

基于改进突变级数法的农产品冷链 物流风险评估模型

张 浩¹, 邱 斌², 唐孟娇³, 何明珂¹

(1. 北京工商大学商学院, 北京 100048; 2. 北京交通大学经济管理学院, 北京 100044;
3. 中国农业大学经济管理学院, 北京 100083)

摘要: 在对农产品冷链物流关键要素进行系统分析的基础上, 设计了农产品冷链物流风险评估指标体系, 解决了农产品冷链物流风险不易评估的难题. 运用离差最大化法对突变级数评估法中的指标重要性排序问题进行改进, 通过构建基于改进突变级数法的农产品冷链物流风险评估模型, 分析了风险评估流程, 降低了评估过程中决策分析的主观性. 结果表明, 改进突变级数评估模型考虑了评估对象的动态性, 克服了传统评估方法中主动赋权的局限, 提高了农产品冷链物流风险评估的精确性.

关键词: 农产品; 冷链物流; 突变级数法; 离差最大化法

中图分类号: F252.21

文献标识码: A

文章编号: 1000-5781(2018)03-0412-10

doi: 10.13383/j.cnki.jse.2018.03.012

Risk assessment model of agricultural products cold chain logistics based on the improved catastrophe progression method

Zhang Hao¹, Qiu Bin², Tang Mengjiao³, He Mingke¹

(1. Business School, Beijing Technology and Business University, Beijing 100048, China;

2. School of Economics and Management, Beijing Jiaotong University, Beijing 100044, China;

3. School of Economics and Management, China Agricultural University, Beijing 100083, China)

Abstract: On the basis of system analysis of key elements in cold chain logistics of agricultural products, this paper designs a risk assessment index system for cold chain logistics of agricultural products. The catastrophe progression method is improved by adding the maximum deviation algorithm to order the index importance. This improved method can reduce the subjectivity of evaluation in the process of decision analysis. The results show that the improved mutation progression model considers the dynamic nature of the evaluation object, overcomes the limitation of traditional evaluation methods of active empowerment, and improves the accuracy of cold chain logistics risk assessment of agricultural products.

Key words: agriculture products; cold chain logistics; catastrophe progression method; maximizing deviation method

收稿日期: 2016-03-23; 修订日期: 2016-11-20.

基金项目: 国家社会科学基金资助项目(15BGL202); 北京市社会科学基金资助项目(17GLB013); 北京市教育委员会社科计划资助项目(SM201410011002); 北京市教育委员会创新能力提升计划资助项目(PXM2016_014213_000033).

1 引言

我国是农业生产与农业消费大国,随着国民生活水平的提高,人们对食品安全的重视度也不断加强.鉴于农产品自身易腐特点,冷链物流在农产品保质保优方面无疑扮演着举足轻重的角色.虽然近年来我国物流业发展取得了巨大成就,但冷链物流依旧是物流行业一大短板,其发展相对滞后.农产品冷链物流系统的稳定性、安全性直接关系到人们的身体健康,同时,农产品冷链的突发性“断链”的风险相对较高,影响程度较大.对农产品冷链物流系统风险进行研究,对于提升我国农产品冷链物流风险的管理水平、构建安全稳定的农产品冷链物流体系具有重要研究价值及意义.但目前对农产品冷链物流的研究中,缺少关于评估风险模型的研究.为了解决此问题,本文基于一类改进的突变级数法,深入研究农产品冷链物流风险特性,提出一种较为科学、完善的农产品冷链物流风险评估模型,为农产品冷链物流的风险评估问题提供了参考.

近年来,国内外不少学者纷纷投入到农产品冷链物流和物流风险的学术研究中,并已形成了一定的研究体系,但现有关于农产品冷链物流的研究主要聚焦于发展对策建议、冷链绩效优化和温度监控模式等定性层面,运用定量方法研究农产品冷链物流风险的文献可谓凤毛麟角. Hans 等^[1]通过实验表明,温度上较小的波动对整体供应链影响较小,但对微生物活性影响很大,从而影响生鲜农产品的质量安全. Abad 等^[2]对洲际鲜鱼物流链进行了实时追踪验证,提出了一种新的冷链应用技术 RFID 智能标签农产品溯源和冷链监测. Qi 等^[3]为易腐食品冷链管理设计了一种基于无线传感器网络的综合冷链保质期决策支持系统,并验证了系统的有效性. Marija 等^[4]认为产品生产和物流设施存在于供应链起始点和销售市场中的任何一个组成部分,供应链中任何一次时间、距离或温度被扰动都可能对整个过程的净现值及附加价值产生巨大的负面影响,说明控制易腐食品冷物流链的稳定性非常重要. Victoria 等^[5]以生鲜农产品出口到发展中国家等新兴市场的业务关系为研究对象,提出了通过供应链合作伙伴的长期信用,来促使潜在私人市场为新兴市场提供冷链服务. 张驰等^[6]通过云服务及组件集成技术设计了生鲜农产品冷链物流云服务系统以减少研发投入,降低企业负担. 汪旭晖等^[7],将物联网技术应用到生鲜农产品冷链物流的体系建设中,构建了多个物联网系统和信息平台在内的生鲜农产品冷链物流体系框架,以推进冷链企业的物联网化.

在物流风险方面,现阶段众多学者做了大量的研究, Xie 等^[8]分析了现阶段导致中小企业失败的主要因素,提出了用“标签卡管理”(label-card management)来解决相应问题,即基于标签卡系统的中小企业物流风险预警模式,该预警可以监控整个过程中物品数量和质量的变化的,文章以动态的方式,建立了预警和早期控制系统. Larry 等^[9]从采购管理的角度理解风险管理,首次基于模糊理论来构建风险评估模型,为之后模糊理论在物流风险评估中的应用奠定了基础. 此后, Kok 等^[10]将模糊理论运用于目标的重要性排序, Chen 等^[11]将模糊理论运用于质量投资水平和产品预期总成本的偏差计算上. Tsao^[12]在增资政策的条件下考虑了贸易信贷和物流风险,并开发了一个贸易信贷和物流风险非瞬时传递的库存模型. Claudia 等^[13]对各敏感物流节点的潜在风险进行了分析,然后为降低敏感物流节点不可预见破坏事件发生后的损失程度,提出了一种基于协作的跨供应链框架模型. 庞燕等^[14]运用系统动力学对农产品物流仓单质押风险的形成机理进行了研究,并构建了系统因果反馈环路来找出系统内主要风险影响因素. 李剑锋等^[15]在市场需求非确定及集成商风险规避状况下讨论期权在物流服务供应链中的应用,利用条件风险值建立了物流与供应链风险规避模型,并验证了期权在物流服务供应链中分散风险的有效性.

国外大部分学者对农产品冷链物流的研究主要聚焦于冷链技术方面,对农产品冷链物流的基础理论知识研究相对较少. 相比于国外,我国对农产品冷链物流研究起步较晚,优秀研究成果相对较少,大部分专家、学者把农产品冷链物流的研究方向主要集中于现状、制约因素和建议对策上,对其相关技术、物流模式研究不够完善,尚未形成完整的农产品冷链物流理论研究体系,尤其对农产品冷链物流风险评价的研究更是乏善可陈. 目前关于物流风险的评估,众学者们已提出了多种研究方法,如:层次分析法^[16]、BP 神经网络^[17]、模糊综合评价^[18]、主成分分析及灰色聚类分析等. 虽然这些方法都有各自特点和优势,但大都存在决

策与结果的主观性偏差和计算容量大的特点.

综上所述, 针对农产品冷链物流风险研究少和风险评估方法单一的问题, 本文在利用分解分析法对农产品冷链物流风险关键要素进行系统分析的基础上, 结合专家咨询确定了 17 个关键风险因素, 设计了农产品冷链物流风险评估指标体系. 运用离差最大化法对突变级数评估中的指标重要性排序问题进行改进, 构建了基于改进突变级数法的农产品冷链物流风险评估模型以求实现对农产品冷链物流风险客观、准确的评估.

2 农产品冷链物流风险评估模型

2.1 基于分解分析法的冷链物流风险评估指标体系构建

分解分析法是指将某一较为复杂的系统或事物分解为多个较为简单的、具体的要素、子系统或者子事物, 通过对各要素详细分析以实现对整个系统的认识. 对农产品冷链物流风险进行识别, 首先要将其流程进行详细分析以找出系统的各组成要素. 当前, 美国的蔬菜冷链物流模式是世界上最具有代表性的农产品冷链物流流通模式, 从采摘完成后蔬菜便进入了一条由“过程预冷—气调冷储—冷链运输—冷藏销售—超市保温—家庭冷柜”构成的完整的链条, 其整个运作流通模式主要如下图 1 所示.

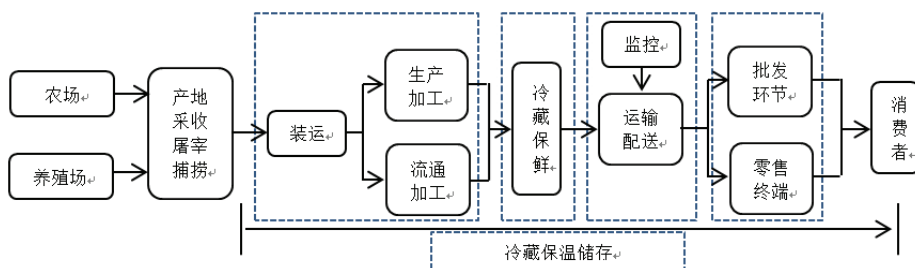


图 1 国际典型农产品冷链物流运作流程图

Fig. 1 International typical agricultural cold chain logistics operation flow chart

通过对上述流通模式作进一步分析, 可以发现该流程主要由冷冻加工、冷冻储藏、配送运输及冷储销售 4 个环节组成, 这些环节主要涉及: 技术操作、人员组织、设施设备和外部环境等四大要素. 1) 技术操作: 由于冷链物流的全过程要求其所处环境必须低于规定温度之下, 所以技术的先进性和操作过程的标准性将严重影响农产品在冷链物流过程中的质量品质. 2) 人员组织: 衡量人员组织过程的好坏可以从单位时间内冷链故障的发生率、人力资源结构即参与人员专业水平和相关管理制度的完善度等方面考虑. 3) 设施设备: 设施设备作为冷链物流全过程的载体, 是不可或缺的组成成分. 过程中使用的主要设备有: 控温设备、运输设备、搬运设备、分拣设备、加工设备和储藏设备, 在冷链物流整个过程中扮演了非常重要的作用. 4) 外部环境: 外部环境因素主要有供应商与需求商的稳定性、相关法制法规的健全、交通道路的拥堵状况和天气气候状况等因素, 当前国内频发的“断链”现象很大程度上是由这些外部因素的不确定性造成.

基于上述流程对系统进行分解分析基础上, 选取技术设备风险、人员组织风险、产品加工风险、产品供应风险和外部环境风险 5 个一级指标来衡量农产品冷链物流系统风险大小, 并在此基础上细分出 17 个二级指标以构建农产品冷链物流风险评估指标体系, 如图 2 所示.

对构建的农产品冷链物流风险评估指标体系作进一步分析可得, 所选取的 5 个一级指标和 17 个二级指标是基于分解分析法对农产品冷链物流运作过程进行分析的基础上, 通过参考与借鉴现有文献, 结合高校和冷链委专家咨询所得到的结果, 故构建的评估指标体系的具有合理性. 本文所选取的各评估指标具有典型的代表性, 它们在避免相互重叠、过于繁琐的同时, 以科学性、全面性为原则, 避免了信息的遗漏, 各指标能客观真实地反映农产品冷链物流运作过程中的主要特征和状态, 能客观全面反映出各指标之间的真实关系. 综上所述, 本文构建的农产品冷链物流风险评估指标体系具有科学性、合理性和全面性.

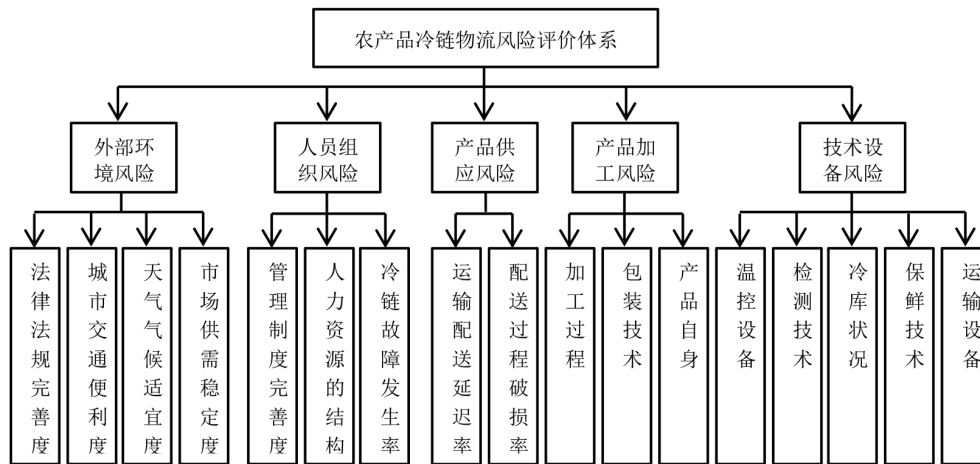


图2 农产品冷链物流风险评估指标体系

Fig. 2 Agricultural products cold chain logistics risk evaluation index system

2.2 突变级数评估法基本模型

2.2.1 突变模型的分歧方程

突变理论指出, 突变类型的不同主要由控制变量与状态变量个数的多少决定, 当控制变量个数多于4时, 突变将不能用数学模型加以描述和解释. 已经证明^[19]当状态变量数目低于3个, 控制变量数目不超过4个时, 只存在7种突变类型, 它们是尖点突变、燕尾突变、折迭突变、蝴蝶突变、椭圆脐点突变、双曲脐点突变和抛物脐点突变, 每个突变类型都有与之对应的势函数 $V(x)$. 平衡曲面即为突变模型势函数 $V(x)$ 的全部临界点的集合, 其方程表达式由势函数的一阶导数 $V'(x) = 0$ 所得. 令势函数的二阶导数等于零, 即 $V''(x) = 0$, 便得该平衡曲面的奇点集方程. 再将 $V'(x) = 0$ 与 $V''(x) = 0$ 联立起来消去状态变量, 即得到该系统的分歧点集方程(或者分叉集), 它是突变理论的重点研究对象及核心内容, 当各控制变量符合该方程时目标系统便会以突变形式发生变化.

1) 分歧方程推导过程-以尖点突变为例: 尖点突变模型势函数为

$$V(x) = x^4 + ax^2 + bx, \quad (1)$$

令 $V'(x) = 0$ 得平衡曲面表达式为

$$4x^3 + 2ax + b = 0, \quad (2)$$

令 $V''(x) = 0$ 得奇点集方程为

$$12x^2 + 2a = 0, \quad (3)$$

将式(2)与式(3)联立, 得分解形式的分歧点集方程 $a = -6x^2, b = 8x^3$, 将这两个分歧点集方程合并, 得到分歧方程

$$8a^3 + 27b^2 = 0. \quad (4)$$

同理, 可以推导燕尾模型、蝴蝶模型和棚屋模型分解形式的分歧点集方程如下:

2) 燕尾模型 $V(x) = x^5 + ax^3 + bx^2 + cx$ 的分解形式分歧点集方程为 $a = -6x^2, b = 8x^3, c = -3x^4$.

3) 蝴蝶模型 $V(x) = x^6 + ax^4 + bx^3 + cx^2 + dx$ 的分解形式分歧点集方程为

$$a = -10x^2, b = 20x^3, c = -15x^4, d = 4x^5.$$

4) 由于棚屋突变(印第安茅舍型)不属于初等突变模型(状态维数为1, 控制维数为5), 因而对其研究相对较少, 然而在突变级数评价法中经常使用. 其势函数为 $V(x) = x^7 + ax^5 + bx^4 + cx^3 + dx^2 + ex$.

所以, 其分解形式的分歧点集方程为 $a = -x^2, b = 2x^3, c = -2x^4, d = 4x^5, e = -5x^6$.

2.2.2 归一公式

进一步对上述分解形式的分歧点集方程进行推导,可得到4种突变模型归一化公式,并将突变理论与模糊隶属函数结合,从而把系统内各指标不同的质态化为具有可比性的同一质态^[20].通过对系统内各指标进行递归计算,求出各控制变量的突变级数值,可获得表示某系统状态特征的总突变隶属函数值.

以尖点突变为例,对其突变模型分解形式的分歧点集方程变换可得 $x_a = \sqrt{-\frac{a}{6}}, x_b = \sqrt[3]{\frac{b}{8}}$, 其中 x_a 表示 a 对应的 x 值, x_b 表示对应 b 的 x 值.

为了与模糊数学隶属函数结合,使各控制变量与状态变量的取值在同一范围,即将它们的取值限定在 $[0, 1]$. 为此,令 $a = 6a'$ (绝对值), $b = 8b'$, 得 $x_a = \sqrt{a'}, x_b = \sqrt[3]{b'}$. 从而将 a', b' 和 x 的值都限定在 $[0, 1]$, 实现了模糊数学与突变模型的结合.

通过上述分析,可得尖点突变的归一化公式为 $x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}$.

同理可得突变级数法中常用突变模型的归一化公式如下表所示.

表1 突变级数法中常用突变模型的归一化公式

Table 1 Mutation progression method commonly used in mutation model of the normalization formula

突变类型	状态维数	控制维数	归一公式
折迭突变	1	1	$x_a = \sqrt{a}$
尖点突变	1	2	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}$
燕尾突变	1	3	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}$
蝴蝶突变	1	4	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d}$
棚屋突变	1	5	$x_a = \sqrt{a}, x_b = \sqrt[3]{b}, x_c = \sqrt[4]{c}, x_d = \sqrt[5]{d}, x_e = \sqrt[6]{e}$

2.2.3 控制变量的重要性排序

突变级数评估法的最大特点在于它规避了传统评价模型中指标权重的确定,与之相反的考虑了评价体系中各评价指标的相对重要程度,这种潜在要求由其势函数结构所决定.以尖点突变为例,从其势函数的表达式中可以看出系数 a 是影响系统突变的最主要因素,而系数 b 则为次因,所以 a 的重要性大于 b ,即 $a > b$;同理,在燕尾模型中,其控制变量重要程度为 $a > b > c$;蝴蝶突变则为 $a > b > c > d$;棚屋突变则为 $a > b > c > d > e$.目前,大多数研究人员对于突变级数评价过程中各控制变量的排序都采用专家评估法和问卷调查法等主观性较强的方法,这不仅在评价中增加了人为主观因素,而且固定的、静态的评价指标体系对于系统风险的评估也有本质缺陷,不能根据各控制变量(各指标)的相对变化程度作出相应改变,使评估结果缺乏科学性、合理性.本文在现有突变级数评估法基础上首次引入离差最大化法来实现对各层各指标重要性进行排序,以客观获得农产品冷链物流风险评估指标体系.

2.2.4 突变决策的选择原则

运用突变级数法进行对象的综合评估时,经常遇到突变决策的选择问题,例如对于多层评估指标体系(三层指标以上),运用归一化公式对底层控制变量计算后中间状态变量的决策选择.依据系统中各控制变量对状态变量不同的影响方向,在突变决策时遵循两个基本原则:“互补”原则与“非互补”原则^[20].

1) 互补原则:当系统中各控制变量对状态变量起相互补足的作用,即相互关联时,中间状态变量 x 应取各控制变量初始突变级数值得平均数,即

$$x = \frac{x_1 + x_2 + \cdots + x_5}{5}.$$

2) 非互补原则:当系统中各控制变量对状态变量不起相互补足的作用,即不相互关联时,则中间状态变量 x 应对初始突变级数值采用“大中取小”原则,即 $x = \min \{x_1, x_2, \dots, x_5\}$, 其中 x 为状态变量, $x_1, x_2, \dots, x_5$ 分别为下层控制变量 1, 2, ..., 5 的突变级数值.

2.3 基于离差最大化法对突变级数评估法的改进

为了克服传统主观打分造成的结果主观性偏差,本文采用离差最大化法来客观的解决突变级数评估法

中多指标重要性的排序问题. 离差最大化法的基本原理在于通过计算对指标体系中第 k 个指标的总离差与全部指标总离差的比值大小来体现该指标的重要性, 比值越大重要程度越高, 比值越小则重要程度越低^[21].

该方法的一般性程序可分为以下几个步骤:

1) 根据各指标类型的不同, 进行底层数据的无量纲化处理得到标准化处理后的各数 z_{ij} 用以构造规范化矩阵, 对于效益型(数值越大越好)指标、成本型(数值越小越好)指标一般采用 Min-Max 标准化处理;

2) 依据离差最大化法的基本原理得出最优的加权向量 $\mathbf{W}^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$.

设各指标的权重向量为 $\mathbf{W} = (w_1, w_2, \dots, w_m)$, 记标准化处理后的决策矩阵 $\mathbf{Z} = (z_{ij})_{n \times m}$, 则可以求得加权后的规范化决策矩阵为

$$\mathbf{D} = \begin{bmatrix} w_1 z_{11} & w_2 z_{12} & \dots & w_m z_{1m} \\ w_1 z_{21} & w_2 z_{22} & \dots & w_m z_{2m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w_1 z_{n1} & w_1 z_{n2} & \dots & w_m z_{nm} \end{bmatrix}.$$

对于指标 k , 设 $H_{ij}(w)$ 为其某一方案 i 的指标值与其它所有方案指标值的离差和, 则其总离差为

$$H_j(w) = \sum_{i=1}^n H_{ij}(w) = \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |z_{ij} - z_{kj}| w_j, \quad j = 1, 2, \dots, m. \quad (5)$$

由式(5)可以构造如下目标函数

$$H(w) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n H_{ij}(w) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |z_{ij} - z_{kj}| w_j. \quad (6)$$

通过上述分析, 结合相关条件可以构造一个离差最优化模型

$$\begin{cases} \text{Max } H(w) = \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |z_{ij} - z_{kj}| w_j \\ \text{s.t.} \quad \sum_{j=1}^m w_j^2 = 1, w_j \geq 0. \end{cases} \quad (7)$$

解该离差最优化模型, 并结合归一化处理过程可得最优参数

$$w_j^* = \frac{\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |z_{ij} - z_{kj}|}{\sqrt{\sum_{j=1}^m \left(\sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^n |z_{ij} - z_{kj}| \right)^2}}, \quad (8)$$

则 $\mathbf{W}^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$ 为所求;

3) 依据权重向量中 w_j^* 的大小对各指标进行重要性排序, 得到多指标排序方案.

2.4 基于改进突变级数法的冷链物流风险评估模型分析程序

结合突变级数法原理、离差最大化法步骤和农产品冷链物流的特点, 本文提出的基于改进突变级数法的农产品冷链物流风险评估模型步骤如下:

1) 依据突变理论系统的内在作用机理, 将农产品冷链物流风险系统分解成由多个因素指标分主次组成的递阶层次结构, 并运用离差最大化法通过计算最优加权向量 $\mathbf{W}^* = (w_1^*, w_2^*, \dots, w_m^*)$, 从而对各层次指标进行重要性排序;

2) 根据突变级数法基本原理, 按控制维数的多少确定突变评估指标体系中不同的突变系统类型. 本文设计的农产品冷链物流风险评估指标体系所对应的突变系统类型如下图3所示;

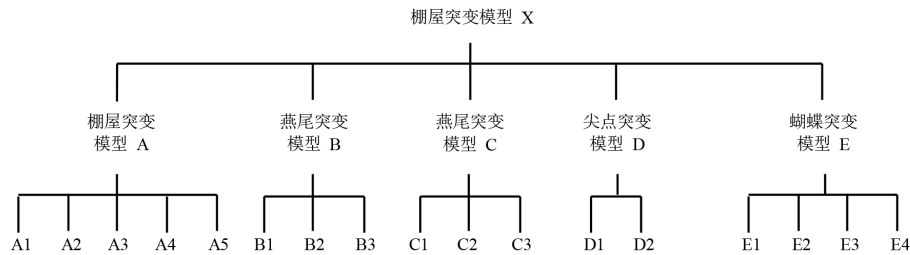


图 3 农产品冷链物流风险评估指标体系突变系统类型

Fig. 3 Risk assessment index system of agricultural products cold chain logistics mutation system type

3) 将底层控制变量的原始数据进行标准化处理, 得出初始突变模糊隶属函数值(对于定量指标采用 Min-Max 标准化处理, 对于定性指标先采用模糊量化法或者专家打分法处理);

4) 根据不同突变模型分歧点集方程导出的归一化公式对经过标准化处理后的初始突变模糊隶属函数值进行相应计算, 得到初始突变级数值, 具体公式见表 1;

5) 依据各控制变量对系统状态变量影响方向的不同对中间突变指标值进行决策, 得出不同层次指标的中间突变级数值(决策过程中利用“互补”或“非互补”原则);

6) 对于各中间突变级数值, 重复步骤(4), 步骤(5) 得到总突变级数值, 即总突变值;

7) 将总突变级数值与农产品冷链物流风险可接受标准进行对比, 并分析评价指标体系中各指标突变级数值的大小, 从而对评价目标进行评估。

2.5 改进突变级数法与其他方法的比较

为了说明改进突变级数法的意义所在, 本文将其与文献[22]所提出的基于 TOPSIS 和灰色关联的改进距离协同评估法进行对比。表 2 是运用改进突变级数法对文献[22]的实证计算所得到的结果。

表 2 基于改进突变级数评估方法的皖江城市综合发展度计算结果
Table 2 Evaluation method based on improved mutation series of wan jiang city
comprehensive development degree of the calculation results

年份	经济协同度	社会协同度	环境协同度	资源协同度	综合协同发展度
2006	0.469 8	0.696 0	0.715 9	0.642 2	0.851 7
2007	0.503 7	0.733 2	0.664 6	0.682 7	0.860 2
2008	0.610 4	0.752 9	0.737 5	0.734 2	0.889 4
2009	0.794 6	0.855 8	0.866 3	0.845 4	0.943 1
2010	0.803 8	0.891 9	0.873 7	0.863 7	0.949 3

通过对表 2 的结果进行分析可得到与文献[22] 相一致的结论, 即 2006 年~2010 年皖江城市的综合发展度总体上呈上升趋势, 在 2009 年达到了顶峰, 相比上一年, 综合协同发展度增长最快。虽然, 使用这两种方法所得到的结论一样, 但与改进突变级数法相比, 改进距离协同法评估过程中需要运用 AHP 法对各子指标、子系统权重进行主观判断。目前, 众学者对于评价方法的研究大多采用与文献[22]相类似的做法, 这也在一定程度上造成了评估结果的主观性偏差, 而本文提出的改进突变级数法克服了主观赋权的局限, 又减少了评估过程中决策分析的主观性, 使得风险评估结果更加准确、有效, 计算简单, 具有重要的实用意义。

3 算例分析

3.1 样本选取及计算

本文以双汇集团及北京新发地的生鲜农产品冷链物流为研究对象, 通过对两个企业近 5 年冷链物流相关数据收集, 结合冷链委相关专家的访谈与近三年中国冷链物流发展报告获取的数据来进行横向与纵向对比, 通过评估其风险大小以对模型加以验证。

表3是原始数据经过Min-Max标准化处理后,利用离差最大化对各层次指标进行赋权排序后的结果。其中一级指标的排序主要由与之对应的所有二级指标的平均总离差决定。本算例中各一级指标的重要性为:技术设备风险(36.1)>人员组织风险(35.9)>产品加工风险(35.5)>产品供应风险(35.2)>外部环境风险(34.3)。

表3 原始数据标准化处理及其赋权排序结果
Table 3 Original data standardization and empowerment sorting result

一级指标	二级指标	双汇					新发地				
		2010	2011	2012	2013	2014	2010	2011	2012	2013	2014
技术设备 风险A	温控设备 A1(0.473)	0.058	0.468	0.766	0.928	1.000	0.000	0.361	0.656	0.841	0.922
	冷库状况 A2(0.451)	0.381	0.524	0.571	0.631	0.714	0.000	0.000	0.060	0.167	1.000
	运输设备 A3(0.442)	0.000	0.323	0.646	0.939	1.000	0.169	0.277	0.431	0.631	0.739
	检测技术A4(0.439)	0.138	0.390	0.616	0.899	1.000	0.000	0.157	0.321	0.440	0.654
	保险技术 A5(0.429)	0.088	0.353	0.568	0.784	1.000	0.000	0.157	0.324	0.471	0.676
人员组织 风险B	人力资源结构 B1(0.601)	0.150	0.654	0.857	1.000	0.917	0.000	0.165	0.406	0.459	0.617
	冷链故障风险B2(0.591)	0.050	0.450	0.478	0.850	1.000	0.000	0.178	0.433	0.567	0.856
	管理制度完善度 B3(0.537)	0.320	0.485	0.796	0.864	1.000	0.000	0.165	0.427	0.495	0.583
产品加工 风险C	加工过程 C1(0.590)	0.000	0.304	0.495	0.809	1.000	0.000	0.078	0.265	0.348	0.632
	产品自身C2(0.584)	0.455	0.693	0.341	0.784	1.000	0.114	0.068	0.205	0.000	0.523
	包装技术 C3(0.537)	0.400	0.533	0.705	0.819	1.000	0.000	0.029	0.333	0.486	0.638
产品供应 风险D	配送过程破损率 D1(0.770)	0.853	0.885	0.869	0.918	1.000	0.180	0.000	0.279	0.377	0.344
	运输配送延迟率 D2(0.638)	0.783	0.608	0.902	0.811	1.000	0.000	0.511	0.350	0.406	0.462
外部环境 风险E	天气气候适宜度 E1(0.542)	0.955	1.000	0.788	0.773	0.500	0.197	0.333	0.424	0.197	0.000
	城市交通便利度 E2(0.510)	0.530	0.591	0.644	0.861	1.000	0.139	0.235	0.209	0.270	0.000
	法律法规完善度 E3(0.481)	0.025	0.210	0.437	0.538	0.664	0.000	0.118	0.496	0.513	1.000
	市场供需稳定性 E4(0.463)	0.154	0.131	0.300	0.469	0.792	0.000	0.154	0.277	0.392	1.000

再利用各突变模型所对应的归一公式进行量化递归计算,可得各指标的初始突变级数值。

在获得初始突变级数值的基础上依据突变级数的决策选择原则,采用“互补”原则,所以总突变级数值 x 与中间状态变量(一级指标A/B/C/D/E)的取值应取各控制变量初始突变级数值的平均数,即 $x = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k x_i$, 其中 k 为某层次控制变量个数。

将各中间状态变量(一级指标)看作总状态变量(总突变隶属函数)的控制变量,运用棚屋突变模型的归一公式进行递归计算。

3.2 结论分析及模型验证

通过上述计算,可以得到双汇集团和北京新发地近5年不同时间段内的农产品冷链物流总风险突变隶属函数值及相关变化趋势,通过横向与纵向数据对比,来对其实际风险状态作出模糊综合评估。

分析得到如下结论:

1) 随着双汇集团和北京新发地的近几年在其冷链物流建设方面的大量投入,极大的增强了其冷链物流的弹性和抗风险能力,如新发地于2014年底建成并投入使用的 11×10^4 t 冷库项目,双汇建设现代化物流配送体系等。另外,双汇冷链确实拥有较大优势,据国家冷链委这几年发布的冷链物流50强名单,双汇排名也远远高于新发地排名(2014年双汇冷链排名第四,北京新发地排名48),这也从侧面反应了模型的可靠性。

2) 据统计,伴随着近几年冷链物流的快速发展,各冷链物流企业在技术设备、过程标准及人员素质等方面得到了迅速改善,过去作为“断链”高发区的技术设备问题得到了较好控制。而外部环境及产品供应则受多方面制约,其变化趋势有较大的不确定性,如道路交通状况、天气气候等因素。

3) 双汇冷链属于运输型冷链物流模式,其冷链物流总体水平及要求相对较高,运作灵活。而与之相反,新发地农副产品冷链却属于库存型冷链物流,其冷链物流总体水平及要求相对较低。另一方面,新发地主要服务于北京,其天气气候与交通便利度等存在较大的不确定性,而双汇的网点遍布全国,在不少指标上拥有较大的稳定性。

综上所述,本文提出的改进突变级数评估模型可以科学、合理的对农产品冷链物流风险问题进行评估,该改进模型对解决农产品冷链物流风险问题具有指导意义。

3.3 管理启示

通过上述分析可得,无论是运输型冷链物流企业,还是库存型冷链物流企业,技术设备和人员组织是导致其“断链”风险发生的两个关键要素。因此,农产品冷链物流企业在进行冷链物流管理时,要依照其本身需求与运作特点,硬软结合,统筹规划。一是要保证技术设备的先进性,加大技术、设施、设备的开发和投入,以推进冷藏设施设备的完善和提高;利用先进的信息技术,创建冷链物流信息共享机制,建立动态的冷链物流信息共享机制,以实现冷链过程中的信息交换、传递及反馈的及时性、有效性。二是要进行上下游的整体规划和整合,要发挥区域冷链产业集群的优势,通过资源整合、多方联动实现冷链过程中的无缝对接和各利益主体的互利共赢。三是要企业要加大操作型、管理型和研究型人才的引入和培养,不断探寻与完善人才培养模式,以保证冷链物流过程中人员组织的有序性,提高农产品冷链物流企业竞争力。

4 结束语

如何构建有效的评估模型和方法,对农产品冷链物流的风险进行有效科学的评估是现阶段物流领域的重要研究课题之一。本文依据农产品冷链物流风险突发性强的特点,基于突变理论思想,将突变模型与模糊数学函数的结合,运用突变级数法和离差最大化方法,建立了基于改进突变级数法的农产品冷链物流风险评估模型,旨在对农产品冷链物流系统风险作出有效的、合理的评估,为企业及相关部门制定行业规则和管理规范提供一定的思路,也为相关冷链物流企业提供冷链物流业务的风险防范参考。通过实例分析,结果表明:本文提出的改进突变级数评估模型克服了主观赋权局限,又具有科学性及操作性,能很好地解决农产品冷链物流风险评估问题。

参考文献:

- [1] Hans R, Marijke C, Luc P. Evaluation of the cold chain of fresh-cut endive from farmer to plate. *Postharvest Biology and Technology*, 2008, 51(2): 257–262.
- [2] Abad E, Palacio F, Nuin M. RFID smart tag for traceability and cold chain monitoring of foods: Demonstration in an intercontinental fresh fish logistic chain. *Journal of Food Engineering*, 2009, 93(4): 394–399.
- [3] Qi L, Xu M, Fu Z, et al. (CSLDS)-S-2: A WSN-based perishable food shelf-life prediction and LSFO strategy decision support system in cold chain logistics. *Food Control*, 2014, 38(1): 19–29.
- [4] Marija B, Ludvik B, Robert V. Stability of perishable goods in cold logistic chains. *International Journal of Production Economics*, 2004, 32(93): 345–356.
- [5] Victoria S, Rodolfo M, Nayga J. A cold chain network for food exports to developing countries. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 2003, 33(10): 153–156.
- [6] 张 驰, 张晓东, 王登位. 基于组件库的生鲜农产品冷链物流云服务系统设计与实现. *农业工程学报*, 2016, 32(12): 273–279.
Zhang C, Zhang X D, Wang D W. Design and implementation of cloud service system for cold chain logistics of fresh agricultural products based on component integration. *Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering*, 2016, 32(12): 273–279. (in Chinese)
- [7] 汪旭晖, 张其林. 基于物联网的生鲜农产品冷链物流体系构建: 框架、机理与路径. *南京农业大学学报(社会科学版)*, 2016(1): 31–41.
Wang X H, Zhang Q L. Construction of cold-chain logistics system for fresh agricultural products based on the Internet of things: Framework, mechanism and path. *Journal of Nanjing Agricultural University(Social Sciences Edition)*, 2016(1): 31–41. (in Chinese)
- [8] Xie K, Liu J. Early-warning management of inner logistics risk in SMEs based on label Card system. *Production Planning & Control*, 2009, 20(4): 206–217.
- [9] Larry R, Smeltzer, Sue P.S. Proactive Supply Management: The Management of Risk. *Journal of Supply Chain Management*, 2006, 34(1): 198–207.
- [10] Kok C C, Kai M T, Chee P L. A new method to rank fuzzy numbers using Dempster-Shafer theory with fuzzy targets. *Information Sciences*, 2016, 346–347(10): 302–317.

- [11] Chen C H, Chou C Y. Fuzzy optimum design of Dodge-Romig sampling rectifying Inspection plan under quality investment. *Journal of Industrial and Production Engineering*, 2013, 30(5): 296–302.
- [12] Tsao Y C. Replenishment policies considering trade credit and logistics risk. *Scientia Iranica*, 2011, 18(3): 753–758.
- [13] Claudia B, Guido S. Collaborative risk management in sensitive logistics nodes. *Team Performance Management*, 2013, 19(7): 331–351.
- [14] 庞 燕, 黄向宇. 农产品物流仓单质押风险形成机理系统动力学分析. *系统工程*, 2014(7): 101–107.
Pang Y, Huang X Y. Analysis on system dynamics of warehouse receipt pledge risk formation mechanism of agricultural product logistics. *Systems Engineering*, 2014(7): 101–107. (in Chinese)
- [15] 李剑锋, 陈世平, 黄祖庆. 基于期权与集成商风险规避的物流服务供应链协调. *计算机集成制造系统*, 2013, 19(5): 1105–1114.
Li J F, Chen S P, Huang Z Q. Logistic service supply chain coordination based on option and integrator risk aversion. *Computer Integrated Manufacturing Systems*, 2013, 19(5): 1105–1114. (in Chinese)
- [16] Kengpol A, Tuammee S. The development of a decision support framework for a quantitative risk assessment in multimodal green logistics: An empirical study. *International Journal of Production Research*, 2015, 54(4): 1–19.
- [17] 黄颖懿. 基于 BP 神经网络的物流金融风险评估及管理. *物流技术*, 2015, 34(10): 140–142.
Huang Y Y. Evaluation and Management of Logistics Finance Risk Based on BP Neural Network. *Logistics Technology*, 2015, 34(10): 140–142. (in Chinese)
- [18] Zhao H, Guo S. Risk evaluation on UHV power transmission construction project based on AHP and FCE method. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014, 2014(1): 1–14.
- [19] 高艺凡. 基于突变级数法的中国经济发展评价. *系统工程*, 2015, 33(12): 85–91.
Gao Y F. Evaluation system of China's economic development based on catastrophe theory. *Systems Engineering*, 2015, 33(12): 85–91. (in Chinese)
- [20] 陈晓红, 杨 立. 基于突变级数法的障碍诊断模型及其在中小企业中的应用. *系统工程理论与实践*, 2013, 33(03): 1479–1485.
Chen X H, Yang L. Obstacle diagnosis model based on the catastrophe progression method and its applications for the small and medium-sized enterprises. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2013, 33(3): 1479–1485. (in Chinese)
- [21] 郭清娥, 苏 兵. 离差最大化时基于交叉评价的多属性决策方法. *运筹与管理*, 2015(5): 75–81.
Guo Q E, Su B. Fuzzy multi-attribute decision making method based on maximizing deviation and cross-evaluation. *Operations Research and Management Science*, 2015(5): 75–81. (in Chinese)
- [22] 李海东, 王 帅, 刘 阳. 基于灰色关联理论和距离协同模型的区域协同发展评价方法及实证. *系统工程理论与实践*, 2014, 34(7): 1749–1755.
Li H D, Wang S, Liu Y. Evaluation method and empirical research of regional synergetic development degree based on grey relational theory and distance collaborative model. *Systems Engineering: Theory & Practice*, 2014, 34(7): 1749–1755. (in Chinese)

作者简介:

张 浩(1978—), 男, 河北唐山人, 博士, 副教授, 研究方向: 物流系统优化与仿真, Email: zhbtbu@126.com;

邱 斌(1992—), 男, 福建龙岩人, 硕士生, 研究方向: 物流与供应链管理, Email: qiubin18@163.com;

唐孟娇(1992—), 女, 北京人, 硕士生, 研究方向: 物流与供应链管理, 财务会计, Email: 1621051813@qq.com;

何明珂(1962—), 男, 湖北荆州人, 博士, 教授, 博士生导师, 研究方向: 物流与供应链管理, Email: hemingke@vip.sina.com.