

中国北方地区农业干旱脆弱性评价

王莺, 赵文, 张强

(中国气象局兰州干旱气象研究所 甘肃省干旱气候变化与减灾重点实验室/干旱气候变化与减灾重点实验室, 甘肃 兰州 730020)

摘要: 在调查和分析中国北方地区农业生产现状的基础上, 选择水资源、农业经济、社会和防旱抗旱能力 4 个准则层共 16 个指标构建农业干旱脆弱性评价指标体系。运用主成分分析法对高维变量系统进行有效降维, 根据方差贡献率建立中国北方地区农业干旱脆弱性评价模型, 获得中国北方地区水资源、农业经济、社会和防旱抗旱能力脆弱性评价结果, 获得各省(自治区、直辖市)干旱脆弱性分级阈值和区划。结果表明: (1) 通过主成分分析得到农业经济、水资源、防旱抗旱能力、社会等 5 个主成分, 方差贡献率分别为 41.99%、19.25%、14.06%、8.07% 和 5.32%。(2) 中国北方地区农业干旱脆弱性从小到大依次为北京、天津、山东、辽宁、吉林、山西、内蒙古、安徽、河北、河南、陕西、宁夏、青海、黑龙江、新疆和甘肃。

关键词: 主成分分析; 农业干旱; 脆弱性; 中国北方地区

文章编号: 1000-694X(2019)04-149-10

DOI: 10.7522/j.issn.1000-694X.2019.00020

中图分类号: P429

文献标志码: A

0 引言

干旱可以造成土地退化和荒漠化, 也可以导致农作物减产或绝收, 重大干旱灾害还可以引起人员死亡, 导致大规模人群迁徙, 甚至文明消亡和朝代更迭^[1-2]。因此, 干旱是地球上最具破坏力的自然灾害之一。农业作为一个弱质性行业, 面临的干旱灾害风险明显大于其他行业。中国是一个农业大国, 经济呈现二元结构特征, 农村人口较多, 农业生产技术相对落后, 农民抵御干旱灾害的能力较低, 是世界上受干旱灾害影响最严重的国家之一。据统计, 2001—2016 年中国年均农业干旱受灾面积为 179 910 km², 约占自然灾害总受灾面积的 50%, 为各项灾害之首。近年来, 占国土面积约 60% 的中国北方地区干旱化问题突出, 造成了巨大的农业经济损失。2001—2016 年, 中国北方地区年均农作物播种面积约占全国农作物播种面积的 60%, 年均农业干旱受灾面积约占全国农业干旱受灾面积的 70%, 说明干旱灾害对中国北方农业生产的影响比其他任何自然灾害都要大。IPCC 第五次评估报告指出, 1951—2012 年全球平均地表温度的升温速率为 0.12℃/10a^[3]。中国北方地区气温与全球的增暖分布一致,

总体呈上升趋势, 升温速率为 0.1~0.4℃/10a^[4]。WCRP 耦合模式输出结果表明, 2011—2050 年北方地区温度呈增加趋势, 降水量总体呈下降趋势, 有干旱化倾向, 尤其是重度和极端季节性干旱发生频率增加^[5]。在这样的背景下, 中国北方地区农业遭受旱灾的强度和频次都将呈现上升趋势。为了保持北方地区农业经济的健康稳定发展, 就必须加强农业干旱灾害风险分析及相关研究, 为政府制定防旱抗旱措施提供基础资料。

从灾害形成机理来看, 其破坏性取决于致灾因子发生的强度和承灾体在灾害面前表现出的脆弱性^[6-7]。当致灾因子发生强度和承灾体脆弱性程度增加, 灾情随之加强^[8]。对于干旱灾害来说, 目前还未发现有效方法可以大区域改变致灾因子的发生和发展过程, 因此降低干旱脆弱性就成了干旱灾害综合管理和防灾减灾的重要途径^[9]。农业干旱脆弱性在干旱灾害和社会稳定的关系中起着重要作用, 其强度直接影响农业对干旱灾害的抵御能力、受损失程度和风险等级, 因此干旱灾害风险管理的重要工作就是干旱灾害脆弱性评价。该工作将脆弱性关键构成要素进行分解, 再通过一定的逻辑关系建立多目标评估指标体系, 并对各指标加权赋值, 通过

收稿日期: 2018-11-19; **改回日期:** 2019-01-29

资助项目: 国家自然科学基金项目(41605089); 中国博士后科学基金项目(2015M572666XB); 国家公益性行业(气象)科研专项(GY-HY201506001-6)

作者简介: 王莺(1984—), 女, 甘肃兰州人, 博士, 副研究员, 主要从事气候变化对农业生态的影响研究。E-mail: wangyn924@163.com

脆弱性评价模型得到干旱脆弱性评价结果。从基于农户的微观视角来看,一般选择家庭人数、职业、受教育程度、年龄结构、生计多样性、人均收入等影响农户干旱脆弱性的内在因素,以及耕地面积、物质资本、信贷途径、保险、土地政策、社会帮扶等外部社会经济因子进行分析^[10-13]。从区域的宏观视角来看,一般选择降水量、空气相对湿度、干旱化程度、地形、水土流失、水资源等自然因素,旱地农户数、人口资源、控制性水源工程等社会因素,以及第一产业所占比重、财政预算收入等经济因素进行分析^[14-20]。由于指标的选择具有不确定性,没有规范可循,往往依据的是研究者的经验和已有研究成果。这样做易忽略指标间的相关性和各指标的重要性,对评价结果产生影响。随着多元统计方法的发展与应用,在干旱脆弱性评价前可以先对评价指标进行主成分分析,通过线性变换对高维变量系统进行有效降维,使新变量两两之间互不相关,且尽可能保留原有信息^[21]。何斌等^[22]通过主成分分析将27个干旱风险常用指标降维成4个主成分,建立了陕西省农业干旱风险评价指标体系。常文娟等^[23]采用主成分分析法将降雨、径流及土壤含水量等水气象要素融合为一个干旱综合指标,并将该指标应用于干旱过程识别和干旱频率分析。Kim等^[24]应用主成分分析法提出了一种不考虑人工抗旱设施的自然干旱指数。为此,本研究以中国北方地区农业为研究对象,从干旱脆弱性成因入手,基于水资源、社会、经济、农业生产条件和防旱抗旱能力,构建农业干旱脆弱性评价指标和评价模型,实现干旱脆弱性空间区划,以期为中国北方地区农业可持续发展和科学防旱抗旱提供基础数据与理论支撑。

1 研究区概况

中国北方地区指秦岭—淮河以北、内蒙古高原以南、青藏高原以东以及大兴安岭区域。从行政区划来看,具体包括北京、天津、河北、内蒙古、辽宁、吉林、黑龙江、安徽、山东、河南、陕西、甘肃、青海、宁夏和新疆等16个省(自治区、直辖市)。中国北方地区主要属于温带季风气候区,四季分明,雨热同期,年降水量多在400~800 mm,适宜农作物生长。地形以平原为主,兼有高原和山地。

2 资料与方法

2.1 资料及其来源

社会经济数据来源于《中国统计年鉴2017》和

《中国区域经济统计年鉴2017》;水资源数据来源于《中国环境统计年鉴2017》;农业和农村数据来源于《中国农业统计资料2016》和《中国农村统计年鉴2017》;1987—2016年降水数据来源于中国气象数据网(<http://data.cma.cn/>)。

2.2 评价指标体系的建立

在调查和分析中国北方地区农业干旱风险特征的基础上,基于全面性、系统性和可操作性原则构建了农业干旱脆弱性评价指标体系(表1)。水资源脆弱性主要选择了地表水资源密度、地下水资源密度和年降水量,这些指标主要反映了一个地区可供利用或有可能被利用的水资源数量,该数量越多,水资源脆弱性就越低。农业经济脆弱性主要选择了人均地区生产总值、第一产业所占比重以及农村居民人均纯收入作为评价指标。人均地区生产总值和农村居民人均纯收入越高,抵御干旱风险的能力就越强,脆弱性程度越低。第一产业所占比重和第一产业增加值占地区生产总值比重越高,说明该地区经济结构越以利用自然力为主,生产不必经过深度加工就可消费的产品或工业原料的比例越高,对自然环境的依赖性越强,脆弱性程度越高。社会脆弱性主要选择了人口密度、乡村人口比例、城乡居民收入差距指数和消费差距指数、恩格尔系数以及农村居民最低生活保障人数占农村人口比例。人口密度越高,对水资源的需求越大,并会由此产生各种内部摩擦,脆弱性程度越高。乡村人口比例反映了一个地区的城镇化水平,该比例越高,说明城镇化水平越低,对农业的依赖度越高,脆弱性程度越高。城乡居民收入差距指数是城镇居民可支配收入与农村居民人均纯收入之比,城乡居民消费差距指数是城镇居民人均消费支出与农村居民人均消费支出之比,这两个指标越高,说明城乡经济发展差距越大,脆弱性程度越高。恩格尔系数指食品支出总额占个人消费支出总额的比重,该系数越大,说明家庭中用来购买食物的支出比例越大,家庭收入越少,脆弱性程度越高。农村居民最低生活保障人数占农村人口比例越高,说明农村贫困人口问题越严重,脆弱性程度越高。防旱抗旱能力脆弱性选择了耕地灌溉率、节水灌溉率和单位面积水库库容。耕地灌溉率反映了耕地质量和农村水利水电工程建设情况,节水灌溉率反映了提高单位灌溉水量的农作物产量和产值的能力,单位面积水库库容代表了供水能力,这些指标的值越高,脆弱性越低。

表 1 研究区农业干旱脆弱性评价指标体系
Table 1 Drought vulnerability evaluation criteria

目标层	准则层	指标层
中国北方农业干旱脆弱性	水资源脆弱性	地表水资源密度(X_1)
		地下水资源密度(X_2)
		年降水量(X_3)
	农业经济脆弱性	人均地区生产总值(X_4)
		第一产业所占比重(X_5)
		第一产业增加值占地区生产总值比重(X_6)
		农村居民人均纯收入(X_7)
	社会脆弱性	人口密度(X_8)
		乡村人口比例(X_9)
		城乡居民收入差距指数(X_{10})
		城乡居民消费差距指数(X_{11})
		恩格尔系数(X_{12})
		农村居民最低生活保障人数占农村人口比例(X_{13})
	防旱抗旱能力脆弱性	耕地灌溉率(X_{14})
		节水灌溉率(X_{15})
		单位面积水库库容(X_{16})

2.3 评价指标的标准化

干旱脆弱性评价指标间的量纲不同,而量纲对主成分分析的结果具有显著影响^[25],因此需要在分析前对各指标做标准化无量纲处理。

当脆弱性随 X_{mn} 的增大而增大时, X_{mn} 称为正效应指标。正效应指标的标准化方法为:

$$X_{mn} = \frac{(x_{mn} - \min x_{mn})}{(\max x_{mn} - \min x_{mn})} \quad (1)$$

当脆弱性随 X_{mn} 的增大而减小时, X_{mn} 称为负效应指标。负效应指标的标准化方法为:

$$X_{mn} = \frac{(\max x_{mn} - x_{mn})}{(\max x_{mn} - \min x_{mn})} \quad (2)$$

式中: X_{mn} 为标准化后的无量纲值, $X_{mn} \in [0, 1]$, 且越趋向于 1, 说明其对于干旱脆弱性的贡献越大; X_{mn} 为第 m 评价对象的第 n 指标; $\max x_{mn}$ 和 $\min x_{mn}$ 分别为第 m 个评价对象第 n 指标的最大和最小值。

2.4 主成分分析法

主成分分析法 (Principal Component Analysis, PCA) 由 Pearson^[26] 于 1901 年提出, 是一种减少数据维数且同时保持数据集对方差贡献率最大的数据处理方法。也就是通过对协方差矩阵进行特征分析, 把原来的多个指标降维为若干互不相关的综合

指标变量, 即主成分。具体过程为:

(1) 构造样本矩阵。设有 n 个干旱脆弱性标准化评价指标, m 个评价区域, 则数据矩阵 X 为:

$$X = \begin{bmatrix} x_{11} & \cdots & x_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m1} & \cdots & x_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

(2) 通过获得各指标间的相关系数, 构建相关系数矩阵 R 。

(3) 求 R 的特征值和特征向量, 以及特征值所对应的方差贡献率。

(4) 确定主成分个数。通常取特征值大于 1 且累积方差贡献率大于 85% 的前 q 个主成分去综合原始数据信息。记方差贡献率 C 为:

$$C = (c_1, c_2, \dots, c_q) \quad (4)$$

(5) 标准化特征向量:

$$A = \frac{[e_f - \min(e_f)]}{[\max(e_f) - \min(e_f)]} = (a_1, a_2, \dots, a_q) \quad (5)$$

式中: e 为特征向量; $f \in [1, q]$ 。

(6) 获得各指标对总体的贡献率:

$$P = \frac{C \cdot A^q}{\sum_{i=1}^q C_i} = (p_1, p_2, \dots, p_n) \quad (6)$$

(7) 归一化 P , 得到第 j 个指标的权重 w_j :

$$W = \frac{P_j}{\sum_1^n P_j} = (w_1, w_2, \dots, w_n) \quad (7)$$

2.5 干旱脆弱性评价模型

构建中国北方地区农业干旱脆弱性评价模型, 计算干旱脆弱性指数 Y , Y 越大, 则干旱脆弱性越大, 反之则越小。

$$Y = \sum_{i=1}^n w_i x_i \quad (8)$$

2.6 干旱脆弱性等级阈值

根据正态分布原理, 设样本均值为 μ , 标准差为 σ , 制定中国北方地区干旱脆弱性等级划分阈值^[27]。脆弱性指数 Y 小于 $\mu - 0.5\sigma$, 定义为低脆弱性; Y 位于 $\mu - 0.5\sigma$ 和 μ 之间, 定义为较低脆弱性; Y 位于 μ 和 $\mu + 0.5\sigma$ 之间, 定义为较高脆弱性; Y 大于 $\mu + 0.5\sigma$, 定义为高脆弱性。

3 结果与分析

3.1 主成分特征

根据特征值大于 1 且累积方差贡献率大于 85% 这个条件, 选择前 5 个主成分来代替原来的 16 个原始变量。前 5 个主成分的累积贡献率达到 88.69%, 即损失了 11.31% 的信息, 说明前 5 个主成分基本可以反映原指标主要信息(表 2)。

$$Y = \frac{41.99\% \times W_1 + 19.25\% \times W_2 + 14.06\% \times W_3 + 8.07\% \times W_4 + 5.32\% \times W_5}{88.69\%} \quad (9)$$

将标准化无量纲的 16 个原始指标代入式(9), 得到中国北方地区农业干旱脆弱性评价结果。对 16 个省(自治区、直辖市)的干旱脆弱性评价结果进行正态分布检验, P 值大于 0.05, 表明估计值落在 95% 的置信区间内, 总风险指数服从正态分布。根据脆弱性阈值划分标准, 将中国北方地区水资源、经济、社会、农业、防旱抗旱能力和农业干旱脆弱性划分为低、较低、较高和高脆弱性 4 个区域。

3.2.1 水资源脆弱性

中国北方地区水资源的低脆弱区主要位于安徽、北京、河南和山东, 较低脆弱区主要位于辽宁和吉林, 较高脆弱区主要位于河北、山西、黑龙江、陕西和天津, 高脆弱区主要位于青海、宁夏、新疆、甘肃和内蒙古(图 1)。为了将不同指标表现在同一张图

表 2 相关系数矩阵的特征值

Table 2 Eigenvalues of the correlation matrix

成分	特征值	贡献率/%	累积贡献率/%
1	8.40	41.99	41.99
2	3.25	19.25	61.24
3	2.11	14.06	75.30
4	1.21	8.07	83.37
5	1.06	5.32	88.69
6	0.96	4.78	93.47
	...		
20	0.00	0.00	100.00

因子载荷矩阵是各原始变量因子表达式的系数, 表达了提取的公因子对原始变量的影响程度。本研究中的因子载荷矩阵对原始数据信息的反映不清晰, 无侧重性, 因此选用最大方差法对因子进行旋转, 得到因子旋转矩阵。从因子旋转矩阵可以看出, 第一主成分主要反映了农业经济脆弱性, 第二主成分主要反映了水资源脆弱性, 第三主成分主要反映了防旱抗旱能力脆弱性, 第四和第五主成分主要反映了社会脆弱性。

3.2 农业干旱脆弱性评价

通过主成分分析法获得各指标权重, 并以 5 个主成分的方差贡献率为系数, 建立中国北方农业干旱脆弱性评价模型:

上, 将各指标值归一化。归一化后的指标值越接近 1, 脆弱性程度越高。安徽省的地表水资源密度 ($84.50 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$)、地下水资源密度 ($15.71 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$) 和年降水量 ($1\ 207.80 \text{ mm}$) 均为中国北方地区最高(图 2)。北京的地下水资源密度 ($14.75 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$) 较高, 年降水量 542.73 mm , 但地表水资源密度 ($8.53 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$) 较低。河南地下水资源密度、地表水资源密度和年降水量分别为 $11.39 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ 、 $13.18 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ 和 739.33 mm 。山东地下水资源密度、地表水资源密度和年降水量分别为 $10.43 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ 、 $7.67 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ 和 684.68 mm 。因此这 4 个地区的水资源脆弱性低。东北地区水资源脆弱性较低主要体现在较高的地下水资源密度和年降水量上。水资源脆弱性较高的天津和陕

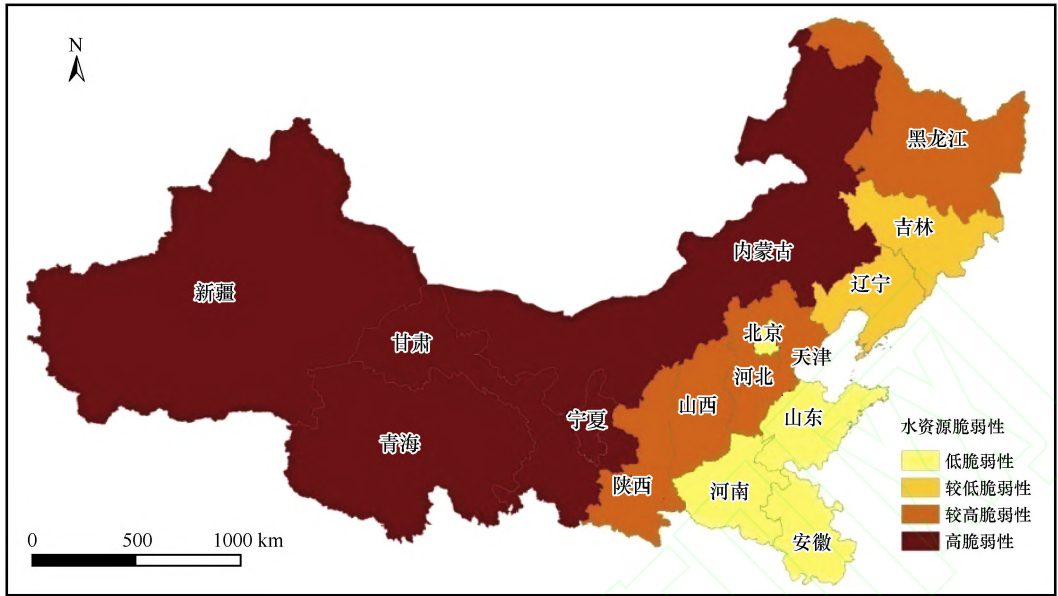


图 1 水资源脆弱性空间分布

Fig.1 Spatial distribution of water resources vulnerability

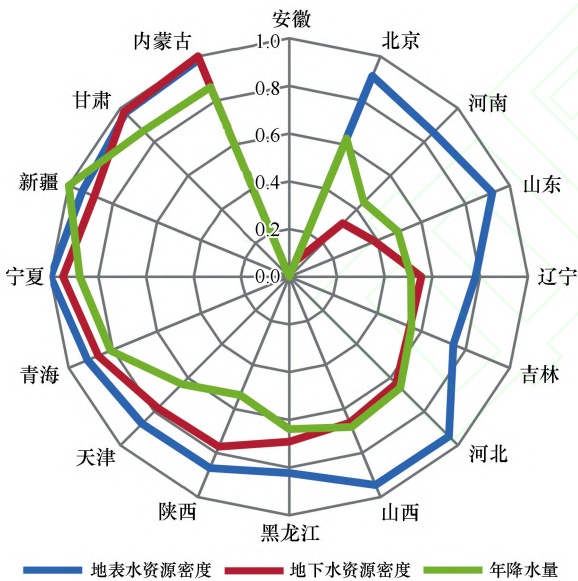


图 2 各地区水资源脆弱性指标雷达图

Fig.2 Radar chart of vulnerability indicators for water resources in various regions

西主要体现在地表和地下水资源密度较低；河北和山西主要体现在地表水资源密度较低。水资源高脆弱区存在的问题比较一致，地表水资源密度、地下水资源密度和降水量都很低。脆弱性最高的内蒙古，其地下水资源密度仅为 $2.10 \text{ 万 m}^3 \cdot \text{km}^{-2}$ ，是整个研究区内最低的(图 2)。

3.2.2 农业经济脆弱性

中国北方地区农业经济的低脆弱区主要位于北京和天津，较低脆弱区主要位于山东、内蒙古、山西、

河南和安徽，较高脆弱区主要位于宁夏、辽宁、吉林、陕西和河北，高脆弱区主要位于青海、甘肃、黑龙江和新疆(图 3)。农业经济脆弱性低值区北京和天津的农村居民人均纯收入分别为 22 309.5 元和 20 075.6 元，人均地区生产总值分别为 118 198 元和 15 053 元，远高于其他地区；第一产业所占比重分别为 0.5% 和 1.2%，第一产业增加值占地区生产总值比重分别为 0.5% 和 1.2%，远低于世界平均水平(5%)。农业经济脆弱性较低区域内蒙古的农村居民人均纯收入为 11 609 元，较山东低；山东和内蒙古的人均地区生产总值较高，分别为 68 933 元和 72 064 元。农业经济脆弱性较高区的山西、宁夏和陕西存在的主要问题是人均地区生产总值(35 532 元、47 194 元和 51 015 元)和农村居民人均纯收入(10 083 元、9 852 元和 9 396 元)较低，辽宁、吉林、河南和河北存在的主要问题是第一产业所占比重(9.8%、10.1%、10.6% 和 10.9%)较大。农业经济脆弱性高值区甘肃和青海的农村居民人均纯收入(7 457 元、8 664 元)和人均地区生产总值(27 643 元、4 3531 元)低。黑龙江和新疆存在的主要问题是第一产业所占比重很高，分别达到了 17.7% 和 17.1% (图 4)。

3.2.3 社会脆弱性

中国北方地区社会低脆弱区主要包括北京、辽宁、黑龙江、天津、吉林和内蒙古，较低脆弱区主要位于山西、河北和山东，较高脆弱区主要位于宁夏和陕

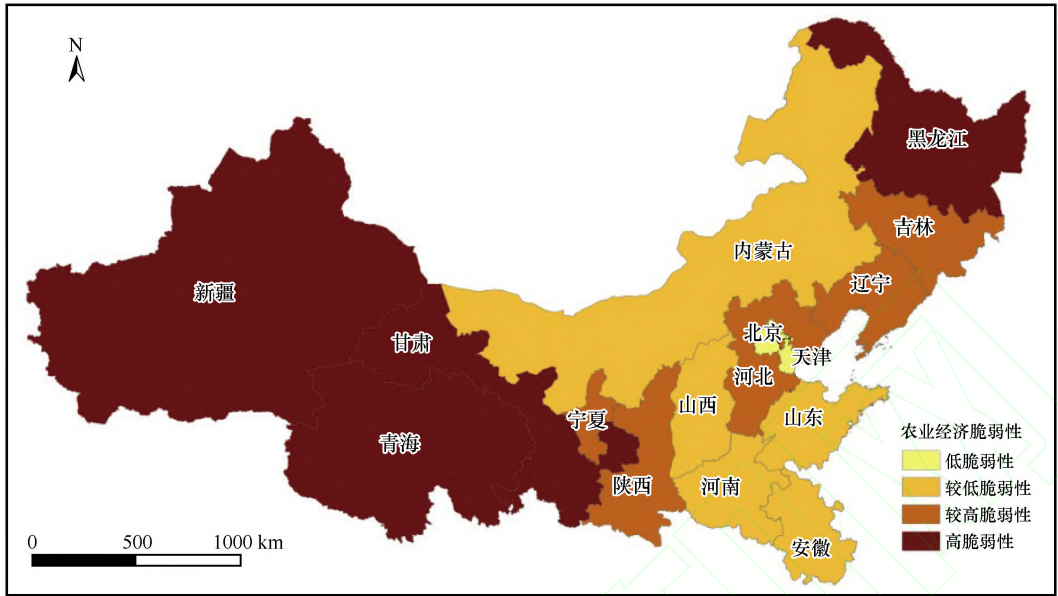


图 3 农业经济脆弱性空间分布

Fig.3 Spatial distribution of agricultural economy vulnerability

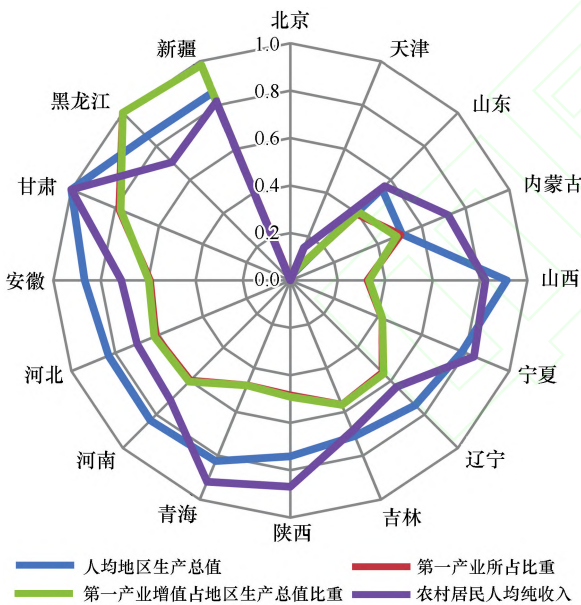


图 4 各地区农业经济脆弱性指标雷达图

Fig.4 Radar chart of vulnerability indicators for agricultural economy in various regions

西,高脆弱区主要位于青海、河南、新疆、安徽和甘肃(图 5)。社会低脆弱区北京和天津的人口密度很高,分别为 $1\ 324\ \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$ 和 $1\ 307\ \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$,但乡村人口比重和农村居民最低生活保障人数占农村人口比例很低;辽宁、黑龙江、吉林和内蒙古的乡村人口比例较高,分别为 32.6% 、 40.8% 、 44.0% 和 38.8% ;天津的城乡居民收入和消费差距指数较其余地区低,分别为 1.85 和 1.80 ;内蒙古和黑龙江的

人口密度较低,分别为 $21.30\ \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$ 和 $86.68\ \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$ 。较低脆弱区存在的主要问题是乡村人口占总人口比重较高,分别为 43.8% 、 46.7% 和 41% ,山东的恩格尔系数达到了 29.8% ,山西的城乡居民收入差距指数为 2.71 。较高脆弱区宁夏存在的主要问题是农村居民最低生活保障人数占农村人口比例 (14.31%) 很高,陕西存在的主要问题是城乡居民收入和消费差距指数 (3.03 、 2.6) 较高。高脆弱区河南和安徽的乡村人口比例 (51.5% 、 51.7%) 较高,安徽的恩格尔系数甚至达到了 34.2 ,青海、新疆和甘肃的人口密度都较低,分别为 $8.22\ \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$ 、 $14.46\ \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$ 和 $57.53\ \text{人}\cdot\text{km}^{-2}$,但农村居民最低生活保障人数占农村人口比例都很高,分别为 17.98% 、 13.44% 和 22.49% ,甘肃的乡村人口比例达到了 55.3% ,城乡居民收入和消费差距指数分别为 3.45 和 3.1 ,因此甘肃的社会脆弱性最高(图 6)。

3.2.4 防旱抗旱能力脆弱性

中国北方地区防旱抗旱能力的低脆弱区主要位于北京、天津、河南、安徽和辽宁,较低脆弱区主要位于山东和河北,较高脆弱区主要位于吉林,高脆弱区主要位于新疆、宁夏、山西、青海、黑龙江、陕西、内蒙古和甘肃(图 7)。北京和天津的耕地灌溉率、节水灌溉率以及单位面积水库库容的比例都比较高,抵御干旱灾害风险的能力强。河南和安徽的单位面积水库库容 ($25.31\ \text{万}\ \text{m}^3\cdot\text{km}^{-2}$ 和 $23.29\ \text{万}\ \text{m}^3\cdot\text{km}^{-2}$) 以及耕地灌溉率 (64.64% 和 75.63%) 较高,但节水

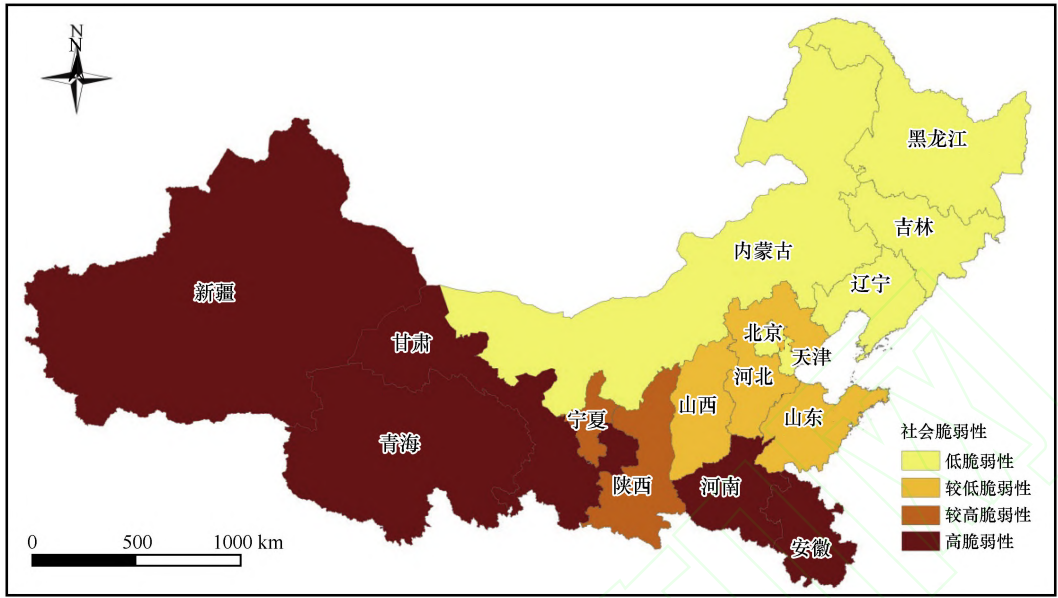


图 5 社会脆弱性空间分布

Fig.5 Spatial distribution of society vulnerability

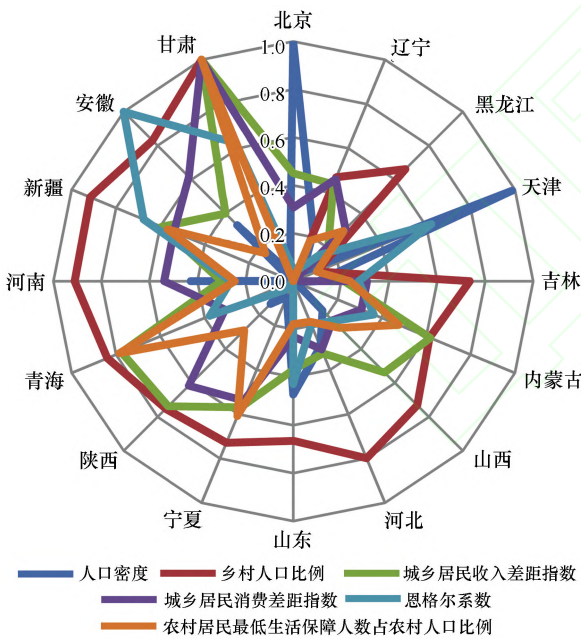


图 6 各地区社会脆弱性指标雷达图

Fig.6 Radar chart of vulnerability indicators for society in various regions

灌溉率较低(22.27%和16.09%)。辽宁的单位面积水库库容较高,为24.77万 $m^3 \cdot km^{-2}$,但耕地灌溉率和节水灌溉率较低,分别为31.62%和11.77%。新疆的单位面积水库库容很低,仅有1.20万 $m^3 \cdot km^{-2}$,但耕地灌溉率以及节水灌溉率分别达到95.50%和74.59%。防旱抗旱能力高脆弱区的甘肃,耕地灌溉率、节水灌溉率以及单位面积水库库容都较低,这3个值分别为24.52%、18.17%和2.26

万 $m^3 \cdot km^{-2}$ (图8)。

3.2.5 农业干旱脆弱性评价

中国北方地区农业干旱脆弱性低值区主要位于北京和天津,较低脆弱区位于山东、辽宁和吉林,较高脆弱区位于山西、内蒙古、安徽、河北、河南、陕西和宁夏,高脆弱区位于青海、黑龙江、新疆和甘肃(图9)。从图10可以看出,不同地区农业干旱脆弱性的主导因素不同。农业干旱脆弱性低及较低区中,北京的各农业干旱脆弱性指标都呈低脆弱性,天津的主导因素是水资源脆弱性,山东主导因素是农业经济和社会脆弱性,辽宁主导因素是农业经济和防旱抗旱能力脆弱性,吉林主导因素是农业经济、社会和防旱抗旱能力脆弱性。农业干旱脆弱性高及较高区中,山西和青海的农业干旱脆弱性主导因素是农业经济、社会和防旱抗旱能力脆弱性,内蒙古和宁夏的主导因素是水资源、农业经济和防旱抗旱能力脆弱性,安徽和河南的主导因素是农业经济和社会脆弱性,河北的主导因素是水资源和农业经济脆弱性,陕西的主导因素是农业经济和防旱抗旱能力脆弱性,黑龙江的主导因素是农业经济和防旱抗旱能力脆弱性,新疆的主要因素是水资源、农业经济和社会脆弱性,甘肃的主导因素是水资源、农业经济、社会和防旱抗旱能力脆弱性。

4 讨论

从方法来看,本研究采用主成分分析法对高维变量系统进行有效降维,根据各指标所代表的信息

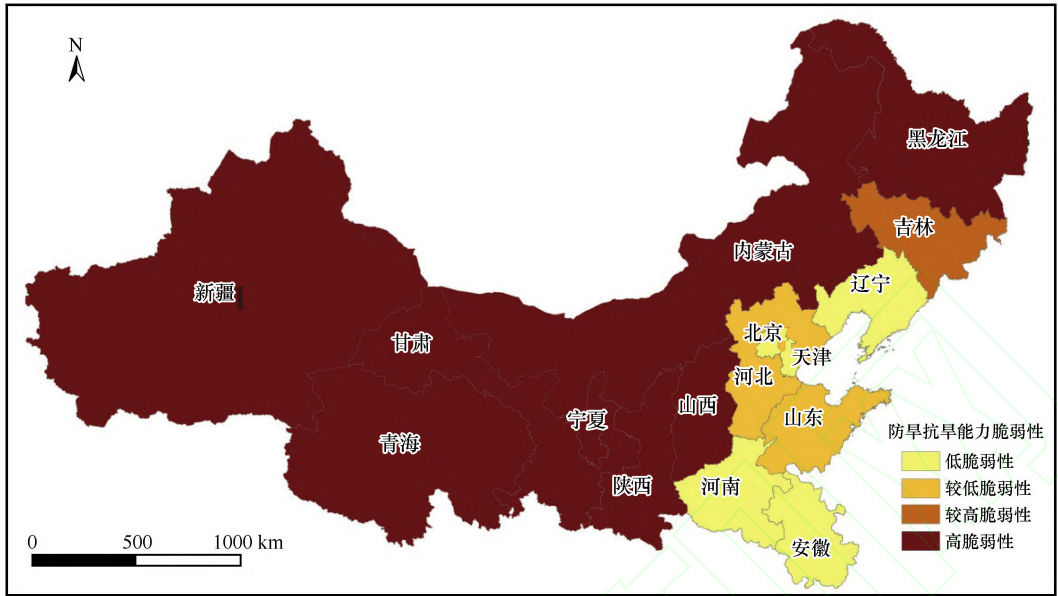


图 7 防旱抗旱能力脆弱性空间分布

Fig.7 Spatial distribution of the ability of drought prevention and resistance vulnerability

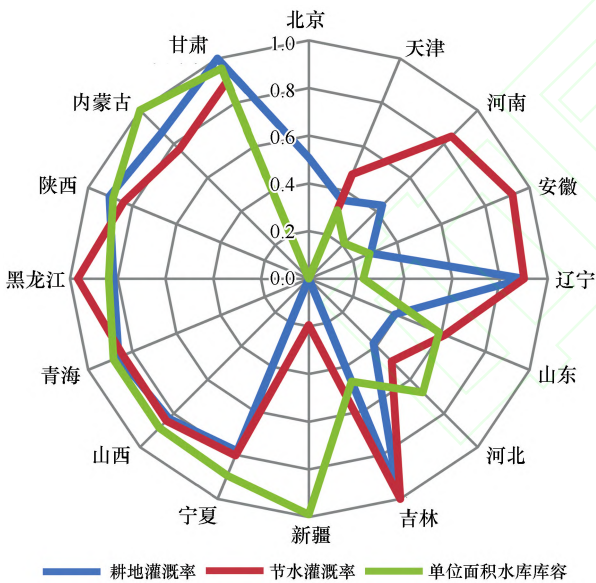


图 8 各地区防旱抗旱能力指标雷达图

Fig.8 Radar chart of vulnerability indicators for the ability of drought prevention and resistance in various regions

量大小和系统效应来确定研究区的农业干旱脆弱性指标权重。该方法避免了专家打分法和层次分析法等的主观因素干扰,使量化结果客观易行。从指标选择来看,影响中国北方地区农业干旱脆弱性的因素很多,不同地区的主要影响因子不同,且各因素间关系复杂,因此如何客观全面地选取干旱脆弱性指标就成了研究的难点。本研究在北方地区农业干旱脆弱性指标的选取上侧重于社会经济因素,未考虑研究区地形、土壤属性等自然因素,未来有必要进一

步深入研究。由于研究区面积较大,包含 16 个省(自治区、直辖市),不同省(自治区、直辖市)统计资料所包含的统计指标和统计尺度不尽相同,为了使数据具有可比性,避免较多的数据缺失,本研究选择的统计尺度为省。这样做将模糊化一部分细节信息。在进一步研究中应加强数据的收集整理,对多源数据进行融合,提高农业干旱脆弱性分析的空间分辨率。虽然研究中存在着以上不足,但由主成分分析法获得的农业干旱脆弱性评价及区划结果仍具有较好的客观性和实用性,对于认识中国北方地区农业干旱脆弱性程度以及分析影响干旱脆弱性的因素具有重要意义。

5 结论

本文从水资源、农业经济、社会和防旱抗旱能力入手,建立了中国北方地区农业干旱脆弱性评价指标体系。通过主成分特征分析,选择前 5 个主成分来代替原来的 16 个原始变量,并以 5 个主成分的方差贡献率为系数建立中国北方地区农业干旱脆弱性评价模型,得到脆弱性评价阈值和空间区划。水资源高脆弱区主要位于青海、宁夏、新疆、甘肃和内蒙古;农业经济高脆弱区主要位于甘肃、黑龙江和新疆;社会高脆弱区主要位于青海、河南、新疆、安徽和甘肃;防旱抗旱能力高脆弱区主要位于新疆、宁夏、山西、青海、黑龙江、陕西、内蒙古和甘肃。综合以上结果,中国北方地区农业干旱脆弱性由小到大依次

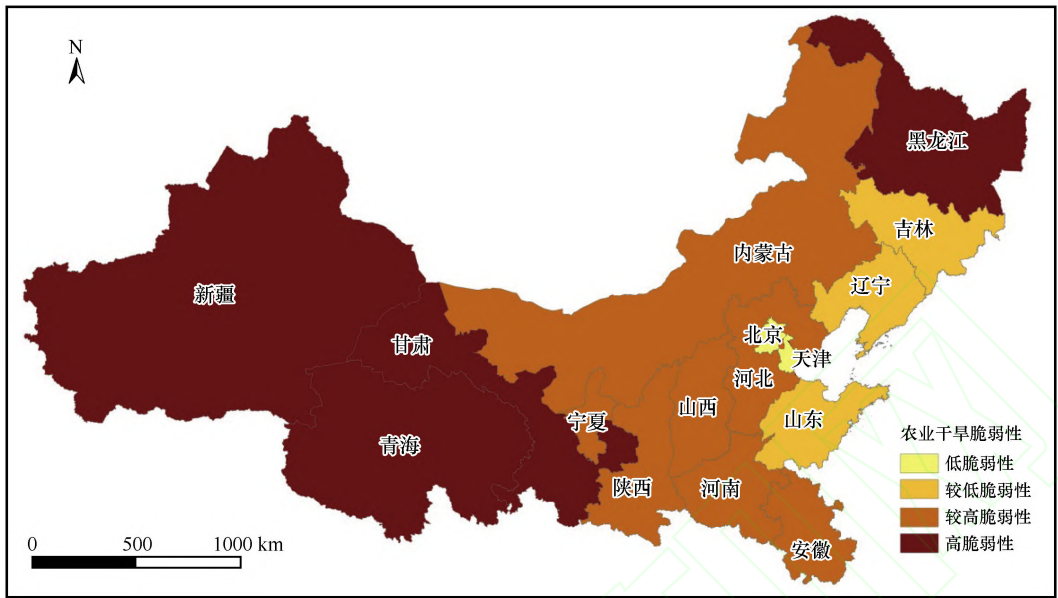


图9 农业干旱脆弱性空间分布

Fig.9 Spatial distribution of agriculture drought vulnerability

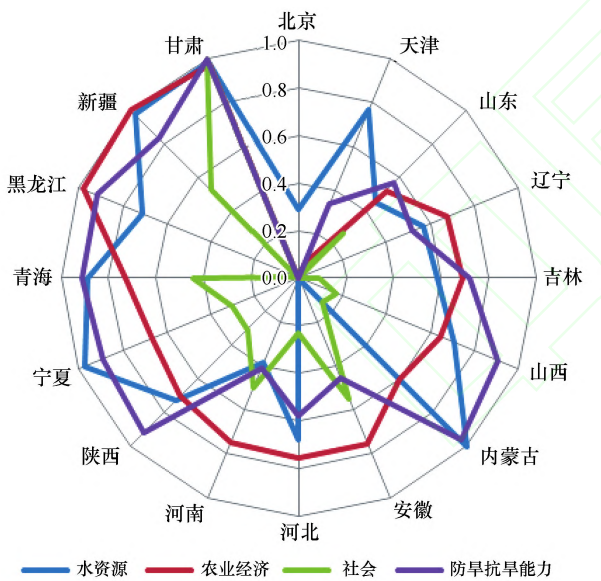


图10 各地区农业干旱脆弱性指标雷达图

Fig.10 Radar chart of vulnerability indicators for agricultural drought in various regions

为北京、天津、山东、辽宁、吉林、山西、内蒙古、安徽、河北、河南、陕西、宁夏、青海、黑龙江、新疆和甘肃。

参考文献：

[1] 张强,张良,崔县成,等.干旱监测与评价技术的发展及其科学挑战[J].地球科学进展,2011,26(7):763-778.

[2] Ashok K M, Vijay P S.A review of drought concepts[J].Journal of Hydrology,2010,391(1/2):202-216.

[3] IPCC.Climate Change 2013:The Physical Science Basis[M].Cambridge,UK:Cambridge University Press,2013.

[4] 谢祥永.中国北方干旱化的时空变化特征[C]//中国气象学

会年会 s5 干旱灾害风险评估与防控.2014.

[5] 胡实,莫兴国,林忠辉.未来气候情景下我国北方地区干旱时空变化趋势[J].干旱区地理,2015,38(2):239-248.

[6] 刘铁民.脆弱性——突发事件形成与发展的本质原因[J].中国应急管理,2010(10):32-35.

[7] 史培军.再论灾害研究的理论与实践[J].自然灾害学报,1996,5(4):6-17.

[8] Blakic P,Cannon T,Davis I, et al.At Risk ;Natural Hazard, People’s Vulnerability and Disasters[M].London,UK:Routledge,2004:13-21.

[9] Tanago I G,Urquijo J,Blauhut V, et al.Learning from experience: a systematic review of assessments of vulnerability to drought[J].Natural Hazards,2016,80:951-973.

[10] 石育中,王俊,王子侨,等.农户尺度的黄土高原乡村干旱脆弱性及适应机理[J].地理科学进展,2017,36(10):1281-1293.

[11] 石翠萍,杨新军,王子侨,等.基于干旱脆弱性的农户系统体制转换及其影响机制——以榆中县中连川乡为例[J].人文地理,2015(6):77-82.

[12] Ng’Ambi C,Dzanja J,Mwase W.Rural farming households vulnerability to climate variability in Malawi;a case of Chitekwere Area Development Programme (ADP) in Lilongwe District[J].Journal of Agricultural Science,2015,7(7):93-102.

[13] Silva M M G T D,Kawasaki A.Socioeconomic vulnerability to disaster risk;a case study of flood and drought impact in a rural Sri Lankan community[J].Ecological Economics,2018,152:131-140.

[14] Ahmadalipour A,Moradkhani H.Multi-dimensional assessment of drought vulnerability in Africa;1960-2100[J].Science of the Total Environment,2018,644:520-535.

[15] Naumann G,Barbosa P,Garrote L, et al.Exploring drought vulnerability in Africa: an indicator based analysis to be used in early warning systems[J].Hydrology and Earth System Sciences,2014,18(5):1591-1604.

- [16] 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.
- [17] 武建军,耿广坡,周洪奎,等.全球农业旱灾脆弱性及其空间分布特征[J].中国科学(地球科学),2017(6):733-744.
- [18] 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,2014,32(12):1897-1904.
- [19] 徐玉霞,许小明,杨宏伟,等.基于 GIS 的陕西省干旱灾害风险评估及区划[J].中国沙漠,2018,38(1):192-199.
- [20] 王娅,周立华.宁夏盐池县沙漠化逆转过程的脆弱性诊断[J].中国沙漠,2018,38(1):39-47.
- [21] Ashraf M, Routray J K, Saeed M. Determinants of farmers' choice of coping and adaptation measures to the drought hazard in Northwest Balochistan, Pakistan[J]. Natural Hazards, 2014, 73(3):1451-1473.
- [22] 何斌,王全九,吴迪,等.基于主成分分析和层次分析法相结合的陕西省农业干旱风险评估[J].干旱地区农业研究,2017,35(1):219-227.
- [23] 常文娟,梁忠民,马海波.基于主成分分析的干旱综合指标构建及应用[J].水文,2017,37(1):33-38,82.
- [24] Kim S H, Lee M H, Bae D H. Estimation and assessment of natural drought index using principal component analysis[J]. Journal of Korea Water Resources Association, 2016, 49(6):565-577.
- [25] 舒晓慧,刘建平.利用主成分回归法处理多重共线性的若干问题[J].统计与决策,2004(10):25-26.
- [26] Pearson K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space[J]. Philosophical Magazine, 1901, 2(11):559-572.
- [27] 赵宗权,周亮广.江淮分水岭地区旱灾风险评估[J].水土保持研究,2017,24(1):370-375.

Evaluation of Agricultural Drought Vulnerability in Northern China

Wang Ying, Zhao Wen, Zhang Qiang

(Key Laboratory of Arid Climatic Change and Reducing Disaster of Gansu Province/Key Open Laboratory of Arid Change and Disaster Reduction, Institute of Arid Meteorology, China Meteorological Administration, Lanzhou 730020, China)

Abstract: The vulnerability of water resources, agricultural economy, society and the ability of drought prevention and resistance were selected as the criterion layers to establish the index evaluation system of agricultural drought vulnerability, which was based on investigating and analyzing the present situation of agricultural production in Northern China. The principal component analysis method was used to reduce the dimensionality of high dimensional variables. According to the variance contribution, the evaluation model of agricultural drought vulnerability in Northern China was established, and the classification threshold and regionalization of drought vulnerability in various provinces (autonomous regions, municipalities directly under the Central Government) were obtained. The results showed that: (1) The variance contribution was 41.99%, 19.25%, 14.06%, 8.07% and 5.32% for the five major principal components, respectively. (2) According to the classification threshold and division of agricultural drought vulnerability in Northern China, the agricultural drought vulnerability based on ascending sequence was Beijing, Tianjin, Shandong, Liaoning, Jilin, Shanxi, Inner Mongolia, Anhui, Hebei, Henan, Shaanxi, Ningxia, Qinghai, Heilongjiang, Xinjiang, and Gansu.

Key words: principal component analysis; agricultural drought; vulnerability; Northern China