

摘要: 农业干旱是我国目前农业生产中面临的主要问题之一, 研究其脆弱性是科学应对干旱的前提。以河北省 11 个地级市作为研究对象, 从暴露度、敏感性、适应能力 3 个方面选取 14 个指标构建农业干旱脆弱性评价体系, 采用综合指数法对河北省 2010、2014 和 2018 年的农业干旱脆弱性进行时空分析, 并通过因子贡献度模型分析主要影响因素。结果表明: 从时间角度分析, 2010 - 2018 年河北省农业干旱脆弱性在整体上呈先上升后下降的趋势; 从空间角度分析, 2018 年除石家庄市和承德市外, 其余各地级市均处于中等及以下脆弱水平; 从因子贡献度模型来看, 总用水量对河北省农业干旱脆弱性的影响最大。因此, 提高用水管理能力和居民节水意识, 减小总用水量是降低河北省农业干旱脆弱性的关键。

关键词: 农业干旱脆弱性; 暴露度; 敏感性; 适应能力; 河北省

中图分类号: TV93

文献标识码: A

文章编号: 1672-643X(2021)05-0233-08

Vulnerability assessment of agricultural droughts in Hebei Province from 2010 to 2018

YUAN Chongle^{1,2}, SHI Xiaoxin^{1,2}, QIAN Hui^{1,2}, WANG Haike^{1,2}, YANG Faxuan^{1,2}

(1. School of Water and Environment, Chang'an University, Xi'an 710054, China; 2. Key Laboratory of Subsurface Hydrology and Ecological Effect in Arid Region (Chang'an University), Ministry of Education, Xi'an 710054, China)

Abstract: At present, droughts is one of the most prominent problems threatening the development of agriculture in China. The study on agricultural drought vulnerability is the premise of scientific response to droughts. Taking 11 prefecture-level cities in Hebei Province as research objects, we selected fourteen indicators from three aspects of exposure, sensitivity and adaptive capacity to construct an agricultural drought vulnerability assessment system. The comprehensive index method was used to conduct a spatio-temporal analysis of agricultural drought vulnerability of Hebei Province in 2010, 2014 and 2018. Besides, the main influencing factors were analyzed by factor contribution model. The results show that the agricultural drought vulnerability of Hebei Province from 2010 to 2018 showed an overall upward trend and then a downward trend temporally; from spatial perspective, all the prefecture-level cities were at a vulnerability level of medium or below in 2018, except Shijiazhuang City and Chengde City. According to the factor contribution model, the total water consumption had the greatest impact on the agricultural drought vulnerability of Hebei Province. Therefore, improving water management capabilities, encouraging the residents' awareness of water-saving and reducing total water consumption are the suggested key measures targeting the agricultural drought vulnerability of Hebei Province.

Key words: agricultural drought vulnerability; exposure; sensitivity; adaptive capacity; Hebei Province

1 研究背景

在社会经济快速发展的影响下, 干旱已成为目前全球范围内最主要的自然灾害之一。在全球气候

变化的背景下, 农业自然灾害不断发生, 其中干旱直接造成农作物产量降低、人民收入减少、食物短缺以及农作物生产力降低等, 持续干旱还会引起农业资源环境退化、水资源短缺和生态环境恶化, 严重制约

收稿日期: 2021-01-11; 修回日期: 2021-04-26

基金项目: 中央高校基本科研业务费专项资金项目(300102290401、300102291401、300102291402、300102291507); 国家 111 引智计划项目(B08039)

作者简介: 袁重乐(1997-), 男, 河南平顶山人, 硕士研究生, 主要从事水文地质方面的研究。

通讯作者: 钱会(1963-), 男, 陕西咸阳人, 教授, 博士, 博士生导师, 主要从事水文地质方面的研究。

了农业的发展^[1]。因此,如何合理有效地应对农业干旱已成为我国亟需解决的自然灾害问题。

干旱脆弱性最早是在 20 世纪 90 年代提出的,随着干旱灾害事件频发,区域不断扩展,干旱脆弱性成为自然灾害研究中的热点问题^[2-3]。众多的学者对于干旱脆弱性展开了大量研究,通过对其进行空间可视化,可以为防旱抗旱提供有效的解决方案。从研究领域来看,孔可莹等^[4]通过研究葫芦岛各县区的农业干旱脆弱性提出了针对性的改进措施;张坤等^[5]对怀化市 1962-2015 年的气候干旱进行了分析,结果表明秋旱最为严重;Wang 等^[6]对京津冀地区城市干旱脆弱性的时空特征进行了评价,为政府应对干旱提供了理论基础。从研究方法来看,程静^[7]对湖北省孝感市的农业干旱脆弱性采用模糊综合评价法进行了评价;曹永强等^[8]采用投影寻踪技术对大连市农业干旱脆弱性的时空特征进行了分析,为农业干旱脆弱性的评价提供了一个新的思路;此外 GIS 评价法^[9]、密切值法^[10]、函数模型评价法^[11]等方法在干旱脆弱性的评价中也都有所应用。

农业干旱是我国目前农业生产中面临的主要问题之一,河北省作为农业大省,其农业发展是河北省经济发展的基础,研究其农业干旱脆弱性并提出相应的应对策略,可以为河北省农业生产发展提供参考和指导^[12-13]。本文利用河北省统计资料,从暴露度、敏感性、适应能力 3 个方面选取 14 个指标,结合熵权法和函数模型评价法,分别从时间和空间角度分析河北省农业干旱脆弱性。根据评价结果,对河北省 11 个地级市的农业干旱脆弱性进行等级划分,并通过因子贡献模型分析其主要影响因子,提出针对性建议,对河北省乡村振兴战略和农业产业化保持稳定健康发展具有重要的参考意义。

2 数据来源与研究方法

2.1 研究区概况

河北省位于我国华北地区,总面积 18.88×10^4 km²,地理坐标为 $113^{\circ}27'E \sim 119^{\circ}50'E$, $36^{\circ}05'N \sim 42^{\circ}40'N$,主要属于温带大陆性季风气候,年平均气温为 $10 \sim 20^{\circ}C$,降水量由西北向东南增加,季节性差异较大,全省多年平均降水量为 484.5 mm。2018 年河北省总用水量为 182.42×10^8 m³,其中农业用水占比最大,全年粮食总产量在恶劣天气增加的情况下依然高达 370.1×10^8 kg^[14],但农业用水效率普遍不高。

2.2 数据来源

本文选取 14 个指标对河北省 11 个地级市构建农业干旱脆弱性评价指标体系,各项指标数据来源为 2010、2014 和 2018 年《河北省统计年鉴》和《河北水资源公报》。

2.3 研究方法

2.3.1 脆弱性评价体系构建 河北省的农业干旱主要是由自然因素和社会经济因素的共同作用造成的,因此构建的脆弱性评价体系是基于政府间气候变化专门委员会(Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC)提出的脆弱性概念与分析框架,从暴露度(EI)、敏感性(SI)和适应能力(AI)3 个方面分析河北省的农业干旱脆弱性,保证了数据的科学性和完整性^[15-16]。农业干旱脆弱性评价中暴露度是系统受外部的自然环境以及社会政治压力干扰的程度,反映农业干旱受到影响的程度;敏感性是系统在外界压力变化下受影响的程度,反映农业受干旱因素影响的难易程度;适应能力是指在研究区域内,农业干旱灾害风险的防治以及减轻能力,反映农业从干扰造成的后果中恢复的速度和程度。在上述构成农业干旱脆弱性的 3 个方面中,暴露度和敏感性为正向影响因素,而适应能力为负向影响因素。一般来说,农业干旱脆弱性会随暴露度和敏感性的提高而增强,随适应能力的提升而减弱^[17]。本研究建立的河北省农业干旱脆弱性评价指标体系如表 1 所示。

2.3.2 数据标准化 在农业干旱脆弱性评价中,为了消除原始评价指标之间量纲和作用的方向差异,使得所有指标作用方向的一致,本文对原始数据采用极差标准化的方式进行处理^[18]:

正向指标:当指标值越大对评价越有利时,即指标性质为“+”,采用正向指标标准化公式(1):

$$Y_{ij} = \frac{X_{ij} - X_{j\min}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (1)$$

负向指标:当指标值越大对评价越不利时,即指标性质为“-”,采用负向指标标准化公式(2):

$$Y_{ij} = \frac{X_{j\max} - X_{ij}}{X_{j\max} - X_{j\min}} \quad (2)$$

式中: $X_{j\max}$ 和 $X_{j\min}$ 分别为第 j 项指标的最大值和最小值; X_{ij} 和 Y_{ij} 分别为第 j 项指标的原始指标值和标准化值, $i = 1, 2, \dots, m$; $j = 1, 2, \dots, n$,本文中 m 为河北省地级市的个数,即 $m = 11$, n 为评价指标的个数,即 $n = 14$ 。

2.3.3 指标权重计算 在农业干旱脆弱性评价体系构建之后,需要选取合适的方法确定各项指标的

权重^[19]。目前主要有主观和客观两种确定权重的方法,层次分析法^[20]、专家调查法^[21]以及 BP 神经网络技术^[22]是常用的主观赋权方法,该方法对专家的依存度比较大、主观意愿太强,很难客观地对指标间的差异做出评价。本文选取的熵权法是客观赋权方法的一种,该法运用数学方法根据指标间的差异进行赋权,规避了专家的主观意愿,真实地体现了指标的影响程度^[23]。熵权法的计算过程如下:

(1) 基于标准化值 Y_{ij} , 计算第 j 项指标的比重 P_{ij} :

$$P_{ij} = Y_{ij} / \sum_{i=1}^m Y_{ij} \quad (3)$$

(2) 计算第 j 项指标的熵值 e_j :

$$e_j = -k \sum_{i=1}^m (P_{ij} \ln P_{ij}) \quad (4)$$

$$k = 1 / \ln m \quad (5)$$

(3) 计算第 j 项指标的差异性系数 g_j :

$$g_j = 1 - e_j \quad (6)$$

(4) 计算第 j 项指标的权重 w_j :

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^n g_j \quad (7)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。本文所选取的 14 个评价指标的权重计算结果见表 1。

表 1 河北省农业干旱脆弱性评价指标体系

目标层	准则层	指标层/单位	性质	指标权重		
				2010	2014	2018
农业干旱脆弱性	暴露度 (EI)	年降水量 $E_1 / 10^8 \text{m}^3$	负向	0.0354	0.0413	0.0334
		单位面积农用化肥施用量 $E_2 / (\text{t} \cdot \text{hm}^{-2})$	负向	0.0384	0.0410	0.0389
		人口密度 $E_3 / (\text{人} \cdot \text{km}^{-2})$	正向	0.0510	0.0611	0.0525
		人口自然增长率 $E_4 / \%$	正向	0.0637	0.0447	0.0435
		大牲畜头数 $E_5 / 10^2$ 头	正向	0.1326	0.0820	0.1126
		总用水量 $E_6 / 10^8 \text{m}^3$	正向	0.1667	0.1909	0.2172
	敏感性 (SI)	农作物播种面积 S_1 / hm^2	正向	0.0496	0.0565	0.0479
		有效灌溉面积 S_2 / hm^2	负向	0.0620	0.0831	0.0747
		农业产值比例 $S_3 / \%$	正向	0.0487	0.0460	0.0627
		第一产业产值(GDP)占比 $S_4 / \%$	正向	0.0594	0.1012	0.0941
	适应能力 (AI)	农业机械总动力 $A_1 / 10^4 \text{kW}$	负向	0.0383	0.0485	0.0553
		人均粮食产量 A_2 / kg	正向	0.0761	0.0845	0.0700
		人均 GDP $A_3 / \text{元}$	负向	0.0709	0.0341	0.0342
		农村居民人均可支配收入 $A_4 / \text{元}$	正向	0.1072	0.0851	0.0630

2.3.4 脆弱性评价模型 依据现有的研究成果,脆弱性与构成其各要素之间的相互关系可以很好地用综合指数法进行概括。因此,将农业干旱脆弱性理解为暴露度、敏感性和适应能力的函数,根据 IPCC 提出的脆弱性指数计算方法,采用综合指数法,利用脆弱性评价方程(8)计算河北省各地级市的农业干旱脆弱性:

$$VI = EI + SI + AI \quad (8)$$

式中: VI 为脆弱性指数; EI 为暴露度指数; SI 为敏感性指数; AI 为适应能力指数。一般将其定义为 $VI = EI + SI - AI$,但是在本次评价中,考虑到后续对各个指标贡献度的计算,需保证每个指标的同向性。因此本文将适应能力指标进行逆向标准化,即脆弱性评价方程计算公式为方程(8)。

EI 、 SI 、 AI 的计算过程分别如下:

$$EI = \sum_{j=1}^6 (w_{ej} Y_{ej}) \quad (9)$$

$$SI = \sum_{j=1}^4 (w_{sj} Y_{sj}) \quad (10)$$

$$AI = \sum_{j=1}^4 (w_{aj} Y_{aj}) \quad (11)$$

式中: w_{ej} 、 w_{sj} 、 w_{aj} 分别为暴露度、敏感性和适应能力的第 j 项指标权重; Y_{ej} 、 Y_{sj} 、 Y_{aj} 分别为暴露度、敏感性和适应能力的第 j 项指标的标准化值。

2.3.5 因子贡献度模型 有效减弱脆弱性的前提就是对其主要影响因素进行识别与分析,在影响因素识别研究中,因子贡献度模型被广泛应用^[24]。根据因子贡献度计算模型^[25],本文分析了导致河北省各地级市农

业干旱脆弱性的主要贡献因子,计算公式如下:

$$O_j = \frac{I_j \times w_j}{\sum_{j=1}^{14} (w_j \times I_j)} \times 100\% \quad (12)$$

式中: O_j 为第 j 指标对脆弱性的贡献度,%; I_j 为指标偏离度,常用1与各指标的标准化值 Y_j 之差表示;

w_j 为各指标的权重。

3 结果与分析

目前,还没有明确的标准对农业干旱脆弱性进行等级划分,依据相关研究成果,本文将各指数范围划分成低、较低、中等、较高、高5个等级,如表2所示。

表2 农业干旱脆弱性及其要素的等级划分

等级	脆弱性指数 VI 范围	各要素指数范围		
		暴露度指数 EI	敏感性指数 SI	适应能力指数 AI
低	$0.269 \leq VI < 0.325$	$0.082 \leq EI < 0.147$	$0.077 \leq SI < 0.106$	$0.075 \leq AI < 0.096$
较低	$0.325 \leq VI < 0.387$	$0.147 \leq EI < 0.211$	$0.106 \leq SI < 0.134$	$0.096 \leq AI < 0.116$
中等	$0.387 \leq VI < 0.449$	$0.211 \leq EI < 0.275$	$0.134 \leq SI < 0.163$	$0.116 \leq AI < 0.137$
较高	$0.449 \leq VI < 0.511$	$0.275 \leq EI < 0.339$	$0.163 \leq SI < 0.191$	$0.137 \leq AI < 0.158$
高	$0.511 \leq VI < 0.573$	$0.339 \leq EI < 0.404$	$0.191 \leq SI < 0.219$	$0.158 \leq AI < 0.179$

3.1 脆弱性时空变化分析

2010-2018年河北省各地级市农业干旱脆弱性评价结果及脆弱性指数等级空间分布如图1所示。

由图1(a)可知,河北省各地级市农业干旱脆弱性在研究期间整体呈先升高后降低趋势。2010年河北省农业干旱脆弱性指数的均值为0.409,除秦皇岛市、张家口市和承德市为低脆弱水平外,其余的8个地级市均为中等及以上水平,占比72.73%。2014年因降雨较少,导致农作物受旱面积达到 $274 \times 10^4 \text{ hm}^2$,受旱程度较为严重,农业干旱脆弱性指数的均值上升至0.470。2018年河北省新建高效节水灌溉工程,农村集中供水率可达95.5%,因此农业干旱脆弱性指数的均值下降至0.408,河北省农业干旱脆弱性明显减小。

由图1(b)可看出,2010-2014年河北省农业干旱脆弱性高脆弱区域主要分布在南部,2018年除石家庄市和承德市脆弱性等级分别为高和较高之外,其余各地级市均处于中等及以下脆弱水平。石家庄市拥有较高的人口密度和大牲畜头数,导致石家庄市的供水量和用水量较多,因此在2010-2018年一直处于中等脆弱水平以上。秦皇岛市南邻渤海,水资源丰富,且人口密度以及农作物播种面积均较小,因此在2010-2018年一直保持在中等脆弱水平以下。2018年河北省因遭受台风的影响,衡水市、唐山市、沧州市等出现强降雨现象,农业干旱脆弱性有所降低,其中唐山市最为明显。

3.2 脆弱性要素时空变化分析

3.2.1 暴露度时空变化特征 2010-2018年河北

省各地级市农业干旱暴露度评价结果及暴露度指数等级空间分布如图2所示。

由图2(a)可知,2010-2018年河北省各地级市农业干旱暴露度整体呈先升高后降低趋势。2010年河北省农业干旱暴露度指数的均值为0.174,唐山市和石家庄市拥有最多的大牲畜头数和总用水量,因此处于较高暴露水平,其余9个地级市均处于中等暴露水平以下,全省整体暴露度较低。2014年河北省农业干旱暴露度指数的均值增大至0.198,张家口市和承德市因年降水量减少,人口密度增大,导致人均水资源量减少,因此暴露度水平增大较为明显,其余各地级市变化不大。2018年河北省农业干旱暴露度指数的均值下降至0.174,除石家庄市为高暴露度水平外,其余各地级市均为中等暴露度水平以下。

由图2(b)可看出,石家庄市因为人口密度较大,人类活动对土地和水资源产生了很大的影响,因此在2010-2018年一直处于较高和高暴露水平。秦皇岛市年降水量很小,但同时其人口密度小且大牲畜头数也很少,作用于土地和水资源的压力较小,因此在2010-2018年一直保持低暴露水平。暴露水平变化最为明显的是唐山市,从原始数据来看,2014-2018年唐山市年降水量由 $65.32 \times 10^8 \text{ m}^3$ 增加至 $86.86 \times 10^8 \text{ m}^3$,地表水资源丰富,总用水量显著减少,其暴露度指数等级由高下降至较低。

3.2.2 敏感性时空变化特征 2010-2018年河北省各地级市农业干旱敏感性评价结果及敏感性指数等级空间分布如图3所示。

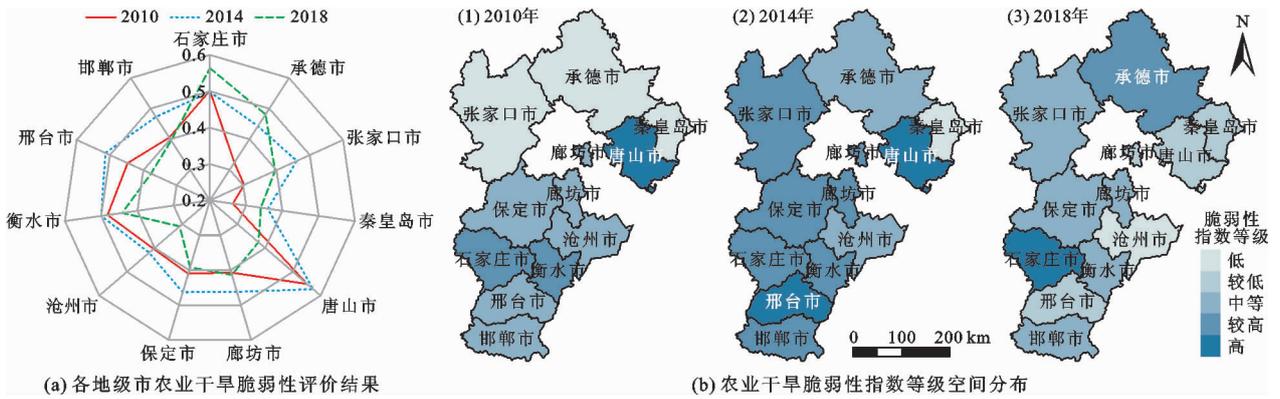


图 1 2010 - 2018 年河北省各地级市农业干旱脆弱性评价结果及其指数等级空间分布特征

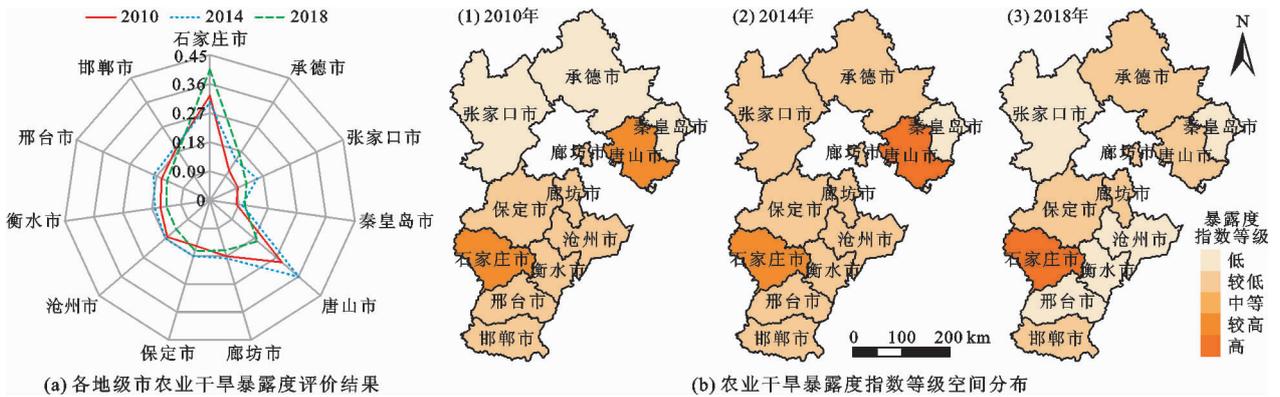


图 2 2010 - 2018 年河北省各地级市农业干旱暴露度评价结果及其指数等级空间分布特征

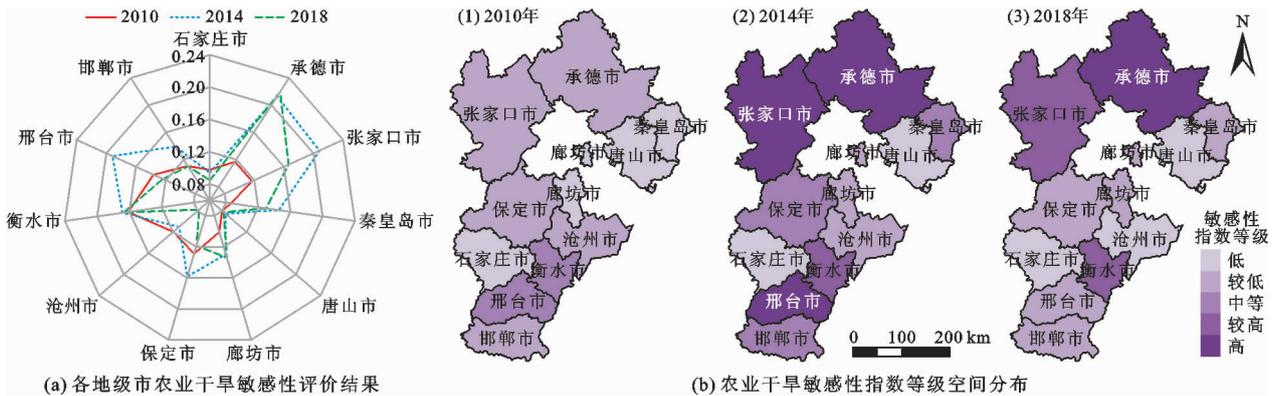


图 3 2010 - 2018 年河北省各地级市农业干旱敏感性评价结果及其指数等级空间分布特征

由图 3(a)可知,2010 - 2018 年河北省各地级市农业干旱敏感性整体呈先升高后降低趋势。2010 年河北省农业干旱敏感性指数的均值为 0.114, 全省处于中等及以下敏感水平。2014 年河北省农业干旱敏感性指数的均值增大至 0.149, 其中承德市、张家口市和邢台市均处于高敏感水平。从原始数据来看,这 3 个地级市的农业产值比例和第一产业产值占比均增大,表明干旱对农业生产的影响较大,敏感性更高。2018 年,河北省因为农作物播种面积减小,农作物的需水量较小,农业干旱敏感性指数的均

值减小至 0.129, 中等敏感水平以上的地级市基本不变, 中等敏感水平以下的地级市增多, 这得益于河北省相关农业农村工作部门对“三农”工作的决策部署和贯彻落实。

由图 3(b)可看出,2010 - 2018 年农业干旱敏感性增加最为明显的是承德市和张家口市, 这两个地级市的共同特点是有效灌溉面积较小, 第一产业产值占比较大。说明为了使水资源得以充分利用, 该两市应该选择合理的灌溉方式, 尽可能地提高灌溉效率, 同时应调整产业结构, 降低经济对农业的依赖程度。石

家州市和唐山市农业产值比例较小,体现出该两市的经济发展水平较好,政府和人民应对干旱的恢复能力较强,因此其农业干旱敏感性一直保持在低水平。2014-2018年,邢台市的第一产业产值占比由16.6%下降至8.8%,有效灌溉面积显著增大,农田水利工程建设管理明显提高,敏感性指数等级由高降为较低。从整体分析,2014-2018年河北省的高敏感性区域主

要分布在西北部,东南部的敏感性较低。

3.2.3 适应能力时空变化特征 为了对河北省农业干旱脆弱性主要贡献因子进行识别,本文对适应能力指标进行了逆向标准化,即适应能力指数越小,实际上适应能力越高。2010-2018年河北省各地级市农业干旱适应能力评价结果及适应能力指数等级空间分布如图4所示。

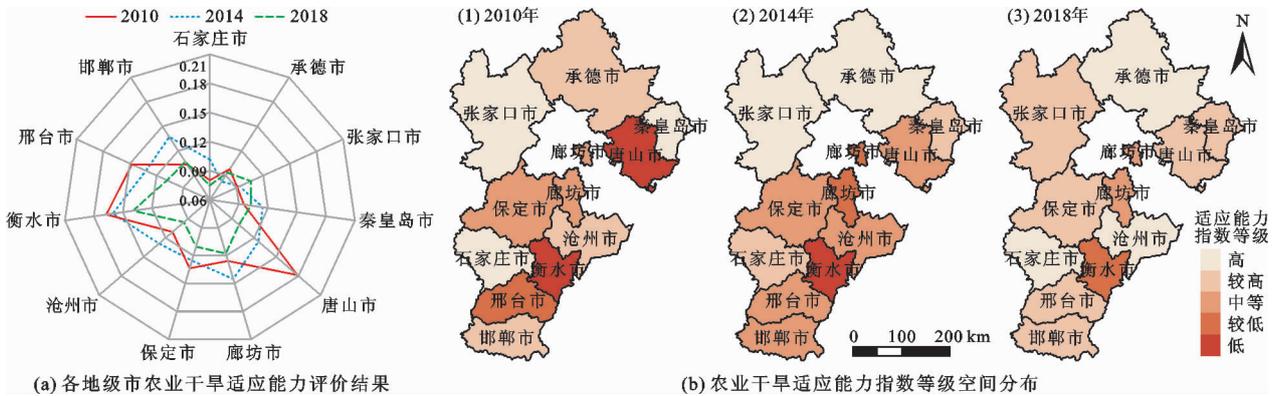


图4 2010-2018年河北省各地级市农业干旱适应能力评价结果及其指数等级空间分布特征

由图4(a)可知,2010-2018年河北省各地级市农业干旱适应能力整体呈先降低后升高趋势。2010年河北省农业干旱适应能力指数的均值为0.121,唐山市和衡水市的适应能力最差,适应能力指数分别为0.179和0.167,适应能力最强的是石家庄市和张家口市,适应能力指数分别为0.080和0.091。2014年河北省农业干旱适应能力指数的均值为0.122,与2010年相差不大。2018年,随着河北省经济的快速发展和产业结构的优化,其农业干旱适应能力指数的均值减小为0.105,河北省农业干旱适应能力整体上有所提升。

2018年农业干旱脆弱性各指标因子的贡献度进行计算,计算结果如表3所示。

表3 2010、2014和2018年河北省农业干旱脆弱性各指标因子的贡献度

目标层	准则层	指标层	脆弱性贡献度/%		
			2010年	2014年	2018年
暴露度 (EI)		年降水量 E_1	1.63	2.12	1.72
		单位面积农用化肥施用量 E_2	3.17	3.39	2.77
		人口密度 E_3	3.31	4.67	3.61
		人口自然增长率 E_4	5.16	2.83	3.26
		大牲畜头数 E_5	16.98	7.76	12.49
		总用水量 E_6	22.39	28.24	30.17
脆弱性 (SI)	敏感性	农作物播种面积 S_1	3.34	4.30	3.21
		有效灌溉面积 S_2	5.88	8.74	6.87
		农业产值比例 S_3	3.01	3.17	5.63
		第一产业产值(GDP)占比 S_4	6.03	10.18	10.00
适应能力 (AI)		农业机械总动力 A_1	2.69	3.85	4.60
		人均粮食产量 A_2	7.89	9.82	7.72
		人均GDP A_3	6.13	1.99	1.85
		农村居民人均可支配收入 A_4	12.39	8.94	6.11

由图4(b)可看出,2014-2018年唐山市拥有最高的人均GDP和农村居民人均可支配收入,反映出该区域经济发展水平较高,城市化进程相对较快,农业对干旱的防御能力有所提升,因此其适应能力相对2010年稳步提升;衡水市人均粮食产量较高,而农村居民人均可支配收入较低,体现出居民对农业的依赖程度较高,因此其适应能力在2010-2018年一直处于较低水平;张家口市、承德市和秦皇岛市的共同特点是人均粮食产量较小且人均GDP相对较高,因此该3个地市2010-2018年的适应能力一直处于较高及以上水平。总体来看,河北省农业干旱适应能力高的区域主要分布在北部,南部的适应能力相对较差。

3.3 因子贡献度分析

根据因子贡献度模型,对河北省2010、2014和

从表3可以看出,暴露度的关键影响因子是总用水量和大牲畜头数,而这两项均为正向指标,对暴露度具有促进作用。总用水量的平均贡献度为26.93%,不仅是影响暴露度的关键因子,也是农业干旱脆弱性的主要影响因子。因此,在有限的水资源下,河北省应该重视用水管理能力,不断提高居民的节水意识。敏感性的关键影响因子是第一产业产值占比和有效灌溉面积,说明河北省应优化产业结构,大力发展第三产业,充分利用水资源,提高水浇地的比例。适应能力的关键影响因子是农村居民可支配收入和人均粮食产量,反映了经济的快速发展以及政府和人民财政收入的增加可以提升应对农业干旱的适应能力。整体来看,河北省农业干旱脆弱性主要受暴露度和适应能力的影响,敏感性的贡献度最低,对河北省农业干旱脆弱性所起的作用最小。

4 讨论

通过对河北省2010、2014和2018年农业干旱脆弱性因子贡献度的分析,影响河北省农业干旱脆弱性的因素有很多。从本文选取的指标层来看,各指标在所研究的3个不同年份中对河北省农业干旱脆弱性的影响占比大致相同,主要受大牲畜头数、总用水量、第一产业产值占比、农村居民人均可支配收入和有效灌溉面积等因素的影响。本文研究结果与王莺等^[26]对中国北方地区农业干旱脆弱性评价的研究结论相符,表明河北省农业的主导因素是水资源和农业经济的脆弱性,且第一产业占比是目前存在的主要问题。因此,河北省应提供更多的非农就业岗位,优化产业结构;各地级市应健全节水管理机构,提高用水管理能力,制定严格的用水制度,不断提高居民节水意识,减少总用水量;减少人口的集中分布,合理规划各地级市的经济建设,促进经济社会的可持续发展。

本文研究河北省农业干旱脆弱性的指标多从社会经济因素中选取,没有考虑到河北省各地级市的地形、天气、土壤属性等自然因素,后续有必要对其进行更深入的研究;本文选用2010、2014和2018年3年的数据分析了河北省11个地级市2010-2018年的农业干旱脆弱性,在未来的进一步研究中,应收集整理每个年份的指标数据,以提高河北省农业干旱脆弱性分析的时间准确性。本研究虽存在以上不足之处,但通过因子贡献度分析发现各指标的贡献度在每年所占的比重大致相同,因此本文对河北省农业干旱脆弱性进行的时空分析和等级划分具有较好

的客观性和实用性,研究成果对进一步认识河北省农业干旱的主要影响因素并采取相应的治理措施具有重要意义。

5 结论

通过对河北省各地级市2010、2014和2018年的农业干旱脆弱性进行时空分析、等级划分以及因子贡献度模型分析,得出以下主要结论:

(1)2010-2018年河北省农业干旱脆弱性在整体上呈先增强后减弱的趋势,脆弱性指数均值在2010-2014年从0.409增大至0.470,2014-2018年从0.470减小至0.408。

(2)2010-2014年河北省农业干旱脆弱性整体上呈现“南高北低”的分布,2018年除石家庄市和承德市脆弱性等级分别为高和较高之外,其余各地级市均处于中等及以下脆弱水平。2018年脆弱性最高的为石家庄市,脆弱性最低的为沧州市。

(3)从因子贡献度的角度分析,暴露度和适应能力对河北省农业干旱脆弱性的影响最大,敏感性的影响最小。河北省农业干旱脆弱性的主要影响因子为总用水量,同时也是暴露度的主要影响因子。

参考文献:

- [1] 胡颖颖,玉米提·哈力克,塔依尔江·艾山,等.新疆2001-2010年农业气候干旱脆弱性分析[J].中国沙漠,2014,34(1):254-259.
- [2] 何谦,陈国建,张春叶,等.四川省干旱脆弱性的主成分分析模型评价[J].宜宾学院学报,2021,21(6):85-92.
- [3] 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.
- [4] 孔可莹,王志宏.基于OWA-TOPSIS的县域农业干旱脆弱性评价——以葫芦岛地区为例[J].辽宁工程技术大学学报(社会科学版),2020,22(05):351-360.
- [5] 张坤,欧小锋,王新发.基于SPI的怀化市气象干旱时空特征分析[J].中低纬山地气象,2020,44(1):60-65.
- [6] WANG Peng, QIAO Wenhui, WANG Yuyi, et al. Urban drought vulnerability assessment—A framework to integrate socio-economic, physical, and policy index in a vulnerability contribution analysis[J]. Sustainable Cities and Society, 2020, 54: 102004.
- [7] 程静.农业干旱脆弱性测度及影响因素分析——以湖北省孝感市为例[J].孝感学院学报,2011,31(2):92-98.
- [8] 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.
- [9] 吴冰莲,钟广锐.基于格网GIS的五华县生态脆弱性评

- 价[J]. 地理空间信息, 2020, 18(12): 87-91+100.
- [10] 赵少飞, 赵鑫, 陈翔. 基于改进密切值法的区域工业绿色技术创新能力评价[J]. 工业技术经济, 2020, 39(7): 152-160.
- [11] 王松华, 赵玲. 城市脆弱性综合评价体系建构研究[J]. 苏州大学学报(哲学社会科学版), 2014, 35(5): 30-37.
- [12] 张晓杰, 林英杰. 京津冀一体化区域特色农业协调发展模式分析[J]. 基层农技推广, 2019, 7(6): 50-52.
- [13] 那向丰. 干旱的脆弱性分析与管理策略制定探析[J]. 黑龙江水利科技, 2020, 48(2): 118-120, 192.
- [14] 张永芳, 贾士靖, 刘蕾, 等. 基于综合权重法的河北省水资源脆弱性评价及影响因素分析[J]. 水电能源科学, 2020, 38(4): 22-25+83.
- [15] 燕玲玲, 高秉丽, 徐彩仙, 等. 半干旱黄土丘陵区县域社会生态系统脆弱性时空变化及其影响因素——以定西市安定区为例[J]. 水土保持研究, 2020, 27(5): 373-380.
- [16] 徐晗. 改进的 TOPSIS 模型在陕西省农业干旱脆弱性区划中的应用[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(4): 251-258.
- [17] 贾元童, 崔骁勇, 刘月仙, 等. 内蒙古自治区干旱脆弱性评价[J]. 生态学报, 2020, 40(24): 9070-9082.
- [18] 王晨, 黄馨, 黄晓军. 西北地区城市干旱脆弱性评价研究[J]. 水资源与水工程学报, 2019, 30(1): 114-121.
- [19] 杨法暄, 郑乐, 钱会, 等. 基于 DPSIR 模型的城市水资源脆弱性评价——以西安市为例[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(1): 77-84.
- [20] 王海科, 徐盼盼, 钱会. 关中地区干旱等级模糊综合评价[J]. 水资源与水工程学报, 2016, 27(3): 43-47+54.
- [21] 肖枝洪, 王一超. 关于“评测指标权重确定的结构熵权法”的笔记[J]. 运筹与管理, 2020, 29(6): 145-149.
- [22] WANG Rui, CHEN Shiwen, LU Jing. Electric short-term load forecast integrated method based on time-segment and improved MDSC-BP[J]. Systems Science & Control Engineering, 2021, 9(S1): 80-86.
- [23] 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.
- [24] 周苏娥, 张明军, 王圣杰, 等. 甘肃省河西地区自然-社会系统脆弱性评价[J]. 资源科学, 2018, 40(2): 452-462.
- [25] 徐晗. 基于熵权法的陕西省农业干旱脆弱性评价及影响因素识别[J]. 干旱地区农业研究, 2016, 34(3): 198-205.
- [26] 王莺, 赵文, 张强. 中国北方地区农业干旱脆弱性评价[J]. 中国沙漠, 2019, 39(4): 149-158.

(上接第 232 页)

- [16] XU Yanjie, HUANG Kai, YU Yajuan, et al. Changes in water footprint of crop production in Beijing from 1978 to 2012: A logarithmic mean Divisia index decomposition analysis[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 87: 180-187.
- [17] ZHAO X, TILLOTSON M R, LIU Y W, et al. Index decomposition analysis of urban crop water footprint[J]. Ecological Modelling, 2017, 348: 25-32.
- [18] 冯东溥, 魏晓妹, 降亚楠. 宝鸡峡灌区小麦水足迹时空变化特征与归因分析[J]. 农业机械学报, 2017, 48(12): 269-277.
- [19] 李亚婷. 基于水足迹的宁夏中部干旱带农业结构优化[D]. 银川: 宁夏大学, 2016.
- [20] 齐娅荣, 张嗣璽, 唐莲, 等. 宁夏固原市主要农作物生产水足迹分析[J]. 水资源与水工程学报, 2020, 31(1): 91-96+103.
- [21] 高海燕, 李王成, 李晨, 等. 宁夏主要农作物生产水足迹及其变化趋势研究[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(3): 110-118.
- [22] 固原市地方志编纂委员会办公室. 固原年鉴[M]. 西安: 陕西人民出版社, 2018.
- [23] 宁夏回族自治区统计局, 国家统计局宁夏调查总队. 宁夏统计年鉴(2018)[M]. 北京: 中国统计出版社, 2018.
- [24] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration—Guidelines for computing crop water requirements requirements—FAO irrigation and drainage paper [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of United Nations, 1998.
- [25] SMITH M. CROPWAT: A computer program for irrigation planning and management[M]. Roma: Food and Agriculture Organization of United Nations, 1992.
- [26] 孙世坤. 近 50 年来河套灌区作物生产水足迹时空演变过程研究[D]. 西安: 中国科学院大学, 2013.
- [27] KENDALL M G. Rank correlation methods[M]. London: Charles Griffin, 1975.
- [28] MANN H B. Nonparametric tests against trend[J]. Econometrica, 1945, 13(3): 245-259.
- [29] SEN P K. Estimates of the regression coefficient based on kendall's Tau[J]. Journal of the American Statistical Association, 2012, 63(324): 1379-1389.
- [30] RODRIGUEZ C I, RUIZ DE GALARRETA V A, KRUSE E. Analysis of water footprint of potato production in the pampean region of Argentina[J]. Journal of Cleaner Production, 2015, 90(1): 91-96.