

冷鲜鸡供应链过程的品质预测与动态优化

谢如鹤, 余伟

(广州大学 冷链物流及标准化研究所, 广州 510006)

摘要: **目的** 建立冷鲜鸡供应链品质预测模型。**方法** 应用安全可靠度对冷鲜鸡供应链中的加工、装卸搬运、运输以及销售环节进行分析和研究, 从成本和安全的视角出发, 采用变权向量对不同情况下的冷鲜鸡供应链各环节进行动态优化, 实现成本把控和品质保障的双平衡, 并通过实例说明具体优化过程。**结果** 所建冷鲜鸡供应链品质预测模型是有效的, 可通过某个权重参数的调节来实现冷鲜鸡供应链安全可靠度的有效分配。**结论** 该预测模型对冷鲜鸡政策的推广应用及保证食品安全具有一定的实际参考价值。

关键词: 冷鲜鸡; 供应链; 品质预测; 动态优化; 变权向量

中图分类号: TS206; TS205.7 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3563(2018)05-0063-08

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2018.05.013

Quality Prediction and Dynamic Optimization of Cold-fresh Chicken Supply Chain

XIE Ru-he, YU Wei

(Institute for Cold-chain Logistics and Standardization Studies, Guangzhou University, Guangzhou 510006, China)

ABSTRACT: The work aims to establish the quality prediction model of cold-fresh chicken (CFC) supply chain. The links, such as CFC production, loading, unloading, handling, transportation and sale in the CFC supply chain were analyzed and studied by applying the safety reliability. From the view of cost and safety, the dynamic optimization of each link of CFC supply chain in different circumstances was carried out through variable weight vector to achieve the double balance of cost control and quality assurance. Moreover, the specific optimization process was illustrated by examples. The prediction model of CFC supply chain established was valid. The safety reliability of CFC supply chain could be effectively distributed by adjusting some weight parameter. The promotion and application of CFC policy and the guarantee of food safety have certain practical reference value.

KEY WORDS: cold-fresh chicken; supply chain; quality prediction; dynamic optimization; variable weight vector

2013 年 6 月, 上海颁布《上海市活禽交易管理办法》和《活禽交易规范》, 开启了全国第 1 个冷鲜鸡销售试点; 2014 年 2 月, 杭州市政府发布通告, 杭州市主城区永久关闭活禽交易区, 其他区域如萧山区、余杭区等休市 3 个月; 同年 5 月份, 广州市政府发布通知, 开展 6 个月的“集中屠宰、冷链配送、生鲜上市”试点工作。纵观全国, 自 2013 年流感疫情爆发以来, 上海、南京、杭州、广州等多个城市已经关闭了部分或全部活禽交易市场, 开始试行冷鲜鸡政策。

从供应链来看, 零售商是冷鲜鸡供应链危机管理的主要对象, 生产加工企业作为冷鲜鸡冷链的起点, 也是安全风险管理的重点^[1]。冷鲜鸡肉一般是指通过检疫后的活鸡在屠宰后进行冷却, 使鸡身的温度在 1 h 内降至 0~4 °C 并保持该温度, 在达到以上要求后迅速进行分割、包装, 在后续的贮藏、运输以及销售环节, 鸡身温度仍然需要保持在 0~4 °C 的环境。许多学者对于生鲜食品品质评价/预测进行了大量的研究, 可将其分成 3 个类型: 品质动力学模型^[2-5]、主观赋权法的

收稿日期: 2017-07-25

基金项目: 国家自然科学基金(71172077); 国家社会科学基金(17BJY102); 广东省科技计划(2016B020205004, 2017B090907028, 611138153066)

作者简介: 谢如鹤(1963—), 男, 博士, 广州大学教授、博导, 主要研究方向为冷链物流。

品质预测模型^[6-9]、综合品质预测模型^[10-15]。

1) 基于微生物生长预测模型的品质动力学模型。从微生物生长模型入手,去构建生鲜食品品质变化模型是食品安全领域中的常态。Willersinn 等从供应链的角度入手,收集了从农户到消费者的马铃薯品质变化的定量数据,形成了对马铃薯供应链品质衰变的综合评价^[16]。Narsimhalu 提出了当生鲜食品供应链加入溯源模块后,能够显著提高供应链的可靠度,并使用了一个案例来证明这个假设的有效性^[17]。Chen 提出了自动化处理在生鲜食品供应链中的应用前景,并基于生鲜食品的品质特征设计了一套逆向自动化回收体系^[18]。品质动力学模型从动力学变化的角度来研究食品品质的损失,从而达到预警和评价的效果。品质动力学的基础是微生物生长模型,因此对品质动力学模型的研究集中在对微生物生长模型的改良。

2) 基于主观赋权法的品质预测模型。Vahdani 设计了一种模糊修正函数,解决了评价问题中无法更加准确表达专家评价语言的问题^[19]。Liu 设计了一种基于直觉模糊数的多属性群决策模型,将其应用于供应链供应商的选择中,并取得了理想的评价结果^[20]。Wu 将视觉反馈体系融入评价模型,创建了一种可以应用于大规模决策者、复杂决策环境的算法^[21]。Liu 设计了一种混合权重体系来解决评价中决策者权重和属性权重难以确定的问题^[22]。

3) 综合品质预测/评价模型。这类评价模型结合了主观赋权法与品质动力模型的特征并进行了改进,得出的结论通常更加贴近现实,具有实际意义。彭张林、Liu 利用不同评价方法在处理指标构建、指标赋权或评价信息上的不同特点和优势,将多个不同的评价方法同时运用于一个综合评价问题中,以提高综合评价的质量,对比其他单一评价方法更具优势。这里将使用综合品质预测模型来实现对冷鲜品供应链品质的预测和监控。

1 基本概念

1.1 安全可靠度

系统可靠性理论中这样定义可靠度:某一产品在特定条件和时间内完成任务功能的概率^[11]。根据相关文献^[10]可得:

$$R_t = 1 - \frac{0.434b^2 \Delta \theta^2 t + \lg N_0}{\lg N_D} \quad 0 \leq R_t \leq 1 \quad (1)$$

式中: R_t 为供应链的安全可靠度; b 为适用于实验的参数; θ 为微生物生长的环境温度; N_D 为致病菌的致病浓度; N_0 为起始时刻的微生物浓度; t 为时间。

令 $\frac{0.434b^2}{\lg N_D} = d$, 则式(1)可以化为:

$$R_t = R_0 - d \Delta \theta^2 t \quad 0 \leq R_t \leq 1 \quad (2)$$

参数 d 的值与实验参数 b 和致病菌的致病浓度 N_D 有关,在冷链过程中的食品冷链物流系数 d 值也不一样,但是当确定了冷链单元的物流环境和优势致病菌种后,就可确定食品冷链物流系数 d 。

1.2 变权向量

变权向量的思想是基于普通赋权法得出的初始属性权重数值,采用变权向量计算出综合属性权重,并通过参数来控制变权的效果^[23-24]。应用变权向量后,在削弱普通赋权法客观性过强的缺点的同时,也可以使评价数值更加客观合理^[25]。为了使指标权重更加合理,基于文献[26]的思想,对于给定的常权向量 $w = [w_1, w_2, \dots, w_j]$, 构建向量 $w(X) = (w_1(X), w_2(X), \dots, w_m(X))$, 这里(推导过程从略):

$$w_j(X) = (1 + \alpha(\bar{x} - x_j))w_j \quad (3)$$

式中: $w_j(X)$ 为变权向量; α 为参数; $\bar{x} = \sum_{j=1}^m x_j w_j$; x_j 为指标得分; w_j 为初始权重。

当 $j=1, 2, \dots, m$, $\bar{x} = \sum_{j=1}^m x_j w_j$, $x \in [0, 1]^m$, 同时参数 α 满足:

$$\frac{1}{\min_{x \in [0, 1]^m} \min_{1 \leq j \leq m} (x_j - \bar{x})} \leq \alpha < \frac{1}{\max_{x \in [0, 1]^m} \max_{1 \leq j \leq m} (x_j - \bar{x})} \quad (4)$$

根据式(1)构造的 $w(X)$ 是可以状态变权向量表示的变权向量。当 $\alpha > 0$ 时, $w(X)$ 是一个惩罚型的变权向量; 当 $\alpha < 0$ 时, $w(X)$ 是一个激励型的变权向量。

2 冷鲜鸡的品质预测模型

从式(2)可以看出,若要建立冷鲜鸡供应链品质预测模型,就需要求解参数 d 的值,参数 d 的计算公式为:

$$d = \frac{0.434b^2}{\lg N_D} \quad (5)$$

b 和 N_D 这 2 个参数不会产生重复,即当这 2 个参数确定后,将能够直接构建冷鲜鸡供应链的品质预测模型。

2.1 致病菌致病浓度 N_0 的确定

致病菌指的是能引起疾病的微生物,也被称为病原微生物,包括细菌、病毒、螺旋体、立克次氏体、衣原体、支原体、真菌及放线菌等,冷鲜鸡的主要致病菌为假单胞菌^[10-11]。菌落总数指在一定条件下(如需氧情况、营养条件、pH 值、培养温度和时间等)每克(每毫升)检样所生长出来的细菌菌落总数,用

来判定食品被细菌污染的程度及卫生质量，它反映食品在生产过程中是否符合卫生要求，以便对被检样品作出适当的卫生学评价。菌落总数的多少在一定程度上标志着食品卫生质量的优劣^[12-13]。根据 GB/T 22468—2008《家禽及禽肉兽医卫生监控技术规范》中的标识^[27]，鸡肉中的菌落总数不能够超过 1×10^6 CFU/mL，因此取 $N_D=1 \times 10^6$ 。

2.2 实验参数 b 的确定

为了测量冷鲜鸡的试验参数，设计一个冷鲜鸡品质变化试验。对于刚宰杀的新鲜鸡肉立刻进行包装隔离，随即送到实验室进行处理， $b=0.69904$ 。试验设置 3 个温度环境，即 0, 10, 25 °C，冷鲜鸡肉在对应的温度环境下采用培养基进行培养。通过式 (2) 算得 $d=7.29 \times 10^{-5}$ ，根据式 (5) 可以算得冷鲜鸡实验参数 d 为 4.0984。

2.3 品质预测模型建立

将 $d=7.29 \times 10^{-5}$ 代入式 (2)，得出最终的冷鲜鸡品质预测模型为：

$$R_i = R_0 - (7.29 \times 10^{-5}) \times \sum_{j=1}^i \Delta \theta_j^2 t_j \quad 0 \leq R_i \leq 1 \quad (6)$$

3 冷鲜鸡供应链各环节安全可靠度的动态优化

实现冷鲜鸡供应链的优化有 2 个维度的约束：一定要保证各个环节都是安全可靠的，冷鲜鸡品质有保障；要尽可能通过时间和温度这 2 个变量的调节来降低整个供应链的成本。这里将要探讨如何用最少的物流资源或最小的物流成本来优化冷鲜鸡供应链。

3.1 模型建立

假设冷鲜鸡供应链系统由 m 个冷链物流单位组成，冷鲜鸡在经过单元 $j(j=1,2,3...m)$ 的物流成本为 Q_j ，物流服务量为 S_j ，安全可靠度为 R_j ，则冷鲜鸡在这个冷链单元的成本函数为：

$$Q_j = Q_j(S_j, R_j) \quad (7)$$

冷鲜鸡冷链单元物流成本提供物流服务具有明显的规模效应（如供应商的产量越大，那么每只鸡的成本越低），因此物流成本与物流服务数量之间的关系满足：

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_j}{\partial S_j} < 0 \\ \frac{\partial^2 Q_j}{\partial S_j^2} < 0 \end{cases} \quad (8)$$

当系统的处理能力一定时，物流系统的处理能力可以用物流系统的处理时间表示，即对于一定的食品

物流量，当处理能力越大时，物流时间越少。在系统处理能力固定的条件下，满足：

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_j}{\partial t_j} < 0 \\ \frac{\partial^2 Q_j}{\partial t_j^2} < 0 \end{cases} \quad (9)$$

在冷鲜鸡冷链物流过程中，要保持低温需专门的冷藏设备并消耗额外的能源。冷链物流单元的物流成本与温度有以下关系：

$$\begin{cases} \frac{\partial Q_j}{\partial \Delta \theta_j} > 0 \\ \frac{\partial^2 Q_j}{\partial \Delta \theta_j^2} > 0 \end{cases} \quad (10)$$

当要求冷鲜鸡冷链物流系统最终的安全可靠度不能低于 R_E 时，则有：

$$\sum_{j=1}^m \Delta \theta_j^2 t_j \leq \frac{1}{d} \left[1 - R_E - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \right] \quad (11)$$

R_E 作为冷鲜鸡冷链物流系统的最终安全可靠度，它是冷鲜鸡品质保障的底线，因为要实现优化，所以必须为冷链各个环节设定一个度，包括期望安全可靠度和最低安全可靠度。当冷鲜鸡处于期望安全可靠度时，品质最佳，但是稍微低于期望安全可靠度时也可以食用。如果冷鲜鸡品质低于最低安全可靠度时，将有很大几率产生食品安全问题，不宜食用。

综上所述，可建立有成本和品质指标约束的冷鲜鸡冷链系统。其成本优化模型：

$$\min Q = \sum_{j=1}^m Q_j(S_j, R_j) = \sum_{j=1}^m Q_j(\Delta \theta_j, t_j) \quad (12)$$

约束条件为：

$$\begin{cases} \sum_{j=1}^m \Delta \theta_j^2 t_j \leq \frac{1}{d} \left[1 - R_E - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \right] \\ \frac{\partial Q_j}{\partial S_j} < 0, \frac{\partial^2 Q_j}{\partial S_j^2} < 0 \\ \frac{\partial Q_j}{\partial t_j} < 0, \frac{\partial^2 Q_j}{\partial t_j^2} < 0 \\ \frac{\partial Q_j}{\partial \Delta \theta_j} > 0, \frac{\partial^2 Q_j}{\partial \Delta \theta_j^2} > 0 \\ \Delta \theta_j \geq \theta_j^* \geq 0 \\ t_j \geq t_j^* \geq 0 \quad j=1,2,3...m \end{cases}$$

3.2 模型求解

学术界求解该类模型大多采用的方式是动态规划法、乘数法等，但是该类方法难以用于冷鲜鸡供应链的可靠度分配，因为冷链的环节众多，难以精确核实每个环节的成本和质量等因素^[8]。这里并不寻求最

优解,而是利用成本、温度与时间的关系,构建启发式的算法,寻找合理的结果。

从灵敏度分析中可以得知,调节温度对安全可靠度的影响将大于时间的影响,即在其他条件不变时,应尽量让冷链单元的温度降到适宜温度下限。在求解冷鲜鸡供应链的成本优化模型时,应在保证最终安全可靠度不低于 R_E 的基础上,从温度最低的单元开始,将温度调节到与其相近的单元的温度。如有多个单元的温度一样,则优先调整物流时间最长的冷链单元,通过调整,让最终的安全可靠度接近 R_E 。步骤如下所述。

- 1) 将 θ_j^* 按照升序来排序,得到集合 $V(V_1, V_2, V_3 \dots V_m)$ 。
- 2) 令 $t_j = t_j^*$, $\Delta\theta_j = \theta_j^* (j=1, 2, 3 \dots m)$ 。
- 3) 如果 $\sum_{j=1}^m \Delta\theta_j^2 t_j > \frac{1}{d} \left[1 - R_E - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \right]$, 就是无解,退出;如果不是,进入下一步骤。
- 4) 取集合 V 剩余元素中最小元素 V_i , 其对应的物流单元 j , 如果有多个单元是最小的,选取 t_j^* 最大的那个单元。令 $\Delta\theta_j = \theta_j + (\theta_{i+1} - \theta_i)$, 其余单元温度

不变。如果 $\sum_{j=1}^m \Delta\theta_j^2 t_j = \frac{1}{d} \left[1 - R_E - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \right]$, 找到最优解,退出。如果 $\sum_{j=1}^m \Delta\theta_j^2 t_j < \frac{1}{d} \left[1 - R_E - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \right]$, 继续缩小 $\Delta\theta_j$, 直至满足 $\sum_{j=1}^m \Delta\theta_j^2 t_j = \frac{1}{d} \left[1 - R_E - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \right]$, 找到最优解。

5) 如果 $\sum_{j=1}^m \Delta\theta_j^2 t_j > \frac{1}{d} \left[1 - R_E - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \right]$, 则将 V_i 从集合 V 中剔除,返回上一步骤。

冷鲜鸡政策旨在保证消费者的肉鸡消费安全,其品质必须保持在一个较高的水准之上,其供应链过程的温度和时间见表1。整个冷链过程由7个单元组成,设初始安全可靠度为1。为保证消费者在购买冷鲜鸡后有较高的食用安全性,设期望的最终安全可靠度为0.9,最低可接受的安全可靠度为0.88,已知冷鲜鸡致病菌最大浓度 $N_D=1 \times 10^6$, $d=7.29 \times 10^{-5}$,并假设冷鲜鸡的致腐临界温度为 0°C (当环境温度 $\theta_j=0^\circ\text{C}$ 时,冷鲜鸡的优势致病菌种生长速度将放缓,对冷鲜鸡品质变化的影响降至较低水平^[27])。

表1 冷鲜鸡的各项数据
Tab.1 Data of cold-fresh chicken

类别	冷链单元	温度 $\theta_j/^\circ\text{C}$	时间 t_j/h	安全影响因子 $\Delta\theta_j^2 t_j$	$\sum_{j=1}^m \Delta\theta_j^2 t_j$	安全可靠度 R_j
优化前	屠宰	27	0.4	291.6	291.6	0.979
	包装	7.3	0.7	37.3	328.9	0.976
	装车	21.6	0.5	233.2	562.2	0.959
	配送	0~4	5.1	20.4	582.6	0.958
	卸车	19.4	0.3	112.9	695.5	0.949
	搬运	17.2	0.5	147.9	843.4	0.939
	销售	0~1	20.4	20.4	863.8	0.937
优化后	屠宰	27	0.4	291.6	291.6	0.979
	包装	17.2	0.7	263.4	555.1	0.960
	装车	21.6	0.5	233.2	788.3	0.943
	配送	0~4	5.1	20.4	808.7	0.941
	卸车	19.4	0.3	112.9	921.6	0.933
	搬运	17.2	0.5	188.1	1109.8	0.919
	销售	0~1	20.4	20.4	1130.2	0.918
再次优化后	屠宰	37	0.4	291.6	291.6	0.979
	包装	27	0.7	510.3	801.9	0.942
	装车	21.6	0.5	233.2	1035.2	0.925
	配送	2	5.1	20.4	1055.6	0.923
	卸车	21.6	0.3	139.9	1195.5	0.913
	搬运	27	0.5	364.5	1560.0	0.886
	销售	1	20.4	20.4	1580.4	0.885

由式 (12) 可知, 当各单元温度和时间均取下限值时, 其最终安全可靠度为 0.937, 高于期望安全可靠度 0.9。由此, 在保证食品品质的同时, 该供应链各单元还有优化的空间。根据计算思路, 首先从温度最低的单元开始优化, 但是在冷鲜鸡冷链中对运输配送和销售的温度具有严格的限制, 配送和销售环节不参与单元优化, 首先优化的单元即为包装单元 (7.3 °C)。利用启发式算法, 首先将包装环节的温度提升至 17.2 °C, 但此时安全可靠度为 0.925, 仍大大高于期望安全可靠度 (0.9)。经过循环计算最终得出优化后的冷鲜鸡各个单元的温度和时间, 这样就可以在充分保证冷鲜鸡品质的情况下降低物流成本, 见表 1。

如果以最低安全可靠度 (0.88) 为标准, 则该供应链还可以继续优化。利用算法重新计算, 可得到第 2 次优化后的冷鲜鸡供应链各项数据, 见表 1。除配送和销售单元的温度保持不变外, 其他单元的温度均上升至 21 °C 以上。

3.3 基于变权向量的冷鲜鸡供应链安全可靠度动态优化

在前面的分析中有提到, 如果 $\sum_{j=1}^m \Delta\theta_j^2 t_j > \frac{1}{d} \left[1 - R_E - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \right]$, 那么模型无解, 直接退出优化步骤。这种情况产生的原因是供应链的优化不好, 无法满足最低安全可靠度的要求。如果遇到这种情况, 就需要对安全可靠度进行再分配, 来提高其安全可靠度。

3.3.1 冷鲜鸡冷链单元安全可靠度动态分配

在冷鲜鸡供应链中, $\Delta\theta_j^2 t_j$ 越大的冷链单元安全可靠度越低, $\Delta\theta_j^2 t_j$ 越小的冷链单元安全可靠度越大, 因此可以根据冷链单元的 $\Delta\theta_j^2 t_j$ 来分配安全可靠度。

设冷鲜鸡冷链单元 j 的 $\Delta\theta_j^2 t_j$ 为其安全影响因子 f_j :

$$f_j = \Delta\theta_j^2 t_j \quad (13)$$

假设系统中有 m 个物流单元, 则单元 j 的初始重要度 w_j :

$$w_j = \frac{f_j}{\sum_{j=1}^m f_j} \quad (14)$$

因为变权向量中对 X 有范围要求, 所以需要对 f_j 进行无量纲化处理, 得到处理后的数据为 f_j^* :

$$f_j^* = \frac{f_j}{\sqrt{\sum_{j=1}^m f_j}} \quad (15)$$

那么单位 j 在系统中的动态重要度 $w_j(f_j^*)$ 可表

示为:

$$\begin{cases} w_j(f_j^*) = (1 + \alpha(f_j^* - f_j^*)) w_j \\ \sum_{j=1}^m f_j = \frac{(1 + \alpha(f_j^* - f_j^*)) f_j}{w_j(f_j^*)} \end{cases} \quad (16)$$

由式 (2) 可以得到改进后的冷鲜鸡可靠度模型:

$$R_m = 1 - d \sum_{j=1}^m f_j - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \quad (17)$$

设改进后的冷链物流安全可靠度为 $R_m^s (R_m^s > R_m)$, 各冷链物流单元的安全影响因子为 f_j^s , 由式 (2) 可得:

$$R_m^s = 1 - d \sum_{j=1}^m f_j^s - \frac{\lg N_0}{\lg N_D} \quad (18)$$

式 (17) 减去式 (18) 得:

$$\begin{cases} R_m^s - R_m = d \sum_{j=1}^m (f_j - f_j^s) \\ \sum_{j=1}^m (f_j - f_j^s) = \frac{R_m - R_m^s}{d} \end{cases} \quad (19)$$

由式 (18) 和式 (15) 可得:

$$f_j^s = f_j - w_j(f_j^*) \frac{R_m - R_m^s}{d} \quad (20)$$

因此:

$$R_j^* = R_j - w_j(f_j^*) (R_m^s - R_m) \quad (21)$$

利用式 (20) 可以求出冷鲜鸡各个环节的 f_j^s , 然后通过递推式 (21) 可以算出改进后各个物流单元的安全可靠度 R_j^* , 同时可以使用变权向量中的参数 α 来对各个单元的可靠度进行动态修正和优化, 用以实现冷鲜鸡供应链的动态优化。

3.3.2 算例

仍以文中的数据进行安全可靠度的分配, 要求在冷链结束后的安全可靠度为 0.95。当各冷链单元温度和时间都取下限时, 其最终安全可靠度为 0.937, 不满足最终安全可靠度 0.95 的要求, 必须进行安全可靠度的动态优化。计算步骤如下所述。

1) 根据表 2 的数据和式 (14), 求出各个环节的初始重要度 w_j , 分别为: 屠宰环节 0.338, 包装环节 0.043, 装车环节 0.27, 配送环节 0.024, 卸车环节 0.131, 搬运环节 0.171 及销售环节 0.024。

2) 对 f_j 进行无量纲化处理, 得到处理后的数据为 f_j^* , 分别为: 屠宰环节 0.780, 包装环节 0.399, 装车环节 0.509, 配送环节 0.478, 卸车环节 0.049, 搬运环节 0.114 及销售环节 0.478。

3) 根据式 (4) 求出动态优化参数的范围为 $-2.4 < \alpha < 3.2$ 。这里选取 3 个参数来优化最终的权重, 分别是 $\alpha = -2, \alpha = 0, \alpha = 2$ 。

4) 将3个参数代入式(3), 得到各个冷鲜鸡单元的安全重要度, 见表2。可以看出, 变权向量对于各个环节的权重动态优化效果非常显著。特别是对于配送、卸车以及销售环节。当 $\alpha=-2$ 时, 变权向量是惩罚型的向量, 即当该环境的安全影响因子分数越高, 那么赋予其的权重越小, 可以看到屠宰环节的安全影响因子为0.780, 该环节的权重从0.338被调节到0.126, 权重调节效果显著。当 $\alpha=0$ 时, 变权向量为0, 即为常权。当 $\alpha=2$ 时, 变权向量是激励型的向量, 当该环境的安全影响因子分数越高, 那么赋予其的权重越大。同样, 销售环节的安全影响因子为0.780, 该环节的权重从0.338被调节到0.549, 权重调节效果非常明显。总而言之, 变权向量的表现良好, 能够很好地调节冷鲜鸡各个单元的重要度, 进而优化各个单元的安全可靠度分配, 实现冷鲜鸡供应链安全可靠度的动态优化。

表2 不同参数优化下的冷链单元安全重要度
Tab.2 The safety and importance of cold chain unit under the optimization of different parameters

冷链单元	$\alpha=0$	$\alpha=-2$		$\alpha=2$	
	w_j^1	w_j^2	优化幅度/%	w_j^3	优化幅度/%
屠宰	0.338	0.126	62.7	0.549	62.7
包装	0.043	0.049	-14.0	0.037	-14.0
装车	0.270	0.247	8.5	0.293	8.5
配送	0.024	0.023	4.2	0.024	0.0
卸车	0.131	0.240	-83.2	0.021	-84.0
搬运	0.171	0.292	-70.8	0.050	-70.8
销售	0.024	0.023	4.2	0.024	0.0

5) 当参数 $\alpha=-2, \alpha=0, \alpha=2$ 时, 由式(19)可求出在各个参数下冷鲜鸡各单元动态优化后的安全影响因子 f_j^s 和安全可靠度 R_j^* , 见表3。

由表3可以看出, 变权向量对于各个单元的安全可靠度具有一定的调节作用(因为限定的最优安全可靠度为0.95, 0.95~1之间的差距较小, 所以在这个区间内产生的变化对最终安全可靠度的影响都是较大的)。以屠宰环节为例, 当参数 $\alpha=-2$, 其安全可靠度要求为0.980, 当参数 $\alpha=0$, 其安全可靠度要求为0.983, 当 $\alpha=2$, 其安全可靠度要求为0.986; 以装车环节为例, 当参数 $\alpha=-2$, 其安全可靠度要求为0.965, 当参数 $\alpha=0$, 其安全可靠度要求为0.967, 当 $\alpha=2$, 其安全可靠度要求为0.970。当变权向量为惩罚型时, 安全影响因子越高的单元, 其重要度将越低, 赋予其的安全可靠度也将越高, 这将很好地保证食品安全; 当变权向量是激励型时, 安全影响因子越高的单元, 其重要性将越高, 赋予其的安全可靠度也越低, 这将很好地实现成本管控。

表3 各冷链单元改进后的安全影响因子和安全可靠度
Tab.3 The safety factor and safety reliability of each cold-chain unit after improvement

类别	冷链单元	f_j	f_j^s	R_j^*
$\alpha=-2$	屠宰	291.6	269.1	0.980
	包装	37.3	28.6	0.978
	装车	233.2	189.2	0.965
	配送	20.4	16.3	0.963
	卸车	112.9	70.1	0.958
	搬运	147.9	95.8	0.951
	销售	20.4	16.3	0.950
$\alpha=0$	屠宰	291.6	231.4	0.983
	包装	37.3	29.6	0.981
	装车	233.2	185.1	0.967
	配送	20.4	16.2	0.966
	卸车	112.9	89.6	0.960
	搬运	147.9	117.4	0.951
	销售	20.4	16.2	0.950
$\alpha=2$	屠宰	291.6	193.7	0.986
	包装	37.3	30.7	0.984
	装车	233.2	181.0	0.970
	配送	20.4	16.1	0.969
	卸车	112.9	109.2	0.961
	搬运	147.9	139.0	0.951
	销售	20.4	16.1	0.950

综上所述, 当冷鲜鸡供应链有一个最佳安全可靠度要求时, 在这个范围内, 使用变权向量来赋予各个指标动态重要度, 动态调节各个单元的安全可靠度, 从而达到成本优化或安全可靠度最优的目的。

4 结语

1) 基于安全可靠度模型, 通过试验确立了冷鲜鸡的2个品质参数, 构建了冷鲜鸡供应链品质预测模型, 为评价冷鲜鸡物流系统的安全性提供了一种新的量化方法。

2) 对于冷鲜鸡供应链系统的动态优化, 必须同时考虑到系统的安全性与经济性的要求, 同时必须包含动态的概念, 即可通过某个参数的调节来实现冷鲜鸡供应链安全可靠度的有效分配。

3) 文中提出的启发式算法以及基于变权向量的供应链动态优化策略, 能够在保证冷鲜鸡供应链品质的前提下, 尽可能地降低成本, 实现运营优化的目的, 从而在优化设计供应链、提高安全性以及降低成本之间寻求一个平衡点。

参考文献:

[1] 余伟, 陈海仪, 何楚馨, 等. 冷鲜鸡供应链的风险因

- 素调研分析[J]. 物流工程与管理, 2015(3): 131—133.
YU Wei, CHEN Hai-yi, HE Chu-xing, et al. Research on Risk Factors of Cold Fresh Chicken Supply Chain [J]. Logistics Engineering and Management, 2015(3): 131—133.
- [2] MARTIKAINEN A, NIEMI P, PEKKANEN P. Developing a Service Offering for a Logistical Service Provider: Case of Local Food Supply Chain[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 157: 318—326.
- [3] GOVINDAN K, JAFARIAN A, KHODAVERDI R, et al. Two-echelon Multiple-vehicle Location-routing Problem with Time Windows for Optimization of Sustainable Supply Chain Network of Perishable Food[J]. International Journal of Production Economics, 2014, 152: 9—28.
- [4] AIT H M, GRAZIA C, MALORGIO G. Food Safety Standards and International Supply Chain Organization: A Case Study of the Moroccan Fruit and Vegetable Exports[J]. Food Control, 2015, 55: 190—199.
- [5] AYSOY C, KIRLI D H, TUMEN S. How Does a Shorter Supply Chain Affect Pricing of Fresh Food? Evidence from a Natural Experiment[J]. Food Policy, 2015, 57: 104—113.
- [6] SANG X, LIU X, QIN J. An Analytical Solution to Fuzzy TOPSIS and Its Application in Personnel Selection for Knowledge-intensive Enterprise[J]. Applied Soft Computing, 2015, 30: 190—204.
- [7] CHEN T. The Inclusion-based TOPSIS Method with Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Sets for Multiple Criteria Group Decision Making[J]. Applied Soft Computing, 2015, 26: 57—73.
- [8] PRAKASH C, BARUA M K. Integration of AHP-TOPSIS Method for Prioritizing the Solutions of Reverse Logistics Adoption to Overcome Its Barriers under Fuzzy Environment[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2015, 37: 599—615.
- [9] DYMOVA L, SEVASTJANOV P, TIKHONENKO A. An Interval Type-2 Fuzzy Extension of the TOPSIS Method Using Alpha Cuts[J]. Knowledge-Based Systems, 2015, 83: 116—127.
- [10] 邹毅峰. 食品冷链物流的安全可靠度研究[D]. 长沙: 中南大学, 2009.
ZOU Yi-feng. Study on the Safety Reliability of Food Cold Chain Logistics[D]. Changsha: Central South University, 2009.
- [11] 邹毅峰, 林朝朋, 谢如鹤. 基于安全可靠度的食品物流系统优化[J]. 武汉理工大学学报, 2010(6): 1284—1288.
ZOU Yi-feng, LIN Chao-peng, XIE Ru-he. Food Logistics System Optimum Based on Safety Reliability[J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2010(6): 1284—1288.
- [12] 邹毅峰, 谢如鹤, 邱祝强. 基于 GO-FLOW 法的荔枝冷链物流安全评价[J]. 工业工程, 2008(6): 47—49.
ZOU Yi-feng, XIE Ru-he, QIU Zhu-qiang. Safety Assessment of Lichee Cold Chain Logistics System Based on GO-FLOW Methodology[J]. Industrial Engineering Journal, 2008(6): 47—49.
- [13] 黄欣, 邹毅峰, 谢如鹤, 等. 基于 GO-FLOW 法的冷鲜肉物流流程评价[J]. 广东农业科学, 2010(6): 130—131.
HUANG Xin, ZOU Yi-feng, XIE Ru-he, et al. Safety Assessment of Fresh Meat Cold Chain Logistics System Based on GO-FLOW Methodology[J]. Guangdong Agricultural Sciences, 2010(6): 130—131.
- [14] 韩月明. 食品安全预测与控制模型研究[D]. 南京: 东南大学, 2006.
HAN Yue-ming. Research on Food Safety Prediction and Control Model[D]. Nanjing: Southeast University, 2006.
- [15] 管刚. 食品安全综合评价研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2007.
GUAN Gang. Research on Comprehensive Evolution for Food Safety[D]. Hangzhou: Zhejiang University, 2007.
- [16] WILLERSINN C, MACK G, MOURON P, et al. Quantity and Quality of Food Losses along the Swiss Potato Supply Chain: Stepwise Investigation and the Influence of Quality Standards on Losses[J]. Waste Management, 2015, 46: 120—132.
- [17] NARSIMHALU U, POTDAR V, KAUR A. A Case Study to Explore Influence of Traceability Factors on Australian Food Supply Chain Performance[J]. Procedia-Social and Behavioral Sciences, 2015, 189: 17—32.
- [18] CHEN R. Autonomous Tracing System for Backward Design in Food Supply Chain[J]. Food Control. 2015, 51: 70—84.
- [19] CORTESE R D M, VEIROS M B, FELDMAN C, et al. Food Safety and Hygiene Practices of Vendors during the Chain of Street Food Production in Florianopolis, Brazil: A Cross-sectional Study[J]. Food Control, 2016, 62: 178—186.
- [20] LIU B, SHEN Y, CHEN X, et al. A Complex Multi-attribute Large-group PLS Decision-making Method in the Interval-valued Intuitionistic Fuzzy Environment [J]. Applied Mathematical Modelling, 2014, 38(17): 4512—4527.
- [21] WU J, CHICLANA F. Visual Information Feedback Mechanism and Attitudinal Prioritisation Method for Group Decision Making with Triangular Fuzzy Complementary Preference Relations[J]. Information Sciences, 2014, 279: 716—734.
- [22] LIU S, CHAN F T S, RAN W. Multi-attribute Group Decision-making with Multi-granularity Linguistic Assessment Information: An Improved Approach Based on Deviation and TOPSIS[J]. Applied Mathematical Modelling, 2013, 37(24): 10129—10140.

- [23] 徐则中. 一种新的变权向量及其应用[J]. 数学的实践与认识, 2008(20): 134—138.
XU Ze-zhong. The Construction and Application of a New Variable Weight Vector[J]. Mathematics in Practice and Theory, 2008(20): 134—138.
- [24] 李德清, 王加银. 基于语言量词的变权综合决策方法[J]. 系统工程理论与实践, 2010, 30(11): 1998—2002.
LI De-qing, WANG Jia-yin. Variable Weight Average Based on Linguistic Quantifier[J]. Systems Engineering-Theory & Practice, 2010, 30(11): 1998—2002.
- [25] 成波, 刘三阳. 基于变权向量的群体评价信息集结方法[J]. 控制与决策, 2012(8): 1246—1250.
CHENG Bo, LIU San-yang. Method of Group Evaluation Information Aggregation Based on Variable Weights Vector[J]. Control and Decision, 2012(8): 1246—1250.
- [26] 司银元, 余伟, 黄绮琪, 等. 不同物流环境下对冷鲜鸡品质安全变化的影响[J]. 现代商业, 2015(20): 25—26.
SI Yin-yuan, YU Wei, HUANG Qi-qi, et al. The Influence of Fresh Chicken Meat Quality in Different Logistics Situation[J]. Modern Business, 2015(20): 25—26.
- [27] 张文敏. 食品供应链中的食品安全保障体系研究[D]. 北京: 北京交通大学, 2007.
ZHANG Wen-min. Research on Food Safety Ensuring System of Food Supply Chain[D]. Beijing: Beijing Jiaotong University, 2007.

Labthink 自主传感器专利技术揭开变革序幕

——全新 C 系列包装阻隔性测试仪器正式发布

2018年2月1日, Labthink 正式发布全新 C 系列包装阻隔性测试仪器“C230M 氧气透过率测试系统”“C330M 水蒸气透过率测试系统”“C390M 水蒸气透过率测试系统”, 全球发售。

这是 Labthink 迄今推出的首次采用自主传感器专利技术的高端包装阻隔性测试仪器, 测试精度和稳定性达到世界先进水平。作为近年来包装检测领域具有突破性的创新成果, 或将全面引领未来包装检测仪器的技术革新。

自主传感器专利技术 实现测试能力大幅度跨越

经过近十年的研究积累, 汇聚了中美传感器技术领域的顶尖科技成果, Labthink 全球研发中心成功掌握传感器的核心技术。我们自主研发了库伦氧气分析传感器、电解法水分分析传感器和红外法水分分析传感器, 具有非常高的测试灵敏度和重复性。

基于自主传感器技术, 全新的 C230M 氧气透过率测试系统(等压法原理)参照 ISO 15105-2、ASTM D3985 等标准设计制造, 能为高、中、低气体阻隔性材料提供 $0.05 \sim 5000 \text{cm}^3/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 宽范围、高效率的氧气透过率检测。

搭载了 Labthink 自主研发的电解法水分分析传感器和红外法水分分析传感器的 C330M 水蒸气透过率测试系统和 C390M 水蒸气透过率测试系统, 亦能在 $0.01 \sim 50 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 和 $0.05 \sim 40 \text{g}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$ 范围内提供准确性更高的测试结果。这些参数是 Labthink 实验室经专业实验人员依据相关实验室环境标准的要求和条件测量得出, 准确可靠。

三十年成熟工艺 以匠运心 臻于至善

三十年经验, 使 Labthink 拥有成熟且可靠的气体和水蒸气渗透检测仪器制造技术。细节精雕细琢, 设计臻于至善, 性能不断提升, 为用户呈现了这一组“设计优、材料优、性能优、传感器优”的 C 系列高端阻隔系列产品。

功能上, 新款 C 系列阻隔检测仪器全部支持 3L 以内的包装件阻隔性测试, 这一功能将为我们擅长的针对不同形状规格包装件的定制服务提供了更大的空间。

此外, 新款 C 系列阻隔检测仪器在测试温度、湿度和流量的调节与控制上融入了创新技术, 示值误差显著降低, 预热时间大幅缩减, 将精确度和自动化程度推向一个新高度。

如今, Labthink 准确掌握了各类气体透过检测方法和水蒸气透过检测方法的特点和差异, 打造了数款久经市场检验的成熟产品! 无论您寻求科学溯源方法还是商业应用方法, 无论应用于科学研究还是品控检测, 我们都可以为您匹配最合适且性价比高的产品。欲了解更多, 请关注 Labthink 兰光微信公众号“济南兰光包装安全检测专家”。



C230M 氧气透过率测试系统

(济南兰光机电技术有限公司 供稿)