

11-20-2019

DBN Method for Risk Assessment of Dairy Products Cold Chain Logistics

Weijiong Chen

1. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; ;2. Logistics and Supply Chain Risk Control Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; ;3. College of Ocean Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

Fan Wen

1. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; ;2. Logistics and Supply Chain Risk Control Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; ;

Xiaolin Zhu

1. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; ;2. Logistics and Supply Chain Risk Control Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; ;

Qimiao Xie

2. Logistics and Supply Chain Risk Control Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China; ;3. College of Ocean Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

See next page for additional authors

Follow this and additional works at: <https://dc-china-simulation.researchcommons.org/journal>



Part of the Artificial Intelligence and Robotics Commons, Computer Engineering Commons, Numerical Analysis and Scientific Computing Commons, Operations Research, Systems Engineering and Industrial Engineering Commons, and the Systems Science Commons

This Paper is brought to you for free and open access by Journal of System Simulation. It has been accepted for inclusion in Journal of System Simulation by an authorized editor of Journal of System Simulation.

DBN Method for Risk Assessment of Dairy Products Cold Chain Logistics

Abstract

Abstract: Dairy cold chain logistics is a one-way dynamic process. *According to the Bayesian theory, this paper considered the transitivity between risks and used the GeNIe software to establish the DBN risk assessment model. The cold chain logistics risk probability of dairy products was evaluated and the sensitivity analysis was carried out.* The results revealed that the probability of transportation risk is the highest, and the sensitivity of processing risk is the highest. The processing and the transportation are the key links of the dairy product cold chain logistics. *Comparing the results of DBN and the results of static Bayesian network by Marcus score, it is found that the results of DBN are efficient precision.* This model provides a new evaluation paradigm for risk assessment of cold chain industry.

Keywords

dairy quality, cold chain logistics risk, dynamic Bayesian network, sensitivity analysis

Authors

Weijiong Chen, Fan Wen, Xiaolin Zhu, Qimiao Xie, and Xiaobei Yin

Recommended Citation

Chen Weijiong, Fan Wen, Zhu Xiaolin, Xie Qimiao, Yin Xiaobei. DBN Method for Risk Assessment of Dairy Products Cold Chain Logistics[J]. Journal of System Simulation, 2019, 31(5): 936-945.

乳制品冷链物流风险评估的 DBN 方法研究

陈伟炯^{1,2,3}, 范雯^{1,2}, 朱小林^{1,2}, 谢启苗^{2,3}, 尹小贝^{2,3}

(1. 上海海事大学物流研究中心, 上海 201306; 2. 上海海事大学物流供应链风险控制研究中心, 上海 201306;
3. 上海海事大学海洋科学与工程学院, 上海 201306)

摘要: 乳制品冷链物流是一个单向动态过程。依据贝叶斯理论, 考虑风险之间的依次传递性, 利用 GeNIe 软件建立 DBN 风险评估模型, 对乳制品冷链物流风险概率进行评估, 并对评估结果进行灵敏度分析。结果表明, 运输风险的发生概率最高, 加工风险的灵敏度值最高, 因此加工环节与运输环节是乳制品冷链物流的关键环节。利用马库斯分数, 对 DBN 的评估结果与静态贝叶斯网络的评估结果进行对比, 发现 DBN 的评估结果明显精确, 该模型为冷链行业进行风险评估提供了一种新的评估范式。

关键词: 乳制品品质; 冷链物流风险; 动态贝叶斯网络; 灵敏度分析

中图分类号: TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1004-731X (2019) 05-0936-10

DOI: 10.16182/j.issn1004731x.joss.17-0286

DBN Method for Risk Assessment of Dairy Products Cold Chain Logistics

Chen Weijiong^{1,2,3}, Fan Wen^{1,2}, Zhu Xiaolin^{1,2}, Xie Qimiao^{2,3}, Yin Xiaobei^{2,3}

(1. Logistics Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

2. Logistics and Supply Chain Risk Control Research Center, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China;

3. College of Ocean Science and Engineering, Shanghai Maritime University, Shanghai 201306, China)

Abstract: Dairy cold chain logistics is a one-way dynamic process. According to the Bayesian theory, this paper considered the transitivity between risks and used the GeNIe software to establish the DBN risk assessment model. The cold chain logistics risk probability of dairy products was evaluated and the sensitivity analysis was carried out. The results revealed that the probability of transportation risk is the highest, and the sensitivity of processing risk is the highest. The processing and the transportation are the key links of the dairy product cold chain logistics. Comparing the results of DBN and the results of static Bayesian network by Marcus score, it is found that the results of DBN are efficient precision. This model provides a new evaluation paradigm for risk assessment of cold chain industry.

Keywords: dairy quality; cold chain logistics risk; dynamic Bayesian network; sensitivity analysis

引言

冷链物流需求日趋旺盛, 但由于起步较晚、基

础薄弱, 我国冷链物流水平较低。2017 年 4 月, 国务院办公厅印发《关于加快发展冷链物流保障食品安全促进消费升级的意见》, 部署推动冷链物流行业健康发展, 保障食品消费安全^[1]。乳制品冷链物流是指从原料乳生产开始, 经过加工、冷藏、运输、配送、销售, 直至消费者手中, 其各个环节始终处在低温环境下的特殊供应链体系^[2]。目前对于乳制品冷链物流的研究集中在以下几方面: (1) 关



收稿日期: 2017-06-14 修回日期: 2017-08-16;
基金项目: 国家自然科学基金(71503166);
作者简介: 陈伟炯(1957-), 男, 江苏常州, 博士, 教授, 博导, 研究方向为物流安全与供应链风险控制; 范雯(1993-), 女, 山东淄博, 硕士, 研究方向为物流安全与供应链风险控制。

<http://www.china-simulation.com>

于乳制品冷链成本的优化及模型的建立^[3-4]; (2) 对乳制品配送模式与冷链物流车辆路径进行优化^[5-6]; (3) 有关乳制品冷链物流模式和供应链管理战略的论述^[7-8]。虽有少数文献对冷链物流风险进行探讨^[9-10], 但缺少从乳制品品质安全的角度对冷链物流风险进行量化评估的研究。冷链物流风险的释放会使乳制品品质下降甚至变质, 危及人身健康, 给乳制品企业带来经济损失和声誉损失。如果能够发现导致乳制品冷链物流风险释放的薄弱环节与敏感因素, 则对于乳制品企业进行事前预防与控制, 保证乳制品的品质安全具有重要意义。

供应链风险的影响因素复杂, 一些学者从风险评估系统的模糊性入手, 采用模糊综合评价法对供应链风险进行评估^[11-12]。该方法虽然应用较广泛, 但难以清晰地展现因素之间的因果关系。贝叶斯网络可以通过有向树图与条件概率展现因素之间的因果关系与敏感程度, 于是, 有学者将其应用于供应链风险的评估^[13-14]。但是, 模糊综合评价法、贝叶斯网络等静态方法无法体现冷链物流各个环节之间的动态性和风险的依次传递性, 因此, 本文将动态贝叶斯网络(以下简称 DBN)应用于乳制品冷链物流风险评估。DBN 的优势在于能够处理时序数据, 并且在表达多层知识方面有深厚的理论支持^[15]。DBN 目前主要应用于目标识别、可靠性分析、医疗研究等方面^[16-18], 尚未将其应用到冷链物流风险领域。

综上, 本文认为: (1) 现有相关研究多集中于乳制品冷链物流的配送模式、车辆路径以及成本的优化上, 缺乏从乳制品品质安全的角度对冷链物流风险进行量化评估的研究; (2) 现有相关文献对供应链风险的评估大多采用静态方法, 而乳制品冷链物流是由加工、冷藏、运输和销售组成的流动过程, 各环节风险具有依次传递性, 静态方法并不能体现这一特点。因此, 本文针对上述研究尚未关注的重要问题, 考虑各环节之间风险的依次传递性, 将 DBN 应用于乳制品冷链物流风险评估模型, 对风险概率进行评估, 并与静态贝叶斯网络评估结果进行对比; 通过灵敏度分析, 找出容易释放乳制品冷链物流风险的敏感性环节与因素, 从而方便企业采

取更有针对性的风险控制措施。

1 DBN 基本原理与假设

贝叶斯网络(以下简称 BN)包括网络结构和相关的条件概率分布。网络结构是一个有向树图, 包括代表变量 X_i 的节点和节点之间的有向边, 节点可分为父节点和子节点, 有向边代表变量间的关系, 通常认为是因果关系。假设 $Pa(X_i)$ 是 X_i 的父节点, X_i 的条件概率由 $P(X_i/Pa(X_i))$ 表示, 因此, 联合概率分布 $P(X_1, X_2, \dots, X_N)$ 可以写为:

$$P(X_1, \dots, X_N) = \prod_{i=1}^N P(X_i/Pa(X_i)) \quad (1)$$

DBN 通过引入相关的时间因素来扩展 BN, 以便对随机变量的动态行为建模, 这使贝叶斯推理十分复杂, 为了简化推理过程, 需要提供一些合理的假设^[19]:

(1) 假设动态概率过程是马氏的(Markovian), 即满足:

$$P(X[t+1]/X[1], X[2], \dots, X[t]) = P(X[t+1]/X[t]) \quad (2)$$

也就是说未来时刻的概率只与当前时刻有关而与过去时刻无关;

(2) 假设相邻时刻的条件概率过程是平稳的。

基于上述假设, DBN 可以定义为 (B_0, B_{\rightarrow}) , 其中 B_0 为定义先验概率 $P(X_1)$ 的先验网络, B_{\rightarrow} 是转移网络, 定义了两个相邻时间片各变量之间的条件概率分布, 公式如下:

$$P(X_t/X_{t-1}) = \prod_{i=1}^N P(X_t^i/Pa(X_t^i)) \quad (3)$$

式中: X_t^i 为时间片 t 的第 i 个节点; $Pa(X_t^i)$ 为 X_t^i 的父节点, 可以在相同的时间片 t 或先前的时间片 $t-1$ 中; N 为网络中随机变量的数量。对于具有 T 个时间片的 DBN, 联合概率分布可以通过“展开”网络来获得, 公式如下:

$$P(X_{1:T}^{1:N}) = \prod_{i=1}^N P_{B_0}(X_1^i/Pa(X_1^i)) \times \prod_{t=2}^T \prod_{i=1}^N P_{B_{\rightarrow}}(X_t^i/Pa(X_t^i)) \quad (4)$$

2 基于 DBN 的乳制品冷链物流风险评估模型

评估乳制品冷链物流风险,首先要对其进行分析。Yang Fang^[20]以农产品为例对冷链物流体系进行分析,识别易释放安全风险的冷链物流环节,包括生产、包装与加工、冷藏、冷藏运输、销售。国琳^[21]从乳制品的原料乳生产、加工、包装、运输和销售等环节分析影响乳制品质量的因素,并从政府、行业协会、企业自身的角度提出了对策。本文根据 Yang Fang 和国琳^[20-21]的研究,结合乳制品的特点,假设原料乳品质优良,从乳制品加工(含包装)、冷藏、运输和销售 4 个环节建立乳制品冷链物流风险评估指标体系,如图 1 所示。

针对乳制品冷链物流风险评估过程中的不确定性信息难以量化的问题,并考虑风险在各环节之间的流动性,本文建立 DBN 风险评估模型,通过 DBN 展现乳制品冷链物流的各个环节与因素之间的因果关系,进行 DBN 推理评估风险发生的概率。

2.1 DBN 风险评估模型构建

根据前文对 DBN 的介绍,本文构建的 DBN 风险评估模型可以表示为一个二元组 (B_0, B_{\rightarrow}) , 其中, B_0 表示 DBN 风险评估模型的先验模型, B_{\rightarrow} 表示转移模型。

DBN 风险评估模型的节点根据乳制品冷链物

流风险评估指标体系(图 1)中的各个环节与因素设置,将其分为 3 类:第 1 类是总结点,即乳制品冷链物流风险;第 2 类是风险型节点,包括加工(含包装)风险、冷藏风险、运输风险和销售风险;第 3 类是因素型节点,这是导致风险释放的诱因。

在对网络节点进行设置的过程中,依据各节点的性质设置了不同的状态。总结点与风险型节点的状态均为未发生(N)和发生(Y),因素型节点的状态如表 1 所示。节点状态划分是为了将连续型变量转换为离散型变量,目前连续型变量的 DBN 训练较为困难,离散化能使问题更加简明。

本文的 DBN 模型构建与概率计算通过 GeNIe 软件进行,GeNIe 软件是一种图模型处理软件,具有图形化建模界面,支持结构和参数学习,并能够提供多种推理算法^[22]。

首先,构建 DBN 风险评估的先验网络模型,也是静态贝叶斯网络。本文通过文献调研、网络公开资料和专家知识等分析各个节点的因果关系。以加工环节为例,目前乳制品的杀菌工艺包括巴氏低温杀菌、巴氏高温杀菌和超高温杀菌,不同的杀菌工艺使杀菌温度与时间不同,如果杀菌温度与时间设置不当,则会增加加工风险的发生概率,使乳制品冷链物流风险释放的概率提高,加速乳制品变质。先验网络模型如图 2 所示,图 2 中的箭头表示各个节点之间的因果关系。

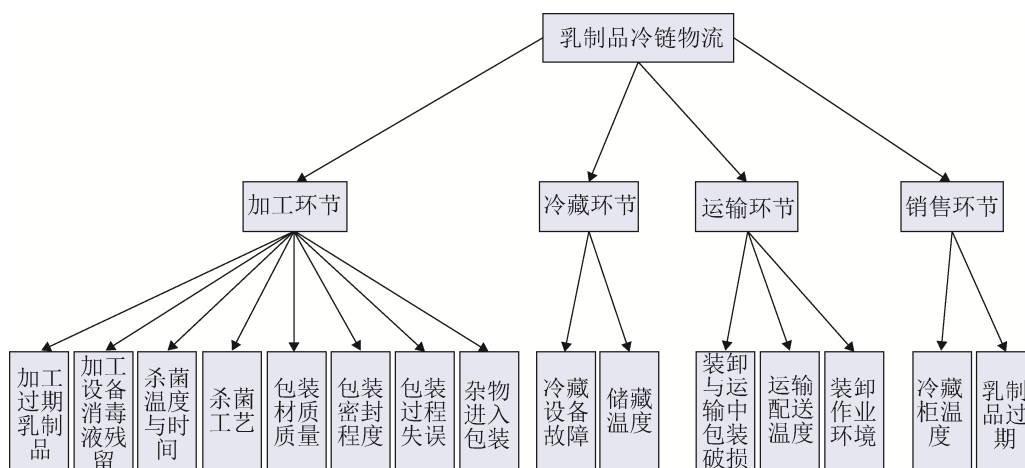


图 1 乳制品冷链物流风险评估指标体系

Fig. 1 Dairy product cold chain logistics risk assessment index system

表 1 因素型节点状态
Tab. 1 Factor nodes state

节点名称	状态		
加工过期乳制品	state0:未发生;	state1:发生	
加工设备消毒液残留	state0:无;	state1:少量	
杀菌温度与时间	state0:63~65 °C, 30 min;	state1:70~75 °C, 15~20 s;	state2:125~138 °C, 2~4 s
杀菌工艺	state0:巴氏低温杀菌;	state1:巴氏高温杀菌;	state2:超高温杀菌
包装材质质量	state0:安全;	state1:不安全	
包装过程失误	state0:未发生;	state1:发生	
包装密封程度	state0:好;	state1:中;	state2:差
杂物进入包装	state0:未发生;	state1:发生	
冷藏设备故障	state0:未发生;	state1:发生	
储藏温度	state0:2~6 °C;	state1:常温 25 °C;	state2:>25 °C
装卸与运输中包装破损	state0:未发生;	state1:发生	
运输配送温度	state0:2~6 °C;	state1:常温 25 °C;	state2:>25 °C
装卸作业环境	state0:2~6 °C;	state1:常温 25 °C;	state2:>25 °C
冷藏柜温度	state0:2~6 °C;	state1:常温 25 °C;	state2:>25 °C
乳制品过期	state0:未发生;	state1:发生	

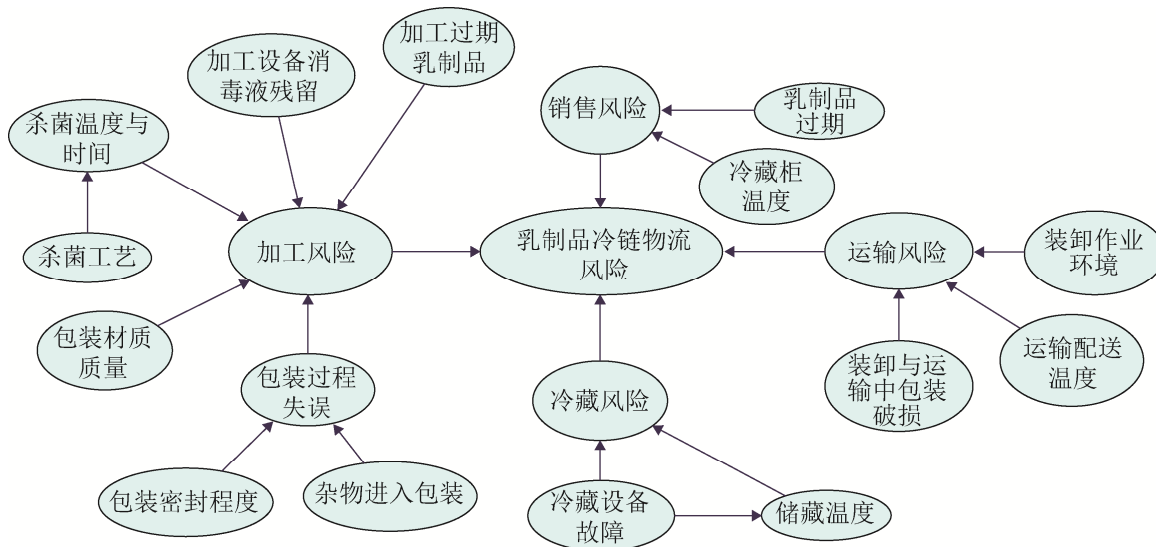


图 2 先验网络
Fig. 2 Priori network

转移模型是对先验网络模型进行扩展, 根据相邻时间片各变量的相互影响建立因果关系, 从而反映相邻时间片各变量之间的概率变化。不同的杀菌工艺会影响以后时间段的乳制品的储藏温度、运输配送温度和冷藏柜温度; 包装密封程度影响装卸与运输中包装是否破损。乳制品冷链物流的加工风

险、冷藏风险、运输风险和销售风险随时间推动而依次转移, 使各个风险状态发生变化, 从而使乳制品冷链物流风险影响自身在下一个时间片的状态。转移网络如图 3 所示。

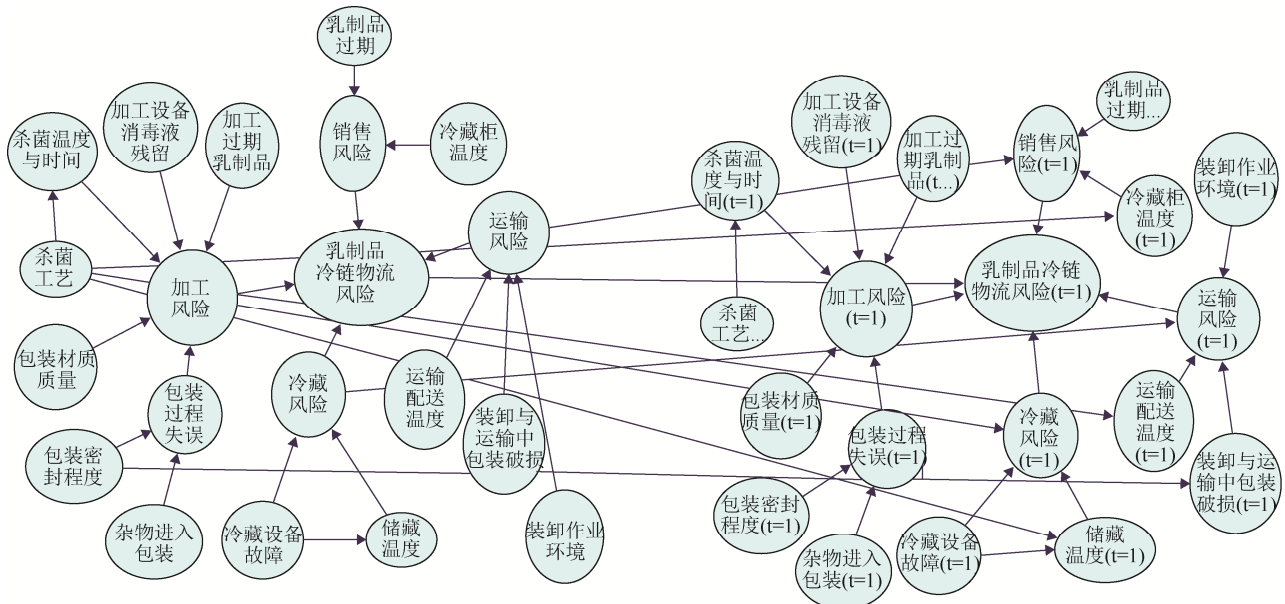


图 3 转移网络
Fig. 3 Transfer network

2.2 网络参数设置

确定乳制品冷链物流风险的动态贝叶斯网络评估模型后，需要设置先验概率与转移概率，可以利用实际数据进行参数学习获得；在实际数据难以获取的情况下，则可根据专家知识与经验来设置。目前，很难从乳制品企业收集到所有因素发生的历史数据，因此本文根据公开的文献资料^[23]、中国奶业年鉴(2010-2016)中的案例与数据，并参考乳制品行业专家意见，计算推测出先验概率与转移概率，如表 2~5 所示。本模型在实际运用中，乳制品企业可根据自身的历史数据对先验概率与转移概率进行修正。

2.3 仿真训练结果与分析

DBN 具有极强的处理不确定性信息的能力，基于 DBN 的乳制品冷链物流风险评估模型具有扎实的理论基础和严谨的概率推理算法，下面对该模型进行推理分析。

2.3.1 DBN 风险评估模型概率推理

在 GeNIe 软件中，需要把 DBN 分为初始状态，中间过程和结束状态，本文将模拟九个时刻的风险情况，时刻 1 为初始状态，时刻 2~8 为中间过程，

时刻 9 为结束状态，推理方法采用 GeNIe 软件中的似然加权法，推理结果如图 4 所示。

为了更直观地看出节点概率的变化，将总结点与风险型节点在发生(Y)状态的概率以趋势图的形式展现，如图 5 所示。

表 2 先验概率
Tab. 2 Priori probability

节点名称	先验概率		
	state0	state1	state2
加工设备消毒液残留	0.9	0.1	
包装材料质量	0.9	0.1	
杂物进入包装	0.99	0.01	
冷藏设备故障	0.99	0.01	
乳制品过期	0.99	0.01	
杀菌工艺	0.7	0.1	0.2
包装密封程度	0.9	0.07	0.03
装卸作业环境	0.6	0.35	0.05

表 3 总结点转移概率
Tab. 3 Summation node transition probability

节点名称	乳制品冷链物流风险(t)		
	N	Y	
乳制品冷链物流风险	N	0.5	0.2
(t+1)	Y	0.5	0.8

表 4 风险型节点转移概率
Tab. 4 Risky nodes transition probability

冷藏风险 ($t+1$)	加工风险(t)		运输风险($t+1$)	冷藏风险(t)		销售风 险($t+1$)	运输风险(t)	
	N	Y		N	Y		N	Y
N	0.5	0.1	N	0.5	0.1	N	0.5	0.1
Y	0.5	0.9	Y	0.5	0.9	Y	0.5	0.9

表 5 因素型节点转移概率
Tab. 5 Factors node transition probability

杀菌工艺(t)	储藏温度($t+1$)			运输配送温度($t+1$)			冷藏柜温度($t+1$)		
	state0	state1	state2	state0	state1	state2	state0	state1	state2
state0	1	0	0	0.3	0.5	0.2	1	0	0
state1	1	0	0	0.3	0.5	0.2	1	0	0
state2	0.9	0.1	0	0.2	0.6	0.2	0.9	0.1	0

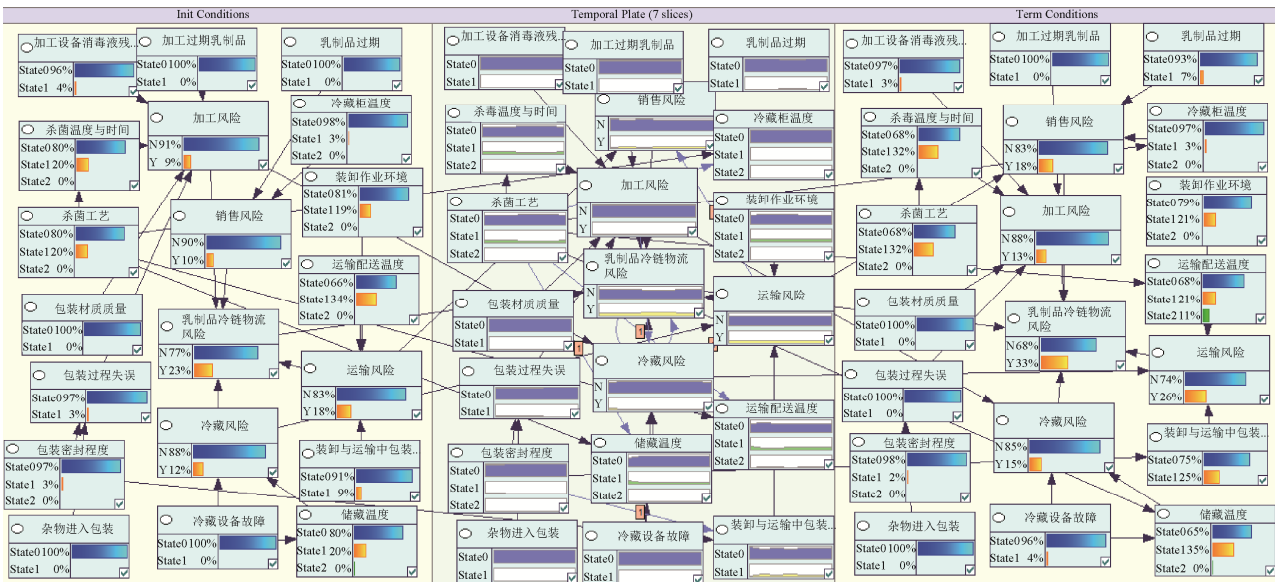


图 4 DBN 风险评估模型推理结果
Fig. 4 DBN risk assessment model reasoning results

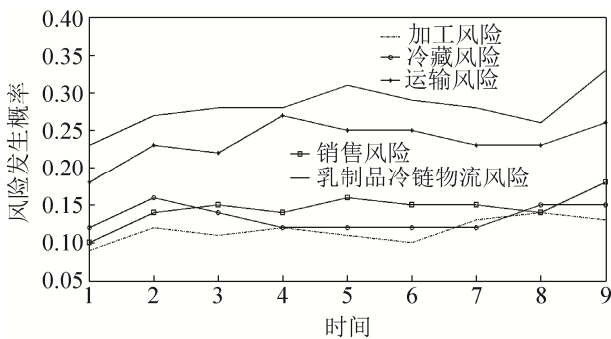


图 5 总结点与风险型节点发生概率变化图
Fig. 5 Probability change diagram of the summation node and the risky nodes

从图 5 中可以看出, 乳制品冷链物流风险与加工风险、冷藏风险、运输风险和销售风险均随时间推移呈波动上升趋势, 在结束状态风险发生概率最高的是运输风险, 其次是销售风险, 这是因为运输过程中有许多不确定因素, 例如乳制品在运输中极易受到挤压和碰撞, 可能会造成包装破损; 运输过程中车体温度升高, 运输时间过长会加速乳制品变质。乳制品在运输过程中变质, 随着时间的推移会转移到销售环节, 发生销售风险。在 4 类风险中加工风险因环节监控严格而发生概率最低。运输环节

是乳制品冷链物流的薄弱环节, 乳制品企业应在保证加工环节监控力度的基础上, 加大对运输环节的控制和管理, 以免风险转移到其他环节。

2.3.2 灵敏度分析

灵敏度分析(SA)是研究通过给参数(这里指概率)一个微小的变化, 考察对于目标对象所产生的影响, 从而对该参数对于该目标对象的重要性进行量化分析。GeNIe 软件自带简易的灵敏度计算功能, 分析情况如图 6 所示。

图 6 中红色表示灵敏度高的节点, 灵敏度由高到低分别由红色、粉红、白色、浅蓝色表示。总节点与风险型节点处在网络的顶端, 灵敏度较高, 说明这四个环节的微小变动会对乳制品冷链物流风险的释放产生重要影响, 同时也说明对于数据的选取越精确越好。风险型节点的灵敏度依次为 1.01×10^8 , 2.39×10^3 , 1.1×10^7 , 1.21×10^3 , 可见乳制品冷链物流风险对加工风险最敏感。由于网络结构的影响, 因素型节点的灵敏度差别较大, 通过对数化后可以清晰对比它们的差别, 如图 7 所示。

从图 7 中可以看出, 灵敏度最高的因素是包装

过程失误, 其次是包装材质质量。包装过程失误是由包装密封程度和杂物进入包装引起的, 这两个因素的灵敏度值也较高。这些因素小幅度的变动会对乳制品冷链物流的 4 个环节产生巨大影响, 进而对乳制品冷链物流风险的释放造成影响, 威胁乳制品品质安全。因此需要对这些敏感因素进行重点控制与管理, 提高乳制品企业的抗风险能力, 以保证乳制品质量。

通过对基于 DBN 的乳制品冷链物流风险评估模型进行概率推理、灵敏度分析可知, 乳制品冷链物流风险的发生概率随着 4 大环节风险发生概率的增加而增加, 加工环节、运输环节是乳制品冷链物流最关键的两个环节, 在保证原料乳品质优良的情况下, 加工环节是乳制品冷链物流的源头, 对乳制品的品质安全有直接影响, 其中, 包装过程失误和包装材质质量在加工环节中是最敏感的两个因素, 乳制品企业应该对此进行重点管控; 运输环节温度较高, 而乳制品对温度有极高的要求, 因此在运输过程中需使用专用冷藏车, 并且应使用 RFID 等设备随时对温度进行监控。

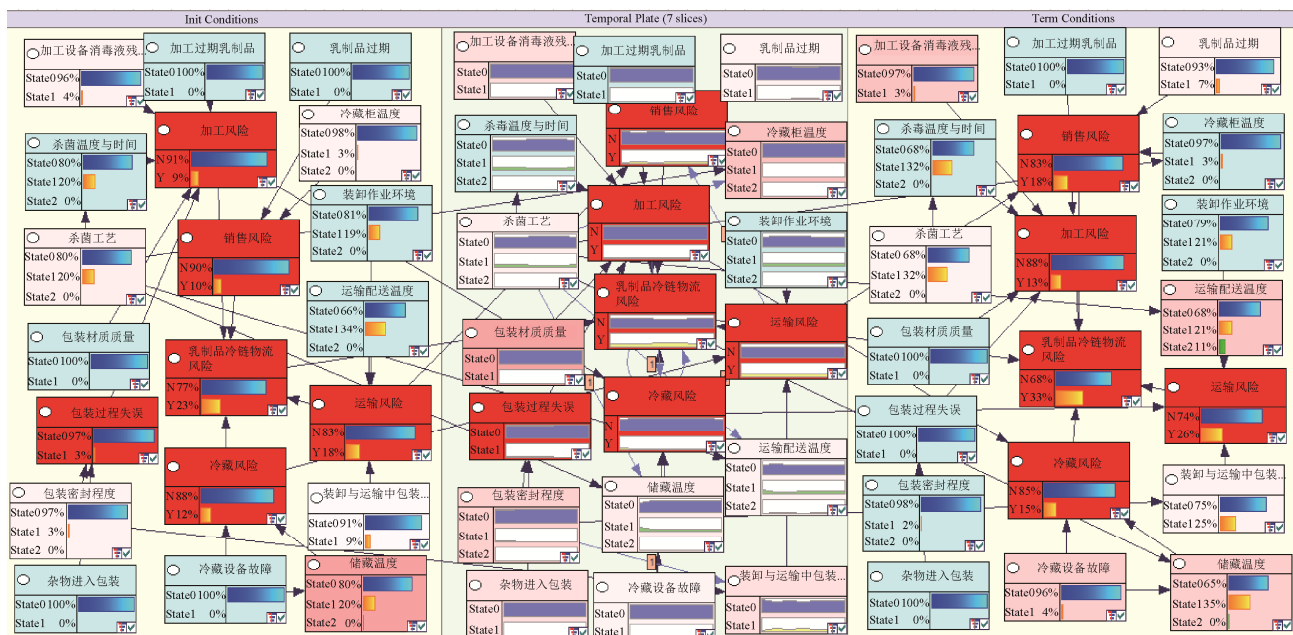


图 6 乳制品冷链物流风险灵敏度分析

Fig. 6 Sensitivity analysis of dairy products cold chain logistics risk

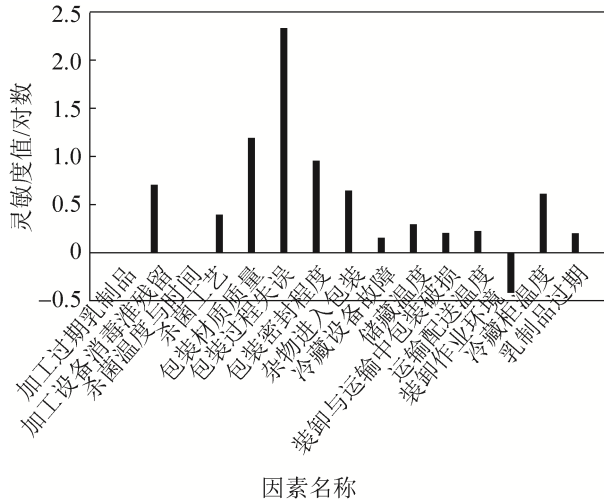


图 7 因素型节点灵敏度对比图

Fig. 7 Factor nodes sensitivity comparison chart

3 对比分析

乳制品冷链物流风险的静态贝叶斯网络评估模型就是 DBN 中的先验网络, 用 GeNIe 软件对静态贝叶斯网络进行推理, 推理结果如表 6 所示。

表 6 静态贝叶斯网络总结点与风险型节点推理概率
Tab. 6 SBN summation node and risky nodes reasoning probability

节点名称	未发生(N)	发生(Y)
乳制品冷链物流风险	0.77	0.23
加工风险	0.91	0.09
冷藏风险	0.88	0.12
运输风险	0.83	0.17
销售风险	0.90	0.10

对于乳制品冷链物流风险的评估本文分别采用了 DBN 和静态贝叶斯网络。DBN 与静态贝叶斯网络相比, 其优点在于能够对前一时刻的推理结果进行有效的积累, 获得的信息随着时间的推移也越来越多。

为了验证乳制品冷链物流风险评估结果的精确度, 本文采用统计预报领域著名的马库斯分数, 对两种评估结果进行评分, 它表示预测结果的均方差。其表达式为:

$$BS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (P_i - O_j)^2 \quad (5)$$

式中: P_i 为评估概率; O_j 为事件状态; 0 代表事件

不发生; 1 代表事件发生; n 为样本数量。马库斯分数的取值范围是 0~1, 其中, 0 表示评估精确度最好, 1 表示评估精确度最差, 即马库斯分数越小, 评估精确度越高。

取风险型节点的评估结果作为样本, 按照最大概率归类的原则, DBN 与静态贝叶斯网络的评估结果状态均为未发生(N), 即 O_j 取值为 0。在事件状态为未发生(N)的情况下, 风险型节点的 DBN 评估概率为 0.88, 0.85, 0.74, 0.83, 静态贝叶斯网络的评估概率为 0.91, 0.88, 0.83, 0.87。根据公式 (5) 可计算出 DBN 风险评估模型的马库斯分数为 0.683, 静态贝叶斯网络评估模型的马库斯分数为 0.762, DBN 风险评估模型的马库斯分数明显小于静态贝叶斯网络评估模型的马库斯分数。由此可见, DBN 风险评估模型的精确度明显高于静态贝叶斯网络评估模型。

4 结论

本文依据贝叶斯理论, 首次将 DBN 应用于乳制品冷链物流风险领域, 扩大了其应用范围, 也为医药、生鲜等产品的冷链物流风险评估提供了一种新的评估范式。主要研究结果如下:

(1) 利用 GeNIe 软件建立了 DBN 风险评估模型, 对影响乳制品品质安全的冷链物流风险进行概率评估。在风险型节点中, 运输风险的发生概率最高, 且随着时间的流逝极易转移到销售环节, 发生销售风险; 加工环节监控严格, 所以风险的发生概率最小。

(2) 对乳制品冷链物流风险的概率评估结果进行了灵敏度分析。在风险型节点中, 加工风险的灵敏度最高; 通过对因素型节点的灵敏度对数化, 发现最敏感的因素为包装过程失误, 表明该因素的微小变动会对加工风险产生重要影响, 进而对乳制品冷链物流风险的释放产生影响, 威胁乳制品品质安全。

(3) 用马库斯分数对 DBN 与静态贝叶斯网络的评估结果进行对比, 发现 DBN 的评估结果明显

精确,为乳制品企业采取经济高效的风险控制措施提供了科学依据。

参考文献:

- [1] 袁琳. 加快发展冷链物流 保障食品安全 促进消费升级[N]. 中国改革报, 2017-04-28.
Yuan Lin. Accelerate the development of cold chain logistics, Protect food safety, Promote consumer upgrades[N]. China reform Daily, 2017-04-28.
- [2] 李文杰, 李珂. 浅析乳制品冷链物流[J]. 现代商业, 2010, 29(5): 33-34.
Li Wenjie, Li Ke. Analysis of Dairy Cold Chain Logistics[J]. Modern Business, 2010, 29(5): 33-34.
- [3] 郭传好, 陈芳, 单而芳. 短生命周期乳制品供应链网络成本与收益优化研究[J]. 中国管理科学, 2017, 2(3): 87-97.
Guo Chuanhao, Chen Fang, Shan Erfang. Cost and Revenue Optimization for Supply Chain Network of Dairy Products with Short-Life-Cycle[J]. Chinese Journal of Management Science, 2017, 2(3): 87-97.
- [4] Nicholson Charles F, Gómez Miguel I, Gao Oliver H. The costs of increased localization for a multiple-product food supply chain: Dairy in the United States[J]. Food Policy (S0306-9192), 2011, 36(2): 300-310.
- [5] 张琳, 庞燕, 夏江雪. 乳制品企业冷链物流共同配送研究[J]. 企业经济, 2011, 12(8): 89-92.
Zhang Lin, Pang Yan, Xia Jiangxue. Study on Common Distribution of Cold Chain Logistics in Dairy Enterprises [J]. Enterprise Economy, 2011, 12(8): 89-92.
- [6] 马向国, 刘同娟, 杨平哲. 基于随机需求的冷链物流车辆路径优化模型[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(8): 1824-1832.
Ma Xiangguo, Liu Tongjuan, Yang Pingzhe. Vehicle Routing Optimization Model of Cold Chain Logistics Based on Stochastic Demand[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(8): 1824-1832.
- [7] Sel C, Bilgen B. Quantitative models for supply chain management within dairy industry: a review and discussion[J]. Eur J Ind Eng (S1751-5254), 2015, 9(5): 561-594.
- [8] 张建军. 生鲜乳制品冷链物流模式评价及构建研究[J]. 技术经济与管理研究, 2015, 11(7): 29-33.
Zhang Jianjun. Researching on the Evaluation and Construction of Cold-chain Logistics Mode of Dairy Products[J]. Technoeconomics & Management Research, 2015, 11(7): 29-33.
- [9] 彭本红, 武柏宇, 周叶. 冷链物流断链风险的熵权可拓评价研究[J]. 北京交通大学学报(社会科学版), 2017, 12(1): 110-119.
Peng Benhong, Wu Boyu, Zhou Ye. A Study on the Risk Assessment of Cold Chain Scission Based on Entropy Weight and Extension Decision Model[J]. Journal of Beijing Jiaotong University(Social Sciences Edition), 2017, 12(1): 110-119.
- [10] Kim K, Hyunjin K B, Kim S K, et al. i-RM: An intelligent risk management framework for context-aware ubiquitous cold chain logistics[J]. Expert Syst Appl (S0957-4174), 2016, 46(3): 463-473.
- [11] 颜波, 石平, 丁德龙. 物联网环境下的农产品供应链风险评估与控制[J]. 管理工程学报, 2014, 12(3): 196-202.
Yan Bo, Shi Ping, Ding Delong. Risk Assessment and Control of Agricultural Supply Chain on Internet of Things[J]. Journal of Industrial Engineering and Engineering Management, 2014, 12(3): 196-202.
- [12] Aqlan F, Lam S S. A fuzzy-based integrated framework for supply chain risk assessment[J]. International Journal of Production Economics (S0925-5273), 2015, 161(3): 54-63.
- [13] 张浩, 王明坤. O2O 模式下供应链失效风险识别模型及仿真[J]. 系统仿真学报, 2016, 28(11): 2747-2755.
Zhang Hao, Wang Mingkun. Failure Risk Identification Model and Simulation of Supply Chain Under O2O E-commerce Model[J]. Journal of System Simulation, 2016, 28(11): 2747-2755.
- [14] Amundson J, Faulkner W, Sukumara S, et al. A Bayesian Network Based Approach for Risk Modeling to Aid in Development of Sustainable Biomass Supply Chains[C]// 22nd European Symposium on Computer Aided Process Engineering, 2012: 152-156.
- [15] 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, 31(2): 131-135.
Zhang Junguang, Xu Zhenchao. Research and Development Project Risk Probability Assessment-Based on Dynamic Bayesian Network[J]. Soft Science, 2015, 31(2): 131-135.
- [16] 郑景嵩, 高晓光, 陈冲. 基于弹性变结构 DDBN 网络的空战目标识别[J]. 系统仿真学报, 2008, 20(9): 2303-2306.
Zheng Jingsong, Gao Xiaoguang, Chen Chong. Target Recognition in Air to Air Combat Based on Elastic Variable Structure Discrete Dynamic Bayesian Networks[J]. Journal of System Simulation, 2008, 20(9): 2303-2306.

- 2303-2306.
- [17] 陈海洋, 高晓光, 郑景嵩. 基于数据修补 DDBNs 的空
中目标识别方法研究[J]. 系统仿真学报, 2010, 22(3):
678-681.
Chen Haiyang, Gao Xiaoguang, Zheng Jingsong. Air
Target Identification Based on Data Repaired Discrete
Dynamic Bayesian Networks[J]. Journal of System
Simulation, 2010, 22(3): 678-681.
- [18] Van Gerven M A, Taal B G, Lucas P J. Dynamic Bayesian
networks as prognostic models for clinical patient
management[J]. Journal of biomedical informatics
(S1532-0464), 2008, 41(4): 515-529.
- [19] 肖秦琨. 动态贝叶斯网络推理学习理论及应用[M]. 北
京: 国防工业出版社, 2007.
Xiao Qinkun. Dynamic Bayesian Network Inference
Learning Theory and Application[M]. Beijing: National
Defence Industry Press, 2007.
- [20] Yang F, Cai J M. The Analysis of Fresh Food Safety
Risks from the Cold Chain Logistics System [M].
Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2013.
- [21] 国琳, 赵秀娟, 孙长颢. 我国乳制品质量安全的影响
因素及对策[J]. 预防医学情报杂志, 2013, 20(1): 58-61.
Guo Lin, Zhao Xiujuan, Sun Changhao. Factors
Influencing Dairy Quality and Safety in China and the
Countermeasures[J]. Journal of Preventive Medicine
Information, 2013, 20(1): 58-61.
- [22] 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, 18(4):
120-126.
He Qinghua, Yang Delei, Luo Lan, et al. Research of
Large Scale and Complex Construction Programs'
Schedule Risk Based on Bayesian Network[J]. Soft
Science, 2016, 18(4): 120-126.
- [23] 姜冰, 李翠霞. 基于宏观数据的乳制品质量安全事件
的影响及归因分析[J]. 农业现代化研究, 2016, 23(1):
64-70.
Jiang Bing, Li Cuixia. Macro Data Analysis of The
Impacts and Influencing Factors of The Qualitative
Safety Incidents of Dairy Products[J]. Research of
Agricultural Modernization., 2016, 23(1): 64-70.