

荔枝包装的风险识别与分析

邹炽导^{1,2,3}, 陆华忠^{1,2}, 吕恩利^{1,2}, 曾志雄^{1,2}, 杨松夏¹

(1.华南农业大学, 广州 510642; 2.广东省农产品冷链物流工程技术研究中心, 广州 510642;

3.广东省教育考试院, 广州 510631)

摘要: **目的** 解决在荔枝包装过程中风险源难于辨识及定量分析的难题。**方法** 提出一种基于霍尔三维因素空间和模糊故障树的风险识别与定量分析方法。构建荔枝包装的安全事件、时空结构(工位)、事故致因等3个维度的因素集,通过矩阵之间的映射关系和计算分析得到风险基本事件集合。建立荔枝包装的故障树模型,并对风险基本事件进行专家问卷评价。采用梯形模糊数及左右模糊排序法将专家的评判语言转化为风险概率值。**结果** 经计算得到荔枝包装事故发生概率(0.0409)及风险基本事件的概率重要度。**结论** 提出了强化标准化建设,加大技术投入等防范风险事故发生的措施。

关键词: 荔枝; 包装; 风险识别; 风险分析

中图分类号: TS206.6 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2017)09-0046-07

Risk Identification and Analysis of Litchi Packaging

ZOU Chi-dao^{1,2,3}, LU Hua-zhong^{1,2}, LYU En-li^{1,2}, ZENG Zhi-xiong^{1,2}, YANG Song-xia¹

(1.South China Agricultural University, Guangzhou 510642, China; 2.Guangdong Engineering Research

Center of Agricultural Product Cold Chain Logistics, Guangzhou 510642, China; 3.Education Examinations

Authority of Guangdong Province, Guangzhou 510631, China)

ABSTRACT: The work aims to solve the problem of difficult identification of risk sources and quantitative analysis in the process of litchi packaging. A method based on Hall three-dimensional space and fuzzy fault tree was proposed to solve risk identification and quantitative analysis problems. The factor sets of litchi packaging including such three dimensions as security incidents, space-time structures (work positions) and accident causes were constructed. The basic set of risk events was obtained through the mapping relation between the matrices and the calculation and analysis. The fault tree model of litchi packaging was established, and the expert questionnaire of basic risk events was evaluated. By using the trapezoidal fuzzy number and the left and right fuzzy sorting method, the expert's judgment language was transformed into the risk probability value. The importance of the probability of occurrence of litchi packaging accidents (0.0409) and the probability of the basic risk events was calculated. The measures such as strengthening the standardization construction and increasing investment in technology to prevent the occurrence of risk accidents were put forward.

KEY WORDS: litchi; packaging; risk identification; risk analysis

荔枝原产中国,色鲜味美,素有“中华之珍果”的美誉。无论在规模、品种、品质、风味、特色、优势各方面都是我国在国际市场上最具竞争力的水果之一^[1]。荔枝属于无呼吸高峰型果实,若采后置于常温其呼吸强度将会直线上升,并失水褐变^[2-3],当褐

变指数>2时,即失去商品性。保鲜包装是荔枝采后增值的重要手段,科学合理的保鲜包装,不仅可有效减少荔枝的机械损伤和质量损失,方便贮存和销售,也可显著延缓果实在贮运和货架期间的品质劣变,增强其商品性。

收稿日期: 2017-02-13

基金项目: 现代农业产业技术体系建设专项资金(CARS-33-13); 国家科技支撑计划(2013BAD19B01)

作者简介: 邹炽导(1983—),男,华南农业大学博士生,主要研究方向为果蔬包装及冷链技术。

通讯作者: 陆华忠(1963—),男,博士,华南农业大学教授,主要研究方向为农业工程。

近年来关于荔枝包装的研究不断兴起。周晓媛、蔡佑星等(2004年)根据荔枝的生理特征和影响荔枝褐变和腐烂的因素,提出了适合荔枝的薄膜包装保鲜技术^[4]。陆华忠、李源泉等(2013年)分析了不同温度和包装对荔枝质量损失率、褐变指数、好果率、色差、可溶性固形物含量和可滴定酸含量的影响^[5]。唐海尧、龚意辉等(2015年)研究了低温环境下不同材料薄膜包装处理对荔枝果实耐藏性的影响^[6]。吕建秋、叶李(2016年)对现有的荔枝果实保鲜包装方式进行了优劣分析,在此基础上寻求方法的突破改进^[1]。当前国内的研究主要集中在不同包装材料、包装方式等对荔枝褐变指数、好果率等品质指标的影响,尚未有见从系统安全角度对荔枝包装过程进行分析的研究成果。对荔枝包装过程的风险进行识别、分析、控制可在一定程度上提高荔枝包装质量水平。文中通过构建荔枝包装霍尔三维因素空间模型进行风险识别,结合专家问卷调查与模糊故障树分析方法,对荔枝包装的风险事件进行分析,提出防范包装风险事故的对策。

1 基于霍尔三维因素空间的包装风险识别

1.1 荔枝包装概述

荔枝包装可抑制荔枝的代谢过程,减少营养物质的消耗,保持荔枝的风味。一般要求透湿透气性能好、膜壁不凝结水。国内采用的荔枝保鲜包装主要的功能:保护荔枝免受碰撞,防止水分快速蒸发,保持低温以及抑制呼吸作用。目前荔枝包装方式主要有:竹筐、篓或者塑料筐包装,荔枝采摘后采用竹筐、篓或者塑料筐将荔枝打包运至收集点或直接运到当地销售商;泡沫箱+冰包装,在泡沫箱内加入冰袋,让荔枝在运输过程中处于低温之下;MAP(自发气调保鲜包装),要求荔枝包装具有一定的密封性,通过设置包装内气体成分的初始值,让荔枝在贮藏或运输过程中进行自我调节,改变包装内的气体成分。

1.2 荔枝包装霍尔三维因素空间模型

1.2.1 霍尔三维结构基本理论

霍尔三维结构是系统工程的分析方法,它为解决大型复杂系统的分析、规划、组织、协调、控制提供了一种统一的思想方法,已经广泛应用于工程设计、系统管理等^[7]。霍尔三维结构将系统工程整个活动过程分为前后紧密衔接的多个阶段和相关的影响因素,形成了由时间维、逻辑维和知识维所组成的三维空间结构^[8]。该三维空间结构形象地描述了系统工程研究的框架,对其中任一阶段和每一个步骤可进一步展开,形成分层次的立体结构体系。

1.2.2 因素空间基本理论

因素空间是一种建立在模糊数学基础上的新型

知识信息表示方法,将可观测与分析的事物信息作为知识概念的表现外延,对概念进行量化描述,进而采取一系列数学方法进行处理。因素空间理论在事件描述分析方面的优势为系统安全的风险识别提供了基础^[9-10]。

1.2.3 霍尔三维因素空间模型构建

荔枝包装是一个较复杂的系统,包含较多的时空结构(工位)及影响因素^[11-12]。生产活动安全事件的发生分布在不同的工位上,且不同工位的安全事件也不相同^[13]。文中依据霍尔三维结构,将荔枝包装环节的风险情况划分为事故致因(x 轴)、时空结构(y 轴)、安全事件(z 轴)等3个维度,这3个维度在空间上存在着互相映射的关系。荔枝包装环节的安全事件发生在一定的时空结构,并且由某个事故致因的因素造成。

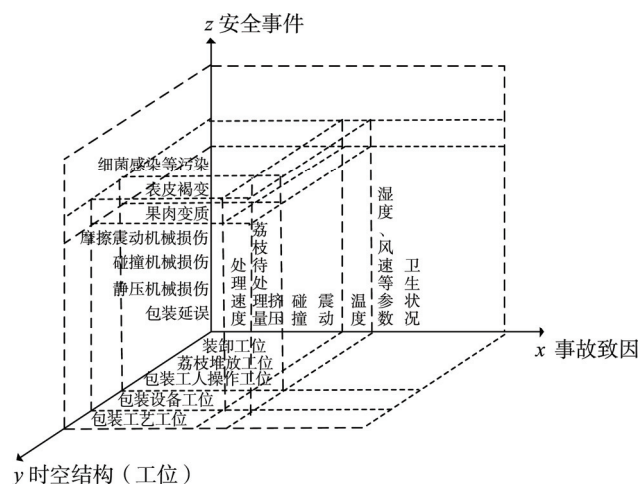


图1 荔枝包装霍尔三维结构

Fig.1 Hall three dimensional structure of litchi packaging

在模型的三维结构划分中(见图1), x 轴表示事故致因维度,代表荔枝包装中造成事故损伤的致因因素,设事故致因的因素集 $U=\{u_1, u_2, \dots, u_n\}$ 。根据实地调研, $U=\{\text{处理速度, 存量积压, 挤压, 碰撞, 震动, 温度, 湿度, 卫生状况}\}$ 。生产流程中不同的工位同时具有时间及空间的特征,因此 y 轴表示时空结构(工位)维度,设工位的因素集 $W=\{w_1, w_2, \dots, w_i\}$ 。根据实地调研得到 $W=\{\text{装卸工位, 荔枝堆放工位, 包装工人操作工位, 包装设备工位, 包装工艺工位}\}$ 。 z 轴表示生产环节中具体的安全事件维度,设安全事件的因素集 $V=\{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ 。根据实地调研得到 $V=\{\text{包装延误, 静压机械损伤, 碰撞机械损伤, 摩擦震动机械损伤, 果肉变质, 表皮褐变, 细菌感染等污染}\}$ 。

任何一个危险源事件,可以在三维结构空间中找到它对应的坐标。 x 轴与 z 轴坐标的交叉点表示事故致因的因素造成了安全事件的发生, y 轴与 z 轴坐标的交叉点表示某一个工位上发生的安全事件, x 轴与

y轴坐标的交叉点表示在某一个工位上存在造成安全事件的事故致因事件。

1.3 荔枝包装风险识别

设 $F(v, u)$ 为安全事件集 V 到事故致因的因素集 U 的关系, $v \in V$, $u \in U$ 。关系 $F(v, u)$ 可以用一个矩阵 $F(v, u) = [f_{ij}]_{m \times n}$ 来描述, 称为安全事件-事故致因的因素关系矩阵。类似地, 建立 V 到 W 的关系矩阵 $P(v, w) = [p_{ij}]_{m \times q}$, 称之为安全事件-工位的因素关系矩阵。

$$F(v, u) = \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix}; \quad (1)$$

$$f_{ij} = \begin{cases} 1 & u_j \text{ 是 } v_i \text{ 可能发生的事故致因因素} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n$ 。

$$P(v, w) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1q} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2q} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mq} \end{bmatrix}; \quad (2)$$

$$p_{ij} = \begin{cases} 1, & w_j \text{ 是 } v_i \text{ 可能发生的工位} \\ 0, & \text{否则} \end{cases}$$

其中, $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, q$ 。

根据实地调研分析包装环节安全事件、事故致因及工位的因素集的关系, 建立因素关系矩阵 $F(v, u)$ 与 $P(v, w)$:

$$F(v, u) = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

$$P(v, w) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

因为 $P(v, w)$ 是集合 V 到 W 的关系, $F(v, u)$ 是集合 V 到 U 的关系。于是, $P(v, w)$ 的转置 $P^T(v, w)$ 是集合 W 到 V 的关系。合成 $P^T(v, w)$ 与 $F(v, u)$ 得到安全事件关键工位集合 W 到事故致因 U 的关系 $S(w, u)$ 。

$$P^T(v, w) = \begin{bmatrix} p_{11} & p_{12} & \cdots & p_{1q} \\ p_{21} & p_{22} & \cdots & p_{2q} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ p_{m1} & p_{m2} & \cdots & p_{mq} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ t_{q1} & t_{q2} & \cdots & t_{qm} \end{bmatrix} \quad (3)$$

记 $P^T(v, w)$ 与 $F(v, u)$ 的合成关系为: $S(w, u) = P^T(v, w) \circ F(v, u)$ 。

$$S(w, u) = \begin{bmatrix} t_{11} & t_{12} & \cdots & t_{1m} \\ t_{21} & t_{22} & \cdots & t_{2m} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ t_{p1} & t_{p2} & \cdots & t_{pm} \end{bmatrix} \circ \begin{bmatrix} f_{11} & f_{12} & \cdots & f_{1n} \\ f_{21} & f_{22} & \cdots & f_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ f_{m1} & f_{m2} & \cdots & f_{mn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_{11} & s_{12} & \cdots & s_{1n} \\ s_{21} & s_{22} & \cdots & s_{2n} \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ s_{p1} & s_{p2} & \cdots & s_{pn} \end{bmatrix} \quad (4)$$

其中: $S_{ij} = (t_{i1} \wedge f_{1j}) \vee (t_{i2} \wedge f_{2j}) \vee \cdots \vee (t_{im} \wedge f_{mj}) = V_{k=1}^m (t_{ik} \wedge f_{kj})$; $a \wedge b = \min\{a, b\}$, $a \vee b = \max\{a, b\}$ 。

根据前面分析得到的 $F(v, u)$ 及 $P(v, w)$, 对矩阵进行布尔运算得到:

$$S(w, u) = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

根据上面分析得到的矩阵 $S(w, u)$ 所体现的关系, 结合包装各环节调研及小组讨论, 分析各个工位的安全事故致因, 得到风险基本事件。例如装卸工位主要因素有碰撞、震动。通过分析得到基本风险事件为: 包装装卸操作不规范。依次类推, 可得风险基本事件 15 个, 具体为: 包装设备故障 D1、包装设备不足 D2、包装场所环境参数不适宜 D3、包装场所卫生状况差 D4、包装装卸操作不规范 D5、包装工序不规范 D6、包装缓冲材料不足 D7、包装效率低 D8、包装工艺落后 D9、包装操作失误 D10、包装堆放方式不当 D11、违反包装操作规程 D12、包装工人数量不足 D13、包装作业管理松散 D14、包装流程衔接不畅 D15。

2 荔枝包装故障树构建及定性分析

2.1 荔枝包装故障树模型构建

故障树分析法 (FTA) 是安全系统工程的重要方法之一, 主要用于大型复杂系统可靠性分析^[14-16]。文中根据前面分析得到 15 个风险基本事件, 结合包装环节的实际生产情况构建荔枝包装故障树。其中, 总事件为包装事故 T, 中间事件为包装延误 M1、包装机械损伤 M2、包装变质 M3、包装不当 M4、衔接延误 M5、管理延误 M6。具体故障树模型见图 2。

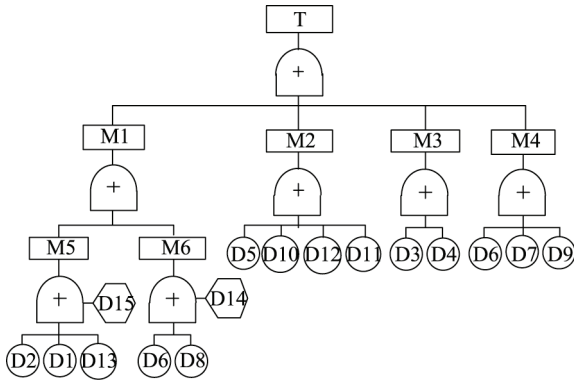


图 2 荔枝包装故障树

Fig.2 Fault tree of litchi packaging

2.2 荔枝包装故障树的最小割集

$x_i (i=1,2,\dots,n)$ 为底事件的状态变量，取值为 0 或 1。 $x_i=0$ 表示底事件 i 不发生， $x_i=1$ 表示底事件 i 发生。割集 C 是故障树底事件集合 $\{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ 的子集，当这些底事件发生时，顶事件必然发生。若割集中任意除去其中一个底事件后， C 就不是割集了，这样的割集称为最小割集。根据布尔运算规则^[16]，经过运算得到最小割集 13 个，具体的割集为： $\{D2, D15\}$ ， $\{D5\}$ ， $\{D3\}$ ， $\{D6\}$ ， $\{D7\}$ ， $\{D9\}$ ， $\{D4\}$ ， $\{D10\}$ ， $\{D12\}$ ， $\{D11\}$ ， $\{D1, D15\}$ ， $\{D13, D15\}$ ， $\{D8, D14\}$ 。对这 13 个事件而言，只要任意一个最小割集发生，就会导致顶事故发生。

3 荔枝包装环节模糊故障树构建

3.1 包装危险事件概率的梯形模糊数表征

由于包装危险事件的发生具有致因复杂性及偶然性，即使专家也难于对其风险概率给出精确的数值表征，因此，采用主观的语言描述并建立模糊集进行处理具有独到的优势。问卷调查表构建了 5 个指标：风险低、风险较低、风险中、风险较高、风险高等。根据指标的隶属特点，文中采用梯形模糊数方法将专家对包装危险事件发生概率的主观评价语言转化为定量表征。

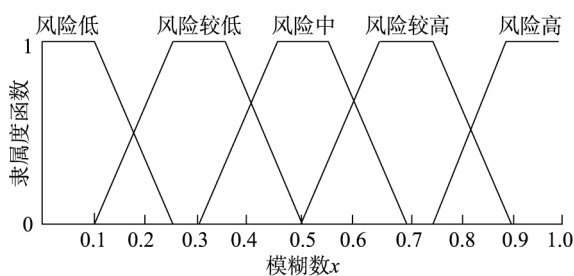


图 3 语言变量的模糊数

Fig.3 Fuzzy number of language variable

根据语言变量的模糊数形式 (见图 3)，得到隶属函数梯形模糊数 $f(a,b,c,d)$ 的隶属函数表示如下：

$$f(x,a,b,c,d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ \frac{x-a}{b-a} & a \leq x \leq b \\ 1 & b < x < c \\ \frac{d-x}{d-c} & c \leq x \leq d \\ 0 & d < x \end{cases} \quad (5)$$

根据图 3 及公式(5)可得到模糊数形式和模糊截集见表 1，其中下标 L, FL, M, FH, H 分别表示小、较小、中、较大、大。

3.2 专家评价模糊数转化为风险概率

给荔枝包装领域的高校、科研院所及企业的专家发放调查问卷 24 份，专家对各个基本事件进行了评价。通过统计专家的评价平均值形成各个基本事件在评价标准上的隶属度。以事件 D1 为例，经过整理专家评价数据得到事件 D1 的隶属度为 (0.208, 0.292, 0.250, 0.125, 0.125)。通过对专家权重与 λ 截集的合成，可以得到平均模糊数： $W_1 = [0.273 + 0.119\lambda, 0.598 - 0.131\lambda]$ 。根据模糊扩展理论^[17-18]可知： W_1 也是模糊集， $W_{1\lambda} = [z_1, z_2] = [0.273 + 0.119\lambda, 0.598 - 0.131\lambda]$ ，则 λ 分别对应为： $\lambda = \frac{z_1 - 0.273}{0.119}$ ， $\lambda = \frac{0.598 - z_2}{0.131}$ ，则平均模糊数 W_1 的关系函数为：

$$f_{w_1}(z) = \begin{cases} \frac{z_1 - 0.273}{0.119} & 0.273 < x \leq 0.392 \\ 1 & 0.392 < x \leq 0.467 \\ \frac{0.598 - z_2}{0.131} & 0.467 < x \leq 0.598 \\ 0 & \text{其他} \end{cases}$$

根据左右模糊排序法，把 D1 的模糊数转化为一个清晰的数值，称为模糊可能性值 F ，则建立的最大模糊集和最小模糊集为^[18-20]：

$$f_{\max} = \begin{cases} x & 0 < x \leq 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

$$f_{\min} = \begin{cases} 1-x & 0 < x \leq 1 \\ 0 & \text{其他} \end{cases} \quad (7)$$

则模糊数的 W_1 的左右模糊可能性值分别为：

$$F_R(W_1) = \sup_x [f_{w_1}(x) \wedge f_{\max}(x)] = 0.529$$

$$F_L(W_1) = \sup_x [f_{w_1}(x) \wedge f_{\min}(x)] = 0.650$$

计算模糊数 W_1 的可能性值为：

$$F(W_1) = [F_R(W_1) + (1 - F_L(W_1))] / 2 = 0.439$$

把模糊可能性值 F 转化为模糊失效概率 R ^[19]，已知转化公式为：

$$R = \begin{cases} \frac{1}{10^k} & F \neq 0 \\ 0 & F = 0 \end{cases} \quad (8)$$

表 1 模糊数形式和截集
Tab.1 Fuzzy number form and cut sets

模糊语言	模糊数形式	λ 截集
小	$f_L=(0,0,0.11,0.25)$	$f_L^\lambda=[0,0.25-0.15\lambda]$
较小	$f_{FL}=(0.1,0.25,0.35,0.5)$	$f_{FL}^\lambda=[0.1+0.15\lambda,0.5-0.15\lambda]$
中等	$f_M=(0.35,0.45,0.55,0.65)$	$f_M^\lambda=[0.35+0.15\lambda,0.65-0.15\lambda]$
较大	$f_{FH}=(0.5,0.65,0.75,0.9)$	$f_{FH}^\lambda=[0.5+0.15\lambda,0.9-0.15\lambda]$
大	$f_H=(0.75,0.9,1,1)$	$f_H^\lambda=[0.75+0.15\lambda,1]$

其中, $K = \left[\frac{1-F}{F} \right]^{\frac{1}{3}} \times 2.301$, 经计算可得: $K=2.496$, $R=3.192 \times 10^{-3}$ 。以此类推, 计算出其它风险基本事件的发生概率, 见表 2。

表 2 荔枝包装风险基本事件概率

Tab.2 Risk basic event probability of litchi packaging					
事件	事件概率	事件	事件概率	事件	事件概率
D1	3.192×10^{-3}	D6	3.230×10^{-3}	D11	3.606×10^{-3}
D2	5.858×10^{-3}	D7	4.501×10^{-3}	D12	5.823×10^{-3}
D3	4.029×10^{-3}	D8	5.624×10^{-3}	D13	3.222×10^{-3}
D4	5.828×10^{-3}	D9	6.193×10^{-3}	D14	5.076×10^{-3}
D5	5.266×10^{-3}	D10	3.188×10^{-3}	D15	4.094×10^{-3}

4 荔枝包装环节风险评价及防范对策

4.1 荔枝包装风险评价

在求出各基本事件发生概率的情况下, 计算或估算系统顶上事件发生的概率以及系统的有关可靠性特征。设荔枝包装风险事故发生概率为 Q , 由于最小割集中存在重复事件, 因此最小割集计算顶事件概率的公式为^[21-22]:

$$Q = \sum_{r=1}^{N_G} \prod_{X_i \in G_r} q_i - \sum_{1 \leq r < s \leq N_G} \prod_{X_i \in G_r \cup G_s} q_i + \dots + (-1)^{N_G-1} \prod_{r=1}^{N_G} q_i \quad (9)$$

式中: q_i 为第 i 基本事件的概率; i 为基本事件序号; r, s 为最小割集序号; $\sum_{r=1}^{N_G}$ 为求 N_G 项代数数和;

$\sum_{1 \leq r < s \leq N_G} \prod_{X_i \in G_r \cup G_s}$ 为属于任意 2 个不同最小割集的基本事件的概率和的代数数。 $X_i \in G_r \cup G_s$ 表示第 i 基本事件或属于第 r 最小割集, 或属于第 s 最小割集。 $1 \leq r < s \leq N_G$ 表示任意 2 个最小割集的组合顺序。

将得到的各个风险基本事件概率代入上述公式, 经计算求得顶上事故发生概率 $Q=0.0409$ 。根据对食品安全事故风险等级划分^[23], 荔枝包装的风险等级为低风险。由于包装属于荔枝采摘后加工的一个环节, 对运输、贮藏、销售等环节的风险事故发生影响很大,

因此应尽量降低荔枝包装的风险。

4.2 荔枝包装风险概率重要度

概率重要度表示风险基本事件发生概率的变化对顶上事件发生概率的影响。利用顶上事件发生概率 Q 函数是一个多重线性函数的性质, 只要对自变量 q_i 求一次偏导数, 就可得出该基本事件的概率重要度系数^[24]。

$$I_{q(i)} = \frac{\partial Q}{\partial q_i} \quad (10)$$

根据公式 (10) 进行计算得到各个风险基本事件概率重要度的值, 见表 3。

表 3 荔枝包装风险基本事件概率重要度
Tab.3 Risk basic event probability importance of litchi packaging

事件	概率重要度	事件	概率重要度	事件	概率重要度
D1	0.0039	D6	0.9618	D11	0.9622
D2	0.0039	D7	0.9631	D12	0.9644
D3	0.9626	D8	0.0049	D13	0.0039
D4	0.9644	D9	0.9648	D14	0.0054
D5	0.9639	D10	0.9618	D15	0.0117

4.3 荔枝包装风险防范对策

从表 3 中可以得出在荔枝包装风险基本事件的概率重要度中大于 0.9 的有 9 个, 占比风险基本事件总数的比例为 60%, 主要有 D3, D4, D5, D6, D7, D9, D10, D12, D11。对这些风险概率重要度较高的事件进行分析, 提出如下荔枝包装风险防范对策。

1) 强化标准化建设, 加大技术投入。包装工序不规范 D6、包装堆放方式不当 D11、包装缓冲材料不足 D7、包装工艺落后 D9 等风险基本事件主要由车间作业标准化不足, 包装技术、包装设备落后等原因造成。首先要加强标准化建设, 尤其应对包装的工序、堆放方式、缓冲材料的用量等制定相关的操作标准, 其次应加大对荔枝包装技术及设备的投入, 如采用气调包装技术能有效减少荔枝冷链的风险事故。

2) 加强安全培训, 提高工人技能。包装装卸操作不规范 D5、包装操作失误 D10、违反包装操作规程 D12 等风险基本事件主要由员工安全意识薄弱、

生产技能低下、违章作业等原因造成。在风险防范上,首先应加强员工安全意识教育,牢固树立安全生产的观念,深刻认识荔枝包装事故造成的危害性,其次应加强技能培训,围绕荔枝包装作业流程、工艺要求和设备操作规范等开展安全生产技能培训教育。

3) 加强规章制度建设,提高包装场所水平。包装场所环境参数不适宜 D3、包装场所卫生状况差 D4 等风险基本事件主要由包装场所管理不规范、场所设施落后等原因造成,因此首先应加强包装场所的设施建设,确保包装场所能满足荔枝包装的环境要求;健全车间安全规章制度,明确安全责任,对包装场所的卫生状况、环境参数等重要风险源的监督落实责任到人。

5 结语

目前我国荔枝在流通环节的损耗高达 20%,降低荔枝包装的风险能有效提高荔枝产业的经济效益。文中构建的霍尔三维因素空间风险识别模型及模糊故障树分析模型,可成功解决荔枝包装危险源难于辨识及定量分析的难题,并得出促进荔枝包装安全的措施。荔枝属于典型的生鲜易腐果蔬,其包装风险的识别与分析具有较强的适用性,在下一步研究中有待采用其他品种生鲜果蔬及不同分析方法进行比较研究,以期为生鲜果蔬包装安全提供新的分析视角。

参考文献:

- [1] 吕建秋, 叶李. TRIZ 理论在荔枝保鲜包装中的应用[J]. 包装工程, 2016, 37(14): 30—33.
LYU Jian-qiu, YE Li. Application of TRIZ Theory in Litchi Preservative Packaging[J]. Packaging Engineering, 2016, 37(14): 30—33.
- [2] MANGARAJ S, GOSWAMI T K, GIRI S K, et al. Permselctive MA Packaging of Litchi (cv.Shahi) for Preserving Quality and Extension of Shelf-life[J]. Postharvest Biology and Technology, 2012, 71: 1—12.
- [3] KUMAR D, MISHRA D S, CHAKRABORTY B, et al. Pericarp Browning and Quality Management of Litchi Fruit by Antioxidants and Salicylic Acid during Ambient Storage[J]. Journal of Food Science and Technology, 2013, 50(4): 797—802.
- [4] 周晓媛, 蔡佑星, 蒋建平, 等. 荔枝的薄膜包装保鲜技术[J]. 包装工程, 2004, 25(2): 49—50.
ZHOU Xiao-yuan, CAI You-xing, JIANG Jian-ping, et al. Litchi Fresh-Keeping Technology of Film Packaging[J]. Packaging Engineering, 2004, 25(2): 49—50.
- [5] 陆华忠, 李源泉, 吕恩利, 等. 不同温度和包装方式对荔枝保鲜品质的影响[J]. 现代食品科技, 2013(10): 2330—2334.
LU Hua-zhong, LI Yuan-quan, LYU En-li, et al. Effect of Different Temperature and Packing on Fresh-keeping Quality of Litchi[J]. Modern Food Science and Technology, 2013(10): 2330—2334.
- [6] 唐海尧, 龚意辉, 梁淑兴, 等. 不同材料薄膜包装对采后荔枝保鲜效果的影响[J]. 包装工程, 2015, 36(9): 23—27.
TANG Hai-yao, GONG Yi-hui, LIANG Shu-xing, et al. Effect of Different Packaging Films on the Postharvest Preservation of Litchi Fruit[J]. Packaging Engineering, 2015, 36(9): 23—27.
- [7] 王微, 聂树平. 基于霍尔三维模型的大学生社会责任感培养体系构建[J]. 重庆理工大学学报(社会科学), 2014(7): 156—159.
WANG Wei, NIE Shu-ping. Construction of College Students' Social Responsibility Training System Based on Hall Three-dimensional Model[J]. Journal of Chongqing University of Technology(Social Science), 2014(7): 156—159.
- [8] 阮中和. 基于霍尔三维模式的中小水电站 PROT 项目的特许经营期风险研究[J]. 昆明理工大学学报(社会科学版), 2013(1): 64—71.
RUAN Zhong-he. Research on the Risks of Small and/or Medium-sized Hydropower Project in the Franchise Period Based on the Hall Three-dimensional Model[J]. Journal of Kunming University of Science and Technology(Social Sciences), 2013(1): 64—71.
- [9] 李洪兴. 因素空间理论与知识表示的数学框架(I)——因素空间的公理化定义与描述架[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 1996(4): 470—475.
LI Hong-xing. Factor Spaces and Mathematical Frame of Knowledge Representation(I)——Axiomatic Definition of Factor Spaces and Description Frames[J]. Journal of Beijing Normal University(Natural Science), 1996(4): 470—475.
- [10] 汪华东, 汪培庄, 郭嗣琮. 因素空间中改进的因素分析法[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2015(4): 539—544.
WANG Hua-dong, WANG Pei-zhuang, GUO Si-cong. Improved Factor Analysis on Factor Spaces[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2015(4): 539—544.
- [11] 汪培庄. 因素空间与数据科学[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2015(2): 273—280.
WANG Pei-zhuang. Factor Spaces and Data Science[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2015(2): 273—280.
- [12] 汪培庄, 郭嗣琮, 包研科, 等. 因素空间中的因素分析法[J]. 辽宁工程技术大学学报(自然科学版), 2014(7): 865—870.
WANG Pei-zhuang, GUO Si-cong, BAO Yan-ke, et al. Causality Analysis in Factor Spaces[J]. Journal of Liaoning Technical University (Natural Science Edition), 2014(7): 865—870.
- [13] 金智新. 安全结构理论[M]. 北京: 科学出版社, 2012.
JIN Zhi-xin. Security Structure Theory[M]. Beijing: Science Press, 2012.
- [14] RUIJTERS E, STOELINGA M. Fault Tree Analysis: A

- Survey of the State-of-the-art in Modeling, Analysis and Tools[J]. Computer Science Review, 2015,15/16: 29—62.
- [15] 胡玉娟, 钱伟. 基于 FTA 法的电动车火灾事故的分析[J]. 防灾科技学院学报, 2011(1): 23—26.
HU Yu-juan, QIAN Wei. Analysis of the Fire Caused by Electric Bike based on FTA[J]. Journal of Institute of Disaster-prevention Science and Technology, 2011(1): 23—26.
- [16] 郭永晋, 孙丽萍. 基于矩阵的故障树分析方法[J]. 哈尔滨工程大学学报, 2016(7): 896—900.
GUO Yong-jin, SUN Li-ping. Fault Tree Analysis Method Based on a Matrix[J]. Journal of Harbin Engineering University, 2016(7): 896—900.
- [17] YUHUA D, DATAO Y. Estimation of Failure Probability of Oil and Gas Transmission Pipelines by Fuzzy Fault Tree Analysis[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries, 2005, 18(2): 83—88.
- [18] CHEN S A H C. Fuzzy Multiple Attribute Decision Making Methods[M]. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 1992: 289—486.
- [19] ONISAWA T. An Approach to Human Reliability in Man-machine Systems Using Error Possibility[J]. Fuzzy Sets and Systems, 1988, 27(2): 87—103.
- [20] 孟爱国, 庄红军, 王池. 矿用重型汽车作业现场碰撞事故模糊故障树分析[J]. 中国安全生产科学技术, 2011(1): 107—111.
- MENG Ai-guo, ZHUANG Hong-jun, WANG Chi. Fuzzy Fault Tree Analysis on Operating On-site Collision Accident of Mine Heavy Vehicles[J]. Journal of Safety Science and Technology, 2011(1): 107—111.
- [21] DUGAN J B, SULLIVAN K J, COPPIT D. Developing a Low-cost High-quality Software Tool for Dynamic Fault-tree Analysis[J]. IEEE Transactions on Reliability, 2000, 49(1): 49—59.
- [22] 谢尚, 孙建华, 姜天文, 等. 事故树定量分析法在煤矿中的应用[J]. 北京联合大学学报(自然科学版), 2010(4): 56—59.
XIE Shang, SUN Jian-hua, JIANG Tian-wen, et al. Fault Tree Quantitative Analysis in Coal Mines[J]. Journal of Beijing Union University, 2010(4): 56—59.
- [23] 陈洪根. 基于故障树分析的食品安全风险评价及监管优化模型[J]. 食品科学, 2015(7): 177—182.
CHEN Hong-gen. Food Safety Risk Assessment and Regulatory Optimization Model Based on Fault Tree Analysis[J]. Food Science, 2015(7): 177—182.
- [24] 滕洪辉, 王继库. 基于事故树的二次供水水量水压不足风险分析[J]. 工业安全与环保, 2013(11): 36—38.
TENG Hong-hui, WANG Ji-ku. The Risk Analysis of Insufficient Water Flow and Pressure in Secondary Water Supply Based on Fault Tree Analysis[J]. Industrial Safety and Environmental Protection, 2013(11): 36—38.