

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

徐 晗^{1,2}

(1. 长安大学环境科学与工程学院, 陕西 西安 710054;
2. 陕西学前师范学院环境与资源管理系, 陕西 西安 710100)

摘 要: 以陕西省 10 个城市为研究对象, 从农业干旱的敏感性和恢复力 2 个角度选取 14 个指标, 对全省的农业干旱脆弱性进行评价。利用熵权法和贡献度模型, 根据陕西省 2014 年水资源、气象与社会经济统计数据, 对 10 个城市的农业干旱脆弱性及主要贡献因子进行分析。结果表明: (1) 陕南的 3 个城市安康、商洛和汉中的农业干旱脆弱性水平较高, 分别为 0.7128、0.7110 和 0.5897, 关中和陕北的 7 个城市农业干旱脆弱性处于中等水平; (2) 陕西省农业干旱脆弱性的空间差异与城市社会经济发展水平和气候条件不完全一致, 陕南地区敏感性总体较高, 其中最高为安康(0.4238), 关中和陕北地区敏感性总体较低, 其中最低为宝鸡(0.2123); 陕南地区三个城市的恢复力水平最低, 关中和陕北对于干旱的恢复能力差异不大, 其中咸阳(0.0992)、渭南(0.1301)、榆林(0.1554)3 市的恢复力最强。 (3) 从影响因子来看, 西安、咸阳和渭南的主要影响因子为人口密度, 贡献度分别为 27.11%、15.11% 和 14.18%; 安康、汉中和商洛的主要影响因子为旱地面积比重, 贡献度分别为 29.36%、17.20% 和 18.38%; 延安和榆林的主要影响因子为旱地面积比重和耕地灌溉率, 前者贡献度分别为 32.18% 和 29.36%, 后者贡献度均为 17.24%; 铜川的主要影响因子为耕地灌溉率, 贡献度为 16.49%; 宝鸡的主要影响因子为水库调蓄率, 贡献度为 10.76%。最后, 根据评价结果提出不同城市控制农业干旱脆弱性的相应措施。

关键词: 农业干旱; 脆弱性; 空间差异; 贡献度; 陕西省
中图分类号: S423 **文献标志码:** A

Assessment of agricultural drought vulnerability and identification of influencing factors based on the entropy weight method

XU Han^{1,2}

(1. College of Environmental Science and Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi 710054, China;
2. Shaanxi Xue Qian Normal University, Xi'an, Shaanxi, 710100, China)

Abstract: 10 cities in Shaanxi were selected as the research objects to evaluate the agriculture drought vulnerability in Shaanxi by 14 indicators through two points on the drought sensibility and resilience in agriculture. Entropy-value method and contribution model were adopted to assess the agriculture drought vulnerability and main contribution factors of the 10 cities in Shaanxi according to water resource, meteorology and social economy statistical data. The results showed that the agriculture drought vulnerability levels of Hanzhong, Ankang and Shangluo in southern Shaanxi were higher than others, reaching to 0.7128, 0.7110 and 0.5897, while the agriculture drought vulnerability levels of 7 other cities in Guanzhong and northern Shaanxi were medium. In addition, the spatial difference of agriculture drought vulnerability was not based on the social economy development level and land climate conditions in Shaanxi. The sensitivity was highest in Ankang (0.4238), lower in Guanzhong and northern Shaanxi, and lowest in Baoji (0.2123). The resilience level was lowest in southern Shaanxi, and few differences were found in Guanzhong and northern Shaanxi, while highest in Xianyang (0.0992), Weinan (0.1301) and Yulin (0.1554). For the impact factors, the main impact factor of Xi'an, Xianyang and Weinan was the population density with contribution degrees of 27.11%, 15.11% and 14.18%,

respectively. The main impact factor of Ankang, Hanzhong and Shangluo was the dryland area proportion with contribution degrees of 29.36%, 17.20% and 18.38%, respectively. The main impact factor of Yan'an and Yulin was the dryland area proportion (contribution degrees of 32.18% and 29.36%) and the rate of irrigation (17.24% and 17.24%). The main impact factor of Tongchuan was the rate of irrigation with a contribution degree of 16.49%, and the main impact factor of Baoji was the rate of reservoir pondage with a contribution degree of 10.76%. Finally, this paper put forward measures of agriculture drought vulnerability controls in different cities based on the evaluation results.

Keywords: agriculture drought; vulnerability; Shaanxi Province; spatial difference; contribution degree

干旱已成为一个严重威胁人类生存的环境问题。随着人口增加和经济发展,旱灾所造成的损失也越来越严重^[1-2]。近年来全球气候变暖加快,引起农业自然灾害频发,干旱不仅直接导致农业减产、食物短缺、病虫害高发、作物生产力降低等,其持续累积还会引起土地资源退化、水资源耗竭和生态环境破坏,从而制约农业的可持续发展^[3-4]。因此已有很多学者对于农业干旱评价、农业干旱风险评价、农业干旱预警、农业干旱分区等方面进行研究,但仅对干旱进行判断和监测对于预防和抗减农业干旱问题还是远远不够的,我们需要对于农业生产系统对干旱的适应、反应和应对能力进行研究。近年来,对于农业干旱脆弱性评价方面的相关研究开始涌现,如胡颖颖等^[3]的“新疆 2001—2010 年农业气候干旱脆弱性分析”,倪深海等^[1]的“中国农业干旱脆弱性分区研究”,商彦蕊^[5]的“干旱、农业旱灾与农户旱灾脆弱性分析”等。农业干旱脆弱性是指农业生产系统易于遭受干旱威胁与损失的性质和状态,反映了整个农业系统对干旱的适应、反应和应对能力^[3]。它主要受两个因素的影响:一是敏感性(加剧农业旱灾危害的各种因素总和),它是从负面影响农业旱灾脆弱性,即农业系统的敏感性越强,农业系统的旱灾脆弱性越大;二是恢复性(减轻农业旱灾危害的各种有利因素总和),是从正面影响农业旱灾脆弱性,即农业系统的恢复性越强,农业系统的旱灾脆弱性越弱^[6]。干旱脆弱性越强说明发生旱灾的风险越高,灾情可能越严重。因此,进行农业气候干旱脆弱性评价和预警对预防与抗减旱灾有重要意义^[7]。

灾害脆弱性领域较为成熟的评价方法主要有:综合指数法、图层叠置法、脆弱性函数模型评价法、模糊物元评价法和危险度分析法等^[8]。因基于区域的综合脆弱性评价模型强调以区域为单位,从社会、经济、环境等方面综合衡量系统脆弱性,能够兼顾承灾系统的要素复杂性,适用性较强^[9],而熵权法确定权重可以消除赋权的主观性影响,使赋权结果更加科学合理,因此,本文利用熵权法和贡献度模型,在基于区域的综合脆弱性评价框架下,以陕西省为研

究区,从空间尺度对农业干旱脆弱性进行综合评价,并对影响农业干旱脆弱性的主要因素进行识别,以期制定干旱管理策略、降低农业干旱脆弱性、减少农业损失提供科学依据。

1 研究区概况与研究方法

1.1 研究区概况

陕西省位于我国中部,地理坐标为东经 105°29' ~ 111°15',北纬 31°42' ~ 39°35',总面积 $20.56 \times 10^4 \text{ km}^2$,辖西安、铜川、宝鸡、咸阳、渭南、榆林、延安、汉中、安康、商洛 10 个地(市),共设 107 个县(市、区)。2013 年总人口 3 764 万人,其中农业人口 1 833 万人,非农业人口 1 931 万人。全省地势南北高,中间低,西部高,东部低,构成境内地形地貌繁杂多样,全省地貌为北部陕北黄土高原、中部为关中盆地、南部为秦巴山地。陕西地处内陆,属典型的大陆性气候,降水量分配不均,主要集中在 6—9 月,全省多年平均降水量为 666.9 mm,秦巴山区是陕西省降水量最多的地区,年降水量达 900 ~ 1 600 mm,陕北长城沿线年降水量只有 340 ~ 450 mm,是全省降水最少的地区;多年平均气温 5.9℃ ~ 15.7℃,自南向北递减。全省水面蒸发量因气候、地势、植被等条件的影响,各地有明显差异,陕北黄土高原为 1 000 ~ 1 200 mm,关中为 900 ~ 1 200 mm,陕南为 700 ~ 900 mm,其中冬季水面蒸发量最小,6 月份最大。全省耕地主要分布于陕北北部的沙漠草原、黄土台塬、关中盆地及陕南秦巴山区的山间盆地,总面积 $3.98 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。

根据历史资料统计分析,近几十年陕西农业受旱面积呈增加趋势^[10],农业旱灾发生的季节性和区域性特征明显。陕西以夏旱居多,占各类季节性干旱频次的 31.25%,陕北以夏旱和春旱居多,主要干旱时段集中在 3—6 月,关中夏旱和冬春连旱居多,主要时段集中在 6、7、8 月,陕南夏伏旱占多数,其中关中发生干旱频次最多。

1.2 研究方法

1.2.1 指标体系的建立 农业干旱脆弱性评估,一

般先需确定脆弱性分析的基本内容和评价指标,然后对各指标进行赋权。考虑到陕西省农业旱灾是区域自然环境系统与社会经济系统共同作用的结果,在科学性、定量性、完整性及数据可获取的原则指导

下^[8],从陕西农业干旱的敏感性和恢复力两个方面,选取 14 个指标对陕西的 10 个城市和地区在市域范围内构建陕西省农业干旱脆弱性评价指标体系(表 1)。

表 1 陕西省农业干旱脆弱性评价指标体系
Table 1 The evaluation indicator system of agriculture drought vulnerability in Shaanxi

一级指标 First class indicator	指标代码 Index code	二级指标 Second class indicator	指标代码 Index code	指标性质 Index nature
敏感性 Sensibility	A	人口密度 Population density/(人·km ⁻²)	A ₁	正向 Positive
		农业产值比重 Ratio of agriculture production/%	A ₂	正向 Positive
		复种指数 multiple crop index/%	A ₃	正向 Positive
		农业人口比重 Ratio of agriculture population/%	A ₄	正向 Positive
		旱地面积比重 Ratio of dry land/%	A ₅	正向 Positive
		多年平均降水量 Mean annual precipitation/mm	A ₆	负向 Negative
		多年平均温度 Mean annual temperature/%	A ₇	正向 Positive
恢复力 Resilience	B	水库调蓄率 Rate of reservoir pondage/%	B ₁	负向 Negative
		耕地灌溉率 Rate of irrigation/%	B ₂	负向 Negative
		农民人均纯收入/元 Per capita income of farmers/yuan	B ₃	负向 Negative
		人均粮食产量 Per capita grain production/kg	B ₄	负向 Negative
		人均耕地面积 Per capita cultivated area/km ²	B ₅	负向 Negative
		单位面积农用作肥量/(t·km ⁻²) Agricultural fertilizer quantitu per unit area	B ₆	负向 Negative
		人均 GDP/元 Per capita GDP/yuan	B ₇	负向 Negative

1.2.2 数据来源与数据标准化 本文中各市或地区的指标数据来源于《陕西统计年鉴(2014)》、《中国农村统计年鉴(2014)》、《中国水利统计年鉴》以及各个城市的统计年鉴,其中降雨量、温度等采用 1994—2013 年数据。

由于指标数据的量纲不统一,没有可比性,因此进行农业干旱脆弱性评价,首先要对数据进行去量纲的标准化处理^[9]。在农业干旱脆弱性评价中,正向指标和负向指标对评价结果的影响是不同的,因此在处理时应该区别对待。假设共有 n 个评价对象, m 个评价指标; m 代表评价对象, j 代表评价指标,则 x_{ij} 表示第 i 个评价对象的第 j 个指标值。用 S_{ij} 表示处理后的标准化值, $\text{Max}(X_j)$ 表示第 j 项指标中的最大值, $\text{Min}(X_j)$ 表示第 j 项指标中的最小值,则对正向指标处理为:

$$S_{ij} = \frac{X_{ij} - \text{Min}(X_j)}{\text{Max}(X_j) - \text{Min}(X_j)}$$

(1)

$$(i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$$

对于负向指标的处理为:

$$S_{ij} = \frac{\text{Max}(X_j) - X_{ij}}{\text{Max}(X_j) - \text{Min}(X_j)}$$

(2)

$$(i = 1, 2, \cdots, n; j = 1, 2, \cdots, m)$$

式中, S_{ij} 的取值在 0 到 1 之间, S_{ij} 越趋 0 对脆弱性值贡献越小, S_{ij} 越趋于 1 对脆弱性值贡献越大。

1.2.3 熵权法确定指标权重 目前对于指标权重的确定主要有主观赋权和客观赋权两种方式,主观赋权法主要有 AHP 法、德尔菲法等,随意性较大,客观赋权法主要有熵值法、变异系数法等,可消除主观赋权法的主观随意性,其中熵值法由于其既能反映指标信息的效应价值,又能克服指标间的信息重叠,被各个研究领域广泛应用^[6]。因此,本研究采取熵值法确定农业干旱脆弱性评价指标的权重,计算步骤如下:

基于标准化数据 S_{ij} , 计算第 i 个评价对象在第 j 项评价指标下的 S_{ij} 在 S_j 中的比重,从而构建矩阵 $\{P_{ij}\}_{n \times m}$, 计算权重的过程为:

$$\textcircled{1} P_{ij} = \frac{S_{ij}}{\sum_{i=1}^n S_{ij}}$$

(3)

$$\textcircled{2} \text{ 计算指标信息熵 } e_j$$
$$e_j = -\frac{1}{\ln n} \sum_{i=1}^n (P_{ij} \ln P_{ij})$$

(4)

$$\textcircled{3} \text{ 求取指标差异性系数 } g_j$$
$$g_j = 1 - e_j$$

(5)

$$\textcircled{4} \text{ 确定指标权重 } w_j$$

$$w_j = g_j / \sum_{j=1}^m g_j \tag{6}$$

1.2.4 脆弱性评价模型 本研究在前述指标体系以及确定熵权的基础上,采用加权综合评分法,构建农业干旱脆弱性评估模型,农业干旱脆弱性的程度简称脆弱度,用脆弱性指数来表示,本文采用的脆弱性评价模型为:

$$V_i = \sum_{j=1}^{14} w_j \times S_{ij} \tag{7}$$

$(i = 1, 2, \cdots, 10; j = 1, 2, \cdots, 14)$

式中, V_i 代表脆弱性指数,即农业对干旱的脆弱性程度; w_j 代表第 j 项指标的权重; S_{ij} 代表第 i 个城市第 j 项指标的标准化值。

敏感性与恢复力是农业干旱脆弱性评价的两个重要变量,为了更好地揭示陕西省农业干旱脆弱性的分布特征,针对敏感性和恢复力两个方面开展分指数加权综合评分,其计算原理及步骤与上述干旱脆弱度指数一样,只是敏感性指数与恢复力指数的指标集与脆弱性指数的指标集不同。

1.2.5 因子贡献度计算模型 对于农业干旱脆弱性的研究,不仅要对不同地区的干旱脆弱性水平进行评价分区,更重要的在于厘清影响农业干旱脆弱

性的因子以及影响程度,以便对预防和应对干旱的行为和政策进行调整。由于脆弱性是越低越好,本研究依据贡献度与障碍度^[11-12]的逻辑关系,将已有的因子障碍度模型改造为因子贡献度模型,用于分析负向目标(脆弱性)的主要贡献因子。

$$C_{ij} = \frac{F_j \times I_{ij}}{\sum_{j=1}^{14} F_j \times I_{ij}} \tag{8}$$

$$U_r = \sum C_{ij} \tag{9}$$

式中, C_{ij} 表示第 j 项指标因素对第 i 个评价对象脆弱性的贡献度; U_r 表示两个一级指标层对脆弱性的贡献度; F_j 为单项指标因素对总目标的权重; I_{ij} 为指标隶属度(单因子指标占脆弱性结果的比例,由于在障碍度模型中指标偏离度是单项指标因素评估值与 100% 之差,因此在贡献度模型中因素隶属度即为单项指标因素评估值比 100%)^[13-14]。

2 结果及分析

2.1 陕西省农业干旱的脆弱性

2.1.1 脆弱性分析 利用式(1)、式(2) 进行标准化处理后的矩阵 S_{ij} 如下:

$S_{ij} =$

1.00	0.00	0.71	0.05	0.00	0.63	0.84	0.67	0.04	0.00	1.00	1.00	0.54	0.44
0.20	0.18	0.19	0.00	0.87	0.56	0.27	0.67	0.93	0.71	0.71	0.40	0.66	0.74
0.19	0.36	0.32	0.00	0.44	0.45	0.69	0.76	0.27	0.68	0.18	0.67	0.61	0.69
0.54	0.75	0.37	0.49	0.18	0.76	0.61	0.00	0.05	0.65	0.30	0.80	0.00	0.75
0.44	0.71	0.27	0.30	0.02	0.65	0.76	0.42	0.00	0.80	0.22	0.60	0.43	0.94
0.00	0.25	0.03	0.51	1.00	0.74	0.22	0.29	1.00	0.63	0.53	0.40	0.78	0.37
0.08	1.00	0.90	0.81	0.24	0.00	0.87	0.98	0.69	0.88	0.79	0.40	0.72	0.94
0.02	0.04	0.00	0.84	0.73	1.00	0.00	0.16	0.80	0.63	0.00	0.00	1.00	0.00
0.07	0.68	1.00	1.00	0.76	0.02	1.00	1.00	0.80	0.94	0.71	0.87	0.79	0.98
0.49	0.86	0.88	0.24	0.81	0.40	0.57	0.98	0.76	1.00	0.82	0.93	0.87	1.00

根据式(3),计算得出矩阵 P_{ij} 如下:

$P_{ij} =$

0.33	0.00	0.15	0.01	0.00	0.12	0.14	0.11	0.01	0.00	0.19	0.16	0.08	0.06
0.07	0.04	0.04	0.00	0.17	0.11	0.05	0.11	0.17	0.10	0.13	0.07	0.10	0.11
0.06	0.07	0.07	0.00	0.09	0.08	0.12	0.13	0.05	0.10	0.03	0.11	0.10	0.10
0.18	0.16	0.08	0.12	0.04	0.14	0.10	0.00	0.01	0.10	0.06	0.13	0.00	0.11
0.15	0.15	0.06	0.07	0.00	0.12	0.13	0.07	0.00	0.12	0.04	0.10	0.07	0.14
0.00	0.05	0.01	0.12	0.20	0.13	0.04	0.05	0.19	0.10	0.10	0.07	0.12	0.05
0.03	0.21	0.19	0.19	0.05	0.00	0.15	0.17	0.13	0.13	0.15	0.07	0.11	0.14
0.01	0.01	0.00	0.20	0.14	0.18	0.00	0.03	0.15	0.10	0.00	0.00	0.16	0.00
0.02	0.14	0.21	0.24	0.15	0.004	0.17	0.17	0.15	0.14	0.13	0.14	0.12	0.14
0.16	0.18	0.19	0.06	0.16	0.07	0.10	0.17	0.14	0.14	0.16	0.15	0.14	0.15

然后根据式(4)、式(5) 计算各指标的熵值 e_j 及差异性系数 g_j 分别为:

$$e_j = (0.7977, 0.8687, 0.8578, 0.8207, 0.7288, 0.8945, 0.9206, 0.9101, 0.8548, 0.9647, 0.8933,$$

0.9336,0.9419,0.9315)

$g_j = (0.2023,0.1313,0.1422,0.1793,0.2712,$
 $0.1055,0.0794,0.0899,0.1452,0.0352,0.1067,$
 $0.0664,0.058,0.0685)$

最后根据式(6) 计算得出各个指标的熵权 w_j 分别为:

$w_j = (0.1203,0.0781,0.0846,0.1066,0.1613,$
 $0.0628,0.0472,0.0535,0.0864,0.0210,0.0635,$
 $0.0395,0.0345,0.0408)$

根据式(7) 计算敏感性指数、恢复力指数和农业干旱脆弱性指数。最终计算得出陕西省 10 个地(市) 的农业干旱脆弱性指数、敏感性指数及恢复力指数(见表 2、图 1)。

目前,在农业干旱脆弱性的等级划分上尚未有明确标准,本文借鉴相关脆弱性研究成果,将农业干旱脆弱性指数($ADVI$) 在(0,1) 范围划分为高($0.67 \leq ADVI < 1$)、中($0.33 \leq ADVI < 0.67$)、低($0 < ADVI < 0.33$) 三个等级^[15-16]。

表 2 陕西省各市农业干旱脆弱性指数对比

Table 2 Comparisons of the agriculture drought vulnerability for cities in Shaanxi

城市 City	敏感性 Sensibility	恢复力 Resilience	脆弱性指数 Vulnerability index	脆弱性等级 Vulnerability level
西安 Xi'an	0.2649	0.1789	0.4438	中 Medium
铜川 Tongchuan	0.2324	0.2250	0.4574	中 Medium
宝鸡 Baoji	0.2123	0.1654	0.3777	中 Medium
咸阳 Xianyang	0.3126	0.0992	0.4118	中 Medium
渭南 Weinan	0.2431	0.1301	0.3733	中 Medium
延安 Yan'an	0.2946	0.2066	0.5012	中 Medium
汉中 Hanzhong	0.3300	0.2597	0.5897	中 Medium
榆林 Yulin	0.2956	0.1554	0.4510	中 Medium
安康 Ankang	0.4238	0.2890	0.7128	高 High
商洛 Shangluo	0.4088	0.3022	0.7110	高 High

总体来看,陕西省农业干旱脆弱性呈现明显的地区差异,陕南秦巴山区的 3 市总体干旱脆弱性高,其次为陕北黄土高原地区的 2 市,关中渭河平原 5 市普遍脆弱性较低。该结果表明,虽然气候干旱是农业干旱脆弱性评价的基础与前提,但农业干旱脆弱性的地域差异与其并完全不一致;另外,由表 2 可见,脆弱性指数大小差异也比较大,最高的 0.7128,最低的 0.3733。

陕西省农业干旱脆弱性最高的城市为安康,脆弱性最低的城市为渭南,在关中地区 5 个城市里脆弱性最高的为铜川,其次为省会城市西安。从气候条件相似的关中地区农业干旱脆弱性对比结果来看,脆弱性的地域差异不仅与气候干旱不一致,其与城市经济发展水平也不完全一致。

2.1.2 敏感性分析 由表 2 和图 1 可知,陕南地区敏感性总体较高,其中最高为安康市,其次分别为商洛、汉中,陕北地区的榆林和延安敏感性程度相近,与其它城市相比均处于中等水平,关中地区敏感性存在一定差异,最高的为咸阳,其后依次为西安、铜川、渭南,最低的为宝鸡。分析出现该结果的原因:

(1) 陕南地区农业产值比重大,汉中、安康和商洛分别为 35%、26% 和 31%,是农业产值比重最小城市(西安,0.07)的 4~5 倍,说明该地区对农业生

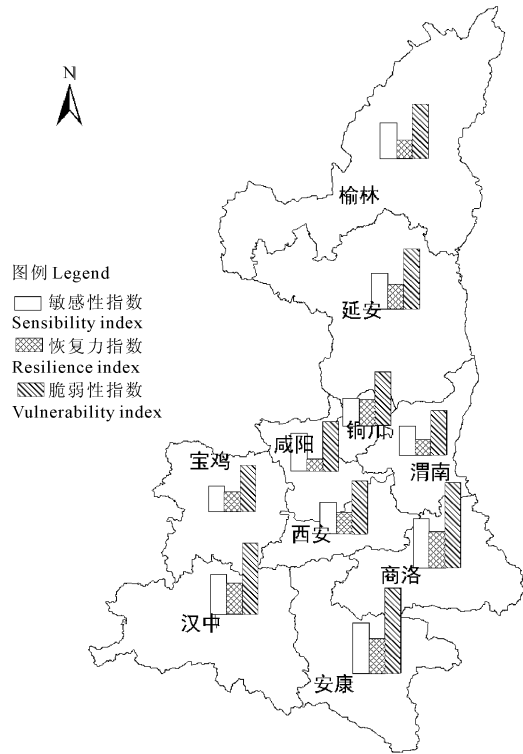


图 1 陕西农业干旱脆弱性指数及结构的空间分异

Fig.1 The agriculture drought vulnerability index and its structural spatial difference in Shaanxi

产的依赖性较大;陕南地区 3 个城市农业人口比重均较大,其中安康的农业人口比重高达 84%,而农民是对农业干旱最为敏感的群体,比例越大,敏感性越高;复种指数总体偏高,说明作物生长的需水量大,对干旱也就更敏感;虽然陕南地区整体降水量最高,但是多年平均气温偏高,除汉中外,耕地中旱地面积比重都过高,达到 80% 以上,因此对于干旱的敏感性也会较高。

(2) 陕北地区虽然多年平均降雨量较低,但平均气温低,只有 10℃ 左右;延安和榆林人口密度分别为 60 人·km⁻²和 77 人·km⁻²,不足人口密度最大城市(西安,846 人·km⁻²)人口密度的 1/10,延安和榆林农业产值比分别为 14% 和 8%,均处于全省最低水平,说明其对农业生产的依赖性较低,同时复种指数也均为最低,虽然旱地比重较高,但其种植植被和作物种类均耐旱,因此需水量较小,对干旱的敏感性不高。

(3) 在关中地区,咸阳和西安市的敏感性指数较高,其主要原因是这两个城市的人口密度和复种指数都较大,西安的人口密度高达 846 人·km⁻²,而咸阳的农业产值和农业人口比重在关中地区都为最大,对农业依赖性强,且多年平均降水量只有 497.98 mm,因此其干旱敏感性强。

2.1.3 恢复力分析 由于恢复力在农业干旱脆弱性评价当中是负向指标,因此其所得分值越低,说明

对干旱的恢复力越强。由表 2 和图 1 可知,总体上陕南地区 3 个城市的恢复力水平最低,关中和陕北对于干旱的恢复能力差异不大,其中咸阳(0.0992)、渭南(0.1301)、榆林(0.1554)3 市的恢复力指数较低。分析出现该结果的原因如下:

(1) 陕南地区整体经济发展水平较低,人均 GDP 和农民人均纯收入都很低,因此应对干旱的资金和社会力量不足;虽然陕南水库总体库容不小,但地表径流量过大,导致水库调蓄率很低;人均耕地面积较小,说明人口作用于耕地上的压力过大,也使得该地区干旱一旦发生,难以很快恢复。

(2) 关中地区的咸阳和渭南,在恢复力上的主要优势体现在水库调蓄率和耕地灌溉率都较高,达到 0.5 以上,因此耕地的灌溉水源充足,应对干旱的能力较强;而位于陕北地区的榆林市,虽然耕地灌溉率不高,但由于人口稀少,资源丰富,其人均 GDP 为全省最高(84 634 元·年⁻¹),同时人均耕地面积(0.21 hm²)和人均粮食产量(410.54 kg)均为全省最高,土地压力较小,应对干旱能力强。

2.2 因子贡献度分析

在前述整体评价的基础上,对陕西省农业干旱脆弱性的主要贡献因子进行识别与分析,为降低各市农业干旱脆弱性寻找有效策略^[17-18]。根据式(8)、(9),按照一级指标层和二级指标层分别计算各个因子贡献度,结果如表 3。

表 3 陕西省各层次指标因子对农业干旱脆弱性的贡献程度/%

Table 3 The contribution degrees of the indicators in every level to the agriculture drought vulnerability of Shaanxi Province

指标 Index		西安 Xi'an	铜川 Tongchuan	宝鸡 Baoji	咸阳 Xianyang	渭南 Weinan	延安 Yan'an	汉中 Hanzhong	榆林 Yulion	安康 Ankang	商洛 Shangluo
敏感性 Sensibility	A1	27.11	4.94	6.05	15.77	14.18	0.00	1.63	0.60	1.18	8.29
	A2	0.00	2.88	7.44	14.22	14.86	3.90	13.24	0.78	7.45	9.45
	A3	13.53	3.30	7.17	7.60	6.12	0.51	12.91	0.00	11.87	10.47
	A4	1.20	0.00	0.00	12.68	8.57	10.85	14.64	22.33	14.95	3.60
	A5	0.00	28.79	18.79	7.05	0.86	32.18	6.57	29.36	17.20	18.38
	A6	8.92	7.22	8.15	11.59	10.94	9.27	0.00	15.66	0.18	3.53
	A7	8.93	2.61	8.62	6.99	9.61	2.07	6.96	0.00	6.62	3.78
合计 Total		59.69	49.74	56.22	75.91	65.14	58.78	55.96	68.73	59.45	57.50
恢复力 Resilience	B1	8.08	7.35	10.76	0.00	6.02	3.10	8.89	2.13	7.51	7.37
	B2	0.78	16.49	6.18	1.05	0.00	17.24	10.11	17.24	9.70	9.24
	B3	0.00	3.06	3.78	3.31	4.50	2.64	3.13	3.30	2.77	2.95
	B4	14.31	9.25	3.03	4.63	3.74	6.72	8.51	0.00	6.32	7.32
	B5	8.90	3.24	7.01	7.67	6.35	3.15	2.68	0.00	4.82	5.17
	B6	4.20	4.67	5.57	0.00	3.97	5.37	4.21	8.60	3.82	4.71
	B7	4.05	6.19	7.45	7.43	10.28	3.01	6.50	0.00	5.61	5.74
合计 Total		40.31	50.26	43.78	24.09	34.86	41.22	44.04	31.27	40.55	42.50

注:表中加框数值为主要贡献因子的贡献度(前五)。
Note: The value of bordered number was the contribution degree of the main contribution factors (Top five).

2.2.2.1 一级指标层因子贡献度分析 由图 2 可知,总体来说,陕西省 10 个城市的敏感性对农业干旱脆弱性结果的贡献度要高于恢复力,但除咸阳和榆林外,差异均不大。其中,咸阳的敏感性贡献度最大,高达 75.91%,其余 9 个城市也都在 50% 以上,因此,在干旱的预防和控制中,降低农业干旱脆弱性的关键都在于降低敏感性。

2.2.2.2 二级指标层因子贡献度分析 本次研究取 14 个指标中的前 5 作为主要贡献因子,根据表 3 可知,对陕西省农业干旱脆弱性起主要作用的贡献因子主要集中在敏感性指标上,恢复力指标中只有耕

地灌溉率和人均粮食产量两个指标比较重要。农民人均纯收入是贡献度最小的因子,主要原因是 10 个城市的该指标差异不大,除西安达到 10 000 元以上,其它城市都在 6 000 ~ 8 000 元;而多年平均降水量是贡献度最大的因子,除了陕南的汉中、安康和商洛,在其它 7 个城市的因子贡献度中都排在前 5,说明降雨量对于陕南秦巴山区的农业干旱脆弱度影响不大,尤其是对汉中(0.008%)和安康(0.18%)几乎没有贡献,因此虽然陕南降雨量为全省最高,但干旱脆弱程度却最大。

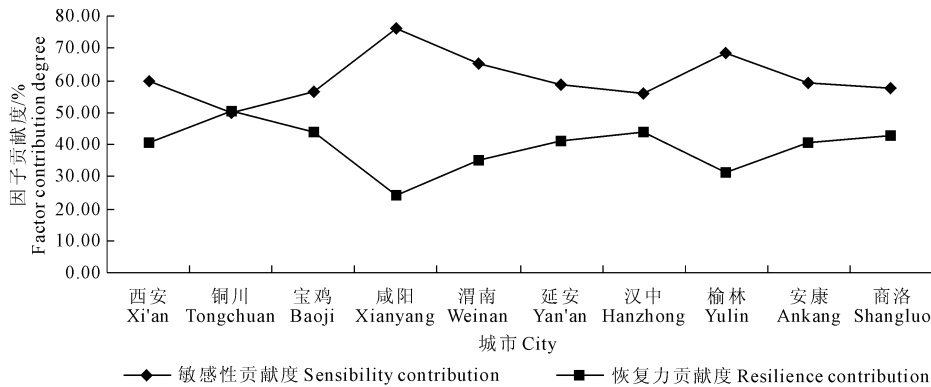


图 2 陕西省各市一级指标因子贡献度对比分析

Fig.2 The contrastive analysis of the first index factor contribution degrees in cities of Shaanxi

具体来看,西安市农业干旱脆弱性贡献度最大的因子为人口密度(27.11%),其次为复种指数(13.53%)、人均粮食产量(14.31%)、多年平均降水量(8.92%)和多年平均温度(8.93%)。因此,西安市应限制人口快速增长与集中分布,控制农作物耕作面积,优化种植结构,提高农作物的产出效率。铜川市脆弱性贡献度最大的因子是旱地面积比重(28.79%),其次为耕地灌溉率(16.49%),因此,铜川市应搞好水利建设,加强水利工程供水能力,同时选择合理的节水灌溉形式,提高水分利用率,尽量增加水浇地比例。宝鸡市脆弱性贡献度最大的因子为旱地面积比重(18.79%),其次为水库调蓄率(10.76%),因此,宝鸡市应大力加强水源地的保护以及水库配套灌区的规划建设,以较高的水库调蓄率保障充足的灌溉条件。咸阳市和渭南市的脆弱性主要贡献因子相似,贡献度最大的为人口密度(15.77%,14.18%)和农业产值比(14.18%,14.86%),咸阳市次贡献因子为农业人口比重(12.68%)和多年平均降雨量(11.59%),渭南市次贡献因子为多年平均降雨量(10.94%)和人均 GDP(10.28%)。因此,应严格控制人口密度,同时应调整产业结构,大力发展第三产业,降低经济对农业的依赖性。此外,

咸阳市应适当控制农业人口比例,加快城市化进程;渭南市要大力发展社会经济,提高政府收入,以加强对旱灾的防御能力。延安市和榆林市的脆弱性贡献因子基本相同,其贡献度最大的因子为旱地面积比重(32.18%,29.36%),其次为耕地灌溉率(17.24%,17.24%)、农业人口比重(22.33%,10.85%)和多年平均降雨量(15.66%,9.27%)。因此,应当控制农业人口的增长,使农业人口更多地流向城市,减少对农业的依赖性,同时提高农业抗旱能力,对水土流失进行治理,种植耐旱高产的经济作物,充分利用地下水资源,提高灌溉效率。汉中市脆弱性贡献最大的因子为农业人口比重(14.64%)和农业产值比(13.24%),其次为复种指数(12.91%)和耕地灌溉率(10.11%)。因此,汉中市的农业干旱脆弱性主要来源于其对农业生产的依赖性过大,农业产值比高达 35%,而农业人口比重高达 77%,因此应适当调整产业结构,让农业人口适当流向城市支持第三产业,同时减少播种面积,提高农作物产出效率,加强水库利用率以保证耕地灌溉条件。安康市和商洛市的脆弱性贡献因子基本相同,其贡献度最大的因子为旱地面积比重(17.20%,18.38%),其次为复种指数(11.87%,10.47%)和耕地灌溉率(9.70%,

9.24%)。因此,除汉中市的所有应对措施外,还应当提高农业抗旱能力,该地区种植的农作物需水量较大,应注意提高水资源的利用率。

3 结论与讨论

3.1 结论

(1) 陕西省农业干旱脆弱性总体处于中高等水平,但脆弱性程度存在一定的空间差异,其差异与城市社会经济水平和降雨量等气候因素都不完全一致。脆弱度最高的是安康市,脆弱性最低的是渭南市。

(2) 陕西省农业干旱脆弱性总体呈现出“南高北低”的分布状况,陕南高度脆弱,关中和陕北都是中度脆弱。这与前人所研究的干旱分布情况不完全一致,说明干旱脆弱性中对干旱的应对能力也是非常重要的衡量指标,与每个城市的经济发展水平、灌溉设施、管理政策、产业结构以及种植作物的种类都密切相关。

(3) 陕西省农业干旱脆弱性主要是受敏感性因子影响,尤其是农业人口比重和旱地面积比重;而在恢复力因子中的耕地灌溉率、人均粮食产量和人均 GDP 对脆弱度也有着比较关键的影响。

(4) 从对陕西省的农业干旱脆弱度贡献较大的几个因子中可以看出,降低对农业生产的依赖性、调整产业结构、降低人口密度、提高灌溉水平和水资源的利用效率、加强对地下水的开发利用以及提高水库的调蓄能力都是日后控制农业干旱脆弱性的有效措施。

3.2 讨 论

本文采用了基于熵权法的区域脆弱性综合评价模型,在权重的确定过程中,虽然消除了主观随意性,但又过分依赖原始数据^[19-20],在日后的研究中可尝试结合使用层次分析法、德尔菲法的主观赋权方法,使评价结果更加科学合理。另外,为更好地表达出影响因子间的相互耦合关系,在日后的研究中可尝试使用集对分析法、TOPSIS 法、密切值法等多目标决策分析评价法对农业干旱脆弱性进行评价,使评价结果更趋于合理化。

参 考 文 献:

[1] 倪深海,顾 颖,王会容.中国农业干旱脆弱性分区研究[J].水

科学进展,2006,16(5):705-709.

[2] 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.

[3] 胡颖颖,玉米提哈力克,黄 婷,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):254-258.

[4] Kim D H, Yoo C L, Kim T W. Application of spatial EOF and multivariate time series model for evaluating agricultural drought vulnerability in Korea[J]. Advances in Water Resources, 2011,34:340-350.

[5] 商彦蕊.干旱、农业旱灾与农户旱灾脆弱性分析——以邢台县典型农户为例[J].自然灾害学报,2000,9(2):55-61.

[6] 纪朝荣.河南省农业旱灾脆弱性评价研究[D].郑州:河南大学,2013.

[7] Wang J A, Su Y, Shang Y R, et al. Vulnerability identification and assessment of agriculture drought disaster in China[J]. Advances in Earth Science,2005,21(2):161-169.

[8] 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.

[9] 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.

[10] 肖 军,赵景波.陕西省 54a 来农业干旱灾害特征研究[J].干旱区资源与环境,2006,20(5):201-204.

[11] 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,2010,65(4):454-464.

[12] 鲁春阳,文 枫.基于改进 TOPSIS 法的城市土地利用绩效评价及障碍因子诊断——以重庆市为例[J].资源科学,2011,33(3):535-541.

[13] Murthy C S, Laxman B, Menale V R. Sessa Sai Geospatial analysis of agricultural drought vulnerability using a composite index based on exposure, sensitivity and adaptive capacity[J]. International Journal of Disaster Risk Reduction,2015,12(8):163-171.

[14] Bekele S, Kindie T, Menale K. Managing vulnerability to drought and enhancing livelihood resilience in sub-Saharan Africa: Technological, institutional and policy options[J]. Weather and Climate Extremes, 2014,3(2):67-79.

[15] 赵菲菲,何 斌,李小涵,等.区域农业干旱脆弱性评价及影响因素识别——以河南、河北省为例[J].北京师范大学学报(自然科学版),2012,48(3):282-286.

[16] 李 艳.河南省干旱承险脆弱性综合评价研究[D].郑州:郑州大学,2011.

[17] 杨奇勇,李景保,蔡松柏.湖南农业干旱脆弱性分区研究[J].水资源与水工程学报,2007,18(3):46-49.

[18] 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.

[19] 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.

[20] 雷治平,刘引鸽,李录堂.陕西农业干旱灾害分析评估[J].陕西气象,2006,(1):27-30.