

doi: 10.3969/j.issn.1002-0268.2023.10.029

基于动态贝叶斯网络的冷链物流风险评价

万 君, 刘勋勋

(辽宁工程技术大学 营销管理学院, 辽宁 葫芦岛 125000)

摘要:为解决水产品冷链物流风险的单向动态评估, 识别影响生鲜水产品冷链物流风险的关键因素, 根据生鲜水产品的特点, 对水产品冷链物流的各环节风险进行了具体化描述, 建立了生鲜水产品冷链物流风险体系。首先, 使用云模型对生鲜水产品冷链物流风险指标进行了筛选, 确定了由加工风险、运输风险、仓储风险、销售风险、信息风险等5个1级指标和18个2级指标组成的生鲜水产品冷链物流风险评价指标体系。其次, 采用三角模糊数确定了动态贝叶斯网络的先验概率和转移概率, 最终提出了基于动态贝叶斯网络的生鲜水产品冷链物流风险评价模型。基于此模型, 以青岛某水产品冷链物流公司为例展开了实证研究, 利用 GeNIe 可视化软件建立了动态贝叶斯网络模型, 对生鲜水产品冷链物流风险进行了概率计算和特征敏感性计算。结果表明: 生鲜水产品冷链物流流通环节风险发生概率最高的环节为运输风险和仓储风险, 运输环节和加工环节是影响水产品冷链物流的关键风险因素; 运输路径的优化、冷链物流信息共享程度、仓储温控设备和冷库合理化设计程度对水产品冷链物流风险的影响最大。通过该实证分析, 验证了基于动态贝叶斯网络的生鲜水产品冷链物流风险评价体系的可行性。

关键词: 物流工程; 冷链物流风险; 模型分析; 动态贝叶斯网络; 生鲜水产品; 风险评估

中图分类号: F250; TP319

文献标识码: A

文章编号: 1002-0268 (2023) 10-0248-09

Risk Assessment on Cold Chain Logistics Based on Dynamic Bayesian Network

WAN Jun, LIU Xun-xun

(School of Marketing Management, Liaoning Technical University, Huludao Liaoning 125000, China)

Abstract: In order to solve the one-way dynamic assessment of the cold chain logistics risk of aquatic products and identify the key factors affecting the cold chain logistics risk of fresh aquatic products, according to the characteristics of fresh aquatic products, the risk of each link of cold-chain logistics of aquatic products is described concretely, and the risk system of cold chain logistics of fresh aquatic products is established. First, the risk indicator of cold chain logistics of fresh aquatic products is screened by using cloud model, and the risk assessment indicator system of cold chain logistics of fresh aquatic products, which is composed of 51 first-level and 182 second-level indicators such as processing risk, transportation risk, storage risk, sales risk and information risk, is determined. Second, triangular fuzzy number is used to determine the prior probability and transfer probability of dynamic Bayesian network. Finally, a risk assessment model for cold chain logistics of fresh aquatic products based on dynamic Bayesian network is proposed. Based on the model, taking an aquatic product cold chain logistics company in Qingdao as an example, a dynamic Bayesian network model is built using GeNIe visualization software, the probability and characteristic sensitivity of cold chain logistics risk of fresh aquatic products are calculated. The result shows that (1) the highest probability of risk in cold chain logistics of fresh aquatic products is transportation risk and storage risk, and transportation and processing are the key risk factors; (2) the transportation route optimization, the

收稿日期: 2021-04-01

作者简介: 万君 (1977-), 男, 河北迁西人, 硕士研究生, 教授. (252885489@qq.com)

* 通讯作者: 刘勋勋 (1995-), 女, 山东青岛人, 硕士研究生. (840235155@qq.com)

cold chain logistics information sharing, the storage temperature control equipment and the rational design of cold storage have the greatest impact on the cold chain logistics risk of aquatic products. Through the empirical analysis, the feasibility of cold chain logistics risk assessment system for fresh aquatic products based on dynamic Bayesian network is verified.

Key words: logistics engineering; cold chain logistics risk; model analysis; dynamic Bayesian network; fresh aquatic product; risk assessment

0 引言

随着生活水平的提高, 城乡居民饮食结构发生了变化, 对水产品的需求逐渐增大^[1], 水产品作为特殊的农产品, 具有易腐性、区域性的特点^[2], 流通过程中对温度、包装有特定的要求, 主要采用冷冻方式进行冷链运输。《山东省“十二五”农产品冷链物流发展规划》提到要推动水产品冷链物流建设, 完善其冷链物流中储藏、运输、包装、加工等体系。与汽车供应链系统、危化品供应链系统相比, 水产品冷链物流系统要经过冷藏加工、冷链运输、冷链仓储、冷藏销售等节点, 水产品对于温度在每一节点的要求各有差异。对水产品冷链物流风险进行预测和分析, 可促使水产品冷链系统的顺利进行, 保证水产品的质量。

目前对生鲜冷链物流的相关研究主要集中在以下几方面: 在生鲜冷链物流质量控制方面, 杨扬等^[3]运用 HACCP 方法研究了生鲜冷链物流潜在危险因素, 建立了质量控制体系。耿秀丽等^[4]使用改进的证据推理方法对冷链物流服务质量进行评估。在冷链物流路径优化方面, 康凯等^[5]考虑配送车辆各类成本, 并以带时间窗的惩罚成本为目标函数, 构建了考虑碳排放的生鲜冷链物流配送路径优化模型。在冷链物流模式和管理战略方面, 刘建鑫等^[6]基于电子商务的发展, 提出网购生鲜冷链物流仍存在短板问题。生鲜农产品包括果蔬、水产品或鲜肉产品等^[7], 其特点是保质期短且从食品的获取到消费者手中都需在合适的温度下流通加工。生鲜产品冷链物流风险评价是一个复杂多样化的综合评价问题, 不同生鲜产品的风险致因源也有所不同, 现有文献已经有对生鲜冷链物流风险的研究^[8-11], 但缺少对生鲜水产品风险的识别评估。本研究在该领域学者研究的前提下, 考虑现有水产品冷链物流存在的风险问题, 并构建其评价体系。

冷链物流风险的评价方法众多, 常用的评价方法包括层次分析法、TOPSIS 法、BP 神经网络、模糊综合评价法^[12-15], 这些方法都有各自的优点和特

点。使用单一的评价方法结果会有偏向性, 因此也有很多学者将几种方法进行组合或对原有方法进行改进。张浩等^[16]使用改进的突变计数法对农产品冷链物流进行了风险评估, 赵鑫等^[17]使用层次分析法和模糊评价相结合的方法分析了“最后一公里”冷链物流风险, 刘虎沉等^[18]针对 FMEA 方法存在的缺陷, 提出了基于 IVIFS 和 MABAC 方法改进的 FMEA 模型, 并将其运用到冷链物流风险评估中。以上方法的改进或结合避免了风险评价的主观随意性和倾向性, 但是以上方法都属于静态方法, 无法体现冷链物流的动态转移过程。动态贝叶斯网络加入了时间元素, 对前一时刻的推理结果进行积累, 随着时间的变化, 推理信息会越来越多, 进而可以有效提升结果的精确度。动态贝叶斯模型可以处理时序数据, 目前多用于动态目标威胁、项目风险评估、医疗研究等方面^[19-21], 本研究将动态贝叶斯网络首次应用于生鲜水产品冷链物流风险评估。

综上所述: (1) 现有文献主要集中在生鲜冷链物流的线路优化、配送模式分析、电商冷链物流发展, 缺乏对生鲜水产品冷链物流风险的研究。(2) 现有文献主要是对生鲜冷链物流环节风险进行分别研究, 大多采用静态方法进行研究不能体现物流的流动过程。因此, 本研究对生鲜水产品冷链物流流通环节进行风险因素识别, 通过云模型对指标进行筛选, 利用三角模糊数为风险因素进行赋值, 进而使用动态贝叶斯网络对冷链物流各环节风险进行评估, 避免人的主观判断造成的缺陷, 并充分考虑物流风险的传递性, 方便冷链物流企业有针对性的进行风险控制。

1 基于分解分析法的冷链物流风险因素识别

生鲜食品的冷链物流网络有 3 种模式, 分别是: 区域内、跨区域和单一经济体冷链物流网络^[7]。关于冷链物流风险的研究中, 没有学者对这 3 种形式的冷链物流进行区分。我国食品销售区域按照地理位置划分可以划分为华北、华中、华南等 6 个大区, 跨区域物流是指本区域农产品经过本区域批发市场

转进另外大区的区域批发市场,其包含区域内冷链物流网络。相对于其他两种模式,跨区域冷链物流的食品种类更多,管理控制难度也会响应增强,其风险识别更有意义。

分解分析法是将某个复杂的系统分成几个简单的要素,通过对简单要素的详细分析实现对系统的认识。通过对流通环节的分析得出水产品的流通过程为“散户/生产基地-采购商-批发市场/物流中心-零售商”。

随机性和模糊性是自然界中事物的两大性质,单独使用随机数学或者模糊数学都不能全面地研究事物的不确定性。基于此,李德毅教授提出了云模型,高效地解决定性变量和数值表示之间的转换问题。本研究使用云模型确定评价指标的贡献值,在云模型中,用期望 Ex , 熵 En 和超熵 He 来实现语言值模糊性和随机性的集成。

首先要设立评价评语集 R 。评语集的设定根据指标数目进行调整,在进行评语集的设置时,必须要有相对应的数域变化区间,数域变化范围为 $[0, 1]$, 评语集中每个评语都在数域中有相对应的变化区间,如式 (1) 所示:

$$R = (R_1, R_2, \dots, R_n), \quad (1)$$

式中 R_i 为第 i 个指标 ($i=1, 2, \dots, n$)。

对定性评语集进行云模型表示。通过双边约束法得到云参数,通过公式确定云的数字特征,得到各个评语对应的变化区间、期望值和熵值,如式 (2) 所示:

$$\begin{cases} Ex_i = \frac{(C_{\max} + C_{\min})}{2} \\ En_i = \frac{(C_{\max} - C_{\min})}{6} \\ He = k \end{cases} \quad (2)$$

式中, Ex_i 为第 i 个指标的期望; En_i 为第 i 个指标的熵; He 为超熵。

收集专家对评价体系各指标的评价信息,获得相应语言值。每个语言值都可以用一个云模型来表示,利用以上公式计算出云的数字特征,多个一维云可形成一维综合云,如式 (3) 所示:

$$\begin{cases} Ex = \frac{\sum_{i=1}^n Ex_i En_i}{\sum_{i=1}^n En_i}, En = \frac{\sum_{i=1}^n En_i}{n}, He = \frac{\sum_{i=1}^n He_i En_i}{\sum_{i=1}^n En_i} \end{cases} \quad (3)$$

求出所有因素的云模型,对评价因素进行加权

平均处理,得出权重值 ω_i ($i=1, 2, 3, \dots, p$; p 为 2 级指标的数目),同一评估指标权重相加和为 1。根据式 (4) 求出贡献值 v_{ji} ($j=1, 2, \dots, q$; q 为 1 级指标数据),取累计贡献值 70% 的指标作为冷链运输物流风险指标。

$$\omega_{ji} = \frac{Ex_i}{\sum_{i=1}^n Ex_n}, v_{ji} = \omega_{ji} \times \omega_i, \quad (4)$$

式中, ω_{ji} 为第 j 个 1 级指标的第 i 个 2 级指标的权重值; v_{ji} 为第 j 个 1 级指标的第 i 个 2 级指标的贡献值。

考虑到生鲜产品运输过程的特殊性,并借鉴以往学者和行业专家的意见^[16,22-25],基于分解分析法选取 23 个 2 级指标,根据云模型计算出权重如表 1 所示,取累计贡献值超过 85% 的 18 个指标构建了完善的生鲜水产品冷链物流风险评估指标体系。本研究所选取的指标具有典型的代表性,以科学严谨和全方位为基准,避免了重复的指标,保证每个指标均能全面客观地反映水产品冷链物流运作过程。

2 模型构建

2.1 动态贝叶斯介绍

动态贝叶斯网络 (DBN) 是一种拓展时间机制的贝叶斯网络,它可以随着时间变化的影响进行建模,通过转移网络描述节点在时间上的变化,用来评估动态事件。动态贝叶斯对时间的拓展不意味着网络结构的动态变化,而是对一个动态系统进行建模。本研究对转移网络进行简化处理,做出以下假设:

(1) 动态贝叶斯网络变化过程满足马尔科夫链模型,如式 (5) 所示:

$$P(X[t+1] | X[0], \dots, X[t]) = P(X[t+1] | X[t]). \quad (5)$$

式中, P 为集合概率; X 为随时间演变的随机变量集合; $X[t]$ 为 X 演化到 t 时刻的集合。该式说明变量在 t 时刻的状态只与 $t+1$ 时刻的状态有关,与其他时刻无关。

(2) 网络变化过程是平稳的,既 $P(X[t+1] | X[t])$ 与时刻 t 无关。

在此假设下,动态贝叶斯网络由两部分构成:①先验网络 B_0 , 定义了初始平衡状态 $X[1]$ 上的联合概率分布;②转移网络 $B_{\rightarrow}$, 网络,定义了加入时间因素或者事件发展后 $X[1]$ 和 $X[2]$ 之间的转移概率 $P(X[t+1] | X[t])$ 。对于一个动态贝叶斯网

表 1 水产品冷链物流风险评估指标体系

Tab. 1 Risk assessment indicator system of cold chain logistics of aquatic products

1 级指标	1 级指标	风险致因	Ex	En	He	权重	排序
加工风险	产品分类	水产品是否根据品类进行分类	0.734	0.036	0.011	0.044	12
	微生物控制	水产品包装前是否进行彻底消毒	0.724	0.051	0.023	0.043	13
	产品品质	水产品重金属、药物残留是否符合国家标准	0.720	0.070	0.029	0.043	14
	包装密封程度	水产品包装是否严密	0.748	0.039	0.023	0.045	10
	加工车间环境	加工车间环境是否干净	0.620	0.055	0.014	0.037	23
运输风险	运输车保鲜能力	运输时是否使用专门的冷藏车	0.750	0.075	0.056	0.045	8
	温控设备准确度	运输车辆是否安装温控设备或者检测设备	0.750	0.050	0.035	0.045	9
	追踪设备准确度	运输车辆是否安装了自动定位设备	0.640	0.075	0.024	0.038	20
	运输路径优化	运输路径是否为最优路径	0.840	0.049	0.033	0.050	2
	设备更新度	运输设备是否按时更新检测	0.636	0.057	0.031	0.038	21
	监控技术	运输设备是否有定位监控技术	0.630	0.025	0.025	0.038	22
仓储风险	冷库合理化设计	冷库的区域布局、最优库存设置是否合理	0.760	0.040	0.012	0.046	7
	仓储温控设备	冷库内是否安装温控设备	0.704	0.079	0.051	0.042	15
	低温分拣操作	冷库是否设置安全过渡区进行分拣	0.685	0.065	0.035	0.041	16
	消防安全建设	冷库安全设备是否充足	0.824	0.034	0.022	0.049	3
销售风险	冷藏柜温度	冷藏柜温度是否可控	0.848	0.038	0.011	0.051	1
	预防污染程度	冷藏柜是否定期杀菌消毒	0.772	0.042	0.012	0.046	6
	变质商品处理	对于过期货物处理是否及时合理	0.820	0.040	0.029	0.049	4
	产品检测能力	是否有设备对水产品进行检测	0.668	0.053	0.019	0.040	17
信息风险	冷链物流信息反馈	冷链物流各个环节的反馈是否及时	0.786	0.039	0.014	0.047	5
	收发电子信息处理	对于各环节的电子信息处理是否及时	0.654	0.047	0.031	0.039	18
	冷链物流信息共享	冷链物流企业是否具有信息共享渠道	0.740	0.040	0.018	0.044	11
	物流信息追溯性	冷链物流是否可追溯	0.642	0.073	0.023	0.038	19

络模型, 事件 X 在 T 个时间片上的联合概率分布如式 (6) 所示:

$$P(X[1], X[2], \cdots, X[T]) = P_{B_0}(X[t+1])$$
$$\prod_{t=1}^T P_{B \rightarrow}(X[t+1]X[t]). \quad (6)$$

2.2 构建动态贝叶斯网络

2.2.1 先验网络

将动态贝叶斯网络节点设置为相应状态, 使用 GeNIe2.1 可视化软件构建拓扑结构。在贝叶斯网络中节点分为目标节点、中间节点和证据节点, 目标节点即本研究的水产品冷链物流风险, 中间节点为加工风险、运输风险、仓储风险、销售风险、信息风险, 证据节点为目标节点下的 18 个风险因素。如图 1 右半部分所示是动态贝叶斯网络的先验网络, 即静态贝叶斯网络拓扑结构。

2.2.2 转移网络

转移网络是根据时间片各个节点之间跨时间点

的联系建立因果关系。文中设置了 5 个时间片, 分别为水产品采购加工、运输、仓储、销售阶段, 最终状态表示冷链物流的信息风险。时间片的先后顺序表示各节点的状态转移关系, 转移关系可以预测节点概率, 也可表示各节点间的风险传递性。生鲜冷链物流中各个环节的风险是随着时间变化而变化的, 后一时间段会受其之前的时间段的风险影响, 转移网络如图 1 所示。

2.3 基于三角模糊的概率确定

动态贝叶斯网络中的先验概率和转移概率的获取有两种方式: (1) 针对相关研究收集数据, 通过先前的数据库进行学习。(2) 针对数据收集困难或者数据确实严重的情况, 可通过领域专家采用问卷调查的方式来收集所需数据。

冷链物流风险很难用精确的风险值表示, 因此本研究引入语言评价级来描述变量。7 个语言评价分别为“非常低”, “低”, “偏低”, “中等”, “偏

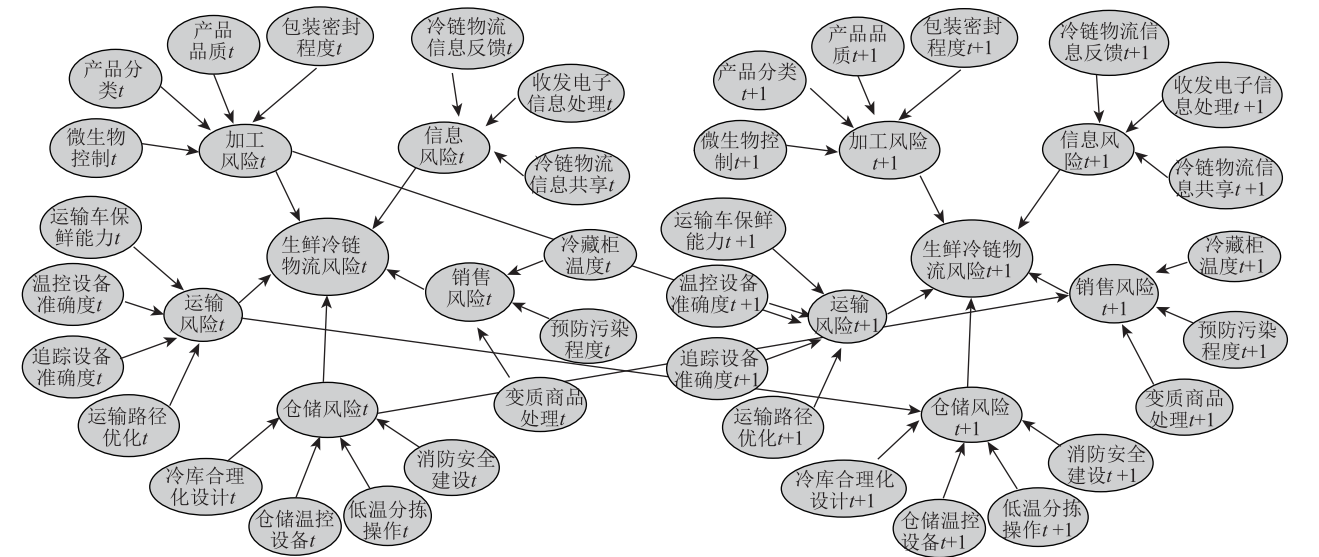


图 1 转移网络
Fig. 1 Transition network

高”，“高”，“非常高”，使用这 7 个变量表示水产品冷链物流风险等级。为将模糊的描述语言量化为数据指标，将语言评价与三角模糊数一一对应，具体对应关系如表 2 所示。

表 2 评价级与三角模糊数对应关系
Tab. 2 Correspondence between evaluation level and triangular fuzzy number

语言评价级	三角模糊数形式	概率范围
非常低 (VL)	$f_{VL} = (0.0, 0.0, 0.1)$	$P < 0.01$
低 (L)	$f_L = (0.0, 0.1, 0.3)$	$P > 0.01$ 和 $P < 0.10$
偏低 (FL)	$f_{FL} = (0.1, 0.3, 0.5)$	$P > 0.10$ 和 $P < 0.33$
中等 (M)	$f_M = (0.3, 0.5, 0.7)$	$P > 0.33$ 和 $P < 0.66$
偏高 (FH)	$f_{FH} = (0.5, 0.7, 0.9)$	$P > 0.66$ 和 $P < 0.90$
高 (H)	$f_H = (0.7, 0.9, 1.0)$	$P > 0.90$ 和 $P < 0.99$
非常高 (VH)	$f_{VH} = (0.9, 1.0, 1.0)$	$P > 0.99$

在获取了相关数据并将其解模糊数后，需要对三角模糊数进行处理以获得每个证据节点的概率值，处理流程有均值化、逆模糊化。

均值化：

$$\tilde{P} = \frac{P_1 + P_2 + \cdots + P_n}{n} = (\tilde{a}, \tilde{m}, \tilde{b})。 \quad (7)$$

逆模糊值：

$$P' = \frac{\tilde{a} + 2\tilde{m} + \tilde{b}}{4}。 \quad (8)$$

本研究构建的生鲜水产品冷链物流风险评估的动态贝叶斯网络评估流程如图 2 所示。

3 实证分析

3.1 参数设置

在以往实际数据难以获得的条件下，选取青岛

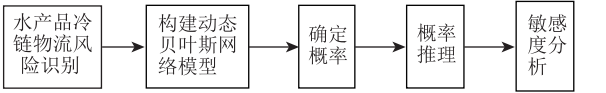


图 2 动态贝叶斯网络评估流程
Fig. 2 Dynamic Bayesian network evaluation process

某水产品冷链物流公司部门负责人 3 名，高校冷链物流领域专家 3 名，组成专家小组，通过问卷形式邀请各位专家对水产品冷链物流风险进行评估。问卷内容如表 1 所示水产品冷链物流风险评估指标，每个指标设有 7 个风险等级，专家根据实际情况进行等级判断。将专家评定的风险等级与三角模糊数相对应，根据式 (7)~(8) 求得逆模糊值即贝叶斯网络的先验概率如表 3 所示，目标节点和中间节点的转移概率如表 4~5 所示。在实际生产中，水产品冷链物流公司可根据实际情况对先验概率和转移概率进行修改^[26]。借鉴行业专家和学者的意见及《食品冷链物流技术与管理规范》中的相关描述，本研究对先验概率的概率状态和概率值进行了修改。

3.2 仿真结果与分析

3.2.1 水产品冷链物流动态贝叶斯概率推理

使用 GeNIe 仿真软件模拟 9 个时刻的水产品冷链物流风险情况，时刻 1 为动态贝叶斯网络初始状态，时刻 2~8 为动态贝叶斯网络中间状态，时刻 9 为动态贝叶斯网络结束状态。

为更直观地看出各个时间片的概率变化，将目标节点和中间节点概率以趋势图的形式进行展示，如图 3 所示。

表 3 先验概率

Tab. 3 Prior probability

节点名称	三角模糊值均值化	逆模糊值	先验概率			备注
			状态 0	状态 1	状态 2	
产品分类	(0, 0.06, 0.22)	0.08	0.92	0.08	—	—
微生物控制	(0.02, 0.12, 0.3)	0.14	0.86	0.14	—	—
产品品质	(0.02, 0.08, 0.22)	0.10	0.90	0.10	—	—
包装密封程度	(0.04, 0.16, 0.34)	0.18	0.82	0.18	—	—
冷藏车保鲜能力	(0, 0.02, 0.14)	0.05	0.95	0.05	—	—
运输温控设置	(0.06, 0.2, 0.38)	0.20	0.80	0.19	0.01	状态 0: <-18 ℃, 状态 1: >-15 ℃, 状态 2: -18~15 ℃
追踪设备准确度	(0, 0.04, 0.18)	0.07	0.93	0.07	—	—
运输路径优化	(0, 0.08, 0.26)	0.11	0.89	0.11	—	—
冷库合理化设计	(0.04, 0.16, 0.34)	0.18	0.82	0.18	—	—
仓储温控设置	(0.04, 0.16, 0.34)	0.18	0.82	0.13	0.05	状态 0: <-18 ℃, 状态 1: >-15 ℃, 状态 2: -18~15 ℃
低温分捡操作	(0.24, 0.36, 0.52)	0.37	0.63	0.37	—	—
消防安全建设	(0.02, 0.14, 0.3)	0.15	0.85	0.15	—	—
冷藏柜温度	(0.06, 0.22, 0.42)	0.23	0.77	0.18	0.05	状态 0: <-15 ℃, 状态 1: >-12 ℃, 状态 2: -15~12 ℃
预防污染程度	(0.02, 0.08, 0.22)	0.10	0.90	0.10	—	—
变质商品处理	(0.06, 0.22, 0.42)	0.23	0.77	0.23	—	—
冷链物流信息反馈	(0.04, 0.16, 0.34)	0.18	0.82	0.18	—	—
收发电子信息处理	(0.08, 0.26, 0.58)	0.30	0.70	0.30	—	—
冷链物流信息共享	(0.06, 0.22, 0.42)	0.23	0.77	0.23	—	—

注: 水产品冷链运输、仓储和冷藏柜温度划分数据来自《食品冷链物流技术与管理规范》。

表 4 目标节点转移概率

Tab. 4 Probability of target node transition

节点名称	水产品冷链物流风险		
		Y	N 状态 0
水产品冷链物流风险	Y	0.85	0.5
	N	0.15	0.5

表 5 中间节点转移概率

Tab. 5 Intermediate node transition probability

运输 风险	加工风险		仓储 风险	运输风险		销售 风险	仓储风险	
	Y	N		Y	N		Y	N
Y	0.9	0.5	Y	0.85	0.5	Y	0.85	0.5
N	0.1	0.5	N	0.15	0.5	N	0.15	0.5

从图 3 可以看出, 随着时间的推移, 水产品冷链物流各风险均呈波动上升的趋势。在最后一个状态, 风险概率最高的是仓储风险, 其次是运输风险。水产品在仓储和运输过程中有很多不确定因素, 例如在仓库仓储过程中内部消毒不彻底, 导致微生物附着在产品上或包装上; 在运输过程中车厢温度不

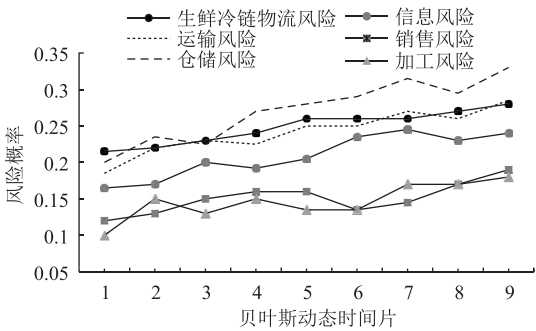


图 3 节点概率变化图

Fig. 3 Schematic diagram of node probability change

稳定、冷冻水产品发生挤压导致包装破损等, 这些都会增大水产品的冷链物流风险。

3. 2. 2 水产品冷链物流贝叶斯网络敏感度分析

节点概率图可以反映在连续的时间片中水产品冷链物流风险发生的概率, 为了更好地识别风险因素源中关键的风险因素, 需要进一步做水产品冷链物流风险的敏感度分析。敏感度分析是衡量每个节

点的微小变化对目标节点的影响,敏感度程度越高,说明该节点对目标节点的影响越大。使用 GeNIe 软件计算水产品冷链物流风险因素的敏感度,颜色的深浅表示节点灵敏度的高低。根据软件结果,中间节点的颜色最深,灵敏度排序为运输风险(0.63) > 加工风险(0.59) > 销售风险(0.53) > 信息风险(0.44) > 仓储风险(0.36),表明4个节点的变化均会对生鲜冷链物流风险的释放起到重要作用。在证据节点中,运输路径合理化(0.31)、冷链物流信息共享程度(0.38)、仓储温控(0.31)和合理化设计(0.38)的敏感度较高,说明水产品冷链物流运输中路径优化非常重要,冷链物流过程中各个环节的信息不能做到有效的共享会加大水产品损坏风险,仓库内部温控设备故障会严重损坏水产品质量,冷冻水产品从收货待验区,不能在15 min内完成,验收合格后,不能迅速将其转入规定冷冻环境中,冷库的仓库规划设计对水产品质量控制发挥着重要作用。

通过对水产品冷链物流风险评估模型进行动态贝叶斯网络的概率推理和敏感性分析可知,随着时间的增加,水产品冷链物流风险不断累积,呈波动上升趋势。运输环节和仓储环节是水产品冷链物流最重要也是发生概率最高的两个环节。冷链运输过程是冷链物流各个环节中不确定因素最多的一个环节,水产品冷链运输的温度为 -18°C ,在运输专用车需设置温控设备对运输过程的温度进行实时调节,很难有运输车辆能一直处于标准温控范围内。在水产品冷链运输过程中,为保证运输速度,降低温度不确定带来的损坏,运输路线也应进行合理规划。运输环节的风险随着时间的推移会转移到仓储环节,在水产品仓储环节,仓储温控设备和冷库设计是最敏感的两个环节,冷链运输企业应重点管控。

4 结论

本研究通过分析水产品冷链物流流通环节将水产品冷链物流划分为了加工风险、运输风险、仓储风险、销售风险、信息风险这5个阶段,对每阶段进一步细分最终得到了18个风险因素节点,为进一步这18个风险因素对水产品冷链物流风险发生所占的概率比重,建立了动态贝叶斯网络模型,主要研究成果如下:

(1) 验证了动态贝叶斯网络评价模型的可用性。动态贝叶斯网络风险评价模型充分考虑到水产品冷链物流风险的传递性和转移性,将时间元素加入水

产品冷链物流风险分析。利用该模型得出的评价结果较为严谨,通过实证分析验证了模型的适用性和有效性,表明该模型是对水产品冷链物流概率风险评价行之有效的办法。

(2) 使用 GeNIe 软件建立了水产品冷链物流动态贝叶斯网络模型,对影响水产品品质的冷链物流环节进行概率风险识别评估。在中间节点中,前一环节的风险发生概率都会随着时间的变化转移给下一环节。在众多风险因素中,仓储环节对水产品的冷链物流格外重要,运输环节风险发生概率也很高,加工环节和销售环节处于冷链物流第一环节与最后环节,风险发生概率最低。

(3) 对水产品风险的概率评估结果进行敏感度分析发现:冷链物流运输企业应重视运输路径的优化、冷链物流信息共享程度、仓储温控设备和冷库合理化设计程度,这4个因素的灵敏度最高,表明这4个因素风险的变动对水产品冷链物流风险产生的影响最大,冷链物流公司重点加强对这4个因素的管理约束以减少风险的发生。

参考文献:

References:

- [1] 齐林,韩玉冰,张小栓,等. 基于 WSN 的水产品冷链物流实时监测系统[J]. 农业机械学报, 2012, 43(8): 134-140.
QI Lin, HAN Yu-bing, ZHANG Xiao-shuan, et al. Real Time Monitoring System for Aquatic Cold-chain Logistics Based on WSN [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2012, 43 (8): 134-140.
- [2] 邓延伟,邬文兵,许金立,等. 水产品冷链物流绩效评价指标体系研究[J]. 管理现代化, 2013 (5): 85-87.
DENG Yan-wei, WU Wen-bing, XU Jin-li, et al. Research on Performance Evaluation Index System of Aquatic Products Cold Chain Logistics [J]. Modernization of Management, 2013 (5): 85-87.
- [3] 杨扬,袁媛,李杰梅. 基于 HACCP 的生鲜农产品国际冷链物流质量控制体系研究——以云南省蔬菜出口泰国为例[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2016, 15 (2): 103-108.
YANG Yang, YUAN Yuan, LI Jie-mei, The Quality Control System of Fresh Agricultural Product in International Cold Chain Logistics Based on HACCP: Take the Export of Vegetable in Yunnan Province to Thailand as Example [J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Sciences Edition), 2016, 15 (2): 103-108.
- [4] 耿秀丽,谷玲玲. 基于改进 ER 的生鲜冷链物流服务

- 质量评估方法[J]. 计算机应用研究, 2020, 37 (5): 1460-1464.
- GENG Xiu-li, GU Ling-ling. Evaluation Method of Fresh Cold Chain Logistics Service Quality Based on Improved ER [J]. Application Research of Computers, 2020, 37 (5): 1460-1464.
- [5] 康凯, 韩杰, 普玮, 等. 生鲜农产品冷链物流低碳配送路径优化研究 [J]. 计算机工程与应用, 2019, 55 (2): 259-265.
- KANG Kai, HAN Jie, PU Wei, et al. Control System of Distributed Vehicle Based on Driving Force Energy Efficiency Optimization Distribution [J], Computer Engineering and Applications, 2019, 55 (2): 259-265.
- [6] 刘建鑫, 王可山, 张春林. 生鲜农产品电子商务发展面临的主要问题及对策 [J]. 中国流通经济, 2016, 30 (12): 57-64.
- LIU Jian-xin, WANG Ke-shan, ZHANG Chun-lin. Problems with Fresh Agricultural Products E-commerce and the Countermeasures [J]. China Business and Market, 2016, 30 (12): 57-64.
- [7] 龚树生, 梁怀兰. 生鲜食品的冷链物流网络研究 [J]. 中国流通经济, 2006 (2): 7-9.
- GONG Shu-sheng, LIANG Huai-lan. On the Logistics Network Modes of Fresh Food Cold Chain [J]. China Business and Market, 2006 (2): 7-9.
- [8] 张夏恒. 流通视域下生鲜产品电商的物流风险与管控对策 [J]. 北华大学学报 (社会科学版), 2015, 16 (5): 36-39.
- ZHANG Xia-heng. Logistics Risk and Management and Control Countermeasures of Fresh Product E-commerce under the Perspective of Circulation [J]. Journal of Beihua University (Social Science Edition), 2015, 16 (5): 36-39.
- [9] 付焯, 严余松, 郭茜, 等. 生鲜农产品供应链物流风险传递机理及控制 [J]. 西南交通大学学报, 2018, 53 (3): 654-660.
- FU Zhuo, YAN Yu-song, GUO Qian, et al. Logistics Risk Transmission Mechanism and Control of Fresh Agricultural Product Supply Chain [J]. Journal of Southwest Jiaotong University, 2018, 53 (3): 654-660.
- [10] 杨扬, 杨小佳, 喻庆芳. 基于系统动力学的生鲜农产品国际冷链物流运作风险控制研究—以云南省生鲜蔬菜国际冷链物流为例 [J]. 北京交通大学学报 (社会科学版), 2017, 16 (3): 119-128.
- YANG Yang, YANG Xiao-jia, YU Qing-fang. Research on Operational Risk Control of International Cold Chain Logistics of Fresh Agricultural Products Based on System Dynamics: Taking International Cold Chain Logistics of Fresh Vegetables in Yunnan Province as an Example [J]. Journal of Beijing Jiaotong University (Social Science Edition), 2017, 16 (3): 119-128.
- [11] 朱新球. O2O 生鲜电商农产品冷链物流系统风险管理研究—以上海厨易配菜有限公司为例 [J]. 物流技术, 2017, 36 (3): 127-133.
- ZHU Xin-qiu. Risk Management of O2O Fresh Farm Produce Cold Chain Logistics System: In the Case of Shanghai CYPC Co., Ltd. [J]. Logistics Technology, 2017, 36 (3): 127-133.
- [12] KENGPOL A, TUAMMEE S. The Development of a Decision Support Framework for a Quantitative Risk Assessment in Multimodal Green Logistics: An Empirical Study [J]. International Journal of Production Research, 2015, 54 (4): 1-19.
- [13] ZHAO H, GUO S. Risk Evaluation on UHV Power Transmission Construction Project Based on AHP and FCE Method [J]. Mathematical Problems in Engineering, 2014, 2014 (1): 1-14.
- [14] 黄颖懿. 基于 BP 神经网络的物流金融风险评估及管理 [J]. 物流技术, 2015, 34 (5): 140-142.
- HUANG Ying-yi. Evaluation and Management of Logistics Finance Risk Based on BP Neural Network [J]. Logistics Technology, 2015, 34 (5): 140-142.
- [15] 吴春尚, 吴春明. 基于层次分析法的中小物流企业财务风险评价研究 [J]. 内蒙古农业大学学报 (社会科学版), 2017, 19 (5): 29-34.
- WU Chun-shang, WU Chun-ming. Study on the Financial Risk Evaluation of Small and Medium Logistics Enterprises Based on the Analytic Hierarchy Process [J]. Journal of Inner Mongolia Agricultural University (Social Science Edition), 2017, 19 (5): 29-34.
- [16] 张浩, 邱斌, 唐孟娇, 等. 基于改进突变级数法的农产品冷链物流风险评估模型 [J]. 系统工程学报, 2018, 33 (3): 412-421.
- ZHANG Hao, QIU Bin, TANG Meng-jiao, et al. Risk Assessment Model of Agricultural Products Cold Chain Logistics Based on the Improved Catastrophe Progression Method [J]. Journal of Systems Engineering, 2018, 33 (3): 412-421.
- [17] 赵矗, 王有刚. 生鲜电商“最后一公里”冷链物流风险评价体系研究 [J]. 重庆科技学院学报 (社会科学版), 2017 (7): 28-33, 43.
- ZHAO Chu, WANG You-gang. Research on the “Last Kilometer” Cold Chain Logistics Risk Evaluation System of Fresh Food E-commerce [J]. Journal of Chongqing University of Science and Technology (Social Science Edition), 2017 (7): 28-33, 43.

- [18] 刘虎沉, 刘然. 基于改进 FMEA 的冷链物流配送过程风险分析 [J]. 保鲜与加工, 2018, 18 (4): 119-125.
LIU Hu-chen, LIU Ran. Risk Analysis of Cold-chain Logistics Distribution Based on an Improved FMEA Method [J]. Storage and Process, 2018, 18 (4): 119-125.
- [19] 张俊光, 徐振超. 研发项目风险概率评估方法研究——基于动态贝叶斯网络研究视角 [J]. 软科学, 2015, 29 (2): 131-135.
ZHANG Jun-guang, XU Zhen-chao. Research and Development Project Risk Probability Assessment: Based on Dynamic Bayesian Network [J]. Soft Science, 2015, 29 (2): 131-135.
- [20] 师维克, 李宏权, 张晨浩, 等. 一种改进 DBN 的空中目标威胁评估方法 [J]. 空军预警学院学报, 2020, 34 (3): 197-202.
SHI Wei-ke, LI Hong-quan, ZHANG Chen-hao, et al. An Aerial Target Threat Assessment Method Based on Improved DBN [J]. Journal of Air Force Early Warning Academy, 2020, 34 (3): 197-202.
- [21] GERVEN M A J V, TAAL B G, LUCAS P J F. Dynamic Bayesian Networks as Prognostic Models for Clinical Patient Management [J]. Journal of Biomedical Informatics, 2008, 41 (4): 515-529.
- [22] 山红梅, 杨雪静. 基于云模型-IAHP 的生鲜农产品冷链物流服务水平评估 [J]. 公路交通科技, 2020, 37 (10): 142-150.
SHAN Hong-mei, YANG Xue-jing. Evaluation of Cold Chain Logistics Service Level of Fresh Agricultural Products Based on Cloud Model-IAHP [J]. Journal of Highway and Transportation Research and Development, 2020, 37 (10): 142-150.
- [23] 陈伟炯, 范雯, 朱小林, 等. 乳制品冷链物流风险评估的 DBN 方法研究 [J]. 系统仿真学报, 2019, 31 (5): 936-945.
CHEN Wei-jiong, FAN Wen, ZHU Xiao-lin, et al. DBN Method for Risk Assessment of Dairy Products Cold Chain Logistics [J]. Journal of System Simulation, 2019, 31 (5): 936-945.
- [24] 张巧巧, 周骞, 朱海燕. 水产品冷链物流系统安全性评价研究 [J]. 公路与汽运, 2019 (6): 42-46, 51.
ZHANG Qiao-qiao, ZHOU Qian, ZHU Hai-yan. Study on the Safety Evaluation of Aquatic Products Cold Chain Logistics System [J]. Highways & Automotive Applications, 2019 (6): 42-46, 51.
- [25] 郭胜男. 生鲜水产品冷链物流销售环节风险管理研究 [D]. 淮南: 安徽理工大学, 2019.
GUO Sheng-nan. Research on Risk Management of Cold Chain Logistics Sales of Fresh Aquatic Products [D]. Huainan: Anhui University of Science and Technology, 2019.
- [26] 何清华, 杨德磊, 罗岚, 等. 基于贝叶斯网络的大型复杂工程项目群进度风险分析 [J]. 软科学, 2016, 30 (4): 120-126, 139.
HE Qing-hua, YANG De-lei, LUO Lan, et al. Research of Large Scale and Complex Construction Programs' Schedule Risk Based on Bayesian Network [J]. Soft Science, 2016, 30 (4): 120-126, 139.