

面板数据的灰色矩阵关联模型及在旱灾脆弱性风险中的应用

罗 党^{1,2}, 叶莉莉^{2†}, 韦保磊¹, 王洁方²

(1. 华北水利水电大学 数学与统计学院, 郑州 450046; 2. 华北水利水电大学 管理与经济学院, 郑州 450046)

摘 要: 针对现有面板数据灰色关联模型中存在样本(指标)的排列顺序影响关联序问题, 构建面板数据下新的灰色关联模型. 考虑到多指标面板数据的动态发展特征, 在其矩阵表征中增加各指标对应的变化增量和变化速度, 并用均方根距离(RMSD)对指标矩阵的相似性进行测度, 提出灰色矩阵关联模型, 讨论其规范性和保序性. 通过算例验证该模型的关联度不受多指标样本排列顺序的影响, 并将其应用于旱灾脆弱性风险因子的识别中, 理清了区域农业旱灾脆弱性及其影响因素的关联关系, 为区域农业旱灾风险管理提供了理论支持.

关键词: 面板数据; 灰色矩阵关联度; 动态发展特征; 关联序; 旱灾脆弱性

中图分类号: N941.5

文献标志码: A

Grey matrix incidence model for panel data and its application in drought vulnerability risk

LUO Dang^{1,2}, YE Li-li^{2†}, WEI Bao-lei¹, WANG Jie-fang²

(1. School of Mathematics and Statistics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China; 2. School of Management and Economics, North China University of Water Resources and Electric Power, Zhengzhou 450046, China)

Abstract: Aiming at the problem that the samples' (indexes') sequence influences the incidence order in the grey incidence model for the current panel data, a new grey incidence model under the panel data is established. Considering the dynamic development characteristics of the multivariate panel data, the corresponding changing incremental and changing speed are added according to different indexes in the matrix characterization. Then the grey incidence model is proposed based on the root mean square distance(RMSD) that is used to measure the similarity of the index matrix, and its specification and isotonicity are also be discussed. A numerical example illustrates that the incidence degree is not influenced by the sequence of multivariate sample. Finally, the proposed model is applied into the recognition of the risk factors of drought vulnerability. The correlation between the regional agricultural drought vulnerability and its influence factors is clarified, which provides theoretical support for regional agricultural drought risk management.

Keywords: panel data; grey matrix incidence degree; dynamic development characteristics; incidence order; drought vulnerability

0 引 言

灰色关联分析模型的基本思想是根据序列曲线几何形状的相似程度来判断序列间的联系是否紧密, 从整体上对系统因子变量的相对重要程度和优劣关系作量化分析^[1]. 目前, 基于点关联系数的分析模型^[2-5]已拓展到基于面积的广义关联分析模型^[6-8], 但

仍主要适用于截面数据与时间序列等一维数据的类型. 一些学者对面板数据灰关联的建模方法进行了初步研究, Liu等^[9]指出了运用面板数据和高维场数据下关联分析方法解决实际问题的迫切性.

梳理现有研究成果, 发现主要集中于以下几个方面: 1) 基于几何形状的相似性构造关联模型, 主要

收稿日期: 2017-07-04; 修回日期: 2017-09-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目(71271086, 71503080); 河南省高等学校重点科研项目(18A630030); 教育部人文社科青年项目(14YJC630121); 河南省科技厅重点攻关项目(142102310123); 河南省研究生教育优质课程(灰色系统理论建设经费).

责任编辑: 李登峰.

作者简介: 罗党(1958—), 男, 教授, 博士生导师, 从事灰色系统理论与决策分析等研究; 叶莉莉(1991—), 女, 硕士生, 从事灰色系统理论与决策分析的研究.

†通讯作者. E-mail: yelili16@163.com

包括:张可等^[10]基于三角曲面簇的描述方法分析指标的相似性,并构建了扩展灰色绝对关联度,填补了灰色关联理论在面板数据中应用的空白,但关联度的大小会因曲面簇的表示方式不同受到影响;吴利丰等^[11]定义凸度表征样本的相似性,建立了三维灰色凸关联度模型,并考虑了指标的发展趋势,但指标的排列顺序会影响到关联结果;刘震等^[12]和党耀国等^[13]利用斜率表征图形的相似程度,构建了面板数据的灰色关联模型,解决了负关联关系的问题,但样本或指标的排列顺序不同会使关联结果发生改变.

2) 基于距离的接近性构造关联模型,主要包括:钱吴永等^[14]利用“水平”距离、“增量”距离和“变异”距离建立灰色关联度模型,解决了关联序的问题,但存在距离集结困难的问题;崔立志等^[15]利用发展速度指数和增长速度指数,提出了面板数据的灰色矩阵相似关联模型,解决了距离集结的问题;Li等^[16]采用平均生成速率表征原序列的动态变化趋势,综合偏离、差分和分离的三重差异信息,构建了面板数据下 Mean-AGRA 关联聚类模型,解决了面板数据不等时长的问題;吴鸿华等^[17]将面板数据投射为空间的向量序列,利用向量的夹角和距离分别构建面板数据的相似性

关联度和接近性关联度模型,计算过程比较简单,但降维处理可能会导致信息的丢失.

本文认为面板数据形式复杂,同时包含时间序列和截面数据,具有样本、时间和指标3个维度.面板数据在时间维度上有严格的时间先后顺序,但在样本和指标维度上并没有顺序性,也就是说样本和指标的排列顺序对面板数据不产生影响.基于此,本文在多指标面板数据的矩阵表征中,增加各指标对应的变化增量和变化速度来反映指标值的动态变化规律;利用 RMSD 距离从全局视角上分别对各指标的发展水平、变化增量和变化速度矩阵的相似性进行测度,构造灰色矩阵关联度模型.算例表明,本文提出的模型关联度与样本的排列顺序无关.利用该模型对河南省5个产粮大市农业旱灾脆弱性的主要因素进行分析,通过实例验证了所提模型的有效性和实用性.

1 面板数据的灰色矩阵关联分析模型

1.1 多指标面板数据的矩阵表征

多指标面板数据是由多个样本在不同时间点上的多个指标值构成的数据集合,具有指标、样本和时间3个维度.设 $x_i(s, t)$ 表示第 s 个样本的第 i 个指标在 t 时刻的取值,如表1所示.

表1 多指标面板数据的二维表

指标	1			...	i			...	p								
	时间						时间										
样本	1	...	t	...	n	...	1	...	t	...	n	...	1	...	t	...	n
1	$x_1(1, 1)$	...	$x_1(1, t)$	...	$x_1(1, n)$	...	$x_i(1, 1)$	...	$x_i(1, t)$	...	$x_i(1, n)$	...	$x_p(1, 1)$	...	$x_p(1, t)$	...	$x_p(1, n)$
...
l	$x_1(l, 1)$	...	$x_1(l, t)$	...	$x_1(l, n)$	...	$x_i(l, 1)$	...	$x_i(l, t)$	...	$x_i(l, n)$	...	$x_p(l, 1)$	...	$x_p(l, t)$	...	$x_p(l, n)$
...
k	$x_1(k, 1)$	...	$x_1(k, t)$	...	$x_1(k, n)$	...	$x_i(k, 1)$	...	$x_i(k, t)$	...	$x_i(k, n)$	...	$x_p(k, 1)$	...	$x_p(k, t)$	...	$x_p(k, n)$
...
m	$x_1(m, 1)$	...	$x_1(m, t)$	...	$x_1(m, n)$	...	$x_i(m, 1)$	...	$x_i(m, t)$	...	$x_i(m, n)$	...	$x_p(m, 1)$	...	$x_p(m, t)$	...	$x_p(m, n)$

定义1 设 $X^0 = (X_1^0(s, t), X_2^0(s, t), \dots, X_p^0(s, t))(s = 1, \dots, l, \dots, k, \dots, m; t = 1, 2, \dots, n)$ 为面板数据指标行为序列,则称

$$X_i^0(s, t) = \begin{bmatrix} x_i(1, 1) & x_i(1, 2) & \dots & x_i(1, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i(l, 1) & x_i(l, 2) & \dots & x_i(l, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i(k, 1) & x_i(k, 2) & \dots & x_i(k, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i(m, 1) & x_i(m, 2) & \dots & x_i(m, n) \end{bmatrix}$$

为指标 i 的发展水平矩阵.

为了全面反映多指标面板数据随时间推移的动态发展特征,本文借鉴林秀梅等^[18]提出的变化增量

和变化速度,增加指标在时间维度上的动态信息,用来分析指标的特征.

定义2 设 $X^1 = (X_1^1(s, t), X_2^1(s, t), \dots, X_p^1(s, t))(s = 1, \dots, l, \dots, k, \dots, m; t = 2, 3, \dots, n)$ 为面板数据指标增量序列,则称

$$X_i^1(s, t) = \begin{bmatrix} x_i^1(1, 1) & x_i^1(1, 2) & \dots & x_i^1(1, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i^1(l, 1) & x_i^1(l, 2) & \dots & x_i^1(l, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i^1(k, 1) & x_i^1(k, 2) & \dots & x_i^1(k, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i^1(m, 1) & x_i^1(m, 2) & \dots & x_i^1(m, n) \end{bmatrix}$$

为指标 i 的变化增量矩阵,其中

$$x_i^1(s, t) = x_i(s, t) - x_i(s, t - 1)$$

表示第 s 个样本的第 i 个指标在 t 时刻的变化增量。

定义3 设 $X^2 = (X_1^2(s, t), X_2^2(s, t), \dots, X_p^2(s, t))(s = 1, \dots, l, \dots, k, \dots, m; t = 2, 3, \dots, n)$ 为面板数据指标变化速度序列, 则称

$$X_i^2(s, t) = \begin{bmatrix} x_i^2(1, 1) & x_i^2(1, 2) & \dots & x_i^2(1, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i^2(l, 1) & x_i^2(l, 2) & \dots & x_i^2(l, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i^2(k, 1) & x_i^2(k, 2) & \dots & x_i^2(k, n) \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ x_i^2(m, 1) & x_i^2(m, 2) & \dots & x_i^2(m, n) \end{bmatrix}$$

为指标 i 的变化速度矩阵, 其中

$$x_i^2(s, t) = x_i^1(s, t)/x_i(s, t - 1)$$

表示第 s 个样本的第 i 个指标在 t 时刻的变化速度。

定义4 设 i 指标面板数据的矩阵扩展形式为

$$X_i(s, t) = [X_i^0(s, t) \quad X_i^1(s, t) \quad X_i^2(s, t)].$$

由于交换样本 l 和样本 k 的位置, 面板数据不发生改变, 用矩阵形式表征面板数据来构造灰色关联模型时, 需满足: 交换矩阵 $X_i(s, t)$ 和 $X_j(s, t)$ 中第 l 行和第 k 行的位置, 灰色矩阵关联度不发生变化。

1.2 模型构建

无论对面板数据进行关联还是聚类分析, 首先要找到“相似性”度量方法. 本文利用 RMSD 距离从整体上对各指标发展水平、变化增量和变化速度矩阵的相似性进行测度来构造灰色矩阵关联模型。

定义5 设指标 i 与指标 j 发展水平的差异程度用 d_{ij}^0 表示, 则

$$d_{ij}^0 = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^m \sum_{t=1}^n (x_i(s, t) - x_j(s, t))^2}{m \times n}}. \quad (1)$$

其中 d_{ij}^0 表示矩阵 $X_i^0(s, t) - X_j^0(s, t)$ 的均方根距离 (RMSD), 反映指标 i 与指标 j 在整个分布时域内绝对发展水平的差异程度. d_{ij}^0 越小, 两指标越接近。

定义6 设指标 i 与指标 j 变化增量的差异程度用 d_{ij}^1 表示, 则

$$d_{ij}^1 = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^m \sum_{t=2}^n (x_i^1(s, t) - x_j^1(s, t))^2}{m \times (n - 1)}}. \quad (2)$$

其中 d_{ij}^1 表示矩阵 $X_i^1(s, t) - X_j^1(s, t)$ 的 RMSD 距离, 反映指标 i 与指标 j 的动态水平增长量的差异程度. d_{ij}^1 越小, 指标 i 与指标 j 的增长量的差异程度越小, 空间中两曲线的相似性越大。

定义7 设指标 i 与指标 j 变化速度的差异程度用 d_{ij}^2 表示, 则

$$d_{ij}^2 = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^m \sum_{t=2}^n (x_i^2(s, t) - x_j^2(s, t))^2}{m \times (n - 1)}}. \quad (3)$$

其中 d_{ij}^2 表示矩阵 $X_i^2(s, t) - X_j^2(s, t)$ 的 RMSD 距离, 反映指标 i 与指标 j 的动态增长速度的差异程度. d_{ij}^2 越小, 指标 i 与指标 j 的变化方向和变化速度的差异程度越小, 动态发展趋势的相似性越大。

在利用定义 5~定义 7 计算指标间的关联度时, 由于指标的量纲不同, 首先需要对其进行无量纲化处理. 常见的无量纲化处理算子包括初值化、均值化和区间值化算子。

定义8^[14] 设扩展形式的多指标面板数据 $X = \{X_1(s, t), X_2(s, t), \dots, X_p(s, t)\}$, D_1 、 D_2 、 D_3 为序列算子, 若:

$$1) x_i(s, t)d_1 = \frac{x_i(s, t)}{x_i(s, 1)}, \text{ 则称 } D_1 \text{ 为初值化算子;}$$

$$2) x_i(s, t)d_2 = \frac{x_i(s, t)}{\bar{x}_i(s)}, \quad \bar{x}_i(s) = \frac{1}{n} \sum_{t=1}^n x_i(s, t), \text{ 则称 } D_2 \text{ 为均值化算子;}$$

$$3) x_i(s, t)d_3 = \frac{x_i(s, t) - \min_t(x_i(s, t))}{\max_t(x_i(s, t)) - \min_t(x_i(s, t))}, \text{ 则称 } D_3 \text{ 为区间值化算子.}$$

定义9 设有面板数据 X_i 和 X_j , i 和 j 表示指标序号, d_{ij}^0 、 d_{ij}^1 和 d_{ij}^2 分别如定义 5、定义 6 和定义 7 所示, 称 r_{ij} 为面板数据的灰色矩阵关联度, 表示为

$$r_{ij} = w_0 r_{ij}^0 + w_1 r_{ij}^1 + w_2 r_{ij}^2. \quad (4)$$

其中: $r_{ij}^0 = \frac{1}{1 + d_{ij}^0}$, $r_{ij}^1 = \frac{1}{1 + d_{ij}^1}$, $r_{ij}^2 = \frac{1}{1 + d_{ij}^2}$ 分别为发展水平关联度、变化增量关联度和增长速度关联度; w_0 、 w_1 、 w_2 分别为其对应的权重, 可根据实际情况对权重进行选择, 完全不确定信息下可取 $w_0 = w_1 = w_2 = 1/3$ 。

1.3 面板数据的灰色矩阵关联度模型的性质

定理1 面板数据灰色矩阵关联模型满足以下性质。

- 1) 规范性: $0 < r_{ij} \leq 1, r_{ij} = 1 \Leftrightarrow X_i = X_j$;
- 2) 接近性: $X_i(s, t)$ 与 $X_j(s, t)$ 越接近, r_{ij} 越大;
- 3) 对称性: $r_{ij} = r_{ji}$;
- 4) 唯一性、可比性;
- 5) 数乘变换保序性。

证明 1) 规范性. 由 $d_{ij}^0 \geq 0$ 可知

$$0 < r_{ij}^0 = \frac{1}{1 + d_{ij}^0} \leq 1,$$

同理, 有

$$0 < r_{ij}^1 \leq 1, \quad 0 < r_{ij}^2 \leq 1.$$

又由

$$w_0 + w_1 + w_2 = 1,$$

得

$$0 < r_{ij} = w_0 r_{ij}^0 + w_1 r_{ij}^1 + w_2 r_{ij}^2 \leq 1.$$

若 $X_i = X_j$, 则

$$d_{ij}^0 = 0, d_{ij}^1 = 0, d_{ij}^2 = 0,$$

得

$$r_{ij}^0 = 1, r_{ij}^1 = 1, r_{ij}^2 = 1.$$

因此, $r_{ij} = 1$.

由 r_{ij} 的公式推导可知, 性质2)~性质4)显然成立.

5) 数乘变换保序性. 设面板数据 X_0, X_i, X_j , 作数乘变换, 可得

$$X'_0 = \alpha X_0, X'_i = \alpha X_i, X'_j = \alpha X_j,$$

则

$$d_{0i}^{0'} = \sqrt{\frac{\sum_{s=1}^m \sum_{t=1}^n (\alpha x_0(s, t) - \alpha x_i(s, t))^2}{m \times n}} = |\alpha| d_{0i}^0,$$

同理 $d_{0j}^{0'} = |\alpha| d_{0j}^0$. 当 $r_{0i}^0 \geq r_{0j}^0$ 时, 有 $\frac{1}{1 + d_{0i}^{0'}} \geq \frac{1}{1 + d_{0j}^{0'}}$, 故 $d_{0i}^{0'} \leq d_{0j}^{0'}$, 对于任意的非零常数 α , 都有 $d_{0i}^{0'} = |\alpha| d_{0i}^0 \leq |\alpha| d_{0j}^0 = d_{0j}^{0'}$, 得 $r_{0i}^{0'} \geq r_{0j}^{0'}$. 同理, 当 $r_{0i}^1 \geq r_{0j}^1$ 时, 有 $r_{0i}^{1'} \geq r_{0j}^{1'}$; 当 $r_{0i}^2 \geq r_{0j}^2$ 时, 有 $r_{0i}^{2'} \geq r_{0j}^{2'}$. \square

2 算例

设4组面板数据

$$X_0 = \begin{bmatrix} 1.2 & 1.5 & 1.8 \\ 1.4 & 2 & 2.2 \\ 1.8 & 2.1 & 2.5 \end{bmatrix}, X_1 = \begin{bmatrix} 1.5 & 1.1 & 1 \\ 1.3 & 1 & 0.6 \\ 0.9 & 0.8 & 0.4 \end{bmatrix},$$

$$X_2 = \begin{bmatrix} 1.4 & 1.9 & 2.1 \\ 1.6 & 0.3 & 2.5 \\ 1.9 & 2.5 & 2.8 \end{bmatrix}, X_3 = \begin{bmatrix} 1 & 1.8 & 1.6 \\ 1.2 & 2.3 & 3 \\ 1.9 & 2.4 & 4.3 \end{bmatrix}.$$

其中: X_0 为参考矩阵, X_1, X_2, X_3 为比较矩阵. 由于文献[12-13]都用到了灰色斜率的思想, 这里仅以文献[12]为代表, 选取文献[10-12]和本文所介绍的方法计算面板数据的灰色关联度, 通过改变样本的排列顺序, 得到关联序如表2所示.

由表2可知, 文献[10-12]介绍的方法都会因样本的排列顺序不同导致关联序发生改变, 而本文所构造的关联度模型不会出现这样的问题. 因此, 对多指标面板数据进行关联或聚类时, 用本文提出的模型进行求解会使关联或聚类结果更加准确和合理.

表2 样本的排列顺序对关联序的影响

样本顺序	方法	面板数据灰色关联度			关联序
		r_{01}	r_{02}	r_{03}	
s_1, s_2, s_3	文献[10]	0.5765	0.6378	0.7822	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	文献[11]	0.7314	0.5247	0.7795	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	文献[12]	-0.9261	0.6073	0.7023	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	本文	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
s_1, s_3, s_2	文献[10]	0.5857	0.8966	0.7648	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[11]	0.6140	0.7858	0.7498	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[12]	-0.9279	0.7483	0.6892	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	本文	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
s_2, s_1, s_3	文献[10]	0.5806	0.8750	0.7843	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[11]	0.6208	0.4595	0.7703	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	文献[12]	-0.9224	0.6405	0.7009	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	本文	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
s_2, s_3, s_1	文献[10]	0.5838	0.8983	0.7554	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[11]	0.6378	0.4433	0.7965	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	文献[12]	-0.9279	0.7483	0.6892	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	本文	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
s_3, s_1, s_2	文献[10]	0.5820	0.8783	0.7738	$X_2 \succ X_3 \succ X_1$
	文献[11]	0.7438	0.7885	0.8111	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	文献[12]	-0.9224	0.6405	0.7009	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	本文	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
s_3, s_2, s_1	文献[10]	0.5761	0.6445	0.7634	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	文献[11]	0.6291	0.5031	0.9060	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$
	文献[12]	-0.9261	0.6073	0.7023	$X_3 \succ X_2 \succ X_1$
	本文	0.5777	0.4439	0.6238	$X_3 \succ X_1 \succ X_2$

3 实例分析

旱灾自古以来便是中国重大自然灾害之一, 严重制约着中国的可持续发展. 干旱灾害是旱灾风险和社会经济脆弱性相互作用的结果, 旱灾的影响很大程度上取决于旱灾发生时社会的脆弱性^[19]. 因此, 众多学者致力于对影响农业旱灾脆弱性的影响因素进行研究, 并取得了丰硕的研究成果^[20-22]. 河南地处黄淮海平原中心, 是我国重要的农业生产基地, 但因受季风型气候的影响, 旱灾频繁, 对粮食生产构成巨大威胁, 干旱问题研究亟待加强. 本文以河南省为例, 选取周口市、驻马店市、南阳市、信阳市和商丘市5个产粮大市为研究对象, 利用面板数据对影响农业旱灾脆弱性的社会、经济因素进行识别, 以期降低农业旱灾脆弱性, 减少农业损失提供科学依据. 数据来源于2008年~2015年《河南省统计年鉴》和《河南省水利厅·水资源公报》.

农业旱灾脆弱性的量化模型是基于粮食减产和农业干旱之间的关系构建的^[23], 表示为

$$I = \frac{\hat{H}_{ij}/H_{ij}}{\hat{R}_{ij}/R_{ij}}. \quad (5)$$

其中: $i = 1, 2, \dots, 5$, 表示市区的个数; $j = 1, 2, \dots, 8$, 表示时间的长度; \hat{H}_{ij} 表示 i 市 j 时期粮食产量期望值, 是利用EViews以3为滞后期对时间序列数据进行自回归处理得到的数据; H_{ij} 表示 i 市 j 时期粮食产量实际值; \hat{R}_{ij} 表示 i 市的整个时期平均降雨量; R_{ij} 表

示*i*市*j*时期的实际降雨量。

根据粮食产量和降雨量的面板数据测算出河南省5个产粮大市的农业旱灾脆弱性指数,如图1所示。

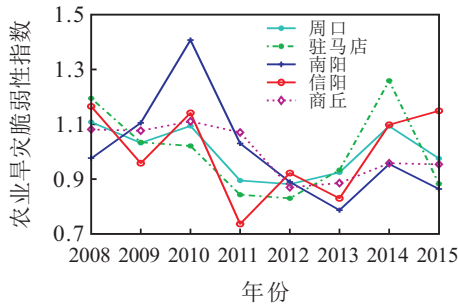


图1 河南省5个产粮大市的农业旱灾脆弱性指数

图1反映了各市农业旱灾脆弱性随时间的动态变化趋势. 其中: 驻马店市的旱灾脆弱性随时间大体

上呈下降趋势,但在2014年明显上升达到最大,这与当年遭受最严重的旱情相贴合;商丘市和周口市的旱灾脆弱性随时间的变化比较稳定;南阳市和信阳市的旱灾脆弱性指数随着时间的变化是极不稳定的,上下波动幅度很大。

根据相关文献选取影响农业旱灾脆弱性的社会经济因素,包括:总人口(X_1)、人均纯收入(X_2)、常用耕地面积(X_3)、播种面积(X_4)、农业GDP/GDP(X_5)、化肥施用量(X_6)、有效灌溉面积(X_7)、农用机械总动力(X_8)和恩格尔系数(X_9)。将各指标矩阵初值化处理来消除量纲,计算出农业旱灾脆弱性指数(X_0)与各个影响因素的关联度,这里选取 $w_0 = w_1 = w_2 = 1/3$,结果如表3所示。

表3 农业旱灾脆弱性与影响因素的关联度

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5	X_6	X_7	X_8	X_9
发展水平关联度	0.865 2	0.578 9	0.870 9	0.876 9	0.844 7	0.796 8	0.871 7	0.771 2	0.861 6
变化增量关联度	0.849 2	0.659 9	0.844 5	0.847 1	0.837 2	0.834 9	0.850 6	0.836 4	0.843 1
变化速度关联度	0.855 3	0.723 1	0.850 7	0.853 5	0.838 2	0.843 4	0.860 9	0.846 1	0.846 9
综合关联度	0.856 5	0.654 0	0.855 4	0.859 2	0.840 0	0.825 0	0.861 1	0.817 9	0.850 5
关联序	3	9	4	2	6	7	1	8	5

从表3可以看出,影响农业旱灾脆弱性的因素从大到小的排列顺序依次为:有效灌溉面积(X_7),播种面积(X_4),总人口(X_1),常用耕地面积(X_3),恩格尔系数(X_9),农业GDP/GDP(X_5),化肥施用量(X_6),农用机械总动力(X_8),人均纯收入(X_2)。这表明,有效灌溉面积、播种面积、总人口、常用耕地面积和恩格尔系数是影响农业旱灾脆弱性的主要因素,其中有效灌溉面积对农业旱灾脆弱性的影响程度最大;农业GDP/GDP、化肥施用量和农用机械总动力对农业旱灾脆弱性有一定的影响;人均纯收入对农业旱灾脆弱性的影响相对较小。

4 结 论

本文针对样本排列顺序影响灰色矩阵关联序的问题,考虑多指标面板数据的动态变化特征,拓展面板数据的矩阵表征形式,并以均方根距离为指标矩阵的相似性度量,构建了面板数据灰色矩阵关联模型;讨论了该模型的规范性、对称性、接近性、唯一性和保序性,并将其用于区域农业旱灾脆弱性风险的实证分析中,找出了影响农业旱灾脆弱性的关键因素,取得了良好的应用效果。文中将RMSD距离作为相似性测度替代欧氏距离,避免关联度的值偏小影响判断结果,拓展了面板数据相似性测度的方法;与现有面板数据灰色关联模型相比,本文构造的模型较好地解决了样本的排列顺序影响指标关联序的问题,为今后

对面板数据的相关研究提供了新思路。

参考文献(References)

- [1] 刘思峰, 杨英杰, 吴利丰, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 第7版. 北京: 科学出版社, 2014: 63-112.
(Liu S F, Yang Y J, Wu L F, et al. The grey system theory and application[M]. 7th ed. Beijing: Sciences Press, 2014: 63-112.)
- [2] 邓聚龙. 灰理论基础[M]. 武汉: 华中科技大学出版社, 2002: 135-150.
(Deng J L. The basis of grey system[M]. Wuhan: Press of Huazhong University of Science and Technology, 2002: 135-150.)
- [3] 肖新平, 谢录臣, 黄定荣. 灰色关联度计算的改进及其应用[J]. 数理统计与管理, 1995, 14(5): 27-30.
(Xiao X P, Xie L C, Huang D R. A modified computation method of grey correlation degree and its application[J]. Applied Statistics and Management, 1995, 14(5): 27-30.)
- [4] 党耀国, 刘思峰, 刘斌, 等. 灰色斜率关联度的改进[J]. 中国工程科学, 2004, 6(3): 41-44.
(Dang Y G, Liu S F, Liu B, et al. Improvement on degree of grey slope incidence[J]. Engineering Science, 2004, 6(3): 41-44.)
- [5] 孙玉刚, 党耀国. 灰色T型关联度的改进[J]. 系统工程理论与实践, 2008, 28(4): 135-139.
(Sun Y G, Dang Y G. Improvement on grey T's correlation degree[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2008, 28(4): 135-139.)

- [6] 刘思峰, 谢乃明, Forrest Jeffery. 基于相似性和接近性视角的新型灰色关联分析模型[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(5): 882-887.
(Liu S F, Xie N M, Forrest Jeffery. On new models of grey incidence analysis based on visual angle of similarity and nearness[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2010, 30(5): 882-887.)
- [7] 蒋诗泉, 刘思峰, 刘中侠, 等. 基于面积的灰色关联决策模型[J]. 控制与决策, 2015, 30(4): 685-690.
(Jiang S Q, Liu S F, Liu Z X, et al. Grey incidence decision making model based on area[J]. Control and Decision, 2015, 30(4): 685-690.)
- [8] Luo D, Wei B L, Lin P Y. The optimization of several grey incidence analysis models[J]. J of Grey System, 2015, 27(4): 1-11.
- [9] Liu S F, Yang Y J, Cao Y, et al. A summary on the research of GRA models[J]. Grey Systems, Theory and Application, 2013, 3(1): 7-15.
- [10] 张可, 刘思峰. 灰色关联聚类在面板数据中的扩展及应用[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(7): 1253-1259.
(Zhang K, Liu S F. Extended clusters of grey incidence for panel data and its application[J]. System Engineering — Theory & Practice, 2010, 30(7): 1253-1259.)
- [11] 吴利丰, 刘思峰. 基于灰色凸关联度的面板数据聚类方法及应用[J]. 控制与决策, 2013, 28(7): 1033-1036.
(Wu L F, Liu S F. Panel data clustering method based on grey convex relation and its application[J]. Control and Decision, 2013, 28(7): 1033-1036.)
- [12] 刘震, 党耀国, 钱吴永, 等. 基于面板数据的灰色网格关联度模型[J]. 系统工程理论与实践, 2014, 34(4): 991-996.
(Liu Z, Dang Y G, Qian W Y, et al. Grey grid incidence model based on panel data[J]. Systems Engineering — Theory & Practice, 2014, 34(4): 991-996.)
- [13] 党耀国, 朱晓月, 丁松, 等. 基于灰关联度的面板数据聚类方法及在空气污染分析中的应用[J]. 控制与决策, 2017, 32(12): 2227-2232.
(Dang Y G, Zhu X Y, Ding S, et al. Panel data clustering method based on grey correlation degree and its application in airpollution analysis[J]. Control and Decision, 2017, 32(12): 2227-2232.)
- [14] 钱吴永, 王育红, 党耀国, 等. 基于多指标面板数据的灰色矩阵关联模型及其应用[J]. 系统工程, 2013, 31(10): 70-74.
(Qian W Y, Wang Y H, Dang Y G, et al. Grey matrix relational modeling and its application based on multivariate panel data[J]. Systems Engineering, 2013, 31(10): 70-74.)
- [15] 崔立志, 刘思峰. 面板数据的灰色矩阵相似关联模型及其应用[J]. 中国管理科学, 2015, 23(11): 171-176.
(Cui L Z, Liu S F. Grey matrix similarity correlation model based on panel data and its application[J]. J of Management Science in China, 2015, 23(11): 171-176.)
- [16] Li X M, Hipel K W, Dang Y G. An improved grey relational analysis approach for panel data clustering[J]. Expert Systems with Applications, 2015, 42(23): 9105-9116.
- [17] 吴鸿华, 穆勇, 屈忠锋, 等. 基于面板数据的接近性和相似性关联度模型[J]. 控制与决策, 2016, 31(3): 555-558.
(Wu H H, Mu Y, Qu Z F, et al. Similarity and nearness relational degree based on panel data[J]. Control and Decision, 2016, 31(3): 555-558.)
- [18] 林秀梅, 孙海波, 王丽敏. 智能信息处理的多指标面板数据聚类方法及其应用[J]. 数理统计与管理, 2016, 35(4): 641-648.
(Lin X M, Sun H B, Wang L M. Intelligent information clustering method based on multivariable panel data and its application[J]. Applied Statistics and Management, 2016, 35(4): 641-648.)
- [19] 程静. 农业旱灾脆弱性: 测度、影响与政策干预[M]. 北京: 科学出版社, 2013: 45-68.
(Cheng J. Agricultural drought vulnerability: Measurement, influence and policy intervention[M]. Beijing: Sciences Press, 2013: 45-68.)
- [20] 谷洪波, 麻湘琳. 我国农业旱灾脆弱性与农村贫困的灰色关联分析[J]. 干旱区地理, 2016, 39(6): 1358-1364.
(Gu H B, Ma X L. Agricultural drought vulnerability and grey correlation analysis of rural poverty[J]. Arid Land Geography, 2016, 39(6): 1358-1364.)
- [21] 黄路梅, 梁虹, 焦树林, 等. 基于可变模糊和灰色理论的贵州省农业旱灾脆弱性评价[J]. 江苏农业科学, 2017, 45(4): 239-243.
(Huang L M, Liang H, Jiao S L, et al. Vulnerability assessment of agricultural drought based on variable fuzzy and grey theory in Guizhou province[J]. Jiangsu Agricultural Sciences, 2017, 45(4): 239-243.)
- [22] Blauhut V, Stahl K, Stagge J H, et al. Estimating drought risk across Europe from reported drought impacts, hazard indicators and vulnerability factors[J]. Hydrology & Earth System Sciences, 2016, 20(7): 2779-2800.
- [23] 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.
(Zhao F F, He B, Li X H, et al. Assessment of regional agricultural drought vulnerability and identification of main influencing factors: A case study in Hebei and Henan province[J]. Beijing Normal University: Nature Science, 2012, 48(3): 282-286.)